

INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA
I GLEBOZNAWSTWA
PAŃSTWOWY INSTYTUT
BADAWCZY



**STUDIA
I
RAPORTY
IUNG - PIB**

8

PROGRAM WIELOLETNI
2005–2010

PULAWY, 2007

EFEKTYWNE I BEZPIECZNE METODY
REGULACJI ZACHWASZCZENIA,
NAWOŻENIA I UPRAWY ROLI

KSZTAŁTOWANIE
ŚRODOWISKA ROLNICZEGO POLSKI
ORAZ ZRÓWNOWAŻONY ROZWÓJ
PRODUKCJI ROLNICZEJ

INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

Dyrektor: *prof. dr hab. Seweryn Kukula*

Redaktor: *doc. dr hab. Adam Harasim*

Recenzenci: *prof. dr hab. Kazimierz Adamczewski*
prof. dr hab. Irena Duer
prof. dr hab. Barbara Filipek-Mazur
doc. dr hab. Janusz Igras
prof. dr hab. Leszek Kordas
prof. dr hab. Jan Kuś
doc. dr hab. Jan Pabin
prof. dr hab. Danuta Parylak

Opracowanie redakcyjne i techniczne: *dr Irena Marcinkowska*

ISBN 978-83-89576-74-3

Egzemplarz bezpłatny

Nakład 200 egz., B-5, zam. 55/F/07
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>

EFEKTYWNE I BEZPIECZNE METODY
REGULACJI ZACHWASZCZENIA,
NAWOŻENIA I UPRAWY ROLI

SPIS TREŚCI

1. Krzysztof Domaradzki – Stosowanie herbicydów w rolnictwie zrównoważonym	9
2. Anna Jezierska-Domaradzka – Allelopacyjny potencjał roślin jako możliwość ograniczania zachwaszczenia upraw	23
3. Henryka Rola, Katarzyna Marczevska, Mariusz Kucharski – Zjawisko odporności chwastów na herbicydy w uprawach rolniczych	29
4. Hanna Gołębiowska, Henryka Rola – Skutki fitotoksycznego oddziaływania herbicydów na kukurydzę	41
5. Hanna Gołębiowska, Tomasz Snopczyński – Systemy regulacji zachwaszczenia na plantacjach kukurydzy jako alternatywa dla wycofywanych triazyn	55
6. Renata Kieloch – Oddziaływanie herbicydów na zbóża	65
7. Mariusz Kucharski, Jerzy Sadowski – Znaczenie adiuwantów w chemicznej ochronie roślin	77
8. Jerzy Sadowski, Mariusz Kucharski – Monitorowanie stanu zanieczyszczeń herbicydowych w wodach powierzchniowych i gruntowych na terenach rolniczych	87
9. Ewa Stanisławska-Głubiak, Jolanta Korzeniowska – Zasady nawożenia mikroelementami roślin uprawnych	99
10. Urszula Sienkiewicz-Cholewa, Ewa Stanisławska-Głubiak – Rola mikroelementów w kształtowaniu wielkości i jakości plonu rzepaku ozimego	111
11. Stanisław Wróbel, Jolanta Korzeniowska – Ocena potrzeb nawożenia kukurydzy borem	127
12. Helena Sztuder, Stanisław Strączyński – Ocena nawozów płynnych w badaniach rolniczych	143
13. Jan Pabin – Uprawa roli a właściwości fizyczne gleby i plonowanie roślin	161
14. Stanisław Wróbel, Karolina Nowak-Winiarska – Dostępność składników pokarmowych dla roślin w warunkach uproszczeń w uprawie roli	177
15. Andrzej Biskupski – Agrotechniczne sposoby przywracania zdolności produkcyjnej glebom odłogowanym	193
16. Stanisław Włodek – Możliwość wykorzystania ścieków i osadów ściekowych w uprawie roślin energetycznych	207
17. Weber Ryszard – Bezpłuzna uprawa roli w warunkach dużych ilości pozostałości poźniwnych	217

Wstęp

Zgodnie z koncepcją zrównoważonego rozwoju rolnictwa należy doskonalić metody produkcji roślinnej, w tym upowszechniać i wdrażać efektywne i bezpieczne zasady uprawy roli, nawożenia i ochrony roślin przed patogenami. Zakres tych działań ma charakter interdyscyplinarny i pod względem naukowym znajduje wsparcie w programie badawczym Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowego Instytutu Badawczego w Puławach.

Upowszechniające się w rolnictwie polskim, zwłaszcza w gospodarstwach wielkoobszarowych, bezorkowe systemy uprawy roli implikują szereg efektów nie występujących wcześniej w systemie rolnictwa tradycyjnego. Wymagają one naukowego wyjaśnienia i opracowania właściwych z ekonomicznego i ekologicznego punktu widzenia rozwiązań praktycznych. Do najważniejszych zadań w tym zakresie należy zaliczyć ocenę zmian właściwości fizykochemicznych gleb uprawianych metodami bezplużnymi, w tym warunków hydrotermicznych, dostępności składników pokarmowych dla roślin, a także potrzebę regulacji zachwaszczenia. Podstawowe działania we współczesnej ochronie roślin polegają na wdrażaniu systemu integrowanego, którego założeniem jest produkcja roślinna zapewniająca efektywność ekonomiczną przy zachowaniu pełnej ochrony środowiska rolniczego i wysokiej jakości produktów.

Cele powyższe znajdują odzwierciedlenie w tematyce programu wieloletniego IUNG - PIB w zadaniu 2.4 pt. „Opracowanie i wdrażanie bezpiecznych dla środowiska metod uprawy roli, nawożenia i regulacji zachwaszczenia” realizowanego przez Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli IUNG-PIB we Wrocławiu. W ramach tego zadania w dniach 28 i 29 marca br. zorganizowano we Wrocławiu warsztaty robocze, na które zaproszeni zostali specjaliści z innych ośrodków naukowych, jednostek obsługi rolnictwa, a także rolnicy indywidualni. Interdyscyplinarne spotkanie specjalistów pozwoliło na przedyskutowanie wielu aktualnych zagadnień łączących naukę z praktyką rolniczą oraz na wytyczenie perspektywicznych celów badawczych. Zamieszczone w niniejszym zeszycie z serii wydawniczej „Studia i Raporty IUNG - PIB” artykuły są rozszerzoną wersją wystąpień uczestników warsztatów, pozwalającą na zapoznanie się w kontekście naukowym i praktycznym z aktualną krajową problematyką uprawy roli, nawożenia i regulacji zachwaszczenia.

Kierownik zadania 2.4

doc. dr hab. Stanisław Wróbel

Krzysztof Domaradzki

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

STOSOWANIE HERBICYDÓW W ROLNICTWIE ZRÓWNOWAŻONYM*

Wstęp

Roślina uprawna pozbawiona opieki człowieka ustępuje miejsca chwastom, które są lepiej przystosowane do zróżnicowanych warunków siedliskowych i bez trudu wygrywają z nią współzawodnictwo o składniki pokarmowe, wodę i światło (23). Z tego względu stosowanie chemicznej ochrony przed chwastami stało się niezbędnym i trwałym elementem technologii produkcji roślinnej. Prawidłowo stosowane herbicydy umożliwiają osiągnięcie wysokiej skuteczności zabiegu poprzez eliminację szerokiej gamy gatunków chwastów bez uszczerbku dla chronionej rośliny uprawnej. Duży asortyment preparatów pozwala na elastyczność w doborze metody i terminu zabiegu, a właściwy dobór substancji aktywnych zapewnia ograniczenie zachwaszczenia do poziomu nie zagrażającego roślinie uprawnej i utrzymanie takiego stanu aż do jej zbioru (5).

W latach osiemdziesiątych XX wieku w wielu krajach o bardzo intensywniej produkcji rolniczej pojawiła się tendencja racjonalnego ograniczania stosowania środków ochrony roślin, zwłaszcza herbicydów. Działania te wynikały z proekologicznej polityki lansowanej w krajach Unii Europejskiej i Stanach Zjednoczonych, a związane były z wprowadzeniem nowej strategii w ochronie roślin, polegającej na redukowaniu dawek oraz zmniejszaniu ilości zabiegów do niezbędnego minimum (4).

Wyraz troski o zdrowie konsumenta i środowisko znalazł również odzwierciedlenie w prawodawstwie Unii Europejskiej. Dyrektywa Rady z dnia 15 lipca 1991 roku nr 91/414/EWG zawiera w swej preambule stwierdzenie, że środki ochrony roślin dopuszczone do użycia muszą być bezpieczne w stosowaniu oraz nie mogą stwarzać zagrożenia dla zdrowia ludzi i środowiska. Stosowaniu tych środków powinna przyświecać zasada o nadrzędności ochrony zdrowia ludzi i zwierząt oraz środowiska, przed osiąganiem korzyści wynikających z tytułu wzrostu poziomu produkcji (6). Doskonałym przykładem takiego sposobu myślenia jest twierdzenie lansowane przez duńskich naukowców i doradców, że środki ochrony roślin należy stosować tylko wtedy, gdy jest to bezwzględnie konieczne oraz w dawkach na tyle niskich, na ile to tylko możliwe (15).

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.4 w programie wieloletnim IUNG - PIB

Jednym ze sposobów dochodzenia do tego celu było powstanie koncepcji rolnictwa zrównoważonego, którego głównym hasłem jest zaspokajanie aktualnych potrzeb żywnościowych społeczeństw, bez ograniczania tej możliwości przyszłym pokoleniom. Taka forma gospodarowania jest przyjazna środowisku, korzystna ekonomicznie i odpowiedzialna społecznie. Środki ochrony roślin, stanowiące integralną część zrównoważonej produkcji rolniczej, powinny być wykorzystywane w taki sposób, aby zmniejszać ujemny wpływ na środowisko, ograniczać ryzyko związane z ich stosowaniem dla aplikującego, zminimalizować ilość odpadów oraz zapewniać bezpieczeństwo konsumentom (18).

Z pojęciem rolnictwa zrównoważonego nieodłącznie związane jest gospodarowanie zgodne z zasadami dobrej praktyki rolniczej z wykorzystaniem integrowanych metod uprawy i ochrony roślin (3, 7). Koncepcja ta powstała w połowie lat osiemdziesiątych XX wieku i została szczegółowo zdefiniowana przez Europejską i Śródziemnomorską Organizację Ochrony Roślin (EPPO). Zasady dobrej praktyki rolniczej rekomendują stosowanie środków ochrony roślin w sposób bezpieczny, ze szczególnym uwzględnieniem zdrowia ludzi, bezpieczeństwa dla środowiska, użycia minimalnych dawek zapewniających wymaganą skuteczność, a jednocześnie dających jak najmniejsze pozostałości w produktach spożywczych (17). W przypadku stosowania herbicydów nastąpiła zmiana sposobu postrzegania problemu odchwaszczania roślin uprawnych. Obecnie akcentuje się potrzebę regulacji zachwaszczenia, polegającą na ograniczaniu liczebności chwastów w łanie do poziomu nie zagrażającego stabilnemu plonowaniu rośliny uprawnej, bez potrzeby ich pełnej eliminacji (1, 25).

Zgodnie z zasadami dobrej praktyki ochrony roślin opracowanymi przez Europejską i Śródziemnomorską Organizację Ochrony Roślin przed sięgnięciem po herbicydy i chemiczne metody ochrony należy wykorzystać cały szereg zabiegów alternatywnych, wchodzących w skład ochrony integrowanej (14). Do działań tych należą:

- metody mechaniczne – z wykonaniem uprawek poźniwnych, przedsiewnych i pielęgnacyjnych,
- metody uprawowe – z wykorzystaniem zmianowania, doбором roślin o dużej sile konkurencyjnej, użyciem czystego materiału siewnego, właściwą normą wysiewu, stosowaniem międzyplonów i mulczowania,
- metody biologiczne – z wykorzystaniem naturalnych patogenów, bioherbicydów lub herbicydów zawierających naturalne składniki.

Integrowane zwalczanie chwastów w swej istocie sprowadza się do regulacji zachwaszczenia, sterowania populacjami chwastów i ograniczania ich liczebności poniżej progów ekonomicznej szkodliwości (30). Dlatego zabieg herbicydowy musi być traktowany jako uzupełnienie innych metod redukcji zachwaszczenia, a o konieczności jego wykonania zawsze powinno decydować nasilenie chwastów występujących w łanie i ich szkodliwość. Ingerencja chemiczna może być celowa tylko wtedy, gdy poziom zachwaszczenia będzie na tyle wysoki, że wartość utraconego plonu przewyższy koszty wykonania zabiegu odchwaszczania (22).

Celem przeprowadzonych badań było wykazanie, że herbicydy stosowane w obniżonych dawkach zapewniają wymaganą skuteczność chwastobójczą, nie wpływają

ujemnie na plonowanie roślin uprawnych oraz powodują obniżenie wykrywalnych pozostałości substancji aktywnych w ziarnie i glebie, a tym samym taki sposób aplikacji tej grupy środków zgodny jest z zasadami rolnictwa zrównoważonego.

Wyniki i dyskusja

W latach 1996–2006 przeprowadzono serię doświadczeń w uprawach zbóż ozimych i jarych oraz buraka cukrowego, w których analizowano możliwość regulacji zachwaszczenia za pomocą herbicydów stosowanych w dawkach niższych od zalecanych. Doświadczenia zakładano na polach produkcyjnych zbóż i buraka na terenie woj. dolnośląskiego. Charakterystykę badanych środków chemicznych oraz ich dawki zamieszczono w tabeli 1.

W czasie zbiorów z poletek pobrano próby materiału roślinnego (ziarno zbóż, korzenie buraka) oraz gleby do badań pozostałości substancji aktywnych. Analizy te wykonano metodami chromatografii cieczowej (HPLC) i gazowej (GLC). Dla każdej z oznaczonych substancji aktywnych zestawiono maksymalne pozostałości wykryte w ziarnie i porównano je z normami (26) maksymalnych dopuszczalnych pozostałości (tab. 6).

Wyniki wieloletnich (1996–2006) doświadczeń prowadzonych w zbożach i buraku cukrowym dowodzą, że istnieje możliwość skutecznego ograniczania zachwaszczenia roślin uprawnych poprzez aplikację herbicydów w dawkach niższych niż pełne zalecane.

Zboża

W przypadku roślin zbożowych, które siane są w dużym zagęszczeniu ich siła konkurencyjna wspomaga działanie chwastobójcze herbicydu, dlatego pojedynczy zabieg obniżoną dawką zapewnia oczekiwany efekt. Przykładem tego są wyniki doświadczeń, które opisano w tabelach 2-5. Uzyskane dane dowodzą, że badane herbicydy można stosować w dawkach niższych od 16,7% (Aminopielik D 450 SL) do 20% (Chwastox Trio 540 SL), w przypadku zwalczania chwastów dwuliściennych oraz od 30% (Dicuran Forte 80 WP) do 50% (Quartz Super 550 SC), gdy eliminowana była *Apera spica-venti* wraz z towarzyszącymi jej gatunkami dwuliściennymi. Na podstawie wcześniejszych prac własnych autora (10) można stwierdzić, że w warunkach Polski istnieje możliwość ograniczania dawek również innych herbicydów stosowanych w zbożach (np. Affinity 50,75 WG, Arelon Forte 61,5 WP, Arelon Super 61,5 WG, Aurora Super 61,5 WG, Duplosan DP 600 SL, Duplosan KV 600 SL, Grodyl 75 WG, Granstar 75 WG, Quarz Super 550 SC, Starane 250 EC) w granicach od 15, nawet do 50% bez ujemnego wpływu na plonowanie roślin uprawnych. W warunkach Europy Zachodniej najlepsze wyniki osiągnęli Duńczycy, którzy wykorzystując komputerowy program doradczy stosują herbicydy w dawkach niższych średnio o 60% (16).

Tabela 1

Charakterystyka badanych herbicydów

Herbicyd	Substancja aktywna	Pełna dawka zlecana na ha	Zwalczane chwasty	Odechwaszczane rośliny
Aminopielik D 450 SL	2,4-D = $417,5 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$, dikamba = $32,5 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$	3,0 l	dwuliścienne	zboża ozime i jare
Chwastox Trio 540 SL	mekoprop = $300 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$, MCPA = $200 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$, dikamba = $40 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$	2,5 l	dwuliścienne	zboża ozime i jare
Dicuran Forte 80 WP	chlorotoluron = 78,5%, triasulfuron = 1,5%	1,0 kg	<i>Apera spica-venti</i> + dwuliścienne	zboża ozime
Quartz Super 550 SC	izoproturon = $500 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$, diflufemikan = $50 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$	2,0 l	<i>Apera spica-venti</i> + dwuliścienne	zboża ozime
Betanal Progress 274 OF	fenmedifam = $91 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$, desmedifam = $71 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$, etofumesat = $112 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$	1,0 l	dwuliścienne	burak cukrowy
Safari 50 WG	triflusuifuron metylu = 50%	30 g	dwuliścienne	burak cukrowy
Goltix 70 WP	metamitron = 70%	1,0 kg	dwuliścienne	burak cukrowy
Venzar 80 WP	lenacyl = 80%	0,2 kg	dwuliścienne	burak cukrowy
Trend 90 EC	etoksylowany izodecynol = 90%	0,1%	nie dotyczy (adiuwant)	burak cukrowy

Źródło: Opracowanie własne.

Jak dowiedziono pewien nieznaczny spadek skuteczności chwastobójczej herbicydów stosowanych w ograniczonej dawce nie ma zazwyczaj istotnego wpływu na plonowanie zbóż (tab. 2-5). Chwasty, które pozostają w łanie niezniszczone mają bardzo osłabioną kondycję oraz zaburzony wzrost i rozwój, przez co nie stanowią zagrożenia dla rośliny uprawnej. Mechanizmowi temu sprzyja prawidłowa obsada zboża i optymalne zagęszczenie łanu (11).

Na podstawie przeprowadzonych doświadczeń można stwierdzić, że poziom pozostałości substancji aktywnych badanych herbicydów jest uzależniony od wielkości dawki. Zaobserwowano, że wraz z jej ograniczeniem obniża się ilość wykrytych pozostałości zarówno w ziarnie zbóż, jak i w glebie. Należy jednak podkreślić, że nawet stosowanie preparatów w pełnych zalecanych dawkach nie stanowi zagrożenia dla konsumenta, ani środowiska naturalnego, ponieważ pozostałości wykrywane w czasie badań były o jeden rząd wielkości niższe niż dopuszczają normy (26); (tab. 2-6).

Burak cukrowy

Burak cukrowy należy do roślin bardzo wrażliwych na zachwaszczenie, zwłaszcza w pierwszym okresie wegetacji. W związku z tym chemiczne zabiegi ochrony przed chwastami powinny zapewniać utrzymanie plantacji w czystości do momentu zakrycia międzyrzędzi przez liście buraka (2). Pod koniec lat osiemdziesiątych XX wieku do szerokiej praktyki rolniczej zostały wprowadzone systemy chemicznej ochrony buraka, które opierały się w głównej mierze na 3-4 zabiegach wykonanych herbicydami o działaniu nalistnym, przeciw chwastom w bardzo wczesnych fazach rozwojowych; jest to metoda tzw. dawek dzielonych (19, 24, 27). Zwalczanie chwastów w momencie ich bardzo dużej wrażliwości zrodziło potrzebę sprawdzenia, czy istnieje możliwość obniżenia dawek stosowanych środków, a jednocześnie zachowania wymaganej skuteczności chwastobójczej. Pierwsze tego typu badania prowadzone w USA potwierdziły taką możliwość (8, 28). Ze względu na zmniejszenie kosztów ponoszonych na ochronę plantacji przed chwastami oraz zminimalizowanie niekorzystnego wpływu herbicydów na środowisko coraz większego znaczenia nabiera ograniczanie i optymalizacja dawek stosowanych herbicydów. Badania takie rozpoczęto również w Polsce (29). Uzyskane wyniki doświadczeń dowodzą, że czterokrotne zabiegi systemowe mieszaninami zawierającymi w swym składzie Betanal Progress 274 OF, Safari 50 WG i Trend 90 EC, uzupełnione dodatkiem herbicydów Goltix 70 WP lub Venzar 80 WP wykazują wysoką skuteczność chwastobójczą, wynoszącą 94-97%. Niezależnie od zastosowanej dawki komponentów mieszaniny (ograniczonej o 50 lub 67% w stosunku do dawek pełnych tych środków) uzyskany efekt chwastobójczy znacznie przewyższał skuteczność herbicydu Betanal Progress 274 OF użytego w pełnej dawce, a trzy- lub czterokrotnie bez dodatku innych środków. Średnia skuteczność tych zabiegów wahała się w granicach 84-86%. Również rozpatrując zachwaszczenie wtórne plantacji można stwierdzić, że stosowanie mieszanin herbicydowych w obniżonych dawkach (o 50 lub 67%) zapewniało skuteczniejszą ochronę przed nasileniem tego zjawiska niż pojedyncze herbicydy (tab. 7).

Tabela 2

Wpływ ograniczonych dawek preparatu Aminopielik D 450 SL na regulację zachwaszczenia, plonowanie zbóż oraz pozostałości substancji aktywnej

Herbicyd	Dawka (t · ha ⁻¹)	Pszemica ozima				Pszemica jara			
		plon ziarna (t · ha ⁻¹)	zniszcz. 2-liśc. (%)	s.a.	maksymalne wykryte pozostałości (mg · kg ⁻¹)	plon ziarna (t · ha ⁻¹)	zniszcz. 2-liśc. (%)	s.a.	maksymalne wykryte pozostałości (mg · kg ⁻¹)
Obiekt kontrolny	-	4,96	* 84	-	ziarno gleba	3,19	* 62	-	ziarno gleba
Aminopielik D 450 SL	2,0	6,24	90	2,4-D dikamba	NW 0,008 NW	3,69	92	2,4-D dikamba	NW NW
Aminopielik D 450 SL	2,5	6,39	93	2,4-D dikamba	NW 0,010 NW	3,89	95	2,4-D dikamba	0,004 0,024 NW 0,006
Aminopielik D 450 SL	3,0	6,46	95	2,4-D dikamba	0,006 0,018 NW 0,008	4,01	98	2,4-D dikamba	0,010 0,030 0,006 0,006
NIR (0,05)		0,207				0,291			

Objaśnienia:

zniszcz. 2-liśc. – zniszczenie chwastów dwulicziennych

s.a. – substancja aktywna

* liczba chwastów w szt. · m⁻²

NW – pozostałości nie wykryto

Źródło: Wyniki badań ZE i ZCh IUNG we Wrocławiu z lat 1996-2002

Tabela 3

Wpływ ograniczonych dawek preparatu Chwastox Trio 540 SL na regulację zachwaszczenia, plonowanie zbóż oraz pozostałości substancji aktywnej

Herbicyd	Dawka (l · ha ⁻¹)	Pszenvica ożina				Pszenvica jara			
		plon ziarna (t · ha ⁻¹)	zniszcz. 2-liśc. (%)	s.a.	maksymalne wykryte pozostałości (mg · kg ⁻¹)	plon ziarna (t · ha ⁻¹)	zniszcz. 2-liśc. (%)	s.a.	maksymalne wykryte pozostałości (mg · kg ⁻¹)
Obiekt kontrolny	-	5,46	* 78	-	ziarno gleba NW NW	5,69	* 68	-	ziarno gleba NW NW
Chwastox Trio 540 SL	1,5	6,26	94	MCPA	NW	6,17	95	MCPA	NW
				dikamba	NW			dikamba	NW
				mekoprop	NW			mekoprop	NW
Chwastox Trio 540 SL	2,0	6,49	96	MCPA	NW	6,38	97	MCPA	0,008
				dikamba	NW			dikamba	NW
				mekoprop	0,004			mekoprop	0,008
Chwastox Trio 540 SL	2,5	6,58	98	MCPA	0,008	6,58	99	MCPA	0,008
				dikamba	NW			dikamba	NW
				mekoprop	0,006			mekoprop	0,012
NIR (0,05)		0,128							0,213

Objaśnienia: patrz tab. 2

Źródło: Wyniki badań ZE i ZCh IUNG we Wrocławiu z lat 1996–2000.

Tabela 4

Wpływ ograniczonych dawek preparatu Quartz Super 550 SC na regulację zachwaszczenia, plonowanie zbóż oraz pozostałości substancji aktywnej

Herbicyd	Dawka (l · ha ⁻¹)	Pszennica ozima					Pszennyto ozime						
		plon ziarna (t · ha ⁻¹)	zniszcz. APESV (%)	zniszcz. 2-liśc. (%)	s.a.	maksymalne wykry- te pozostałości (mg · kg ⁻¹)		plon ziarna (t · ha ⁻¹)	zniszcz. APESV (%)	zniszcz. 2-liśc. (%)	s.a.	maksymalne wykryte (mg · kg ⁻¹)	
						ziarno	gleba					ziarno	gleba
Obiekt kontrolny	-	4,39	* 137	* 111	-			4,44	* 75	* 309	-		
Quartz Super 550 SC	1,0	5,03	91	81	izoproturon diflufenikan	NW NW		5,71	96	86	izoproturon diflufenikan	NW NW	
Quartz Super 550 SC	1,5	5,21	94	87	izoproturon diflufenikan	NW 0,008		5,76	97	89	izoproturon diflufenikan	NW NW	
Quartz Super 550 SC	2,0	5,32	97	88	izoproturon diflufenikan	NW 0,008		5,94	99	93	izoproturon diflufenikan	NW 0,008	
NIR (0,05)		0,353						0,299				0,004	0,008

Objaśnienia: patrz tab. 2

zniszcz. APESV – zniszczenie *Apera spica-venti*

Źródło: Wyniki badań ZE i ZCh IUNG we Wrocławiu z lat 1997–2002.

Tabela 5

Wpływ ograniczonych dawek preparatu Dicuran Forte 80 WP na regulację zachwaszczenia, plonowanie zbóż oraz pozostałości substancji aktywnej

Herbicyd	Dawka (kg · ha ⁻¹)	Pszemica ozima					Pszemczyta ozime				
		plon ziarna (t · ha ⁻¹)	zniszcz. APESV (%)	zniszcz. 2-liśc. (%)	s.a.	maksymalne wykryte pozostałości (mg · kg ⁻¹)	plon ziarna (t · ha ⁻¹)	zniszcz. APESV (%)	zniszcz. 2-liśc. (%)	s.a.	maksymalne wykryte pozostałości (mg · kg ⁻¹)
Obiekt kontrolny	-	3,54	* 101	* 94	-	ziarno gleba	3,92	* 65	* 123	-	ziarno gleba
Dicuran Forte 80 WP	0,7	5,84	91	91	chlortoluron	NW	6,09	91	87	chlortoluron	NW
Dicuran Forte 80 WP	0,85	5,92	94	93	chlortoluron	NW	6,17	95	90	chlortoluron	NW
Dicuran Forte 80 WP	1,0	6,02	98	95	chlortoluron	0,004	6,21	97	92	chlortoluron	0,002
NIR (0,05)		0,222					0,123				0,004

Objaśnienia: patrz tab. 4

Źródło: Wyniki badań ZE i ZCh IUNG we Wrocławiu z lat 1997–2002.

Tabela 6

Maksymalne wykryte pozostałości poszczególnych substancji aktywnych w ziarnie zbóż i w glebie traktowanej herbicydami do odchwaszczania zbóż

Lp.	Substancja aktywna	Herbicydy zawierające daną substancję aktywną	Maksymalne wykryte pozostałości (mg · kg ⁻¹)		Maksymalne dopuszczalne pozostałości (mg · kg ⁻¹) ¹⁾	Granica oznaczalności (mg · kg ⁻¹) ²⁾	Metoda analityczna
			ziarno	gleba			
1.	2,4-D	Aminopielik D 450 SL	0,016	0,046	0,100	0,002	HPLC ³⁾
2.	Chlortoluron	Dicuran Forte 80 WP	0,004	0,008	0,100	0,004	HPLC
3.	Dikamba	Aminopielik D 450 SL Chwastox Trio 540 SL	0,006	0,008	0,050	0,002	GLC ⁴⁾
4.	Diflufenikan	Quartz Super 550 SC	0,008	0,008	0,050	0,002	HPLC
5.	Izoproturon	Quartz Super 550 SC	0,006	0,016	0,050	0,002	HPLC
6.	MCPA	Chwastox Trio 540 SL	0,010	0,026	0,100	0,002	GLC

1) – według Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 16.04.2004 r. wraz z późniejszymi zmianami

2) – oznaczalność dla próbki o masie 30 g

3) – HPLC = wysokosprawna chromatografia cieczowa

4) – GLC = chromatografia gazowa

Źródło: Wyniki badań ZE i ZCh IUNG we Wrocławiu z lat 1996-2002.

Analizując wielkość uzyskiwanego plonu korzeni można zauważyć, że wszystkie badane systemy odchwaszczania oparte na mieszaninach herbicydowych w obniżonych dawkach (3 herbicydy + adiuwant) zapewniały wyższe plonowanie buraka niż w warunkach systemów standardowych (Betanal Progress 274 OF stosowany 3- lub 4-krotnie).

Tabela 7

Skuteczność chwastobójcza systemów chemicznego odchwaszczania buraka cukrowego

System herbicydowy	Dawka na ha	Liczba zabiegów	Plon korzeni (t · ha ⁻¹)	Zniszczenie chwastów (%)	Pokrycie gleby przez chwasty przed zbiorem (%)
Obiekt kontrolny	-	-	16,7	* 317	100
Betanal Progress 274 OF + Goltix 70 WP + Safari 50 WG + Trend 90 EC	0,5 l + 0,5 kg + 15 g + 0,1%	4	83,1	96	11
Betanal Progress 274 OF + Goltix 70 WP + Safari 50 WG + Trend 90 EC	0,33 l + 0,33 kg + 10 g + 0,1%	4	79,0	94	21
Betanal Progress 274 OF + Venzar 80 WP + Safari 50 WG + Trend 90 EC	0,5 l + 100 g + 15 g + 0,1%	4	81,7	97	9
Betanal Progress 274 OF + Venzar 80 WP + Safari 50 WG + Trend 90 EC	0,33 l + 66 g + 10 g + 0,1%	4	79,7	95	20
Betanal Progress 274 OF	1 l	4	76,9	86	28
Betanal Progress 274 OF	1 l	3	72,0	84	66
NIR (0,05)			7,31		

* liczba chwastów w szt. · m⁻²

Źródło: Wyniki badań ZE i ZCh IUNG we Wrocławiu z lat 2003–2006.

Podsumowanie

Uzyskane wyniki doświadczeń przeprowadzonych na polach produkcyjnych zbóż dowodzą, że aby skutecznie ograniczać zachwaszczenie łąnu i eliminować wpływ chwastów na plonowanie można stosować herbicydy w dawkach o 15-50% niższych od pełnych zalecanych. Jednak, aby przejść do tak poważnych ograniczeń należy przestrzegać wielu podstawowych zasad, tzn. herbicyd stosować: na zdrową roślinę uprawną, w optymalnych warunkach pogodowych, przeciwko chwastom wrażliwym, we wczesnych fazach rozwojowych, za pomocą sprawnego sprzętu (9).

Przeprowadzone badania dowodzą również, że istnieje możliwość optymalizowania stosowania herbicydów w systemach chemicznej ochrony buraka cukrowego poprzez aplikację mieszanin herbicydowych o odpowiednio dobranym składzie kompo-

mentów oraz w obniżonych dawkach, zależnych od oczekiwanych efektów. Mieszanki pod każdym względem wykazały swą wyższość nad herbicydami stosowanymi pojedynczo. Optymalizując dawkowanie herbicydów w ochronie buraka należy bezwzględnie brać pod uwagę takie czynniki, jak: skład gatunkowy zbiorowiska chwastów, fazy rozwojowe chwastów, warunki pogodowe w trakcie zabiegu, możliwość terminowego wykonania opryskiwania, odpowiedni dobór herbicydów do mieszanin oraz dodatek adiuwanta (12).

Resumując można stwierdzić, że herbicydy stosowane zgodnie z zasadami dobrej praktyki rolniczej (20, 21) pozwalają regulować zachwaszczenie do poziomu nie zagrożającego stabilnemu plonowaniu rośliny uprawnej oraz zapewniają uzyskanie produktów bezpiecznych dla konsumenta, bez zbytecznego obciążenia dla środowiska w trakcie ich produkcji. Spełniając powyższe warunki regulacja zachwaszczenia roślin uprawnych niższymi dawkami herbicydów będzie jednym z elementów rolnictwa zrównoważonego.

Literatura

1. Adamczewski K., Dobrzański A.: Regulowanie zachwaszczenia w integrowanych programach ochrony roślin. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 1997, **37(1)**: 58-65.
2. Adamczewski K., Kawczyński J.: Efektywność zwalczania chwastów w burakach cukrowych herbicydami składającymi się z kilku substancji aktywnych. Prace Nauk. Inst. Ochr. Roślin, 1987, **28(1-2)**: 379-388.
3. Adamczewski K., Stacheci S.: Dobra praktyka ochrony roślin w zwalczaniu chwastów. W: Mat. Konf. Nauk. nt. „Dobre praktyki w produkcji rolniczej”. IUNG Puławy, 1998, **I**: 5-13.
4. Baandrup M., Ballegaard T.: Three years field experience with an advisory computer system applying factor-adjusted doses. The BCPC Conference – Weeds, 1989, **2**: 555-560.
5. Coble H. D.: Weed management tools and their impact on the agro-ecosystem. Proc. 2nd International Weed Control Congress, Copenhagen, Denmark, 1996, 1143-1146.
6. Zaplicki E., Podgórska B.: Dyrektywa 91/414 Unii Europejskiej dotycząca wprowadzenia do obrotu środków ochrony roślin a prawodawstwo Polskie. Prog. Plant Protect./Post. Ochr. Rośl., 1998, **38(1)**: 292-297.
7. Dąbrowski Z. T.: Znaczenie partnerskich powiązań przy opracowywaniu i wdrażaniu integrowanych programów ochrony roślin. Prog. Plant Protect./Post. Ochr. Rośl., 1999, **39(1)**: 190-202.
8. Dexter A. G.: History of sugar beet (*Beta vulgaris*) herbicide rate reduction in North Dakota and Minnesota. Weed Technol., 1994, **8**: 334-337.
9. Domaradzki K.: Redukcja dawek herbicydów w zbożach w oparciu o progi szkodliwości. Mat. Konf. Nauk. „Zagadnienia ochrony roślin w aspekcie rolnictwa integrowanego i ekologicznego oraz stosowanie ciekłych agrochemikaliów”. Bydgoszcz, 1998, 15-22.
10. Domaradzki K., Rola H.: Ekologiczno-agronomiczne aspekty stosowania niższych dawek herbicydów w regulacji zachwaszczenia zbóż. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2001, **41(1)**: 229-239.
11. Domaradzki K., Rola H.: The possibility of weed control in cereals by use low rates of herbicides – review of existing investigations. J. Plant Prot. Res., 2003, **43(2)**: 163-170.
12. Domaradzki K., Rola H.: Efficacy of reduced doses of amidosulfuron, fluroxypyr and tribenuron-methyl against *Anthemis arvensis*, *Chenopodium album* and *Galium aparine*. Ann. AFPP, 2004, 543-548.

13. Dyrektywa Rady z dn. 15 lipca 1991 roku dotycząca wprowadzania do obrotu środków ochrony roślin nr 91/414/EWG.
14. Edwards C. A., Regnier E. E.: Designing integrated low-input farming systems to achieve effective weed control. The BCPC Conference – Weeds, 1989, **2**: 585-590.
15. Jensen J. E.: Weed control: presence and future – the Danish view. J. Plant Dis. Prot., 2004, Sp. Issue **19**: 19-26.
16. Jensen K. F., Nielsen P. R.: PC plant protection – a decision support system for Danish agriculture. The weed module. Pam. Puł., 2000, **120/I**: 185-193.
17. Lipa J. J., Bartkowski J.: Dobra praktyka ochrony roślin – rekomendacje EPPO. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 1996, **36(1)**: 81-87.
18. Michel C., Koch-Achelpohler V.: Rolnictwo zrównoważone potrzebuje ochrony roślin. European Crop Prot. Ass., Brussels, 2002, 1-5.
19. Paradowski A., Adamczewski K.: Ocena wpływu zmiany technologii odchwaszczania buraka cukrowego na przestrzeni 15 lat. Biul. IHAR, 2002, **222**: 271-277.
20. Polski kodeks dobrej praktyki rolniczej. Praca zbior. pod red. I. Duer, M. Fotyma. IUNG Puławy, 1999.
21. Pruszyński S., Wolny S.: Dobra praktyka w ochronie roślin. W: Mat. Konf. Nauk. nt. „Dobre praktyki w produkcji rolniczej”. IUNG Puławy, 1998, **I**: 255-263.
22. Rola H.: Zjawisko konkurencji wśród roślin i jej skutki na przykładzie wybranych gatunków chwastów występujących w pszenicy ozimej. IUNG Puławy, 1982, **R(162)**: 1-63.
23. Rola J.: Ekologiczno-ekonomiczne podstawy chemicznej walki z chwastami na polach uprawnych. Mat. XXXI Sesji Nauk. Inst. Ochr. Rośl., 1991, **1**: 110-124.
24. Rola J., Rahban B. A., Marczewski K.: Porównanie systemów chemicznego odchwaszczania buraków cukrowych. Mat. XXXIV Sesji Nauk. Inst. Ochr. Roślin, 1994, **1**: 96-103.
25. Rola J., Rola H.: Strategia postępu w herbologii. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 1997, **37(1)**: 66-71.
26. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 16 kwietnia 2004 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych poziomów pozostałości chemicznych środków ochrony roślin, które mogą znajdować się w środkach spożywczych lub na ich powierzchni (Dz. U. z dnia 27 kwietnia 2004 r.) wraz z późniejszymi zmianami (Dz. U. Nr 48, poz. 460 oraz Dz. U. Nr 108, poz. 907 z 2005 r.).
27. Wilson R. G.: New herbicides for postemergence application in sugar beet (*Beta vulgaris*). Weed Technol., 1994, **8**: 807-811.
28. 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.
29. Woźnica Z., Adamczewski K., Szeleźniak E.: Stosowanie mikrodawk herbicydów w uprawie buraka cukrowego. Progr. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2004, **44**: 523-530.
30. Zwerger P.: Integrated weed management in developed nations. Proc. 2nd Inter. Weed Control Congress, Copenhagen, Denmark, 1996, 933-942.

Adres do korespondencji:

doc. dr hab. Krzysztof Domaradzki
Zakład Herbologii i Techniki Uprawy Roli
IUNG - PIB
ul. Orzechowa 61
50-540 Wrocław
tel. (071) 363 87 07
e-mail: k.domaradzki@iung.wroclaw.pl

Anna Jezierska-Domaradzka

*Ogród Roślin Leczniczych
Akademia Medyczna we Wrocławiu*

ALLELOPATYCZNY POTENCJAŁ ROŚLIN JAKO MOŻLIWOŚĆ OGRANICZANIA ZACHWASZCZENIA UPRAW ROLNICZYCH

Wstęp

W praktyce rolniczej zjawisko wzajemnego oddziaływania roślin, nazywane allelopatią, było znane od starożytności. Na podstawie własnych doświadczeń rolnik wiedział, które rośliny „lubią się”, a które wywierają na siebie wpływ negatywny. Zaobserwowano, że w obecności niewielkiej ilości chabra bławatka kondycja uprawianego żyta jest lepsza i poprawia się jego plonowanie. Podobną zależność wykazują rumianek i rzepak, kąkol i pszenica, a także łubin i ziemniak czy cebula i truskawki. Zauważono także, że w przypadku niektórych gatunków zachodzi zjawisko odwrotne. Niekorzystne oddziaływania zaobserwowano w przypadku pszenicy i jęczmienia, maku i ziemniaka czy orzecha i wielu innych gatunków roślin. Z tych obserwacji wynikały trafne zasady stosowania odpowiednich płodozmianów.

Musiało minąć kilkanaście stuleci, aby udało się badaczom ustalić istotę tych oddziaływań, a druga połowa dwudziestego wieku przyniosła znaczący postęp w wyjaśnianiu wielu kwestii z tej dziedziny. Dzisiaj, kiedy wiele zagadnień z zakresu allelopatii zostało już rozpoznanych, pojawiają się możliwości praktycznego wykorzystania tego zjawiska w rolnictwie i innych dziedzinach nauki.

Rozwój badań nad allelopatią

Początkowe lata XIX wieku przyniosły informacje, że niektóre rośliny wydzielają substancje chemiczne ujemnie wpływające na inne rośliny (1, 8). Zagadnienie to powróciło po pół wieku, kiedy to w roku 1881 dwaj badacze – Stickney i Hay opisali szkodliwe oddziaływanie drzew orzecha włoskiego (*Juglans regia*) na wzrost innych, rosnących poniżej tego drzewa gatunków roślin. Ponad czterdzieści lat później, w roku 1925, Massey dokonał obserwacji dotyczących szkodliwego oddziaływania korzeni *J. regia* na sadzonki pomidorów (1).

Termin „allelopatia”, wywodzący się od dwóch greckich słów (*allelo* – wzajemny, *pathos* – cierpieć, szkodzić), wprowadził austriacki fizjolog Ch. Molisch w roku 1937. Zdefiniował on to zjawisko jako zachodzące w środowisku, szkodliwe lub korzystne

oddziaływanie o charakterze biochemicznym pomiędzy roślinami wyższymi i mikroorganizmami (1). W późniejszych badaniach, których celem było poznanie istoty zjawiska allelopatii koncentrowano się przede wszystkim na izolacji substancji nazywanej allelopatyną, jej chemicznej identyfikacji i wykazaniu, że wyizolowany związek chemiczny wywołuje dodatni lub ujemny efekt na innych roślinach. Dało to podstawę do zdefiniowania przez Rieca w roku 1974 allelopatii jako bezpośredniego lub pośredniego oddziaływania jednej rośliny na inną przez wytwarzanie chemicznych związków dostających się do środowiska (8).

Z przytoczonej definicji wywodzą się dwa pojęcia: allelopatia prawdziwa i funkcjonalna. Allelopatia prawdziwa oznacza bezpośrednie uwalnianie do środowiska toksycznych substancji wytwarzanych przez rośliny, zaś z allelopatią funkcjonalną mamy do czynienia wówczas, gdy substancje toksyczne uwolnione do środowiska zostaną przekształcone przez mikroorganizmy (1). Zawsze jednak allelopatia oznacza powstawanie w środowisku nowych związków chemicznych, w przeciwieństwie do zjawiska konkurencji, które polega na rywalizacji w wykorzystywaniu zasobów środowiska. W warunkach naturalnych rozdzielenie tych dwóch mechanizmów jest praktycznie niemożliwe.

Obecnie istnieje tendencja do poszerzenia zakresu terminu allelopatia. Podczas sympozjów, które odbyły się w Indiach i w Hiszpanii w latach dziewięćdziesiątych XX wieku wysunięto propozycję, aby pojęciem allelopatii nazwać każdy proces obejmujący wtórne metabolity wytwarzane przez rośliny, mikroorganizmy oraz grzyby, mające wpływ na wzrost i rozwój różnych ekosystemów (10). Współcześnie allelopatia traktowana jest jako nowa dziedzina ekologii chemicznej, badająca efekty wywierane przez naturalne związki chemiczne uwalniane z roślin lub mikroorganizmów na wzrost, rozwój i rozprzestrzenianie się innych roślin i mikroorganizmów w zbiorowiskach naturalnych, jak również wytworzonych w wyniku działalności człowieka (4).

Istota zjawiska allelopatii

Istotą oddziaływań allelopatycznych jest wydzielanie do środowiska przez rośliny–donory substancji chemicznych, modyfikujących proces wzrostu i rozwoju roślin–akceptorów. Modyfikacja ta może mieć charakter inhibicyjny, jak i stymulacyjny.

W zależności od typu rośliny–donora oraz rośliny–akceptora, a także od kierunku oddziaływań, allelopatyny sklasyfikowano jako: koliny, fitoncydy, marazminy oraz antybiotyki (5, 10). Koliny to związki wytwarzane przez rośliny wyższe, działające na inne rośliny wyższe. Fitoncydy są substancjami wytwarzanymi przez rośliny wyższe, działającymi na mikroorganizmy. Marazminy i antybiotyki to produkty przemiany mikroorganizmów. Pierwsze wpływają na rośliny wyższe, drugi rodzaj substancji działa w sposób hamujący na inne mikroorganizmy (10).

Allelozwiązki u roślin wyższych powstają we wszystkich organach zarówno wegetatywnych, jak i generatywnych. Ich najbogatszym źródłem są liście. W korzeniach, łodygach i korze zawartość tych związków jest mniejsza i mają one przeważnie charakter inhibicyjny (10). Pod względem ilości allelopatyn wyjątek stanowią korze-

nie lucerny, będące bogatym źródłem saponin (7). Owoce i nasiona zawierają głównie inhibitory zabezpieczające je przed gniciem oraz wpływające na proces kiełkowania poprzez stymulowanie bezwzględnego spoczynku. Dzięki temu zjawisku nasiona wielu gatunków, zwłaszcza chwastów, mogą przeleżeć wiele lat w glebie nie tracąc zdolności do kiełkowania.

Większość substancji allelopatycznych to wtórne produkty przemiany materii, te same, które są wykorzystywane jako związki lecznicze. Są to najczęściej produkty metabolizmu kwasów octowego i szikimowego (9). Najwyższą aktywnością odznaczają się, najczęściej spotykane wśród roślin, związki fenolowe, np. kwas dezoksybenzoesowy, chlorogenowy, izochlorogenowy, galusowy, garbnikowy, ferulowy i wiele innych. Ich najwyższe stężenie występuje w liściach, a do gleby są łatwo uwalniane w czasie rozkładu resztek roślinnych. Spośród flawonoidów wymienić należy: kempferol, kwercetynę, myricetynę – związki powszechnie występujące w świecie roślinnym, działające przeważnie jako allelopatyczne inhibitory.

Kwasy organiczne, takie jak: octowy, mlekowy, masłowy, szczawiowy, mrówkowy i bursztynowy powstają podczas rozkładu resztek roślinnych, ale są szybko degradowane w warunkach tlenowych, stąd ich działanie przejawia się zwłaszcza w glebach słabo przewietrzonych. Mogą wzajemnie potęgować swoje działanie i tym samym hamować wzrost już w niskich stężeniach. Allelopatyczne działanie przejawiają także terpeny – związki lotne, będące składnikami olejków eterycznych (α -pinen, β -pinen, kamfora, cyneol i inne), alkaloidy (np. kofeina) oraz saponiny, występujące m.in. w korzeniach lucerny siewnej (1, 10).

Allelopatyny przedostają się do środowiska przy udziale czterech procesów – wymywania i ulatniania z części nadziemnych, wydzielania z systemu korzeniowego (eksudacji) oraz przez rozkład obumarłych tkanek. Wymywanie przez wodę następuje przez deszcz lub krople rosy. W ten sposób do środowiska przedostają się glikozydy, flawonoidy, alkaloidy, wiele kwasów organicznych i związków fenolowych. Ulatnianie dotyczy związków będących składnikami olejków eterycznych, powstających w specjalnych gruczołach, skąd w wysokiej temperaturze przedostają się do atmosfery, a następnie są absorbowane przez powierzchniowe tkanki roślin akceptorowych. Możliwe jest także ich przedostawanie się do roztworu glebowego, skąd następnie są pobierane przez korzenie innych roślin. Eksudacja jako sposób uwalniania się allelopatyn do środowiska glebowego ma drugorzędne znaczenie, gdyż z nienaruszonego systemu korzeniowego wydzielane są niewielkie ilości substancji.

Najefektywniejszym sposobem uwalniania allelopatyn jest rozkład obumarłych tkanek roślinnych, podczas którego następuje uwalnianie i wymywanie do gleby tych związków (5). Działanie allelopatyn na poziomie komórkowym jest zróżnicowane. Związki te mogą hamować mitozę, powodować utlenianie hormonów roślinnych, np. auksyny, zmieniać przepuszczalność błon komórkowych, obniżać zawartość chlorofilu i tym samym wpływać na zahamowanie intensywności fotosyntezy, zakłócać transport wody w roślinie poprzez zatykanie naczyń. Niekorzystne oddziaływanie allelopatyn może przejawiać się także w sposób pośredni. Związki te mogą, hamując rozwój

glebowych drobnoustrojów, zwalniać proces rozkładu materii organicznej w glebie, a przez to zmieniać skład chemiczny produktów tych przemian (1, 10).

Warto też zaznaczyć, że stres spowodowany takimi czynnikami, jak: niedobór składników pokarmowych, susza, ekstremalne temperatury, ekspozycja na promieniowanie ultrafioletowe, choroby, szkodniki, wzmacnia allelopatyczne oddziaływania roślin, co przejawia się nawet dziesięciokrotnym zwiększeniem ilości produkowanych allelopatyn (1). Na temat korzystnego oddziaływania związków allelopatycznych istnieje niewiele danych. Dotychczas najlepiej poznano ich wpływ uzależniony od stężenia. Wykazano, że allelozwiązki, podobnie jak inne substancje biochemiczne, występując w niskich stężeniach przejawiają działanie stymulujące, natomiast w wysokich stężeniach są inhibitorami (2).

Zjawisko allelopatii badano nie tylko w odniesieniu do gatunków roślin rosnących obok siebie, ale także po sobie. Przykładem takich badań są prace O l e s z k a (6) wykazujące wpływ wodnych wyciągów z lucerny (*Medicago sativa*) na wzrost i kiełkowanie roślin uprawnych, takich jak pomidor, pszenica i jęczmień. Badania te wykazały, że wyciąg świeżej biomasy lucerny stymuluje wzrost siewek pomidora, natomiast hamuje wzrost pszenicy i jęczmienia. Wyciąg z korzeni lucerny działa natomiast hamująco na wszystkie badane gatunki. Dodatkowe badania, podczas których obserwowano wzrost siewek na różnych glebach z dodatkiem 1% korzeni lucerny wykazały, że na glebach najcięższych wzrost siewek był najlepszy, natomiast ulegał pogorszeniu na glebach lżejszych. Prace te wskazują na konieczność uwzględniania przedplonu w planowaniu zasiewów roślin uprawnych.

Praktyczne wykorzystanie zjawiska allelopatii w rolnictwie

Zjawisko allelopatii może istotnie wpływać na przemiany dokonujące się w zbiorowiskach chwastów. Efekty tych oddziaływań mogą być różnorodne, lecz w praktyce rolniczej najistotniejsza jest możliwość wykorzystania tego zjawiska do walki biologicznej. Allelozwiązki mogą być wykorzystywane do ochrony roślin przed szkodnikami, także w celu zwiększenia odporności roślin na choroby, a przede wszystkim jako środki służące do walki z chwastami. Ten ostatni aspekt wykorzystania allelozwiązków ma szczególnie duże znaczenie ze względu na coraz to wyższe koszty produkcji syntetycznych herbicydów oraz obserwowane ostatnio zjawisko pojawiania się chwastów na nie odpornych. Niebagatelne znaczenie ma również konieczność ograniczania zużycia chemicznych środków ochrony roślin, z uwagi na ich pozostałości w środowisku i w produktach roślinnych.

Zjawisko allelopatii może być wykorzystywane jako element walki z chwastami w czasie rozkładu resztek roślinnych, z których uwalniane są substancje aktywne. Przykładem takiego zastosowania jest uprawa żyta (*Secale cereale*) z przeznaczeniem na przyoranie go w okresie wczesnowiosennym lub pozostawienie resztek na powierzchni gleby. Zabieg ten ma na celu nie tylko wprowadzenie do gleby zielonego nawozu, ale też ograniczenie zachwaszczenia. Bhowmik i Interjit wykazali, że opisany

zabieg prowadzi do obniżenia nawet o 94% biomasy chwastów, takich jak: *Chenopodium album*, *Digitaria sanguinalis*, *Lepidium sativum*, *Panicum miliaceum*, *Ambrosia artemisifolia*, *Echinochloa crus-galli* i *Amaranthus retroflexus* w stosunku do obiektu kontrolnego. Natomiast inne badania wykazały, że dwukrotny oprysk wodnym ekstraktem z sorga (*Sorghum bicolor*) zastosowany w monokulturze pszenicy (*Triticum aestivum*) doprowadził do spadku zachwaszczenia porównywalnego z efektem działania naturalnego herbicydu oraz do wzrostu plonowania pszenicy (5).

Identyfikacja i izolacja związków o aktywności allelopatycznej spowodowała rozpoczęcie badań nad wykorzystaniem naturalnych związków chemicznych jako prekursorów do syntezy alleloherbicydów. Do tej pory opisano ponad 3000 biologicznie czynnych związków fitochemicznych, spośród których wiele wykazuje działanie allelopatyczne i pestycydowe (3). Zaletą tych naturalnych substancji jest ich łatwa biodegradacja, w przeciwieństwie do wielu produktów syntetycznych.

Obecnie zarejestrowanych jest (albo trwa proces ich rejestracji) 12 różnych naturalnych herbicydów (5). Niestety, ze względu na wciąż wysokie koszty ich produkcji dostępne są one głównie na rynku japońskim. Nieliczne z nich (glufosynat) stosuje się również w Polsce. Bilanafos jest tripeptydem otrzymywanym w wyniku fermentacji promieniowców glebowych *Streptomyces hygroscopicus* i *S. viridochromogenes*. Herbicyd ten w roślinie jest metabolizowany do chwastobójczej fosfinotrycyny, optycznie czynnego aminokwasu. Bilanafos jest herbicydem nieselektywnym, powodującym akumulację w roślinie amoniaku i zahamowanie fosforylacji w fotosyntezie. Służy on do powschodowego zwalczania chwastów jednorocznych. Syntetyczną formą fosfinotrycyny jest glufosynat – nieselektywny alleloherbicyd stosowany w niskich dawkach w celu powschodowego zwalczania chwastów jednorocznych i trwałych. Mechanizm jego działania w roślinie jest analogiczny do działania bilanafosu. Innym alleloherbicydem jest cinmetylina, zmodyfikowana pochodna 1,8-cineolu, będącego cyklicznym monotrepenem wyizolowanym z eukaliptusa. Cinmetylina jest przedwzschodowym herbicydem do zwalczania chwastów jednoliściennych (9).

Podsumowanie

Allelopatia jest zjawiskiem bardzo złożonym, wymaga znajomości wielu dziedzin, a trudność badań nad tym zjawiskiem potęguje jeszcze fakt, że w środowisku przyrodniczym istnieje konkurencja. O wielu obserwacjach trudno rozstrzygnąć, czy są one wynikiem allelopatycznego działania, czy też skutkiem konkurencji. Ponadto problem komplikują jeszcze drogi dostawiania się allelopatyn do środowiska, a dzieje się to wszystko przez glebę, z jej niezliczoną liczbą procesów fizycznych, chemicznych i biologicznych.

Jednak dynamiczny rozwój tej dziedziny wiedzy, jaki w ostatnich latach jest obserwowany, może doprowadzić do opracowania rozwiązań istotnych dla praktyki rolniczej, a których stosowanie będzie bezpieczne dla środowiska. Wydaje się, że pojawiają się nowe możliwości wykorzystania zjawiska allelopatii w związku z intensyw-

nym rozwojem biotechnologii oraz w pracach nad syntezą nowych alleloherbicydów jako alternatywy dla syntetycznych środków ochrony roślin.

Literatura

1. Aldrich R.: Ekologia chwastów w roślinach uprawnych. Towarzystwo Chemii i Inżynierii Ekologicznej, Opole, 1997.
2. Duer I.: Allelopatyczny wpływ niektórych gatunków chwastów na wzrost roślin zbożowych. Pam. Puł., 1988, **93**: 85-99.
3. Duke S., Dayan F., Romagni J., Rimando A.: Natural products as sources of herbicides: current status and future trends. Weed Res., 2000, **40**: 90-111.
4. Einhellig F.: Allelopathy: Current status and future goals. Amer. Chem. Soc., Symposium Series, 1995, **582**: 1-24.
5. Gniazdowska A., Oracz K., Bogatek R.: Allelopatia – nowe interpretacje oddziaływań pomiędzy roślinami. Kosmos, 2004, **53(2)**: 207-215.
6. Oleszek W.: Saponiny jako czynnik determinujący wartość przedplonową lucerny. Post. Nauk Rol., 1986, **6**: 15-22.
7. Oleszek W.: Techniki badania allelopatii. Wiad. Botan., 1992, **36(3/4)**: 17-25.
8. Riecke E. L.: Allelopathy. Academic Press, New York, 1974.
9. Sobótko W.: Alleloherbicydy – wczoraj i dziś. Progr. Plant Protect./Post. Ochr. Rośl., 1997, **37(1)**: 50-57.
10. Wójcik-Wojtkowiak D., Potylicka B., Weyman-Kaczmarkowa W.: Allelopatia. Wyd. AR Poznań, 1998.

Adres do korespondencji:

dr Anna Jezierska-Domaradzka
Ogród Roślin Leczniczych
Akademia Medyczna
al. Kochanowskiego 12
51-601 Wrocław
tel. 071 348 28 29
fax 071 347 90 67
e-mail: annajd@ogrod.am.wroc.pl

Henryka Rola, Katarzyna Marczevska, Mariusz Kucharski

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

ZJAWISKO ODPORNOŚCI CHWASTÓW NA HERBICYDY W UPRAWACH ROLNICZYCH*

Wstęp

Od pięćdziesięciu już lat w Polsce regulację zachwaszczenia w uprawach rolniczych wykonuje się stosując metody zintegrowane, z użyciem herbicydów selektywnych dla rośliny uprawnej oraz skutecznych w niszczeniu chwastów. W tym okresie intensywnie stosowano herbicydy triazynowe, zawierające w swym składzie takie substancje, jak: atrazyna, symazyna i cjanazyna. Herbicydy te skutecznie eliminowały większość występujących na plantacjach chwastów, a w szczególności: *Chenopodium album*, *Thlaspi arvense*, *Amaranthus retroflexus*, *Anthemis arvensis*, *Galium aparine*, *Polygonum ssp.*, *Solanum nigrum*, *Lamium ssp.* i inne. Niestety, intensywne i długotrwałe stosowanie tych samych preparatów na określonym stanowisku może powodować ujemne skutki w postaci nadmiernych pozostałości substancji aktywnych w glebie, wodach i produktach roślinnych oraz kompensacji niektórych gatunków chwastów w zbiorowisku, a także nagromadzenia w siedlisku biotypów chwastów odpornych na herbicydy. Odporność oznacza brak wrażliwości niektórych osobników danego gatunku chwastu na taką dawkę preparatu, która stosowana w normalnych warunkach niszczy całą jego populację (3). Czynniki wpływającymi na powstawanie odporności chwastów na herbicydy są między innymi: stosowanie herbicydów o jednym mechanizmie działania na tym samym polu przez kilka lat, niewłaściwy dobór środków do składu gatunkowego chwastów, nieodpowiednia faza rozwojowa chwastów w momencie aplikacji środka oraz niesprzyjające warunki pogodowe i środowiskowe dla prawidłowego działania preparatu.

Jak wynika z badań W o ż n i c y i in. (15) chwasty mogą wykazywać odporność na jeden herbicyd, wówczas jest to tzw. odporność prosta lub pojedyncza, np.: *Stellaria media* wykazuje odporność na izoproturon, ale pozostaje wrażliwa na chlorotoluron. Obie substancje należą do tej samej grupy chemicznej i posiadają ten sam mechanizm działania na rośliny. Biotypy odporne wykazują często odporność mieszaną (krzyżową). W tym przypadku nie reagują one na co najmniej dwa herbicydy o tym samym

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.4 w programie wieloletnim IUNG - PIB

mechanizmie działania, ale o różnej budowie chemicznej, np. odporność *Amaranthus retroflexus* na nikosulfuron (z grupy sulfonilomocznika) i imazetapir (z grupy imidazoli). Herbicydy należące do tych grup posiadają różną budowę chemiczną, ale taki sam mechanizm działania – blokują funkcjonowanie enzymu, który bierze udział w syntezie aminokwasów: waliny, leucyny i izoleucyny. Spotyka się także tzw. odporność wielokrotną, polegającą na braku wrażliwości określonego biotypu chwastu na co najmniej dwa herbicydy z różnych grup chemicznych i o różnym mechanizmie działania. Jak podaje Woźnica i in. (15) w Australii zidentyfikowano biotyp *Lolium rigidum*, który wykazywał jednoczesną odporność na herbicydy z grupy triazyn, pochodnych mocznika, imidazoli, sulfonilomocznika oraz triazoli.

Według najnowszych danych, obejmujących wyniki badań przeprowadzonych przez różne ośrodki naukowe na świecie, dotychczas zidentyfikowano 183 gatunki chwastów odporne na różne substancje aktywne herbicydów. Wśród nich 110 to chwasty dwuliścienne, a 73 – jednoliścienne (www.weedscience.com). Wśród rozpoznanych gatunków dominuje przede wszystkim odporność na herbicydy z grupy triazyn, sulfonilomocznika i imidazoli, a także na graminicydy z różnych grup chemicznych. Pierwsze przypadki odporności chwastów na herbicydy triazynowe (atrazyna) pojawiły się po 10 latach od wprowadzenia tych związków na rynek (połowa lat sześćdziesiątych), natomiast pierwsze osobniki odporne na herbicydy sulfonilomocznikowe (chlorosulfuron) pojawiły się już po upływie 5 lat od wprowadzenia tych substancji do praktyki rolniczej. Do chwili obecnej zidentyfikowano 95 biotypów odpornych na herbicydy sulfonilomocznikowe. Taki stan powoduje, że herbicydy z tej grupy wyprzedzając grupę inhibitorów fotosyntezy (głównie triazyny) są obecnie „liderem” wśród substancji, na które odporna jest największa liczba biotypów chwastów.

Zjawisko odporności chwastów na herbicydy staje się coraz większym problemem także w Polsce. Do tej pory stwierdzono występowanie odporności niektórych gatunków na herbicydy triazynowe. Dotyczy to *Amaranthus retroflexus*, *Chenopodium album* i *Echinochola crus-galli* odpornych na atrazynę stosowaną w uprawie kukurydzy na Dolnym Śląsku (10), w Wielkopolsce (14) i na Lubelszczyźnie (6) oraz w sadach (2). Od lat osiemdziesiątych w ochronie przed chwastami upraw zbóż i kukurydzy powszechnie stosowane są herbicydy sulfonilomocznikowe. Na terenie Dolnego Śląska w kilku stanowiskach stwierdzono występowanie odporności *Apera spica-venti* i *Centaurea cyanus* (11) na chlorosulfuron stosowany w zasiewach pszenicy ozimej.

Konsekwencje występowania biotypów odpornych ponosi przede wszystkim rolnik. Oznacza to bowiem utratę skuteczności chwastobójczej herbicydu, spadek plonowania rośliny uprawnej, niemożność dalszego stosowania tego samego herbicydu, a często także z innych grup chemicznych w przypadku występowania odporności krzyżowej i wielokrotnej.

Chcąc ustrzec się przed selekcją biotypów odpornych należy opracować efektywne i szybkie metody identyfikacji odporności oraz sposoby przeciwdziałania temu zjawisku. Działania te wymagają współpracy producentów środków ochrony roślin, jednostek naukowych i rolników.

Wyniki i dyskusja

Identyfikacja odporności chwastów na herbicydy

W ostatnich latach do placówek naukowych zgłaszają się rolnicy z różnych rejonów Polski, którzy informują o braku odpowiedniej ochrony upraw przed chwastami po wykonaniu zabiegów herbicydowych, które dotychczas były w pełni skuteczne. Może to wskazywać na występowanie zjawiska odporności niektórych gatunków chwastów na najczęściej stosowane herbicydy.

W Zakładzie Herbologii i Technik Uprawy Roli IUNG-PIB we Wrocławiu podjęto badania nad ustaleniem stopnia odporności chwastów na herbicydy w rejonie Dolnego Śląska. Napływające od plantatorów informacje o słabej skuteczności atrazyny i chlorosulfuronu w niszczeniu chwastów występujących w uprawie zbóż i kukurydzy stały się podstawą do podjęcia szerszych badań w tym zakresie. Badania odporności chwastów na herbicydy przeprowadzono między innymi metodą testu biologicznego (13). Metoda ta pozwala na testowanie wrażliwości na określone herbicydy dużej liczby biotypów chwastów z możliwością stosowania substancji aktywnych w dawkach kilkakrotnie wyższych od zalecanych w praktyce. W omawianych testach oceniano kondycję i masę chwastów po aplikacji różnych dawek herbicydu. Brak reakcji roślin (dobra kondycja, świeża i sucha masa zbliżona do osiągniętej w obiekcie kontrolnym) na stosowane dawki środka świadczy o odporności osobnika na badaną substancję.

Na podstawie przeprowadzonych badań na terenie Dolnego Śląska zidentyfikowano biotypy *Amaranthus retroflexus*, *Chenopodium album* i *Echinochloa crus-galli* odporne na atrazynę. Metodą testu biologicznego stwierdzono, że biotypy wymienionych gatunków chwastów nie są niszczone przez atrazynę (Gesaprim 50 WP) stosowaną w dawce 32-krotnie wyższej ($64 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) od zalecanej w praktyce ($1,5\text{--}2,0 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$). Wśród badanych biotypów chwastów stwierdzono występowanie odporności enzymatycznej i „w miejscu działania” (z ang. target site). Odporność enzymatyczna wywołana jest mutacją w genach kodujących enzym detoksykujący herbicyd (4). Odporność tę można przełamać stosując dawkę herbicydu kilkakrotnie wyższą od zalecanej w praktyce (fot. 1).

Odporność „w miejscu działania” wywołana jest mutacją w genomie jądrowym biotypu danego gatunku chwastu. Mutacja ta dotyczy zmian zachodzących w strukturze białka nie pozwalających na przyłączenie herbicydu i w konsekwencji jego zadziałanie (3). Gatunek, u którego występuje odporność tego typu pozostaje niezniszczony niezależnie od zastosowanej dawki (fot. 2).

Obecnie herbicydy triazynowe, a szczególnie te, które zawierają atrazynę są wycofywane z rynku środków ochrony roślin, co w najbliższych latach powinno znacząco wpłynąć na zmniejszenie występowania i rozprzestrzeniania się chwastów odpornych na tę substancję. Niestety, pomimo tych zmian występowanie zjawiska odporności nie będzie malało. Prowadzone przez Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli IUNG-PIB we Wrocławiu badania pozwoliły w ostatnich latach wykryć także odpor-



Fot. 1. Odporność enzymatyczna *Chenopodium album* na atrazynę

Źródło: Opracowanie własne.

Oznaczenia: K – kontrola nie opryskana atrazyną (Gesaprim 50 WP)

- 1 – dawka atrazyny $2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$
- 2 – dawka atrazyny $8 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$
- 3 – dawka atrazyny $16 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$
- 4 – dawka atrazyny $32 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$
- 5 – dawka atrazyny $64 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$



Fot. 2. Odporność w miejscu działania *Chenopodium album* na atrazynę

Źródło: Opracowanie własne.

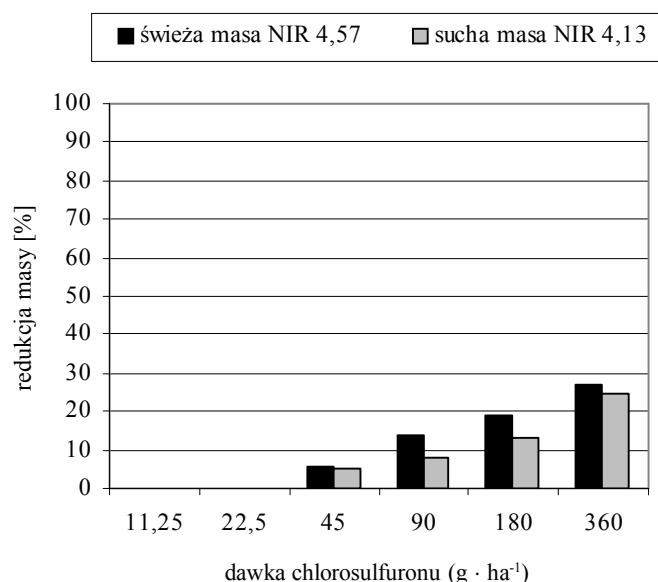
Oznaczenia: K – kontrola nie opryskana atrazyną (Gesaprim 50 WP)

- 1 – dawka atrazyny $2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$
- 2 – dawka atrazyny $8 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$
- 3 – dawka atrazyny $16 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$
- 4 – dawka atrazyny $32 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$
- 5 – dawka atrazyny $64 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$

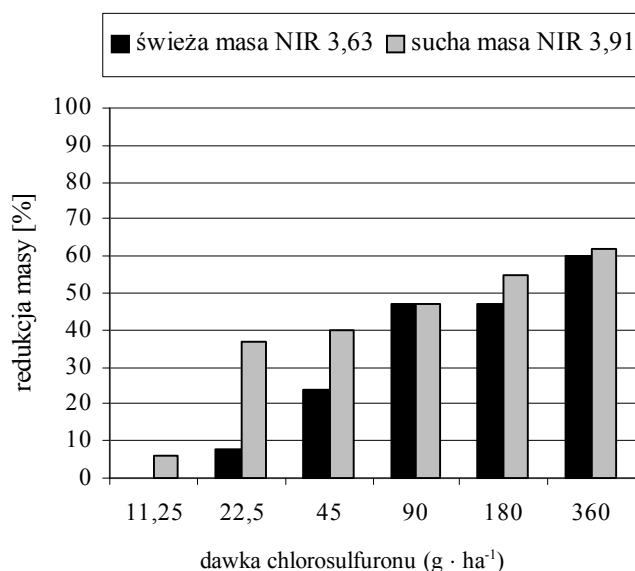
ność chwastów na herbicydy sulfonilomocznikowe stosowane w ochronie zbóż. Do chwili obecnej zidentyfikowano jedynie *Apera spica-venti* i *Centaurea cyanus* odporne na chlorosulfuron (Glean 75 WG) stosowany w pszenicy ozimej. Odporność *Apera spica-venti* na chlorosulfuron zidentyfikowano na niemal wszystkich polach uprawnych pszenicy ozimej w rejonie Dolnego Śląska. W testach biologicznych zalecana dawka chlorosulfuronu oraz 2-krotnie wyższa nie wpłynęły na zredukowanie świeżej i suchej masy roślin. Najwyższa z dawek (32-krotnie wyższa od zalecanej w praktyce) zmniejszyła masę roślin jedynie o 25% w porównaniu z roślinami kontrolnymi nie opryskanymi herbicydem (rys. 1). Aby potwierdzić występowanie u tego biotypu odporności „w miejscu działania” należałoby wykonać badania genetyczne metodą PCR (1).

Niższy stopień odporności na chlorosulfuron wykazywały biotypy *Centaurea cyanus* (rys. 2). Jednak również w tym przypadku zalecana dawka herbicydu nie wpłynęła na redukcję świeżej masy roślin, a suchą masę ograniczyła jedynie w kilku procentach, w porównaniu z roślinami nie opryskanymi. Dopiero najwyższa z aplikowanych dawek preparatu ograniczyła wzrost roślin w około 60%.

Bardziej złożony problem jest wówczas, gdy na danym polu mamy do czynienia z chwastami wykazującymi odporność krzyżową lub wielokrotną. Ostatnio w badaniach własnych stwierdzono występowanie na polach Dolnego Śląska gatunków chwastów nie niszczonej przez atrazynę oraz inne związki o tym samym mechanizmie działania, ale o innej niż atrazyna budowie chemicznej (chlorotoluron, linuron, lenacil,



Rys. 1. Wpływ chlorosulfuronu na świeżą i suchą masę części nadziemnych *Apera spica-venti*
Źródło: Marczeńska K. i Rola H., 2006 (9).



Rys. 2. Wpływ chlorosulfuronu na świeżą i suchą masę części nadziemnych *Centaurea cyanus*
 Źródło: Marczevska K. i Rola H., 2006 (9).

metamitron, chlorydazon), stosowane w uprawie kukurydzy. Dotyczy to takich gatunków chwastów, jak: *Polygonum ssp.*, *Papaver rhoeas*, *Viola arvensis*, *Chenopodium album*, *Amaranthus retroflexus*, *Echinochloa crus-galli*, *Anthemis arvensis*, *Thlaspi arvense*, *Lamium ssp.*, *Capsella bursa-pastoris*, *Solanum nigrum*, *Veronica persica*. Jest to sygnał, że na tym terenie mamy do czynienia także z odpornością krzyżową chwastów (7).

Przeciwdziałanie zjawisku odporności chwastów na herbicydy

Spośród najczęściej spotykanych zaleceń zmierzających do minimalizacji ryzyka rozwoju i rozprzestrzeniania odporności chwastów wymienia się uprawę roślin w monokulturze, brak rotacji herbicydów, uproszczenia agrotechniczne i inne. Występowanie zjawiska odporności wymusza opracowanie efektywnych programów zmierzających do ograniczenia selekcji biotypów odpornych. Należy tutaj uwzględnić:

- zmianowanie roślin (unikanie monokultury),
- odpowiedni dobór herbicydów,
- ograniczanie uproszczeń w uprawie i racjonalną agrotechnikę,
- optymalizację chemicznych metod zwalczania chwastów z uwzględnieniem jednoczesnego stosowania metod mechanicznych i biologicznych.

Najprostszym rozwiązaniem wydaje się ograniczenie lub zapobieganie występowaniu zjawiska odporności pojedynczej na jedną specyficzną substancję aktywną herbicydu lub też odporności krzyżowej na grupę herbicydów o tym samym mechanizmie działania. W takich przypadkach zwykle wystarczy zmienić rodzaj herbicydów na

takie, które posiadają odmienny mechanizm działania oraz prowadzić prawidłowe zmianowanie roślin. Sytuacja staje się znacznie trudniejsza, gdy mamy do czynienia z odpornością wielokrotną – na wiele różnych herbicydów. Takie przypadki wymagają konsultacji z jednostkami naukowymi i inspektoratami ochrony roślin.

W Zakładzie Herbologii i Technik Uprawy Roli IUNG - PIB we Wrocławiu podjęto także badania nad chemicznymi metodami ograniczania występowania zjawiska odporności chwastów na herbicydy na terenie Dolnego Śląska. W uprawie kukurydzy można, z dobrym skutkiem, zapobiegać zjawisku odporności chwastów stosując zamiast triazyn środki nie zawierające tych substancji, jak np. pochodne sulfonylomocznika lub ich mieszaniny z innymi herbicydami (tab. 1).

Tabela 1

Zabezpieczenie uprawy kukurydzy przed chwastami odpornymi na herbicydy triazynowe

Gatunki chwastów	Odporne na	Wrażliwe na
<i>Amaranthus retroflexus</i> <i>Chenopodium album</i> <i>Echinochloa crus-galli</i> <i>Solanum nigrum</i> <i>Polygonum ssp.</i> <i>Senecio vulgaris</i>	atrazyna simazyna cyjanazyna	nikosulfuron rimsulfuron 2,4-D* MCPA* dikamba* foramsulfuron jodosulfuron acetochlor florasulam

* tylko dla gatunków dwuliściennych

Źródło: Rola H. i in., 2004 (12).

Obecnie w praktyce dużym powodzeniem cieszą się środki będące mieszaniną atrazyny z innymi substancjami aktywnymi. Są one bardzo skuteczne w niszczeniu większości gatunków chwastów zasiedlających kukurydzę, a przede wszystkim: *Amaranthus retroflexus*, *Chenopodium album*, *Echinochloa crus-galli*, *Galium aparine*, *Polygonum persicaria*, *Euphorbia helioscopia*, *Solanum nigrum*. Jednak nie powinny być one polecane do regulacji zachwaszczenia na polach, na których uprawiano kukurydzę w monokulturze i przez wiele lat stosowano herbicydy triazynowe. W takim stanowisku mogą występować biotypy odporne i wówczas zastosowanie mieszanin zawierających triazyny nie będzie w pełni zabezpieczało plantacji przed rozprzestrzenianiem się tych gatunków chwastów. Potwierdzeniem tego są badania przeprowadzone w opisanych warunkach, na podstawie których wykazano osłabione działanie środków zawierających mieszaninę atrazyny z metolachlorem, isoksaflolem i flufenacetem (tab. 2).

Podobny skład gatunkowy chwastów występuje również w uprawach buraka cukrowego. Jak wykazują badania Kucharskiego i Roli (8) gatunki takie, jak: *Amaranthus retroflexus*, *Chenopodium album*, *Polygonum ssp.* i *Lamium ssp.* występujące w uprawach buraka cukrowego wykazują odporność na herbicydy z grupy inhibitorów fotosyntezy (tab. 3).

Tabela 2

Efekt działania mieszaniny herbicydów w niszczeniu chwastów w kukurydzy odpornych na triazyny

Substancja aktywna (s.a.)	Dawka s.a. · ha ⁻¹	Zniszczenie chwastów (%)		
		<i>Amaranthus retroflexus</i>	<i>Chenopodium album</i>	<i>Echinochloa crus-galli</i>
Kontrola	-	45*	109*	244*
Metrybuzyna + flufenacet	1,70 l	86	96	91
Mesotrione + atrazyna	0,08 l 0,54 kg	77	100	95
Isoxaflutol + atrazyna	0,80 l	89	99	53
Metolachlor + atrazyna	2,50 l	96	97	76
Atrazyna	1,45 kg	43	77	10

* liczba chwastów na 1 m²

Źródło: Rola H. i in., 2004 (12).

Alternatywą pozwalającą na zahamowanie tego procesu może być stosowanie systemów herbicydowych, uwzględniających takie substancje aktywne, jak: fenmedifam, desmedifam, etofumesat, triflusaluron i chlopyralid (tab. 4).

Na plantacjach kukurydzy i buraka pojedyncze egzemplarze chwastów, których nie zniszczyły stosowane herbicydy powinny być usuwane mechanicznie. Natomiast pozostawione na plantacji mogą wydać nasiona, co zwiększy populację biotypów odpornych.

Na obecnym etapie badań prowadzonych przez Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli IUNG - PIB również odporne na chlorosulfuron biotypy *Apera spica-venti* i *Centaurea cyanus* skutecznie mogą być eliminowane ze zbiorowiska poprzez zastosowanie wielu środków nie zawierających substancji aktywnych z grupy sulfonyl-mocznika (tab. 5 i 6).

Tabela 4

Efekt działania herbicydów w niszczeniu chwastów odpornych w uprawie buraka cukrowego

Substancja aktywna (s.a.)	Dawka s.a. · ha ⁻¹	Zniszczenie chwastów (%)			
		<i>Amaranthus retroflexus</i>	<i>Chenopodium album</i>	<i>Lamium</i> ssp.	<i>Polygonum</i> ssp.
Kontrola	-	31*	65*	15*	75*
Fenmedifam + desmedifam	0,32 l	96	97	100	82
(Etofumesat + desmedifam + fenmedifam) + triflusaluron	0,25 l 15 g	100	86	100	86
(Etofumesat + desmedifam + fenmedifam) + chlopyralid	0,30 l 0,06 l	100	100	100	100
Chlorydazon	1,3 kg	30	72	80	80
Lenacil	0,6 kg	69	40	40	60

* liczba chwastów na 1 m²

Źródło: Rola H. i in., 2004 (12).

Tabela 5

Efekt działania herbicydów w niszczeniu *Apera spica-venti* odpornej na chlorosulfuron w pszenicy ozimej

Substancja aktywna (s.a.)	Dawka s.a. · ha ⁻¹	Zniszczenie chwastów (%)
Kontrola	-	175*
Chlorsulfuron	15 g	38
Isoproturon + karfentrazon	1,4 kg	90
Isoproturon	1,5 l	88
Chlortoluron + triasulfuron	0,8 kg	91
Cyjanazyna	1,0 kg	88
Isoproturon + diflufenikan	0,9 l	92
Chlortoluron	1,6 kg	95
Tralkoxydim	0,3 l	95
+ Atplus 60 EC	1,5 l	
Fenoksaprop + mefenpyr	0,85 l	95
Diflufenikan + isoproturon	1,1 l	90
(Mesosulfuron + jodosulfuron + mefenpyr) + Actirob 842 EC	31,5 g 1,0 l	90

* liczba chwastów na 1 m²

Źródło: Marczevska K. i Rola H., 2006 (9).

Tabela 6

Efekt działania herbicydów w niszczeniu *Centaurea cyanus* odpornego na chlorosulfuron w pszenicy ozimej

Substancja aktywna (s.a.)	Dawka s.a. · ha ⁻¹	Zniszczenie chwastów (%)
Kontrola	-	12*
Chlorsulfuron	15 g	12
2,4-D + fluroksypyr	0,55 l	99
MCPA + dikamba + mekoprop	1,10 l	99
Isoproturon + diflufenikan	0,90 l	100
Chlortoluron	1,6 kg	96
2,4-D + metosulam	0,46 l	100
Chlopyralid	0,12 l	94
2,4-D + florasulam	0,20 l	94

* liczba chwastów na 1 m²

Źródło: Marczevska K. i Rola H., 2006 (9).

Pozytywny efekt chemicznej metody zabezpieczenia upraw rolniczych przed chwastami odpornymi na herbicydy można uzyskać stosując odpowiednio dobrany środek, zastosowany we właściwym terminie i warunkach sprzyjających jego działaniu. Na przykład, temperatura powietrza poniżej 10°C nie sprzyja skutecznemu działaniu herbicydów nalistnych. Niska wilgotność powietrza osłabia wnikanie herbicydu przez tkankę liści chwastów, natomiast niska wilgotność gleby hamuje kiełkowanie nasion chwastów i pobieranie przez nie substancji aktywnej herbicydu. Stosowanie herbicy-

du zbyt późno, gdy zwalczane gatunki chwastów znajdują się już w zaawansowanych fazach rozwojowych dając szanse przeżycia najstarszym egzemplarzom, które wydając nasiona wzbogacają bank diaspor w glebie. Herbicyd dobrany niewłaściwie do składu florystycznego zbiorowiska roślin segetalnych w łanie eliminuje gatunki wrażliwe pozostawiając tolerancyjne, które nie wykazują reakcji na określoną substancję aktywną, niezależnie od zastosowanej dawki. Stosowanie herbicydów w obniżonych dawkach może być także jednym z czynników sprzyjających uodpornianiu się chwastów. Zachodzić to może wówczas, gdy na polu występuje duże nasilenie biotypów odpornych lub gatunków podatnych na ten proces. Uzasadnieniem do obniżenia dawek herbicydów są przesłanki ekonomiczne i troska o ochronę środowiska. Istotne jest, aby zastosowany herbicyd w obniżonej dawce zabezpieczał roślinę uprawną przed konkurencją chwastów. Można to osiągnąć poprzez całkowite ich wyeliminowanie z plantacji lub ograniczenie wzrostu i rozwoju tak, aby gatunki te nie zakwitły i nie wydały nasion. Obniżenie dawki herbicydu często nie powoduje całkowitego zniszczenia występującej na polu populacji chwastów, lecz poprzez osłabienie ich kondycji, zahamowanie wzrostu i rozwoju nie dopuszcza do wytworzenia przez rośliny nasion. U biotypów odpornych obniżona dawka herbicydu nie ogranicza generatywnego rozmnażania chwastów, sprzyjając tym samym procesowi ich dalszego rozprzestrzeniania się.

Podsumowanie

Jak wynika z przeglądu bardzo bogatej literatury problem odporności chwastów na herbicydy znany jest już od połowy lat pięćdziesiątych ubiegłego stulecia (5, 15). Zagadnienie to w aspekcie naukowym i praktycznym okazało się na tyle istotne, że w strukturach europejskich powołano Zespół (Komitet) pod nazwą HRAC (z ang. Herbicide Resistance Action Committee) skupiający naukowców, producentów herbicydów i dystrybutorów. Zespół ten opracował łatwą w interpretacji i użyciu tabelę, w której zawarto informacje stanowiące wytyczne dla rolników chcących uniknąć problemów związanych z pojawieniem się odpornych biotypów chwastów (tab. 7).

Zjawisko odporności chwastów na herbicydy znane jest już na całym świecie. Również na polach uprawnych Polski zjawisko to stało się faktem. Ważnym zagadnieniem stojącym przed nauką polską jest ustalenie skali problemu w całym kraju. Dotyczy to nie tylko triazyn do odchwaszczania kukurydzy czy sadów, lecz także innych preparatów stosowanych powszechnie do zwalczania chwastów na plantacjach buraka, rzepaku i zbóż. Niezbędny jest zatem monitoring pól pozwalający ustalić zasięg i rozmiar zjawiska odporności biotypów chwastów na stosowane herbicydy oraz opracowanie skutecznych i szybkich metod jego identyfikacji.

Tabela 7

Ocena ryzyka rozwoju odporności chwastów na herbicydy (wg HRAC)

Opcje technologiczne	Poziom ryzyka wystąpienia odporności		
	niski	średni	wysoki
Stosowane mieszanki lub rotacja herbicydów	>2 mechanizmów działania	2 mechanizmy	1 mechanizm
System zwalczania chwastów	biologiczny, mechaniczny i chemiczny	biologiczny i chemiczny	tylko chemiczny
Stosowanie herbicydów o tym samym mechanizmie działania w kilku sezonach	jednokrotnie	więcej niż raz	wielokrotnie
Zmianowanie roślin	pełna rotacja	ograniczona rotacja	brak rotacji (monokultura)
Stan zachwaszczenia	niski	średni	wysoki
Zwalczanie chwastów w ostatnich 3 latach	skuteczne	średnie	słabe

Źródło: www.weedscience.com

Literatura

1. Ciarka D., Szalacha E., Gawroński S.W.: Wykorzystanie techniki biologii molekularnej do identyfikacji gatunków chwastów odpornych na herbicydy triazynowe. *Pam. Puł.*, 2002, **129**: 267-272.
2. Gadański G., Ciarka D., Gawroński S.W.: Molecular survey of Polish resistant biotypes of weeds. *Proc. Second International Weed Control Congress. Copenhagen, DK*, 1996, 547-550.
3. Gressel J., Regev Y., Malkin S., Kleifield Y.: Characterization of an s-triazine-resistant biotype *Brachypodium distachyon*. *Weed Sci.*, 1983, **31**: 450-456.
4. Gunsolus J.L.: Herbicide resistant weeds. North Central Regional Extension Publication, 1993, **468**: 1-10.
5. Harper J.L.: The evaluation of weeds in relation to resistance to herbicides. *Proc. British Crop Protection Conf. Weeds*, 1956, **1**: 179-189.
6. Jędruszcak M., Antoszek R.: Ocena wrażliwości *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. na atrazynę i metrybuzynę. *Pam. Puł.*, 2002, **129**: 51-59.
7. Kucharski M.: Odporność chwastów na herbicydy z grupy inhibitorów fotosyntezy PS II na polach uprawnych południowo-zachodniej Polski. *Monogr. Rozpr. Nauk., IUNG-PIB Puławy*, 2005, **14**: 46-86.
8. 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.
9. Marczevska K., Rola H.: Identyfikacja odpornych na chlorosulfuron biotypów *Apera spica-venti* i *Centaurea cyanus* oraz sposoby ich chemicznego zwalczania w pszenicy ozimej. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2006, **46(1)**: 215-222.
10. Rola H.: Identyfikacja biotypów chwastów uodpornionych na herbicydy triazynowe metodą testu biologicznego. *IUNG Puławy*, 2001, 1-10.
11. Rola H., Marczevska K.: Biotypy chwastów odporne na chlorosulfuron w rejonie Wrocławia. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2002, **42(2)**: 575-577.
12. 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.

13. R o l a H, K u c h a r s k i M, M a r c z e w s k a K., G a w r o Ń s k i W. S., C i a r k a D., S z a l a c h a E.: Metody identyfikacji biotypów chwastów odpornych na herbicydy z grupy inhibitorów fotosyntezy fotosystemu II. IUNG-PIB Puławy, 2006, 1-27.
14. S t a c h e c k i S., A d a m c z e w s k i K.: *Chenopodium album*, *Amaranthus retroflexus* – występowanie i reakcja na herbicydy o różnym mechanizmie działania. Pam. Puł., 2002, **129**: 247-252.
15. W o Ź n i c a Z., A d a m c z e w s k i K., M a n t h e y F. A.: Biotypy chwastów odpornych na herbicydy. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 1996, **36(1)**: 96-101.

Adres do korespondencji:

prof. dr hab. Henryka Rola
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli
IUNG - PIB
ul. Orzechowa 61
50-540 Wrocław
tel. (071) 363 87 07
e-mail: h.rola@iung.wroclaw.pl

Hanna Gołębiowska, Henryka Rola

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

SKUTKI FITOTOKSYCZNEGO ODDZIAŁYWANIA HERBICYDÓW NA KUKURYDZĘ*

Wstęp

Wykorzystywanie herbicydów do walki z chwastami jest nadal skutecznym i szybkim sposobem utrzymania plantacji wolnej od groźnych konkurentów kukurydzy o wodę, światło i składniki mineralne. Przez wiele lat na liście dopuszczonych do obrotu środków chemicznych czołowe miejsce zajmowały herbicydy triazynowe, charakteryzujące się wysoką selektywnością w stosunku do rośliny uprawnej (8, 9). Jednak odkąd stwierdzono po raz pierwszy silne objawy uszkodzeń u niektórych odmian kukurydzy, prowadzące do istotnego spadku plonu ziarna po zastosowaniu herbicydu Titus 25 WG z grupy sulfonilomocznikowych ważny okazał się problem wrażliwości odmian na tę grupę środków ochrony (5, 10, 11). Szczególnie ujemną reakcję wykazywała odmiana Koka – Hodowli Roślin „Nasiona Kobierzyc”, co było podstawą do podjęcia przez IUNG we Wrocławiu badań nad wrażliwością mieszańców kukurydzy również na inne herbicydy, takie jak: Milagro 040 SC, Maister 310 WG, Guardian 840 EC, Aspekt 500 SC, Aminopielik Nowy Gold 450 EC, Merlin Super 537 SC, Mustang 306 SE i inne. Szybki postęp w hodowli roślin oraz rozwijający się przemysł chemiczny, wprowadzający na polski rynek nowe środki chwastobójcze z różnych grup działania, skłaniał do prowadzenia badań nad oceną stopnia wrażliwości nowo rejestrowanych odmian kukurydzy.

Zawarte w biuletynach COBORU charakterystyki odmian zawierają najczęściej informacje dotyczące plenności, odporności na wyleganie, zdrowotności itp. Brak jest natomiast rozpoznania odnośnie odporności odmiany na zalecane w jej uprawie herbicydy.

Wiadomo, że środki te nie zawsze są bezpieczne, a niewłaściwie zastosowane (np. niewłaściwy termin aplikacji, zła technika zabiegu) mogą zakłócać szereg procesów życiowych roślin, czego konsekwencją są zmiany w morfologii (np. nekrozy, przebarwienia, zahamowanie wzrostu), a w skrajnych przypadkach obniżanie plonu nawet o 10-15% (2, 7). Dotychczasowe badania dowiodły także negatywnego wpływu tych

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.4 w programie wieloletnim IUNG - PIB

środków na strukturę i jakość plonów, między innymi na zawartość składników pokarmowych i aminokwasów w ziarnie (3). Wychodząc naprzeciw potrzebom praktyki w niniejszej pracy przedstawiono wyniki wieloletnich badań nad oceną wrażliwości odmian kukurydzy na powszechnie stosowane herbicydy. Może to ułatwić odpowiedni dobór herbicydów do uprawianej odmiany kukurydzy.

Obserwacje uszkodzeń roślin odmian kukurydzy powstałych po zastosowaniu zalecanych dla jej ochrony herbicydów dokonano w doświadczeniach odmianowych prowadzonych w warunkach polowych zlokalizowanych na czarnych ziemiach należących do klasy IIIa, kompleksu pszennego dobrego, o pH 6,0-6,3 i zawartości próchnicy 2,6%, na mikropoletkach i w testach biologicznych.

W warunkach polowych herbicydy w zalecanych dawkach i terminach stosowano na poletkach obsianych wybranymi odmianami kukurydzy metodą równoważnych podbloków. Oceny fitotoksycznego działania herbicydu na kukurydzę dokonywano metodą bonitacyjną w 1, 2 i 3 tygodnie po aplikacji herbicydów, posługując się skalą 9° i opisując zaistniałe uszkodzenia. W okresie intensywnego wzrostu oraz po wykształceniu wiech mierzono wysokość roślin. Oceny wrażliwości badanych odmian kukurydzy na stosowane herbicydy dokonano na podstawie analiz fitotoksyczności środka, pomiarów wysokości roślin i ustalenia w czasie zbioru liczby roślin, liczby kolb, masy kolb, plonu ziarna i MTZ. Wyniki porównywano z obiektem nie traktowanym herbicydami. Plon ziarna i masę tysiąca ziaren przeliczono na 15% wilgotności.

Drugą serię badań wybranych odmian kukurydzy prowadzono w warunkach doświadczenia mikropoletkowego (wymiary poletek 1 m x 1 m, obsada roślin 8 szt. · m⁻¹), gdzie utrzymywano jednakowe parametry glebowe i nawozowe. Na podstawie analiz fitotoksyczności środka wykonywanych w 1-2 i 3-4 tygodnie po aplikacji oraz pomiarów wykonanych miernikiem LAI-2000 firmy LI-COR (USA) w fazie BBCH 45 i 65 kukurydzy, z podaniem wskaźnika powierzchni liści (LAI) i średniego kąta nachylenia liści (MTA), jak i pomiarów wysokości roślin, badano reakcję odmian kukurydzy na herbicydy i porównywano z wynikami otrzymanymi z doświadczeń polowych i testów biologicznych.

Doświadczenia testowe tych samych odmian kukurydzy przeprowadzano w warunkach szklarniowych o kontrolowanym poziomie wilgotności gleby, powietrza i temperatury. Na paletach do sadzonkowania roślin umieszczonych w kuwetach z wodą wysiane odmiany kukurydzy traktowano herbicydami w zalecanych dawkach i terminach. Metodą tego testu oceniano wpływ herbicydów na system korzeniowy roślin oraz opisywano objawy uszkodzeń kukurydzy w początkowym okresie jej rozwoju. Ustalano również wysokość roślin oraz zieloną i suchą masę.

Wyniki i dyskusja

W wieloletnich doświadczeniach odmianowych przebadano łącznie 184 mieszańce kukurydzy znajdujące się w rejestrze, w aspekcie ich tolerancji na powszechnie stosowane w praktyce herbicydy (tab. 1). Wśród nich ustalono 22 mieszańce wrażliwe na Milagro 040 SC (nicosulfuron), stwierdzono reakcję 25 mieszańców na Titus 25

WG (rimsulfuron) stosowany łącznie z adiuwantem, wykazano 17 mieszańców reagujących na Maister 310 WG z Actirobem 842 EC, 6 – o podwyższonej wrażliwości na Guardian 840 EC (acetochlor), 9 – na Aspect 500 SC (flufenacet + atrazyna), 12 – na Pardner 225 EC i Emblem 20 WG (bromoksynil), 14 – na Primextra Gold 720 EC (metolachlor + atrazyna), 8 – na Aminopielik Nowy Gold 450 EC (fluroksypyr + 2,4D), 5 – na Chwastox Turbo (MCPA + dicamba), 9 – na Merlin Super 537 SC (isoksaflutol + atrazyna), 11 – na Tazastomp 500 SC (pendimetalina + atrazyna) oraz 12 – na Mustang 306 SE (florasulam + 2,4D); (tab. 3-7).

Z danych literaturowych wiadomo, że jeżeli jedna z linii rodzicielskich mieszańca obciążona jest recesywnym genem wrażliwości na dany herbicyd, to w wyniku krzyżowania będzie on przekazywany dalszym pokoleniom. Jeżeli mieszaniec jest wrażliwy, to pomimo zastosowania herbicydu zgodnie z zaleceniami mogą wystąpić zabu-

Tabela 1

Charakterystyka herbicydów ocenianych w doświadczeniach w latach 1992–2006

Herbicyd	Nazwa i zawartość substancji aktywnej	Dawka na ha	Termin stosowania, faza rozwojowa kukurydzy
Tazastomp 500 SC	pendimetalina 300 g · l ⁻¹ + atrazyna 200 g · l ⁻¹	4,5 l	BBCH 11-12 w fazie od 1-2 liści
Guardian 840 EC	acetochlor 840 g · l ⁻¹	2,5 l	BBCH 11-12 w fazie od 1-2 liści
Aspect 500 SC	flufenacet 200 g · l ⁻¹ + atrazyna 300 g · l ⁻¹	2,5	BBCH 11-12 w fazie od 1-2 liści
Primextra 500	S-metolachlor 400 g · ha ⁻¹ + atrazyna 20 g · l ⁻¹	3,5 l	BBCH 11-12 w fazie od 1-2 liści
Pardner 225 EC	bromoksynil 225 g · l ⁻¹	1,3 l	BBCH 14-16 w fazie od 4-6 liści
Emblem 20 WP	bromoksynil 20%	2,0 kg	BBCH 14-16 w fazie od 4-liści
Aminopielik gold 530 EW	fluroksypyr 80 g · l ⁻¹ + 2,4 D 450 g · l ⁻¹	1,25 l	BBCH 14-15 w fazie od 4-5 liści
Chwastox Turbo 340 SL	MCPA 300 g · l ⁻¹ + dicamba 40 g · l ⁻¹	2,0 l	BBCH 15-16 w fazie od 5-6 liści
Merlin Super 537 SC	isoksaflutol 37,5 g · l ⁻¹ + atrazyna 500 g · l ⁻¹	1,5 l	BBCH 00 przedwschodowo
Mustang 306 SE	florasulam 6,25 g · l ⁻¹ + 2,4 D 452 g · l ⁻¹	0,6 l	BBCH 15-16 w fazie od 5-6 liści
Titus 25 WG + Trend 90 EC	rimsulfuron 15 g · l ⁻¹ + adiuwant	60 g	BBCH 13-14 w fazie od 3-4 liści
Milagro 040 SC	nikosulfuron 40 g · l ⁻¹	1,5 l	BBCH 13-14 w fazie od 3-4 liści
Maister 310 WG + Actirob 842 EC	foramsulfuron 300 g · kg ⁻¹ + jodosulfuron metylosodowy 10 g · kg ⁻¹ + izoksadifen etylowy 300 g · kg ⁻¹ + adiuwant	150 g + 2,0 l	BBCH 13-14 w fazie od 3-4 liści

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 2

Warunki pogodowe w sezonach wegetacyjnych 2003–2005

Lata	Suma temperatur i opadów (V-X)		Jednostki miary	Kwiecień		Maj			Czerwiec			
	ET* (°C)	opady (mm)		dekady								
				II	III	I	II	III	I	II	III	
2003	1887,6	537,6	°C	6,5	4,5	26,5	7,4	10,7	9,1	24,5	29,1	
			mm	13,2	12,3	8,8	9,5	12,1	15,1	16,1	16,6	
2004	1598,2	238,7	°C	12,7	12,1	8,6	8,1	14	12,6	21,3	22,8	
			mm	0	2,4	18	0,8	10	5,3	19	6,1	
2005	1695,4	417,7	°C	12	13,6	7,1	6,9	19	16,7	19,4	18,7	
			mm	30	3,5	51,8	19	62,9	23	32	55	

* suma średnich efektywnych temperatur, gdzie: $ET = 0,5 (temp. max. + temp. min.) - 6^{\circ}C$

Źródło: Wyniki badań ZEiZCH IUNG-PIB Wrocław z lat 2004–2005.

rzenia wzrostu i rozwoju roślin. U wielu mieszańców traktowanych herbicydami obserwowano charakterystyczne dla tych związków objawy fitotoksyczności, a szczególnie przebarwienie liści, zahamowanie wzrostu lub zmiany morfologiczne roślin i w końcowym efekcie 5% obniżenie plonów ziarna. Mechanizm działania herbicydów z grupy sulfonilomocznikowych (Titus 25 WG, Milagro 040 SC, Maister 310 WG) polega na zahamowaniu w komórce roślinnej syntezy enzymów niezbędnych do tworzenia aminokwasów. Natomiast wstrzymanie podziału komórek wzrostu łodygi i korzeni prowadzi do zahamowania wzrostu (2,4 D). Procesy te mogą zachodzić zarówno w komórkach wrażliwych gatunków chwastów, jak również u odmian kukurydzy wykazujących niską tolerancję na te substancje.

Charakterystycznymi symptomami uszkodzeń przez nicosulfuron (Milagro 040 SC) jest żółte zabarwienie liści, szczególnie od wewnętrznej strony, ich pomarszczenie oraz zahamowany wzrost i rozwój roślin. Opisane wyżej zmiany na roślinach zaobserwowano u mieszańców Ola, Mieszko i Reduta firmy hodowlanej HR Smolice. Stwierdzono także redukcję systemu korzeniowego u odmiany Limko firmy Nasiona Kobierzyc – w niewielkim stopniu uszkodzanej w doświadczeniu polowym i u odmiany Reduta traktowanych tym herbicydem w warunkach szklarniowych (tab. 3).

Rimsulfuron (Titus 25 WG) u chwastów i wrażliwych odmian kukurydzy powoduje zahamowanie stożka wzrostu, zredukowanie masy korzeni oraz zabarwienie ceglaste lub szkarłatne łodygi i liści. Może wystąpić także deformacja roślin. Typowe uszkodzenia spowodowane przez Titus 25 WG występują u odmian: Melina – firmy Pioneer, Baca – Hodowli Smolickiej oraz Koka. Wrażliwość tych odmian w postaci silnego zdeformowania systemu korzeniowego została potwierdzona testem biologicznym (tab. 3).

Najpóźniej wprowadzony do praktyki herbicyd z grupy sulfonilomocznika to Maister 310 WG (foramsulfuron + jodosulfuron metylosodowy). Także i on nie jest obojętny dla wielu mieszańców kukurydzy. W tym przypadku stwierdza się zahamowanie wzrostu odmian wrażliwych, prowadzące do wylegania i deformacji roślin oraz obni-

Tabela 3

Reakcja odmian kukurydzy na herbicydy z grupy sulfonilomocznikowych w warunkach doświadczeń polowych i szklarniowych

Firmy hodowlane	Liczba badanych odmian	Liczba odmian z objawami uszkodzeń, reagujących obniżeniem plonu* lub wysokości roślin (...) na herbicyd					
		Titus 25 WG + Trend 90 EC		Milagro 040 SC		Maister 310 WG + Actiob 842 EC	
		dośw. polowe	testy szklarn.	dośw. polowe	testy szklarn.	dośw. polowe	testy szklarn.
Nasiona Kobierzyc	9	*4 (1)	3	*8(4)	7	*2 (1)	2
Hod. Roślin Smolice	17	*6 (0)	6	*3 (1)	3	*4 (1)	3
Pioneer	14	*4 (2)	3	*1 (0)	1	*2 (0)	1
Limagrain	11	*3 (0)	2	*1 (1)	1	*1 (1)	1
Mais Angevin	8	*1 (1)	1	*1 (0)	1	*2 (1)	1
Saaten Union	8	*1 (0)	1	*0 (0)	0	*0 (0)	0
Syngenta	5	*1 (0)	0	*2 (1)	1	*2 (0)	2
KWS	9	*4 (1)	3	*2 (0)	2	*2 (0)	2
OSEVA	4	*0 (0)	0	*1 (0)	1	*1 (0)	1
RAGT	6	*1 (1)	1	*2 (1)	2	*1 (0)	1
Razem	91	25	20	22	19	17	14

* obniżenie plonu ziarna lub (...) wysokości roślin więcej niż o 5% w porównaniu z obiektem nie traktowanym herbicydem

Źródło: Wyniki badań ZEiZCH IUNG-PIB Wrocław z lat 1992–2006.

Tabela 4

Reakcja odmian kukurydzy na herbicydy z grupy fenoksykwasów w warunkach doświadczeń polowych i szklarniowych

Firmy hodowlane	Liczba badanych odmian	Liczba odmian z objawami uszkodzeń, reagujących obniżeniem plonu* lub wysokości roślin (...) na herbicyd					
		Aminopielik Gold 530 EW		Mustang 306 SE		Chwastox Turbo 340 SL	
		dośw. polowe	testy szklarn.	dośw. polowe	testy szklarn.	dośw. polowe	testy szklarn.
Nasiona Kobierzyc	9	*2 (1)	1	*3 (2)	2	*0 (0)	0
Hod. Roślin Smolice	11	*2 (2)	2	*1 (1)	1	*2 (2)	2
Pioneer	9	*1 (0)	1	*0 (0)	2	*0 (0)	0
Limagrain	11	*0 (0)	0	*2 (2)	1	*1 (1)	1
Mais Angevin	4	-	-	-	-	*1 (1)	1
Saaten Union	2	*0 (0)	0	*0 (0)	0	*0 (0)	0
Syngenta	3	*1 (1)	1	*3 (2)	1	-	-
KWS	5	*1 (1)	0	*2 (2)	2	*1 (1)	1
OSEVA	1	*0 (0)	0	*1 (1)	1	-	-
RAGT	4	*1 (1)	0	*0 (0)	0	-	-
Razem	59	8	5	12	10	5	5

* obniżenie plonu ziarna lub (...) wysokości roślin więcej niż o 5% w porównaniu z obiektem nie traktowanym herbicydem

Źródło: Wyniki badań ZEiZCH IUNG-PIB Wrocław z lat 1992–2006.

żenia plonu. Najsilniej reagowała na jego działanie odmiana Clarica – firmy hodowlanej Pioneer, co potwierdziły obserwacje fitotoksyczności w warunkach kontrolowanych (tab. 3).

Acetochlor z grupy acetanilidów (Guardian 840 EC) pobierany przez korzenie i liście kielkujących chwastów hamując syntezę białka jest przyczyną ich zamierania. Na wrażliwych odmianach kukurydzy obserwowano przejściowe odbarwienie liści, zahamowanie wzrostu oraz niekiedy zwijanie się liści w tzw. pastorał. Przykład może stanowić mieszaniec Reduta, u którego oprócz tych objawów obserwowano wyraźnie zredukowany system korzeniowy roślin rosnących w warunkach szklarniowych (tab. 5).

Do herbicydów z tej samej grupy podobnie oddziałujących na wrażliwe mieszańce kukurydzy można zaliczyć Primextra Gold 720 SC, a szczególnie jego składnik S-metolachlor. W doświadczeniach polowych zaobserwowano uszkodzenia odmiany Galix – firmy KWS (tab. 5).

Benzonitryle, a wśród nich Pardner 225 EC i Emblem 20 WP, u wrażliwych mieszańców kukurydzy powodują nekrotyczne uszkodzenia, kropliste przebarwienia liści oraz sparcenie ich końców i brzegów. Przykładem takiej reakcji są odmiany Kosmo – Nasiona Kobierzyc i Caraibe – firmy Cargill oraz Diana – KWS (tab. 6).

Pochodne kwasów fenoksyoctowych, których przedstawicielem jest Aminopielik Gold 530 EW i Chwastox Turbo 340 SL u mieszańców kukurydzy o niskiej tolerancji na te związki może wystąpić po ich zastosowaniu zwijanie się liści, obniżenie turgoru

Tabela 5

Reakcja odmian kukurydzy na herbicydy z grupy acetanilidów w warunkach doświadczeń polowych i szklarniowych

Firmy hodowlane	Liczba badanych odmian	Liczba odmian z objawami uszkodzeń, reagujących obniżeniem plonu* lub wysokości roślin (...) na herbicyd					
		Primextra Gold 720 SC		Guardian 840 EC		Aspect 500 SC	
		dośw. polowe	testy szklarn.	dośw. polowe	testy szklarn.	dośw. polowe	testy szklarn.
Nasiona Kobierzyc	9	*4 (1)	2	*1 (0)	1	*2 (1)	0
Hod. Roślin Smolice	12	*2 (1)	1	*1 (0)	1	*1 (1)	0
Pioneer	10	*1 (0)	1	*1 (0)	0	*1 (0)	0
Limagrain	11	*0 (0)	0	*1 (0)	0	*1 (1)	0
Mais Angevin	6	*1 (1)	1	*0 (0)	0	*0 (0)	0
Rustica	8	*1 (0)	0	*0 (0)	0	*0 (0)	0
Syngenta	3	*1 (0)	0	*1 (0)	1	*1 (0)	0
KWS	5	*1 (0)	1	*2 (0)	1	*2 (0)	2
Monsanto	4	*2 (1)	1	*0 (0)	0	*1 (1)	1
OSEVA	2	*1 (0)	0	*0 (0)	0	*0 (0)	0
Razem	70	14	6	6	3	9	3

* obniżenie plonu ziarna lub (...) wysokości roślin więcej niż o 5% w porównaniu z obiektem nie traktowanym herbicydem

Źródło: Wyniki badań ZEiZCH IUNG-PIB Wrocław z lat 1992–2006.

Tabela 6

Reakcja odmian kukurydzy na herbicydy z grupy hydroksybenzonitryli w warunkach doświadczeń polowych i szklarniowych

Firmy hodowlane	Liczba badanych odmian	Liczba odmian z objawami uszkodzeń, reagujących obniżeniem plonu* lub wysokości roślin (...) na herbicyd			
		Pardner 225 EC		Emblem 20 WP	
		dośw. polowe	testy szklarn.	dośw. polowe	testy szklarn.
Nasiona Kobierzyc	3	*2 (1)	-	*1 (0)	-
Hod. Roślin Smolice	5	*2 (0)	-	*2 (0)	-
Pioneer	4	*1 (0)	-	*1 (0)	-
Limagrain	5	*0 (0)	-	*1 (0)	-
Mais Angevin	3	*0 (0)	-	*0 (0)	-
Saaten Union	brak badań	-	-	-	-
Syngenta	2	*0 (0)	-	*1 (0)	-
KWS	3	*0 (0)	-	*1 (0)	-
OSEVA	brak badań	-	-	-	-
RAGT	brak badań	-	-	-	-
Razem	25	5	-	7	-

* obniżenie plonu ziarna lub (...) wysokości roślin więcej niż 5% w porównaniu z obiektem nie traktowanym herbicydem

Źródło: Wyniki badań ZEiZCH IUNG - PIB Wrocław z lat 1992–2006.

roślin, a nawet ich wyleganie. Zmiany te często są przejściowe, lecz zahamowanie w tym czasie wzrostu i rozwoju roślin prowadzi do obniżenia plonowania. Silne uszkodzenia obserwowano na odmianie Wiarus – HR Smolice traktowanej Aminopielikiem Gold 530 EW w warunkach polowych oraz uszkodzenia jej systemu korzeniowego stwierdzone testem biologicznym (tab. 4).

Typowymi symptomami uszkodzeń roślin po aplikacji herbicydu Merlin Super 537 SC (isoksafkutel + atrazyna) było silne odbarwienie liści i zahamowanie wzrostu roślin. Często objawy te były przemijające, jednak u polskich odmian Limko i Fido prowadziły do znacznych zniżeń w plonie ziarna (tab. 7).

Mustang 306 SE (florasulam + atrazyna) może u niektórych odmian powodować skręcanie się liści, co utrudnia wyrzucanie wiech, opóźnianie pylenia i zahamowanie wzrostu. Skutkiem tych deformacji może być wykształcenie drobnych nasion o obniżonej MTZ. Utrzymujące się aż do zbioru uszkodzenia w postaci zwiniętych liści flagowych zanotowano u odmian Fatima firmy Syngenta i LG 3226 – firmy Limagrain. Odmiany te w podobny sposób reagowały zarówno w warunkach polowych, jak i na mikropoletkach oraz w testach biologicznych. Zmiany morfologiczne roślin na skutek fitotoksycznego oddziaływania tego herbicydu spowodowały zahamowanie wzrostu roślin, zmniejszenie liczby kolb oraz istotne obniżenie plonu kolb i ziarna sięgające 42%. Wrażliwość wszystkich badanych odmian na stosowane herbicydy wykazaną w warunkach polowych potwierdzają niskie indeksy LAI – powierzchni liści i wysokie MTA – kąta ich nachylenia stwierdzone na podstawie pomiarów dokonanych

Tabela 7

Reakcja odmian kukurydzy na herbicydy z grupy toluidyn i isoksazoli w warunkach doświadczeń polowych i szklarniowych

Firmy hodowlane	Liczba badanych odmian	Liczba odmian z objawami uszkodzeń, reagujących obniżeniem plonu* lub wysokości roślin (...) na herbicyd			
		Tazastomp 500 SC		Merlin Super 537 SC	
		dośw. polowe	testy szklarn.	dośw. polowe	testy szklarn.
Nasiona Kobierzyc	9	*1 (1)	1	*2 (2)	2
Hod. Roślin Smolice	7	*2 (0)	1	*2 (1)	1
Pioneer	6	*3 (0)	2	*1 (0)	0
Limagrain	5	*0 (0)	0	*1 (0)	0
Mais Angevin	brak badań	-	-	-	-
Saaten Union	8	*1 (0)	0	*0 (0)	0
Syngenta	3	*1 (0)	0	*1 (1)	1
KWS	4	*3 (2)	2	*2 (1)	1
OSEVA	brak badań	-	-	-	-
RAGT	brak badań	-	-	-	-
Razem	42	11	6	9	5

* obniżenie plonu ziarna lub (...) wysokości roślin więcej niż o 5% w porównaniu z obiektem nie traktowanym herbicydem

Źródło: Wyniki badań ZEiZCH IUNG - PIB Wrocław z lat 1992–2006.

w warunkach doświadczeń mikropoletkowych. W tabelach 8 i 9 przedstawiono przykład fitotoksycznego oddziaływania herbicydów Titus 25 WG + Trend 90 EC i Mustang 306 SE na odmiany Fatima i Blask – Hodowli Smolickiej, potwierdzone wskaźnikami powierzchni i kąta nachylenia liści oraz ich wpływem na plonowanie roślin.

Uszkodzone i zdeformowane rośliny są siedliskiem wielu chorób grzybowych i są częściej atakowane przez szkodniki – ploniarke zbożówkę i omacnicę prosowiankę. Skutkiem tych deformacji może być wykształcanie drobnych nasion o obniżonej MTZ oraz istotny spadek plonu suchej masy.

Fitotoksyczne oddziaływanie herbicydów na badane mieszańce kukurydzy zacho-
dziło w zróżnicowanych warunkach pogodowych występujących w poszczególnych latach. Przyjmując, że kukurydza do uzyskania fazy dojrzałości pełnej wymaga średnio 1450 jednostek cieplnych można stwierdzić, że w badanych okresach wegetacyjnych suma temperatur pozwoliła na uzyskanie pełnej dojrzałości przez odmiany kukurydzy (6, 12). Czynnikiem stresowym zakłócającym rozwój kukurydzy jest najczęściej deficyt wody i niskie temperatury w okresie wczesnowiosennym. Dotkliwy niedobór opadów notowano w latach 1995 i 2003, w których na początku maja wystąpiła susza, a jednocześnie stwierdzono wysokie temperatury w okresie aplikacji herbicydów. W warunkach stresu wywołanego niedoborem wody w glebie wschody roślin były opóźnione i nierównomierne, nastąpił również wzrost fitotoksycznego oddziaływania herbicydów na wiele mieszańców kukurydzy. W latach 2004 i 2005 długotrwały okres niskich temperatur wiosną (5°C) oraz duże ich różnice dobowe prowadziły do wydłu-

Tabela 8

Fitotoksyczność herbicydów potwierdzona wskaźnikami LAI i MTA

Herbicyd	Dawka g, l · ha ⁻¹	Odmiana Fatima FAO 270 – wrażliwa									
		2003					2004				
		F		LAI	MTA		F		LAI	MTA	
Obiekt kontrolny	-	1	-	3,2	45	1			2,6	43	1
Titus 25 WG + Trend 90 EC	60 g + 0,1%	3-4	deformacje roślin, chloroza liści, zasychanie liści, odbarwienia	2,8	48	4	deformacje roślin, chloroza liści, zasychanie liści, odbarwienia		2,4	47	2-3
	120 g + 0,1%	5		2,3	52	5-6			2,2	50	4
Mustang 306 EC	0,6 dm ³	4	silne zah. wzrostu, związanie liści, deformacje, wyleganie	2,4	51	5	silne zah. wzrostu, związanie liści, deformacje, wyleganie		2,4	50	3
	1,2 dm ³	6-7		2,1	56	7			1,8	53	3
Odmiana Blask FAO 220 – tolerancyjna											
Obiekt kontrolny	-	1	-	3,3	40	1	-		3,1	41	1
Titus 25 WG + Trend 90 EC	60 g + 0,1%	1	lekka chloroza liści, odbarwienia	3,6	38	1-2	lekka chloroza liści, odbarwienia		3,3	46	1
	120 g + 0,1%	1-2	lekkie zah. wzrostu, lekkie związanie liści	3,4	35	2	lekkie zah. wzrostu, lekkie związanie liści		3,1	44	2
Mustang 306 EC	0,6 dm ³	2	lekkie zah. wzrostu, lekkie związanie liści	3,3	37	2-3	lekkie zah. wzrostu, lekkie związanie liści		3,2	39	1-2
	1,2 dm ³	3		3,3	40	3			2,9	41	3
Odmiana Blask FAO 220 – tolerancyjna											
Obiekt kontrolny	-	1	-	3,3	40	1	-		3,1	41	1
Titus 25 WG + Trend 90 EC	60 g + 0,1%	1	lekka chloroza liści, odbarwienia	3,6	38	1-2	lekka chloroza liści, odbarwienia		3,3	46	1
	120 g + 0,1%	1-2	lekkie zah. wzrostu, lekkie związanie liści	3,4	35	2	lekkie zah. wzrostu, lekkie związanie liści		3,1	44	2
Mustang 306 EC	0,6 dm ³	2	lekkie zah. wzrostu, lekkie związanie liści	3,3	37	2-3	lekkie zah. wzrostu, lekkie związanie liści		3,2	39	1-2
	1,2 dm ³	3		3,3	40	3			2,9	41	3

Objaśnienia: F – objawy fitotoksyczności; LAI – indeks powierzchni liścia; MTA – indeks kąta nachylenia liści
 Źródło: Wyniki badań ZEIZCH IUNG-PIB Wrocław z lat 2003–2005.

Tabela 9

Wpływ fitotoksycznego oddziaływania herbicydów na wzrost, obsadę i niektóre parametry plonu kukurydzy

Odmiana	Herbicyd	Dawka	Wysokość roślin (cm)	Liczba roślin (szt. · ha ⁻¹)	Liczba kolb (szt. · ha ⁻¹)	Plon kolb (t · ha ⁻¹)	Plon ziarna (t · ha ⁻¹)	MTZ (g)		
Fatima FAO 270	obiekt kontrolny	-	275	75 555	77 255	12,23	10,78	342,0		
		60 g + 0,1%	235	62 333	60 555	10,15	9,91	321,1		
	Tius 25 WG + Trend 90 EC	120 g + 0,1%	215	55 433	58 000	8,56	8,56	312,9		
		0,6 dm ³ + 0,1%	210	52 666	52 000	9,03	8,45	276,0		
		1,2 dm ³ + 0,1%	200	50 485	51 255	7,42	6,35	257,0		
		obiekt kontrolny	-	265	71 111	74 099	14,01	9,97	342,8	
Blask FAO 220	Tius 25 WG + Trend 90 EC	60 g + 0,1%	260	71 440	74 000	14,87	10,52	342,3		
		120 g + 0,1%	250	70 330	73 722	12,84	9,97	344,1		
	Mustang 306 EC	0,6 dm ³ + 0,1%	245	70 355	74 230	10,56	9,55	300,1		
		1,2 l + 0,1%	230	70 155	74 000	9,50	9,30	290,0		
									NIR _{0,05}	0,987

Źródło: Wyniki badań ZEiZCH IUNG-PIB Wrocław z lat 2003–2005.

żenia okresu kiełkowania nasion do około 22 dni. W tych warunkach pogodowych wiele mieszańców reagowało silnym stresem na chłody, co powodowało, że w okresie stosowania herbicydów były w gorszej kondycji. Dodatkowo w 2004 roku oprócz niskich temperatur (maj i czerwiec) wystąpiła susza, a w 2005 r. zbyt duże uwilgotnienie, co spowodowało nasilenie uszkodzeń u wrażliwych odmian kukurydzy. W 2006 roku w okresie kwitnienia kukurydzy wystąpiła susza, nie mająca wpływu na fitotoksyczność aplikowanych herbicydów. Pozostałe lata charakteryzowały się warunkami pogodowymi sprzyjającymi rozwojowi kukurydzy w rejonie Dolnego Śląska (tab. 2).

Badanie reakcji tych samych odmian kukurydzy w warunkach laboratoryjnych na podstawie testów biologicznych pozwala wykluczyć czynniki pogodowe i w sposób kontrolowany obserwować oddziaływanie herbicydów na odmiany różniące się między sobą genetycznie, co decyduje o ich wrażliwości na substancje biologicznie czynne zawarte w środkach chwastobójczych. W wielu przypadkach testy biologiczne potwierdziły wrażliwość odmian, jednak były to uszkodzenia słabsze i szybciej przemijające, a rośliny były w mniejszym stopniu zdeformowane. Również wrażliwość odmian badana w warunkach doświadczeń mikropoletkowych z wykorzystaniem indeksów LAI (powierzchnia liści) i MTA (kąt nachylenia liści) potwierdzają, że uszkodzenia roślin badanych odmian powstały na skutek fitotoksycznego oddziaływania herbicydów. Podobne objawy uszkodzeń mogą być wywoływane innymi czynnikami fizykochemicznymi, np.: brakiem lub nadmiarem mikroelementów, uszkodzeniami po zastosowaniu nawozów wieloskładnikowych, żerowaniem szkodników (np. ploniarki zbożówki) lub porażeniem przez choroby grzybowe (tab. 10); (1). Stąd badania prowadzone nad reakcją odmian kukurydzy w warunkach polowych i kontrolowanych pozwalają wykluczyć inne czynniki i jednoznacznie określić skutki oddziaływania środ-

Tabela 10

Podobieństwo uszkodzeń kukurydzy spowodowane przez różne czynniki

Zastosowany herbicyd z grupy	Podobne uszkodzenia powodują	
	herbicydy	inne czynniki
Sulfonulomocznikowych Titus 25 WG Milagro 040 SC	Banvel 480 SL	niedobór fosforu stres wodny ploniarka zbożówka
Acetanilidów Dual 720 EC Guardian 840 EC	Banvel 480 SL Eradicane 6,7 E	głęboki siew zaskorupienie gleby opady nadmierne temperatury niskie
Benzonitryli Pardner 225 EC Emblem 20 WP	Reglone 200 SL Bladex 50 WP	oparzenia słoneczne desykacja nawozy płynne (mocznik, RSM) bakteryjna plamistość liści

Źródło: Wyniki badań ZEiZCH IUNG-PIB Wrocław z lat 1992–2006.

Tabela 11

Wrażliwość odmian kukurydzy różnych firm hodowlanych na herbicydy w warunkach doszyczeń polowych i szklarniowych

Firmy hodowlane	Liczba badanych odmian	Odmiany kukurydzy wrażliwe na herbicydy z objawami uszkodzeń prowadzącymi do obniżenia plonu ziarna				
		grupa sulfonilomoczników	grupa fenoksykwasów	grupa acetanilidów	grupa hydroksybenzoniitryli	grupa toolidyn i isoksazoli
		Titus 25 WG + Trend 90 EC Mtlargo 040 SC Maister 310 WG + Actirob 842 EC	Aminopielik Gold 530 EW Mustang 306 SE Chwastox Turbo 340 SL	Primextra Gold 720 SC Guardian 840 EC Aspect 500 SC	Pardner 225 EC Emblem 20 WP	Tazastomp 500 SC Merlin Super 537SC
Nasiona Kobierzyc	12	Koka, Duet, Kometa, KLG 2210, Ola, Limko, Król	Kosmo 230, Limko	Kier, Król	Kosmo	Król, Limko
H.R. Smolice	20	Hermes, Nimba, Mieszko, Reduta, Baca, San,	San, Wiarus	Reduta	–	Grom
Pioneer	16	Mona, Melina, Clarica	Costella, PR 39H32,	Matilda	–	Valuta, Felicja
Limagrain	21	Alarik, Aladin,	LG 3252	–	–	–
Mais Angevin	8	An Jou 235	An Jou 219	An Jou 2228	–	–
Saaten Union	10	Electra	–	–	–	–
Syngenta	15	Fatima, Magister	Fatima	Marignan	–	Magister
KWS	11	Icane, Elsa, Dragon	Fart, Dragon	Galix, Elsa	Diana	–
Oseva	5	Celux	Celux	–	–	–
Ragt	4	Kolbo, Marquis	–	–	–	–
Cargill	6	–	–	–	Carabe	–
IHR Radzików	5	–	–	–	–	–
Montanto	5	–	–	–	–	–
Rustica	11	–	–	–	–	–
Cop de Pau	8	–	–	–	–	–
SWS	9	–	–	–	–	–
Advanta	9	–	–	–	–	–
DLG Polska	9	–	–	–	–	–
Razem	184	nie stwierdzono wrażliwości badanych odmian	nie stwierdzono wrażliwości badanych odmian	nie stwierdzono wrażliwości badanych odmian	nie stwierdzono wrażliwości badanych odmian	nie stwierdzono wrażliwości badanych odmian

Źródło: Wyniki badań ZEIZCH IUNG-PIB Wrocław z lat 1992–2006.

ków chwastobójczych. Na podstawie takich badań możliwe jest wskazanie wrażliwych odmian kukurydzy na herbicydy z różnych grup chemicznych (tab. 11).

Podsumowanie

1. Tolerancja kukurydzy na określony herbicyd jest jej cechą odmianową i obniża się w warunkach niekorzystnego przebiegu pogody, szczególnie w okresie wiosennym, gdy występują wysokie temperatury i niedostateczne uwilgotnienie.
2. Poddane ocenie (w latach 1992–2006) herbicydy powodowały uszkodzenia niektórych odmian kukurydzy wykazujących niską tolerancję na zawarte w preparatach substancje biologicznie czynne.
3. Zmiany morfologiczne pojawiające się po zastosowaniu herbicydów Titus 25 WG, Milagro 040 SC i Maister 310 WG z tej samej grupy chemicznej oraz Aminopielik Gold 530 EW i Mustang 306 WG z zawartością substancji czynnej 2,4 D w przypadku mieszańców wrażliwych były trwałe i wpływały istotnie na wielkość uzyskanych plonów zarówno kolb, jak i ziarna.
4. W wyniku aplikowania innych herbicydów stwierdzono pojawianie się w różnym nasileniu fitotoksycznych uszkodzeń typu odbarwienia, plamistość i staśmienia liści, deformacje roślin lub początkowe zahamowania wzrostu u mieszańców z obniżoną tolerancją, co prowadziło do obniżenia wysokości roślin. Często objawy te były przemijające i nie miały istotnego wpływu na obniżenie plonu i pogorszenie jego jakości.

Literatura

1. Adamczyk J., Rogacki J., Cygert H.: Czynniki ograniczające plonowanie kukurydzy **wkresie** **wegetacji**. *Pam. Puł.*, 2004, **140**: 127-136.
2. Gołębiowska H.: Oddziaływanie herbicydów na wzrost, rozwój i plonowanie mieszańców kukurydzy w zależności od warunków pogodowych. *Pam. Puł.*, 2002, **130/1**: 223-231.
3. Gołębiowska H.: Wpływ herbicydów na skład aminokwasów w ziarnie kukurydzy. *Biul. Nauk., UW-M Olsztyn*, 2000, **12**: 57-65.
4. Green J. M., Ulrich J. F.: Response of corn (*Zea mays*) inbreds and hybrids to sulfonylurea herbicides. *Weed Sci.*, 1993, **41**: 508-516.
5. Rola H.: Oddziaływanie fitotoksyczne niektórych herbicydów na odmiany kukurydzy. *Ochr. Rośl.*, 2003, **3**: 9-11.
6. Gołębiowska H., Rola H.: The influence of weather conditions on selectivity of sulfonylurea herbicides to the selected maize varieties. *J. Plant Prot. Res.*, 2003, **43(2)**: 219-224.
7. Rola H.: Reakcja odmian kukurydzy na herbicydy sulfonilomocznikowe. *Kukurydza*, 2003, **1**: 28-30.
8. Rola H., Rola J., Król Z.: Nowe kierunki chemicznego zwalczania chwastów w kukurydzy. *Mat. 28 Sesji Nauk., IOR Poznań*, 1987, cz. **2**: 47-55.
9. Rola H., Rola J.: Badania nad chemicznym odchwaszczaniem kukurydzy z ograniczeniem triazyn. *Mat. 30 Sesji Nauk., IOR Poznań*, 1990, cz. **1**: 121-29.
10. Rola H.: DPX 9636 – nowy herbicyd do powschodowego odchwaszczania kukurydzy. *Mat. 31 Sesji Nauk., IOR Poznań*, 1991, cz. **2**: 137-140.

11. R o l a H.: Wrażliwość odmian kukurydzy na Preparat Titus 25 DF. Mat. 35 Sesji Nauk., IOR Poznań, 1995, cz. **2**: 274-277.
12. M i c h a l s k i T., S u l e w s k a H., W a l i g ó r a H., D u b a s A.: Reakcja odmian kukurydzy uprawianej na ziarno na zmienne warunki pogodowe. Roczn. Nauk Rol., 1996, A, **112(1-2)**: 103-111.

Adres do korespondencji:

dr Hanna Gołębiowska
prof. dr hab. Henryka Rola
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli
IUNG-PIB
ul. Orzechowa 61
50-540 Wrocław
tel. (071) 363 87 07
e-mail: h.golebiowska@iung.wroclaw.pl

Hanna Gołębiowska, Tomasz Snopeczyński

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

SYSTEMY REGULACJI ZACHWASZCZENIA NA PLANTACJACH
KUKURYDZY JAKO ALTERNATYWA DLA WYCOFYWANYCH
TRIAZYN*

Wstęp

Zmiany zachodzące w ostatnich latach w technologii produkcji kukurydzy, zwłaszcza uproszczenia uprawowe, duże wysycenie płodozmianów zbożami oraz korzystny dla rozwoju chwastów układ pogodowy w latach 2003–2005 doprowadziły do pojawienia się nietypowych dla tej uprawy gatunków chwastów: *Descurainia sophia*, *Galium aparine* i *Sinapis arvensis*. Spotykano też gatunki zimujące, takie jak: *Anthemis arvensis* i *Veronica persicaria*, trudno usuwalne zalecanymi dla kukurydzy środkami ochrony roślin oraz gatunki ciepłolubne, na ogół późnowschodzące: *Aethusa cynapium*, *Amaranthus retroflexus*, *Setaria ssp.* i *Solanum nigrum*.

Celem nowoczesnej ochrony roślin uprawnych przed chwastami powinno być racjonalne ograniczanie ich konkurencji w łanie z zastosowaniem metod integrowanych, w tym również odpowiednio dobranymi herbicydami (3). W przypadku kukurydzy chwasty z jej zasiewów powinno się jak najwcześniej eliminować i pozostawiać plantację czystą aż do zbioru. Zadanie to przez wiele lat z dużym powodzeniem spełniały herbicydy zawierające związki z grupy triazyn. Są to środki skuteczne w zwalczaniu wielu gatunków chwastów, a zarazem selektywne w stosunku do rośliny uprawnej. Oprócz tego występuje możliwość łączenia ich z innymi herbicydami, co pozwala zwiększać spektrum działania i na długo zabezpieczać plantację przed zachwaszczeniem, nawet w późniejszych okresach wegetacji. Istotnym powodem wejścia ich do szerokiej praktyki rolniczej była przystępna, niska cena. Po przeszło 50 latach ich ciągłego stosowania, często w zbyt wysokich dawkach, dostrzeżono negatywne skutki triazyn dla środowiska. Okazało się, że z czasem nastąpiło uodparnianie się gatunków chwastów wrażliwych oraz kompensacja gatunków średnio wrażliwych i odpornych (1, 4). Długi okres zalegania w glebie uniemożliwiał wprowadzanie do uprawy roślin następczych nie tolerujących triazyn. Ponadto analizy chemiczne wykazały obecność triazyn i produktów ich rozpadu w wodach gruntowych (5). Badania laboratoryj-

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.4 w programie wieloletnim IUNG - PIB

ne oraz analiza środowiska naturalnego dowiodły, że nawet niewielkie ilości atrazyny (0,1 ppb) mogą negatywnie oddziaływać na niektóre gatunki płazów, powodując hermafrodytyzm i opóźniony rozwój gonad (2).

Na podstawie monitoringu środowiska Komitet Naukowy ds. Roślin UE uznał, że atrazyna oraz produkty jej rozpadu przekraczające limity ($0,1 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$), określone w załączniku Dyrektywy Rady 91/414/EWG, powodują niedopuszczalne skażenie wód podziemnych. W wyniku tego dnia 10 marca 2004 r. została podjęta decyzja Komisji Wspólnot Europejskich o wykluczeniu atrazyny z załącznika I dyrektywy Rady 91/414/EWG, zawierającego spis substancji czynnych możliwych do wykorzystania w środkach ochrony roślin oraz cofnięcia zezwoleń na środki zawierające tę substancję do dnia 10 września 2004 r. Ze względu na powszechne stosowanie atrazyny oraz jej szerokie spektrum działania, w celu uniknięcia luk w programach ochrony roślin, Komisja umożliwiła niektórym krajom członkowskim (w tym Polsce) warunkowe utrzymanie w mocy zezwolenia na środki zawierające atrazynę do dnia 30 czerwca 2007 roku. Ze względu na możliwość stosowania wielu innych substancji aktywnych do odchwaszczania kukurydzy wycofanie triazyn nie będzie powodowało ograniczeń w odchwaszczaniu tej rośliny zarówno w okresie przed wschodami, jak i powstoschodowo (tab. 1).

Dobre efekty zwalczania chwastów w terminie przedwschodowym można uzyskać stosując herbicydy zawierające acetochlor, takie jak Guardian 840 EC czy Trophy 768 EC. Środki te umożliwiają utrzymywanie czystej plantacji jeśli zostaną zastosowane na dobrze uprawioną i o odpowiedniej wilgotności glebę. Często dla wzmocnienia efektu chwastobójczego stosuje się po siewie Roundup Energy 450 SL. Lista herbicydów stosowanych w terminie powstoschodowym jest bogatsza ze względu na większe bezpieczeństwo dla środowiska i rozpoznane zbiorowisko chwastów. Przez szereg lat wysoką skuteczność chwastobójczą wykazywały środki z grupy pochodnych sulfonilomocznika zarówno na gatunki jedno-, jak i dwuliścienne (np. rimsulfuron, foramsulfuron + jodosulfuron, nikosulfuron). Kilkuletnie obserwacje zbiorowisk chwastów na polach uprawnych Dolnego Śląska, potwierdzone testami laboratoryjnymi, udowodniły pojawianie się ekotypów uodpornionych, które jeszcze kilka lat temu były skutecznie zwalczane (tab. 2). Sposobem rozwiązania tego problemu jest zastosowanie mieszanin herbicydów lub ich częste rotacje.

Metodyka badań

W latach 2004–2006 w Zakładzie Ekologii i Zwalczania Chwastów IUNG we Wrocławiu przeprowadzono prace mające na celu dobór środków chwastobójczych, pozostających na liście dopuszczonych do obrotu, jako skuteczną alternatywę dla wycofywanych triazyn. Doświadczenia zakładano metodą losowanych bloków na trzech typach gleby: na madzie, należącej do kompleksu pszennego dobrego, na glebie brunatnej zakwalifikowanej do kompleksu żytniego dobrego oraz na glebie płowej, należącej do kompleksu żytniego słabego. Nawożenie oraz zabiegi ochrony roślin przeciwko szkodnikom i chorobom prowadzono zgodnie z aktualnymi zaleceniami agro-

Tabela 1

Alternatywne herbicydy w stosunku do atrazyny, pozostające na liście środków dopuszczonych do obrotu w uprawie kukurydzy

Alternatywne herbicydy (s.a.; dawki lub stężenia)	Termin aplikacji – faza rozwojowa
Herbicydy z grupy sulfonilomocznikowych: Milagro 040 SC (nicosulfuron – $40 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$) Titus 25 WG + Trend 90 EC (rimsulfuron – 25% + etoksylogowany alkohol izodecylowy – 90%) Maister 310 WG + Actirob 842 EC (foramsulfuron – $30 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ + jodosulfuron metylosodowy – $1 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ + izoksadifen etylowy – $30 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$) Refine 75 WG + Trend 90 EC (tifensulfuron metylowy – 75% + etoksylogowany alkohol izodecylowy – 90 g)	BBCH – 12-17 faza 2-7 liści kukurydzy
Herbicyd z grupy trójketonów: Callisto 100 SC (mezotrione – $100 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$)	BBCH – 14-15 faza 4-5 liści kukurydzy
Herbicydy z grupy acetanilidów: Trophy 768 EC (acetochlor – $768 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ + dichloroamid – $128 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$) Guardian 840 EC (acetochlor – $840 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ + furylazor) Dual Gold 960 EC (S-metolachlor)	BBCH – 00-09 przedwschodowo
Herbicyd z grupy toluidyn: Stomp 400 SC (pedimethalina – $400 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$)	BBCH – 00-11 przedwschodowo, do fazy 1 liścia
Herbicyd z grupy izoksazoli: Merlin 750 WG (isoksafutol – $750 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$)	BBCH – 00-09 przedwschodowo
Herbicydy z grupy hydroksybenzonitryli: Pardner 225 EC (bromoksynil – $225 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$) Emblem 20 WP (bromoksynil – 20%) Bromotril 250 SC (bromoksynil – $250 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$)	BBCH – 14-15 faza 4-5 liści kukurydzy
Herbicyd z grupy pochodnych kwasu benzoowego: Banvel 480 SL (dikamba – $480 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$)	BBCH – 14-15 faza 4-5 liści kukurydzy
Herbicyd z grupy fenoksykwasów: Barox 460 SL (MCPA – $60 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$) Chwastox Turbo 340 SL (MCPA – $300 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ + dikamba – $40 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$) Aminopielik Gold 530 EW (2,4 D – $450 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$) Mustang 306 SE (florasulam – $6,25 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ + 2,4 D związek z grupy fenoksykwasów – $452 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$)	BBCH – 13-14 faza 3-4 liści kukurydzy

Źródło: Opracowanie własne.

technicznymi. W doświadczeniu polowym prowadzonym na madzie oceniano efektywność chwastobójczą środka Callisto 100 SC, stosowanego w dawce pojedynczej oraz w dawkach dzielonych, w zależności od nasilenia zachwaszczenia. Na glebie brunatnej porównywano skuteczność herbicydu Callisto 100 SC stosowanego samodzielnie oraz odpowiednio dobrane do tego zbiorowiska chwastów mieszaniny Callisto 100 SC + Milagro 040 SC i Titus 25 WG + Trend 90 EC + Banvel 480 SL. Natomiast na glebie płowej badano skuteczność herbicydów Maister 310 WG oraz Titus 25 WG stosowanych łącznie z adiuwantami w dawkach dzielonych oraz mieszaninę Titus 25 WG + Trend 90 EC + Banvel 480 SL. Zastosowane dawki środków oraz terminy aplikacji podano w tabeli 3.

Tabela 2

Ocena skuteczności wybranych herbicydów sulfonilomocznikowych stosowanych w uprawie kukurydzy w warunkach Dolnego Śląska

Symbol chwastu	Gatunek chwastu	Herbicydy (i dawki)		
		Maister 310 WG + Actirob 842 EC (150 g + 2,0 l · ha ⁻¹)	Callisto 100 SC (1,5 l · ha ⁻¹)	Titus 25 WG + Trend 90 EC (60 g + 1% · ha ⁻¹)
AETCY	<i>Aethusa cynapium</i>	++++	+++	+++
AMARE	<i>Amaranthus retroflexus</i>	++++	++++	++++
ANTAR	<i>Anthemis arvensis</i>	++++	++++	++++
ARTVU	<i>Artemisia vulgaris</i>	++	++++	++
CHEAL	<i>Chenopodium album</i>	+	++++	+
ECHCG	<i>Echinochloa crus-galli</i>	++++	+++	++++
ELYRE	<i>Elymus repens</i>	++++	+	+++
GALAP	<i>Galium aparine</i>	+++	++++	+++
GASPA	<i>Galinsoga parviflora</i>	++++	++++	++
POLCO	<i>Polygonum convolvulus</i>	++	+++	+++
SETSP	<i>Setaria ssp.</i>	++++	++	+++
SOLNI	<i>Solanum nigrum</i>	+++	++++	++
THLAR	<i>Thlaspi arvense</i>	++++	++++	++++
VERSP	<i>Veronica ssp.</i>	++++	++++	++++
VIOAR	<i>Viola arvensis</i>	++++	++++	+++

++++ gatunek wrażliwy
 +++ gatunek średnio wrażliwy
 ++ gatunek średnio odporny
 + gatunek odporny

Źródło: Wyniki badań ZEiZCh IUNG - PIB Wrocław z lat 2003–2006.

Oceny efektywności działania badanych herbicydów dokonano za pomocą szalkowej analizy zachwaszczenia w 4-5 tygodni po oprysku. Zbiór kukurydzy przeprowadzono ręcznie w fazie dojrzałości pełnej, ustalając plon ziarna oraz suchą masę w przeliczeniu na 15% wilgotności.

Wyniki i dyskusja

Zbiorowisko chwastów występujące w doświadczeniu założonym na madzie charakteryzowało się występowaniem takich gatunków, jak: *Echinochloa crus-galli*, *Chenopodium album*, *Amaranthus retroflexus*, *Viola arvensis*, *Thlaspi arvense* i *Solanum nigrum*. Gatunki te były skutecznie niszczone herbicydem Callisto 100 SC stosowanym jednorazowo w dawce pełnej oraz w systemie dawek dzielonych. Jedy-

Tabela 3

Herbicydy i ich mieszaniny stosowane w różnych warunkach glebowych

Typ gleby	Herbicydy	Dawka na ha	Termin oprysku – faza rozw.
Mada	Callisto 100 SC	pełna dawka – 1,5 l	BBCH – 13
		1/2 dawki – 0,75 l	BBCH – 13
		+ 1/2 dawki – 0,75 l	+ BBCH – 15
		1/3 dawki – 0,5 l	BBCH – 11
Gleba brunatna	Callisto 100 SC	+ 1/3 dawki – 0,5 l	+ BBCH – 13
		+ 1/3 dawki – 0,5 l	+ BBCH – 15
	Callisto 100 SC	pełna dawka – 1,5 l	BBCH – 13
	Callisto 100 SC + Milagro 040 SC	1/2 dawki – 0,4 l + 0,5 l	BBCH – 13
Gleba płowa	Maister 310 WG + Actirob 842 EC	+ 1/2 dawki – 0,4 l + 0,5 l	+ BBCH – 15
		60 g + 0,1% + 0,5 l	BBCH – 12
	Titus 25 WG + Trend 90 EC + Banvel 480 SL	60 g + 0,1%	BBCH – 13
	Titus 25 WG + Trend 90 EC	60 g + 0,1% + 0,5 l	+ BBCH – 15
Gleba brunatna	Callisto 100 SC	pełna dawka – 1,5 l	BBCH – 13
		1/2 dawki – 0,4 l + 0,5 l	BBCH – 13
Gleba brunatna	Callisto 100 SC + Milagro 040 SC	+ 1/2 dawki – 0,4 l + 0,5 l	+ BBCH – 15
		60 g + 0,1% + 0,5 l	BBCH – 12
Gleba brunatna	Callisto 100 SC	pełna dawka – 1,5 l	BBCH – 13
		1/2 dawki – 0,4 l + 0,5 l	BBCH – 13
Gleba brunatna	Callisto 100 SC + Milagro 040 SC	+ 1/2 dawki – 0,4 l + 0,5 l	+ BBCH – 15
		60 g + 0,1% + 0,5 l	BBCH – 12

Źródło: Wyniki badań ZEiZCh IUNG - PIB Wrocław z lat 2003–2006.

nie średnio wrażliwy na aplikację jednorazową okazał się *Viola arvensis* (80% zniszczenia), który w przypadku dawek dzielonych został zniszczony skutecznie (tab. 4).

Zastosowanie herbicydu w systemie dawek dzielonych skutecznie ograniczyło zachwaszczenie występujące na madzie. W przypadku trzykrotnego zabiegu, z każdorazowym opryskiem 1/3 dawki, wysoką skuteczność chwastobójczą osiągnięto już po aplikacji drugiej dawki środka.

W doświadczeniu założonym na glebie brunatnej w sezonach 2004–2006 zarejestrowano następujące taksony: *Echinochloa crus-galli*, *Setaria ssp.*, *Chenopodium album*, *Anthemis arvensis*, *Elymus repens*, *Thlaspi arvense*, *Viola arvensis*, *Fumaria officinalis*, *Geranium pusillum* i *Artemisia vulgaris*. Zbiorowisko to najskuteczniej kontrolowano przy użyciu mieszaniny Callisto 100 SC + Milagro 040 SC, aplikowanej dwukrotnie w systemie dawek dzielonych (tab. 5). W tym przypadku jedynie *Geranium pusillum* był słabiej niszczone, pozostałe taksony wykazały wysoką wrażliwość. Callisto 100 SC stosowany samodzielnie ograniczał liczebność występujących chwastów, jednak *Fumaria officinalis* i *Viola arvensis* okazały się gatunkami średnio wrażliwymi, a *Geranium pusillum* średnio odpornym, co w przekroju 2004 roku spowodowało kompensację tego gatunku. Niski stopień zniszczenia *Elymus repens* wskazywał na odporność taksonu. Natomiast mieszanina Titus 25 WG + Trend 90 EC + Banvel 480 SL niszczyła skutecznie gatunki jednoliściennne: *Echinochloa crus-galli*, *Setaria ssp.* i *Elymus repens*. Większość taskonów dwuliściennych wykazała również wysoką wrażliwość po zastosowaniu tej mieszaniny, jedynie *Fumaria officinalis* i *Viola arvensis* były średnio wrażliwe. *Artemisia vulga-*

Tabela 4

Skuteczność działania różnych dawek Callisto 110 SC w regulacji zachwaszczenia kukurydzy gatunkami jedno- i dwuliściennymi na madzie

Obiekt	Dawka na ha	Termin stosowania – faza rozwojowa	Zniszczenie chwastów (%)						Plon ziarna (t · ha ⁻¹)
			ECHCG	CHEAL	AMARE	THLAR	VIOAR	SOLNI	
Kontrola	-	-	*57	*22	*11	*9	*9	*3	6,15
Callisto 100 SC	1,5 l	BBCH – 13	85	100	92	100	80	87	10,13
Callisto 100 SC	0,75 l + 0,75 l	BBCH – 13 + BBCH – 15	87	100	100	100	94	90	11,63
Callisto 100 SC	0,33 l + 0,33 l	BBCH – 11 + BBCH – 13	90	98	95	93	96	90	12,33
	+ 0,33 l	+ BBCH – 15	93	100	100	100	100	100	
NIR, LSD _(0,05)									1,032

* liczba chwastów w szt. · m⁻²

ECHCG – *Echinochloa crus-galli*

CHEAL – *Chenopodium album*

AMARE – *Amaranthus retroflexus*

HLAR – *Thlaspi arvense*

VIOAR – *Viola arvensis*

SOLNI – *Solanum nigrum*

Źródło: Wyniki badań ZEiZCh IUNG - PIB Wrocław z lat 2003–2006.

ris występująca w ilości 3 szt. · m⁻² była całkowicie tolerancyjna i nie zniszczona; powodowała duże utrudnienia przy zbiorze.

Zbiorowisko segetalne na glebie płowej zdominowały gatunki jednoliścienne – *Echinochloa crus-galli* i *Elymus repens*. W mniejszym nasileniu zaobserwowano taksony dwuliścienne reprezentowane przez: *Chenopodium album*, *Galinsoga parviflora*, *Capsella bursa-pastoris*, *Anthemis arvensis*, *Centaurea cyanus* i *Viola arvensis*. Aplikacja mieszaniny Titus 25 WG + Trend 90 EC + Banvel 480 SL skutecznie wyeliminowała występujące gatunki, okazując się najskuteczniejszym rozwiązaniem na tego typu glebie (tab. 6). Maister 310 WG + Actirob 842 EC stosowany w dawkach dzielonych skutecznie zwalczał *Capsella bursa-pastoris*, *Echinochloa crus-galli*, *Elymus repens* i *Viola arvensis*. Średnią wrażliwością na tę mieszaninę charakteryzowały się: *Anthemis arvensis*, *Centaurea cyanus* i *Galinsoga parviflora*, a najmniejszą wrażliwość (na poziomie 68%) wykazała *Chenopodium album*.

Herbicyd Titus 25 WG + Trend 90 EC stosowany w dawce dzielonej również nie zabezpieczył skutecznie plantacji przed zachwaszczeniem. Gatunki: *Centaurea cyanus* i *Viola arvensis* okazały się średnio wrażliwe na zastosowane środki, zaś średnio odporny *Chenopodium album* był niszczonej jedynie w 65% (tab. 6). Mieszanina Titus 25 WG + Trend 90 EC + Banvel 480 SL skutecznie eliminowała wszystkie gatunki występujące na glebie płowej, okazując się najskuteczniejszym rozwiązaniem efektywnie ograniczającym zachwaszczenie występujące na tego typu glebie.

Tabela 5

Skuteczność działania mieszanin herbicydów w regulacji zachwaszczenia kukurydzy gatunkami jedno- i dwuliściennymi na glebie brunatnej

Obiekt	Dawka na ha	Termin stosowania – faza rozwojowa	Zniszczenie chwastów (%)									Plon ziarna (t · ha ⁻¹)
			ECHCG + SETSS	CHEAL	ANTAR	ELYRE	THLAR	VIOAR	FUMOF	GERPU	ARTVU	
Kontrola	-	-	*27	*22	*11	*9	*9	*9	*7	*6	*3	4,27
Callisto 100 SC	1,5 l	BBCH – 13	87	100	96	52	100	84	70	63	91	9,65
Callisto 100 SC + Milagro 040 SC	0,75 l + 0,75 l 0,75 l + 0,75 l	BBCH – 13 BBCH – 15	92	100	100	90	100	94	100	72	87	9,11
Titus 25 WG + Trend 90 EC + Banvel 480 SL	60 g + 0,1% + 0,5 l	BBCH – 12	88	95	100	95	100	80	82	88	55	10,05
NIR, LSD _(0,05)												1,145

* liczba chwastów w szt. · m⁻²

ECHCG – *Echinochloa crus-galli*

SETSS – *Setaria ssp.*

CHEAL – *Chenopodium album*

ANTAR – *Anthemis arvensis*

ELYRE – *Elymus repens*

THLAR – *Thlaspi arvense*

VIOAR – *Viola arvensis*

FUMOF – *Fumaria officinalis*

GERPU – *Geranium pusillum*

ARTVU – *Artemisia vulgaris*

Źródło: Wyniki badań ZEiZCh IUNG - PIB Wrocław w latach 2003–2006.

Wyniki uzyskane w doświadczeniach polowych prowadzonych na różnych typach gleby świadczą o istotnym wzroście skuteczności chwastobójczej w przypadku stosowania dawek dzielonych oraz mieszanin herbicydów. Oceniając aktualne zachwaszczenie upraw plantator powinien dobierać odpowiedni schemat ochrony roślin oraz analizować koszty towarzyszące dzieleniu dawek herbicydów.

Tabela 6

Skuteczność działania mieszanin herbicydów w regulacji zachwaszczenia kukurydzy gatunkami jedno- i dwuliściennymi na glebie płowej

Obiekt	Dawka na ha	Termin stosowania – faza rozwojowa	Zniszczenie chwastów (%)								Plon ziarna (t · ha ⁻¹)
			ECHCG	ELYRE	CHEAL	GASPA	CAPBP	ANTAR	CENCY	VIOAR	
Kontrola	-	-	*172	*57	*33	*21	*13	*9	*7	*4	4,27
Maister 310 WG + Actirob 842 EC	150 g + 2 l	BBCH – 13	92	90	68	72	100	74	70	95	9,65
Titus 25 WG + Trend 90 EC	30 g + 0,1% 30 g + 0,1%	BBCH – 13 BBCH – 15	92	93	65	85	100	90	72	75	9,11
Titus 25 WG + Trend 90 EC + Banvel 480 SL	60 g + 0,1% + 0,5 l	BBCH – 12	96	87	100	100	100	96	88	98	10,05
NIR, LSD _(0,05)											0,987

* liczba chwastów w szt. · m⁻²

ECHCG – *Echinochloa crus-galli*

ELYRE – *Elymus repens*

CHEAL – *Chenopodium album*

GASPA – *Galinsoga parviflora*

CAPBP – *Capsella bursa-pastoris*

ANTAR – *Anthemis arvensis*

CENCY – *Centaurea cyanus*

VIOAR – *Viola arvensis*

Źródło: Wyniki badań ZEiZCh IUNG - PIB Wrocław w latach 2003–2006.

Podsumowanie

1. Rozpoznanie ilościowego i jakościowego składu zachwaszczenia jest warunkiem odpowiedniego doboru herbicydów zwalczających dominujące gatunki, stosując dawki dzielone oraz mieszaniny herbicydów.

2. Ocena stanu zachwaszczenia kukurydzy uprawianej na glebach kompleksu pszennego bardzo dobrego i dobrego wskazuje na małe zróżnicowanie gatunkowe i słabe nasilenie chwastów, które jest skutecznie ograniczane po zastosowaniu herbicydu Callisto 100 SC w dawkach dzielonych. Występuje również możliwość ograniczania dawek tego środka.

3. Na kompleksach glebowych żytnim bardzo dobrym i dobrym notowano duże nasilenie *Echinochloa crus-galli*, *Setaria ssp.*, *Chenopodium album* i *Anthemis arvensis*. Wieloletnim uciążliwym chwastem był *Artemisia vulgaris*. Gatunki te najefektywniej niszczyła mieszanina herbicydów Callisto 100 SC + Milagro 040 SC w dawce dzielonej, dostosowanej do pojawiania się chwastów.

4. Zbiorowisko chwastów występujące na glebach kompleksów żytniego dobrego i słabego składało się głównie z: *Echinochloa crus-galli*, *Elymus repens*, *Chenopodium album*, *Galinsoga parviflora* i *Capsella bursa-pastoris*. Skuteczność niszczenia

czenia tego zbiorowiska była najwyższa po zastosowaniu mieszaniny: Titus 25 WG + Trend 90 EC + Banvel 480 SL.

Literatura

1. G a w r o ń s k i S.: Biologia i odporność na herbicydy gatunków z rodzaju *Amaranthus*. Pam. Puł., 2002, **129**: 33-38.
2. H a y e s T., H a s t o n K., T s u i M., H o a n g A., H a e f f e l e C., V o n k A.: Atrazine-induced hermaphroditism at 0.1 ppb in American Leopard frogs (*Rana pipiens*): Laboratory and field evidence. Environ. Health Perspect., 2003, **111**: 568-575.
3. R o l a H.: Ekologiczne i produkcyjne aspekty ochrony roślin przed chwastami. Pam. Puł., 2002, **130/II**: 635-645.
4. R o l a H., R o l a J.: Występowanie *Amaranthus retroflexus*, *Chenopodium album*, *Echinochloa crus-galli* – biotypów odpornych na triazyny w kukurydzy na terenie południowo-zachodniej Polski. Pam. Puł., 2002, **129**: 11-23.
5. S a d o w s k i J.: Skażenia herbicydowe wód pierwszego poziomu użytkowego. Rozpr. hab., IUNG Puławy, 1996, **H(10)**: 1-89.
6. S k r z y p c z a k G.: Problem zwalczania chwastów w uprawie kukurydzy wciąż aktualny. Kukurydza, 1996, **1(6)**: 18-19.
7. S u l e w s k a H.: Na uprawie kukurydzy zarobią tylko najlepsi. Agro Serwis, 2005, **3**: 16-21.

Adres do korespondencji:

dr Hanna Gołębiowska
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli
IUNG-PIB
ul. Orzechowa 61
50-540 Wrocław
tel. (071) 363-87-07, wew. 109
e-mail: h.golebiowska@iung.wroclaw.pl

Renata Kieloch

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

ODDZIAŁYWANIE HERBICYDÓW NA ZBOŻA*

Wstęp

Jednym z niekorzystnych aspektów stosowania herbicydów jest fakt, że nie zawsze są one w pełni selektywne dla rośliny uprawnej. Ich niepożądane działanie może przejawiać się w różny sposób, przy czym najczęściej spotykane są zmiany w morfologii roślin. Z obserwacji wynika, że zmiany te pojawiają się około 1-2 tygodni po zabiegu. W większości przypadków są one przejściowe i utrzymują się ok. 4 tygodni (9). Po jesiennej aplikacji niektórych środków uszkodzenia roślin często obserwuje się dopiero wczesną wiosną (5). Innym przejawem negatywnego działania herbicydów na zboża jest zmniejszenie mrozoodporności roślin odmian wrażliwych, co w warunkach mroźnej i bezśnieżnej zimy prowadzi do znacznego wymarzenia zasiewów (1, 8). W przypadku przedwiosennego stosowania herbicydów może wystąpić opóźnienie, nierównomierność lub przerzedzenie wschodów. Najbardziej niepożądanym skutkiem działania herbicydów na roślinę uprawną są straty w plonie ziarna. Często wynikają one z uszkodzeń roślin lub przerzedzenia ładu, jednak istnieją liczne przypadki obniżenia plonowania pomimo braku zewnętrznych symptomów działania herbicydów. Ponadto herbicydy mogą także wpływać na jakość ziarna zbóż – jego zdolność kiełkowania, skład mineralny i aminokwasowy oraz wartość technologiczną (10, 11).

Odmiany zbóż cechują się niejednakową tolerancją na herbicydy. Cecha ta zależy głównie od właściwości genetycznych odmiany – zdolności do rozkładu substancji aktywnej przez roślinę (2, 3) w momencie wykonywania zabiegu oraz w okresie 2-3 tygodni po nim – wpływa na procesy pobierania, przemieszczania i rozkładu oraz decyduje o działaniu herbicydu (4, 6). Dla oddziaływania herbicydów na roślinę uprawną ważny jest także przebieg pogody w całym sezonie wegetacyjnym. Warunki niesprzyjające wegetacji roślin powodują ich osłabienie i tym samym zmniejszają tolerancję w stosunku do herbicydów. W warunkach chłodnej i wilgotnej wiosny może nasilać się fitotoksyczne działanie środków chwastobójczych (5). Duże znaczenie dla selektywności stosowanych herbicydów posiada poziom agrotechniki, który decyduje o kondycji roślin oraz sama technika stosowania herbicydów, w tym przestrzeganie

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.4 w programie wieloletnim IUNG - PIB

dawki środka i terminu jego aplikacji zgodnie z zaleceniami producenta. Stopień tolerancji zbóż na herbicydy w dużym stopniu uzależniony jest od fazy rozwojowej roślin w momencie wykonywania zabiegu. Herbicydy zawierające 2,4-D, MCPA i dikambę są najbardziej selektywne dla pszenicy w fazie krzewienia. Orr i in. (7) udowodnili, że herbicydy aplikowane w fazie 2 liści lub na początku strzelania w źdźbło powodują silniejsze uszkodzenia roślin i straty w plonach niż stosowane w fazie 2 liści.

Metodyka badań

Badania nad określeniem wpływu herbicydów na odmiany zbóż prowadzono w warunkach polowych w okolicach Wrocławia, na polach wolnych od konkurencyjnego oddziaływania chwastów. Rozpoczęto je w 1973 roku, uwzględniając w pierwszych dwudziestu latach tylko pszenicę ozimą. W połowie lat 90. badaniom poddano także inne gatunki zbóż: pszenicę jara, jęczmień ozimy i pszenżyto ozime. W tabeli 1 podano liczbę badanych odmian każdego z gatunków zbóż i herbicydów stosowanych w ochronie danego gatunku. Ze względu na zajmowany areal pszenica ozima była najczęściej badanym zbożem, o czym świadczą liczby ocenionych 68 odmian oraz 63 herbicydów. Udział odmian pozostałych gatunków zbóż, jak również liczba uwzględnionych w tych badaniach środków chwastobójczych kształtowały się na zbliżonym poziomie i były znacznie mniejsze niż w przypadku pszenicy ozimej.

W każdej serii badań uwzględniano aktualnie uprawiane odmiany zbóż oraz będące w rejestrze herbicydy. Środki chwastobójcze stosowano w zalecanych przez producenta dawkach i terminach. Po upływie 1-2 tygodni od zabiegu wykonywano wizualną ocenę działania herbicydów, a kolejną w 4 tygodnie po poprzedniej ocenie. W przypadku ich ujemnego wpływu na morfologię roślin określano rodzaj i nasilenie uszkodzeń roślin. Na obiektach, gdzie środki stosowano jesienią ocenę dodatkowo przeprowadzano wczesną wiosną. Ziarno zbierano w fazie dojrzałości pełnej i w momencie zbioru oznaczano wielkość plonu.

Wyniki wieloletnich badań dla każdego gatunku zawarto w dwóch tabelach. Pierwsza z nich zawiera wykaz środków najczęściej uwzględnianych w badaniach wraz z liczbą odmian przebadanych pod kątem wrażliwości na dany herbicyd. Podano także liczbę odmian reagujących zmianami w morfologii roślin oraz liczbę odmian, u któ-

Tabela 1

Liczba badanych odmian i herbicydów dla poszczególnych gatunków zbóż

Gatunek	Liczba badanych odmian	Liczba badanych herbicydów
Pszenica ozima	68	63
Pszenica jara	14	21
Jęczmień ozimy	11	19
Jęczmień jary	9	12
Pszenżyto ozime	15	21

Źródło: Badania własne.

rych wystąpiło obniżenie plonowania po aplikacji danego środka. W tabeli drugiej zawarte są informacje odnośnie tolerancji odmian zbóż aktualnie będących w rejestrze na środki, które są dostępne na rynku krajowym. W ocenie stosowano podział na trzy rodzaje wrażliwości – reakcji:

1. odmiana tolerancyjna, czyli nie wykazująca ujemnej reakcji na herbicyd;
2. odmiana średnio wrażliwa – u której wystąpiły tylko przejściowe zmiany w morfologii roślin;
3. odmiana wrażliwa – reagująca obniżeniem plonu ziarna, niezależnie od tego czy w trakcie wegetacji stwierdzono uszkodzenia roślin, czy też ich nie zaobserwowano.

Omówienie wyników

Wpływ herbicydów na morfologię roślin

Najczęściej spotykanymi objawami negatywnego działania herbicydów na morfologię jest żółknięcie blaszek liściowych, zasychanie brzegów i wierzchołków liści, a przy silniejszej reakcji danej odmiany nawet całych blaszek. Dość często można zaobserwować przejściowe przyhamowanie wzrostu roślin. Tego rodzaju reakcja może być często powodowana przez herbicydy z grupy pochodnych sulfonilomocznika (np. Apyros 75 WG, Granstar 75 WG, Harmony Extra 75 WG), znacznie rzadziej występuje po zastosowaniu herbicydów z grupy fenylomocznika (np. Dicuran 80 WP). Stosowanie niektórych środków (np. Solar 200 EC, Segal 65 WG) może prowadzić do wystąpienia chlorotycznych plam na blaszkach liściowych. Herbicydy mogą powodować także nekrozy w postaci drobnych białobrazowych plamek na liściach. Uszkodzenia te mogą pojawić się po aplikacji środków Affinity 50,75 WG lub Arelon Forte 61,5 WG. Przy silniejszym działaniu tych środków na roślinę uprawną nekrozy mogą obejmować większe partie blaszki liściowej, a nawet prowadzić do jej zasychania. Innym rodzajem zmian w morfologii roślin powstałym na skutek stosowania herbicydów są deformacje liści i kłosów. Powodowane są przez herbicydy z grupy regulatorów wzrostu (np. Aminopielik D 450 SL, Chwastox D 179 SL, Chwastox Trio 540 SL, Chwastox Turbo 340 SL). Deformacje liści polegają na ich zwijaniu się, co w rezultacie zmienia pokrój rośliny. Deformacje kłosów przejawiają się w postaci ich skręcenia wokół osi i wygięcia. W większości badanych przypadków na odmianie obserwowano oba rodzaje uszkodzeń, jakkolwiek częściej występowała deformacja kłosa. W nielicznych przypadkach niektóre środki z tej grupy (Chwastox Trio 540 SL i Chwastox Turbo 340 SL) powodowały przejściowe zahamowanie wzrostu roślin.

Wykaz badanych herbicydów, które powodowały zmiany w morfologii roślin zbożowych przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Rodzaje zmian w morfologii roślin badanych gatunków zbóż powodowane przez herbicydy

Herbicydy	Substancja aktywna	Zmiany w morfologii roślin
Affinity 50,75 WG	karfentrazon etylu + izoproturon	nekrotyczne plamy na liściach, zasychanie blaszek liściowych
Aminopielik D 450 SL	2,4-D + dikamba	zwijanie się liści, deformacja kłosa
Arelon Forte 61,5 WG	izoproturon + fluoroglikofen	nekrotyczne plamy na liściach, zasychanie blaszek liściowych, zahamowanie wzrostu
Apyros 75 WG	sulfosulfuron	zahamowanie wzrostu roślin, żółknięcie liści
Aurora Super 61,5 SG	karfentrazon etylu + mekoprop-P	chlorotyczne plamy na liściach
Chisel 75 WG	tifensulfuron metylu + chlorosulfuron	
Chwastox D179 SL	MCPA + dikamba	zwijanie się liści, deformacja kłosa
Chwastox Trio 540 SL	MCPA + dikamba + mekoprop	zwijanie się liści, zahamowanie wzrostu
Chwastox Turbo 340 SL	MCPA + dikamba	
Dicuran 80 WP	chlorotoluron	żółknięcie i zasychanie liści, zahamowanie wzrostu roślin
Dicuran Forte 80 WP	chlorotoluron + triasulfuron	żółknięcie i zasychanie liści
Glean 75 WG	chlorosulfuron	
Granstar 75 WG	tribenuron metylu	zahamowanie wzrostu roślin
Harmony Extra 75 WG	tifensulfuron metylu + tribenuron metylu	
Kantor 050 SC	florasulam	żółknięcie liści
Maraton 375 SC	pendimetalina + izoproturon	jasnozielone zabarwienie liści
Mustang 306 SE	2,4-D + florasulam	zahamowanie wzrostu roślin, zwijanie się blaszek liściowych
Rokituron D 470 SC	2,4-D + izoproturon + dikamba	zahamowanie wzrostu roślin, żółknięcie i zasychanie liści
Racer 25 EC	fluorochloridon	żółknięcie liści
Solar 200 EC	cynidon etylowy	zasychanie końców liści, chlorotyczne plamy na liściach
Segal 65 WG	amidosulfuron + metrybuzyna	żółknięcie liści, chlorotyczne plamki na liściach

Źródło: Badania własne.

Reakcja gatunków i odmian zbóż na herbicydy

Pszenica ozima

Najczęściej badanymi środkami były Dicuran 80 WP i Affinity 50,75 WG. Pierwszy z nich spowodował obniżenie plonowania aż u 44 odmian (na 55 badanych), a zmiany w morfologii roślin w postaci żółknięcia i zasychania blaszek liściowych wystąpiły u 33 odmian. Drugi z wymienionych środków powodował nekrotyczne plamki na blaszkach liściowych, które pojawiły się u nieco powyżej 50% badanych odmian.

Rzadziej miało miejsce obniżenie plonu ziarna – tylko u 30% badanych odmian. Nieco odmienną reakcję wykazała pszenica na środek z grupy regulatorów wzrostu – Aminopielik D 450 SL; prawie wszystkie oceniane odmiany zareagowały zmianami w morfologii roślin, a tylko u niewielkiej liczby wykazano obniżkę plonu. Środki Arelon Dyspersyjny 500 SC i Balance 56 WG nie oddziaływały negatywnie na morfologię roślin pszenicy ozimej, natomiast obniżyły plonowanie kilku odmian tego gatunku. Całkowicie selektywne dla pszenicy ozimej były herbicydy: Mustang 306 SE, Quartz Super 550 SC, Stomp 330 EC i Stork 50 WG, które u żadnej z badanych odmian nie powodowały objawów działania fitotoksycznego (tab. 3).

W przypadku tego gatunku zboża dość często można spotkać się z odmianami wrażliwymi na herbicydy. Spośród przebadanych i obecnie uprawianych odmian tylko Zyta i Mewa są tolerancyjne lub średnio wrażliwe na 11 herbicydów przedstawionych w tabeli 4, natomiast pozostałe odmiany wykazują wrażliwość na 1 lub więcej środków. Najczęściej obniżenie poziomu plonowania po aplikacji herbicydów wystąpiło u odmian: Tonacja, Kobiera, Kobra i Trend (tab. 4).

Pszenica jara

Najczęściej stosowanymi środkami w badaniach nad reakcją odmian pszenicy jarej na herbicydy były: Chwastox Trio 540 SL, Chwastox Turbo 340 SL, Aurora Super 61,5 SG i Segal 65 WG. Ujemny wpływ herbicydów na plonowanie pszenicy obserwowano bardzo rzadko, wystąpił on u nielicznych odmian. Znacznie częściej stwierdzano zmiany w morfologii roślin. Po zastosowaniu środków Apyros 75 WG i Solar 200 EC uszkodzenia roślin wystąpiły u wszystkich badanych odmian, ale nie

Tabela 3

Reakcja odmian pszenicy ozimej na herbicydy

Herbicydy	Liczba badanych odmian	Liczba odmian reagujących zmianami w morfologii roślin	Liczba odmian reagujących obniżeniem plonowania
Affinity 50,75 WG	49	27	14
Arelon Dyspersyjny 500 SC	23	0	8
Aminopielik D 450 SL	40	39	6
Atlantis 04 WG	24	18	4
Balance 56 WG	18	0	6
Carat 350 SC	27	0	1
Chwastox D 179 SL	34	24	4
Chwastox Trio 540 SL	27	11	3
Dicuran 80 WP	55	33	44
Glean 75 WG	42	5	5
Maraton 375 SC	40	19	7
Mustang 306 SE	31	0	0
Quartz Super 550 SC	42	0	1
Stomp 330 EC	42	1	1
Stork 50 WG	18	0	0

Źródło: Badania własne.

Tabela 4

Wrażliwość aktualnie uprawianych odmian pszenicy ozimej na herbicydy

Herbicydy	Odmiany									
	Tonacja	Kobiera	Kobra	Trend	Clever	Tortija	Rysa	Roma	Zyta	Mewa
Arelon Dyspersyjny 500 SC	W	W	W	W	W	T	T	-	T	-
Atlantis 04 WG	W	T	W	T	-	SW	SW	-	SW	SW
Aminopielik Gold 450 SL	W	W	W	W	SW	-	-	-	T	-
Carat 350 SC	T	T	W	W	T	T	W	-	T	T
Chwastox Trio 540 SL	W	SW	W	SW	-	-	-	-	-	-
Glean 75 WG	T	W	W	W	T	T	T	T	T	T
Maraton 375 SC	T	T	T	T	W	W	T	W	SW	SW
Mustang 306 SE	-	-	-	-	-	-	T	T	T	T
Quartz Super 550 SC	-	-	W	-	-	-	T	T	T	T
Stomp 330 EC	-	-	-	-	-	T	T	T	T	T
Stork 50 WG	-	-	-	-	-	T	T	-	T	T

Objaśnienia:

T – odmiana nie reagująca na herbicyd

SW – odmiana reagująca zmianami w morfologii roślin, bez wpływu na plonowanie

W – odmiana reagująca na herbicyd obniżeniem plonowania

Źródło: Badania własne.

wpłynęły ujemnie na wielkość plonu ziarna. Całkowitą selektywność dla badanych odmian pszenicy jarej wykazały herbicydy Stork 50 WG i Sekator 6,25 WG (tab. 5).

Jak wskazują dane zawarte w tabeli 6, tylko dwie odmiany były wrażliwe na herbicydy. Odmiana Nawra reagowała obniżką plonu po aplikacji środków Granstar 75 WG i Grodyl 75 WG, zaś odmiana Opatka była wrażliwa na Granstar 75 WG i Lintur 70 WG.

Jęczmień ozimy

W jęczmieniu ozimym obniżenie plonu ziarna na skutek stosowania herbicydów wystąpiło po aplikacji większości z badanych środków, tj. Affinity 50,75 WG, Chisel 75 WG, Chwastox Trio 540 SL, Cougar 600 SC, Dicuran 80 WP, Mustang 306 SE, Quartz Super 550 SC i Rokituron A 430 SC. Obniżka plonu miała jednak miejsce tylko u nielicznych odmian tego gatunku. Większość ocenianych środków powodowała zmiany w morfologii roślin, natomiast gdy stosowano herbicydy: Affinity 50,75 WG, Arelon Forte 61,5 WG, Dicuran Forte 80 WP, Maraton 375 SC i Rokituron D 470 SC obserwowano je u wszystkich badanych odmian. Jedynym herbicydem, spośród badanych środków, całkowicie selektywnym dla odmian jęczmienia ozimego był Ecopart 020 SC (tab. 7).

Z aktualnie uprawianych odmian informacje dotyczące ich wrażliwości na niektóre herbicydy obejmują tylko cztery odmiany: Horus, Tiffany, Gil i Gregor. Są to odmiany tolerancyjne na większość środków zamieszczonych w tabeli 8. Jedynie po zasto-

Tabela 5

Reakcja odmian pszenicy jarej na herbicydy

Herbicydy	Liczba badanych odmian	Liczba odmian reagujących zmianami w morfologii roślin	Liczba odmian reagujących obniżeniem plonu
Apyros 75 WG	9	5	0
Aurora Super 61,5 SG	11	7	0
Chwastox Trio 540 SL	15	1	1
Chwastox Turbo 340 SL	12	6	0
Granstar 75 WG	6	0	2
Grodyl 75 WG	6	0	1
Kantor 050 SC	7	1	0
Lintur 70 WG	6	0	2
Mustang 306 SE	9	6	0
Segal 65 WG	15	6	2
Sekator 6,25 WG	9	0	0
Solar 200 EC	7	7	0
Stork 50 WG	6	0	1

Źródło: Badania własne.

Tabela 6

Wrażliwość aktualnie uprawianych odmian pszenicy jarej na herbicydy

Herbicydy	Odmiany								
	Nawra	Helia	Hena	Koksa	Opatka	Hezja	Jasna	Banti	Henika
Apyros 75 WG	-	-	-	-	-	T	T	T	T
Aurora Super 61,5 SG	SW	SW	SW	SW	SW	-	-	-	-
Chwastox Trio 540 SL	T	T	T	T	T	T	T	T	SW
Chwastox Turbo 340 SL	T	T	T	T	T	-	SW	-	SW
Granstar 75 WG	W	T	T	T	W	-	-	-	-
Grodyl 75 WG	W	T	T	T	T	-	-	-	-
Kantor 050 SC	T	T	T	T	T	T	T	T	T
Kompal 365 SE	SW	SW	SW	SW	SW	-	-	-	-
Lintur 70 WG	T	T	T	T	W	-	-	-	-
Mustang 306 SE	SW	T	T	T	T	SW	SW	-	-
Sekator 6,25 WG	T	T	T	T	T	T	T	-	-
Solar 200 EC	SW	SW	SW	SW	SW	-	SW	SW	-

Objaśnienia jak pod tabelą 4

Źródło: Badania własne.

Tabela 7

Reakcja odmian jęczmienia ozimego na herbicydy

Herbicydy	Liczba badanych odmian	Liczba odmian reagujących zmianami w morfologii roślin	Liczba odmian reagujących obniżeniem plonu
Affinity 50,75 WG	6	6	1
Arelon Forte 61,5 WG	11	11	2
Chisel 75 WG	11	6	1
Chwastox Trio 540 SL	11	0	2
Cougar 600 SC	5	0	2
Dicuran 80 WP	11	6	2
Dicuran Forte 80 WP	11	10	0
Ecopart 020 SC	6	0	0
Maraton 375 SC	6	6	0
Mustang 306 SE	11	9	1
Quartz Super 550 SC	6	5	1
Rokituron A 430 SC	6	0	1
Rokituron D 470 SC	6	6	0

Źródło: Badania własne.

sowaniu herbicydów Maraton 375 SC i Chisel 75 WG mogą wystąpić zmiany w morfologii roślin, ale bez wpływu na plonowanie.

Pszenżyto ozime

W przypadku pszenżyta ozimego większość badanych środków była selektywna w stosunku do tego gatunku. Obniżka plonu ziarna wystąpiła jedynie u nielicznych odmian po zastosowaniu herbicydów: Huzar 05 WG, Sekator 6,25 WG i Stomp 330 EC. Znacznie rzadziej w porównaniu z innymi gatunkami zbóż miały miejsce uszkodzenia roślin. Powodowane były one przez środki: Affinity 50,75 WG, Atlantis 04 WG i Racer 25 EC – występowały u wszystkich badanych odmian pszenżyta ozimego (tab. 9).

Spośród obecnie uprawianych odmian, u których określono reakcję na herbicydy, tylko jedna – Janko – była wrażliwa na herbicyd Stomp 330 EC. Takie środki, jak Racer 25 EC i Atlantis 04 WG mogą wywołać przejściową reakcję w postaci zmian w morfologii roślin u wszystkich przedstawionych w tabeli 10 odmian, lecz zmiany te ustępują po kilku tygodniach. W większości przypadków obserwuje się całkowitą selektywność herbicydów.

Podsumowanie

Spośród badanych gatunków zbóż najrzadziej obserwowano objawy ujemnego działania herbicydów w pszenżycie ozimym, a najczęściej w pszenicy ozimej. Badane środki zazwyczaj powodowały przejściowe zmiany w morfologii roślin, natomiast znacznie rzadziej wpływały na poziom plonowania.

Tabela 8

Wrażliwość aktualnie uprawianych odmian jęczmienia ozimego na herbicydy

Herbicydy	Odmiany			
	Horus	Tiffany	Gil	Gregor
Chisel 75 WG	T	T	SW	SW
Chwastox Trio 540 SL	T	T	T	T
Cougar 600 SC	T	T	T	T
Ecopart 020 SC	T	T	T	T
Glean 75 WG	T	T	T	T
Maraton 375 SC	SW	SW	SW	SW
Mustang 306 SE	-	T	T	T

Objaśnienia jak pod tabelą 4
Źródło: Badania własne.

Tabela 9

Reakcja odmian pszenżyta ozimego na herbicydy

Herbicydy	Liczba badanych odmian	Liczba odmian reagujących zmianami w morfologii roślin	Liczba odmian reagujących obniżeniem plonu
Affinity 50,75 WG	10	10	0
Arelon Dyspersyjny 500 SC	6	0	0
Atlantis 04 WG	6	6	0
Carat 350 SC	6	0	0
Dicuran 80 WP	10	4	0
Expert 60 WG	6	0	0
Glean 75 WG	12	0	0
Huzar 05 WG	10	0	1
Maraton 375 SC	12	0	0
Mustang 306 SE	10	0	0
Sekator 6,25 WG	12	0	1
Stomp 330 EC	12	0	1
Stork 50 WG	6	0	0
Racer 25 EC	12	11	0

Źródło: Badania własne.

Najczęściej działanie fitotoksyczne obserwowano po aplikacji środków: Dicuran 80 WP, Affinity 50,75 WG i Arelon Dyspersyjny 500 SC. Całkowitą selektywność w stosunku do zbóż wykazały: Carat 350 SC, Ecopart 020 SC, Mustang 306 SE, Sekator 6,25 WG i Stork 50 WG.

Z uwagi na ciągle wprowadzanie do uprawy nowych odmian zbóż badania nad ich reakcją na herbicydy są kontynuowane.

Tabela 10

Wrażliwość na herbicydy aktualnie uprawianych odmian pszenżyta ozimego

Herbicydy	Odmiany						
	Presto	Tornado	Fidelio	Disco	Marko	Lamberto	Janko
Atlantis 04 WG	-	-	-	SW	SW	SW	SW
Carat 350 SC	-	-	-	T	T	T	T
Expert 60 WG	-	-	-	T	T	T	T
Glean 75 WG	T	T	T	T	T	T	T
Huzar 05 WG	T	T	T	T	T	T	T
Maraton 375 SC	T	T	T	T	T	T	T
Mustang 306 SE	T	-	-	T	T	T	T
Sekator 6,25 WG	T	-	-	T	T	T	T
Stomp 330 EC	T	T	T	T	T	T	W
Stork 50 WG	-	-	-	T	T	T	T
Racer 25 EC	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW

Objaśnienia jak pod tabelą 4

Źródło: Badania własne.

Literatura

1. Adamczewski K., Urban M.: Reakcja 7 odmian pszenicy ozimej na dwie formy użytkowe chlorotoluronu. *Progr. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2000, **40(1)**: 374-379.
2. Cabanne F., Gaillardon P., Scallia R.: Phytotoxicity and metabolism of chlortoluron in two wheat cultivars. *Pest. Bioch. Physiol.*, 1985, **23**: 212-220.
3. Dastgheib F., Andrews M., Morton J. D., Barnes M. F.: Mode of action of chloresulfuron in a sensitive wheat (*Triticum aestivum*) cultivar: primary and secondary effects on nitrogen assimilation. *Ann. Appl. Biol.*, 1995, **127**: 125-135.
4. McMullan P. M.: The influence of temperature on barley (*Hordeum vulgare* L.) tolerance to diclofop-methyl or fenoxaprop-P-ethyl mixtures. *Weed Res.*, 1994, **34**: 23-28.
5. Nowicka B.: Wpływ herbicydów na wysokość i jakość plonu odmian pszenicy ozimej. *IUNG Puławy*, 1993, **R (302)**: 1-47.
6. Olson B. L. S., Al-Khatib K., Stahlman P., Parrish S., Moran S.: Absorption and translocation of MON 37500 in wheat and other grass species. *Weed Sci.*, 1999, **74**: 37-40.
7. Orr J. P., Canevari M., Jackson L., Wennig R., Carner R., Nishimoto G.: Post-emergence herbicides and application time affect wheat yields. *California - Agriculture*, 1996, **50(4)**: 32-36.
8. Rola H., Domaradzki K., Kieloch R.: Tolerancja wybranych odmian pszenicy ozimej na herbicydy. *Pam. Puł.*, 1999, **114**: 305-311.
9. Rola H., Kieloch R.: Wpływ herbicydu Arelon Forte 61,5 WG na rozwój, plonowanie i jakość ziarna odmian jęczmienia ozimego. *Progr. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2002, **40(2)**: 578-580.
10. Sykut A., Rola H., Ostapczuk E., Nowicka B.: Badania składu aminokwasowego i zawartości białka w ziarnie 5 odmian pszenicy ozimej oraz wpływu stosowania w uprawie Dicuranu 80 WP. *Bromat. Chem. Toksykol.*, 1998, **31(1)**, Cz. 1: 67-70.
11. Urban M.: Wpływ herbicydów na jakość ziarna 7 odmian pszenicy jarej. *Progr. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2003, **43**: 990-993.

Adres do korespondencji:

mgr Renata Kieloch
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli
IUNG-PIB
ul. Orzechowa 61
50-540 Wrocław
e-mail: r.kieloch@iung.wroclaw.pl

Mariusz Kucharski, Jerzy Sadowski

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

ZNACZENIE ADIUWANTÓW W CHEMICZNEJ OCHRONIE ROŚLIN*

Wstęp

Chemiczna ochrona roślin przed chorobami, szkodnikami i chwastami jest stale rozwijającym się elementem współczesnej agrotechniki. Poszukuje się nowych metod, które umożliwiają wzrost skuteczności działania preparatów przy jednoczesnym zredukowaniu obciążenia środowiska naturalnego. Wprowadzane są nowe techniki stosowania herbicydów polegające na ulepszaniu formulacji herbicydu, zmianach konstrukcyjnych aparatury opryskującej, aplikacji środków ochrony roślin w dawkach dzielonych, a także stosowanie substancji wspomagających – adiuwantów.

Według Amerykańskiego Towarzystwa Herbologicznego „Adiuwant jest to substancja (różna od wody) zawarta w formie użytkowej środków ochrony roślin lub dodawana do zbiornika opryskiwacza w celu zmodyfikowania właściwości biologicznych substancji czynnej preparatu lub zmiany parametrów fizykochemicznych cieczy użytkowej”.

Nie wiadomo, gdzie i kiedy po raz pierwszy użyto adiuwanta w ochronie roślin. Jedno z pierwszych udokumentowanych zastosowań pochodzi z USA (1877 r.) i dotyczy użycia mieszaniny oleju mineralnego (Kerosene) oraz mydła w zabiegach mających na celu niszczenie jaj mszyc (2). W XIX i na początku XX wieku najczęstszymi dodatkami do środków ochrony roślin były mydła pozyskiwane z tłuszczu ryb i wielorybów. Pierwszym adiuwantem zarejestrowanym w Polsce w roku 1967 był Citowett AL, który w swym składzie zawierał związek z grupy surfaktantów – eter alkiloarylopoliglikolowy. Obecnie produkowane adiuwanty stanowią bardzo liczną i zróżnicowaną grupę substancji.

Od wielu lat na krajowym rynku środków ochrony roślin znajduje się około 20 adiuwantów zarejestrowanych jako dodatek przeznaczony do łącznego stosowania z cieczą użytkową środka ochrony roślin. Większość adiuwantów to produkty przeznaczone do stosowania z herbicydami (środki chwastobójcze), a tylko nieliczne z nich mogą być stosowane z innymi preparatami (środki grzybo- i owadobójcze lub inne).

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.4 w programie wieloletnim IUNG - PIB

W tabeli 1 zamieszczono wykaz aktualnie zarejestrowanych adiuwantów do łącznego ich stosowania ze środkami ochrony roślin. W rubryce dotyczącej zastosowania ze środkami w uprawie podano jedynie przykłady. Natomiast dokładny opis możliwości zastosowania znajduje się na etykiecie adiuwanta lub środka ochrony roślin, z którym adiuwanty można stosować.

Adiuwanty – rodzaje i ich właściwości

Generalnie adiuwanty można podzielić na dwie grupy w zależności od pełnionych przez nie funkcji na: aktywujące i adiuwanty modyfikujące (2).

Główną funkcją adiuwantów aktywujących jest:

- zwiększanie retencji (wzrost ilości i wydłużenie czasu zatrzymania cieczy użytkowej na powierzchni rośliny),

Tabela 1

Wykaz adiuwantów zarejestrowanych w Polsce (dane z marca 2007)

Lp.	Nazwa handlowa	Rodzaj środków, z którymi może być stosowany	Zalecane dawki	Zastosowanie ze środkami w uprawie
1.	Actirob 842 EC	chwastobójczy	1,0-2,0 l · ha ⁻¹	kukurydza, burak cukrowy
2.	AD Contact 90 SL	chwastobójczy	0,8 l · ha ⁻¹	groch
3.	AD Super Oil 83 EC	chwastobójczy	0,3 l · ha ⁻¹	burak cukrowy, groch
4.	Adpros 850 SL	chwastobójczy	1,0-1,5 l · ha ⁻¹	burak cukrowy, kukurydza, groch, sad jabłoniowy
5.	Aero 30 SL	chwastobójczy	1,5 l · ha ⁻¹	pszenica ozima
6.	Atplus 60 EC	chwastobójczy	1,0-1,2 l · ha ⁻¹	zboża
7.	Atpolan 80 EC	chwastobójczy grzybobójczy	1,5 l · ha ⁻¹	burak cukrowy, kukurydza, zboża, warzywa, rośliny ozdobne
8.	Dedal 90 EC	owadobójczy	0,7-1,0 l · ha ⁻¹	leśnictwo
9.	Ikar 95 EC	owadobójczy	0,7-1,0 l · ha ⁻¹	leśnictwo
10.	Lenmix 800 EC	chwastobójczy	1,0 l · ha ⁻¹	pszenica ozima, len
11.	Nu-Film 96 EC	owadobójczy	0,6 l/100 l wody	leśnictwo
12.	Olbras 88 EC	chwastobójczy	1,5 l · ha ⁻¹	burak cukrowy, kukurydza, zboża, strączkowe, ziemniak
13.	Olejna 85 EC	chwastobójczy	1,5 l · ha ⁻¹	groch
14.	Olemix 84 EC	chwastobójczy	1,5 l · ha ⁻¹	burak cukrowy, kukurydza
15.	Polikrust 9,5 PS	zaprawy nasienne	0,1 l/kg nasion	cebula, marchew
16.	Silwet L-77 840 AL	chwastobójczy	0,05-0,1 l · ha ⁻¹	ścierniska
17.	Superam 10 AL	grzybobójczy owadobójczy	0,05 l/100 l wody	nie określono
18.	Trend 90 EC	chwastobójczy	0,05-0,1 l/100 l wody	burak cukrowy, ziemniak, zboża, kukurydza
19.	VK-2 Special 80 EC	nie określono	0,25-0,3 l/1000 m ² powierzchni	rośliny uprawiane pod osłonami

Źródło: Opracowanie własne.

- zmniejszanie napięcia powierzchniowego pomiędzy polarnymi i niepolarnymi częściami naskórka liścia,
- zwiększanie absorpcji (wzrost wnikania składnika czynnego do rośliny).

Właściwości te wpływają na poprawę aktywności biologicznej środków ochrony roślin, poszerzenie spektrum ich działania oraz ograniczenie ujemnego wpływu czynników środowiska podczas zabiegów. Dzięki temu zwiększa się stabilność działania herbicydów, zwłaszcza wówczas, gdy na polu występują chwasty średnio wrażliwe lub w późniejszych fazach rozwojowych, a warunki atmosferyczne (niska wilgotność powietrza i niska temperatura) nie sprzyjają działaniu preparatów.

Adiuwanty modyfikujące w mniejszym stopniu wpływają na aktywność środków ochrony roślin. Dzięki zmianie właściwości fizykochemicznych cieczy użytkowej umożliwiają bardziej dokładne i bezpieczne wykonanie zabiegu, mieszanie różnych składników ze sobą oraz ograniczają korozyjne oddziaływanie cieczy użytkowej na elementy konstrukcyjne aparatury opryskującej.

We współczesnej ochronie roślin zauważyć można tendencję do łącznego stosowania różnych agrochemikaliów. Większość obecnie stosowanych środków może być łączona z dwoma lub trzema innymi substancjami (10). Do grupy tej należą także adiuwanty.

Adiuwantami, które wspomagają działanie środków ochrony roślin są surfaktanty, oleje mineralne i roślinne oraz związki mineralne.

Jako surfaktanty najczęściej stosowane są etoksyłowane alkohole, alkiloaminy, alkilofenole i sorbitany (15). Najistotniejszą funkcją surfaktantów jest obniżanie napięcia powierzchniowego cieczy użytkowej, co powoduje wzrost absorpcji składnika czynnego oraz lepszą jego penetrację przez kutikulę liści (20). Zmniejszenie napięcia powierzchniowego cieczy roboczej wpływa na poprawę zwilżania powierzchni opryskiwanych liści. Jak wykazały badania (11) efektywność działania poszczególnych surfaktantów może być znacznie zróżnicowana. Jest to wynikiem odmiennej budowy chemicznej i właściwości fizykochemicznych środka powierzchniowo czynnego.

Następną grupą substancji chemicznych stosowanych jako adiuwanty są oleje mineralne i roślinne z dodatkiem około 15-20% emulgatora. Wiele herbicydów stosowanych z tą grupą adiuwantów wykazuje wzrost aktywności biologicznej (1, 18). Porównaniem skuteczności działania różnych olejów jako dodatku do środków ochrony roślin zajmowało się wielu autorów. Z ich badań wynika, że olej mineralny znacznie efektywniej niż olej roślinny zwiększył pobieranie przez chwasty takich substancji aktywnych herbicydów, jak: diklofop-metyl, fluaazyfop-P-butyl, chizalofop, setoksydym (23, 24). Natomiast takie substancje czynne, jak: atrazyna, bentazon, fenmedifam czy rimsulfuron działają efektywniej z dodatkiem olejów roślinnych (3). Adiuwanty olejowe umożliwiają równomierne nanoszenie herbicydu na opryskiwaną powierzchnię, a także zwiększają absorpcję i translokację składnika czynnego przez warstwę woskową liścia i błony komórkowe roślin (6).

W dotychczasowych badaniach niewiele uwagi poświęca się problemowi rodzaju i koncentracji emulgatora stosowanego w adiuwantach olejowych. Okazuje się, że

emulgatory nie tylko umożliwiają uzyskanie odpowiedniej emulsji wodnej cieczy użytkowej, ale także mogą wywierać duży wpływ na pobieranie i przemieszczanie składnika czynnego przez opryskiwane rośliny.

Skuteczność działania adiuwantów olejowych uzależniona jest od doboru herbicydu i stosowanego z nim oleju, rodzaju i koncentracji emulgatora oraz stadium rozwojowego i budowy morfologicznej chwastów (12). Duże znaczenie ma także temperatura i wilgotność względna powietrza podczas zabiegu (1, 7). Dodatni efekt stosowania adiuwantów uwidacznia się w momencie, gdy zabieg wykonywany jest w warunkach chłodu i niskiej wilgotności powietrza (8).

W ostatnich latach coraz częściej stosowane są adiuwanty oparte na olejach pochodzenia roślinnego lub też ich pochodne uzyskiwane w procesie transestryfikacji (3).

Funkcję adiuwantów spełniają również niektóre sole nieorganiczne, a w szczególności związki zawierające w swej budowie kation amonowy NH_4^+ (14). Wzrost biologicznej aktywności herbicydów stosowanych łącznie z substancjami zawierającymi jon amonowy tłumaczy się zniesieniem antagonistycznego działania soli rozpuszczonych w wodzie służącej do sporządzania cieczy opryskowej oraz zwiększoną w tych warunkach przepuszczalnością błon komórkowych roślin (5).

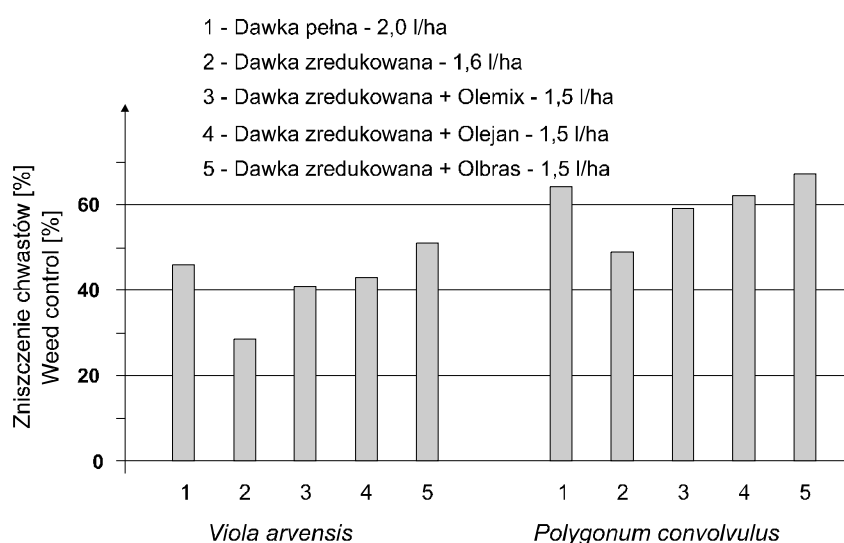
Nową grupą są adiuwanty wieloskładnikowe. Przykładem takiego adiuwantu jest produkt polski AS 500 SL zawierający w swym składzie surfaktant kationowy, siarczan amonu oraz bufor pH. Adiuwant ten charakteryzuje się wielofunkcyjnym działaniem w poprawie skuteczności działania herbicydów zawierających glifosat, dikambę, bentazon i fenoksywasy. Szczególnie korzystne działanie uwidacznia się w przypadkach, gdy ciecz użytkowa sporządzana jest z wody o dużej zawartości kationów wapniowych (twarda woda); (26).

Wpływ adiuwantów na skuteczność chwastobójczą herbicydów

Jednym z głównych celów łącznego stosowania adiuwantów ze środkami ochrony roślin (głównie herbicydami) jest poprawa aktywności biologicznej, co umożliwia skuteczniejsze zwalczanie chwastów i poszerzenie spektrum działania w odniesieniu do chwastów średnio wrażliwych na herbicyd. Łączne stosowanie herbicydów z adiuwantami pozwala na zmniejszenie dawki preparatu o ok. 20-30% bez utraty skuteczności działania (3). Takie rozwiązanie umożliwia obniżenie kosztów (o ok. 10-20%) ponoszonych na zakup środków chemicznych, jak również powinno ograniczyć ryzyko występowania pozostałości substancji czynnych herbicydów w glebie i uprawianej roślinie lub znacząco obniżyć poziom ich zawartości. Obniżanie dawek herbicydów można stosować w przypadku, gdy zabiegi wykonywane są w optymalnych terminach i warunkach pogodowych przewidzianych w instrukcji stosowania. Nie należy natomiast obniżać dawek w przypadkach, gdy zabieg jest opóźniony (nieodpowiednia faza rozwojowa chwastów), występuje duże nasilenie chwastów lub warunki pogodowe nie sprzyjają działaniu preparatów (niska wilgotność powietrza, niska temperatu-

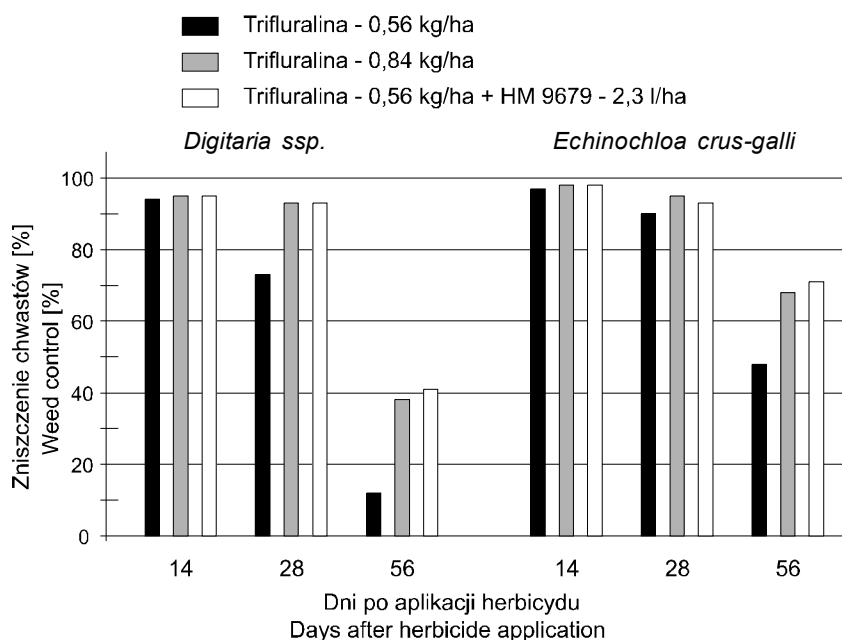
ra). W takich sytuacjach zastosowanie adiuwanta umożliwi zachowanie dobrej skuteczności działania bez konieczności wykonywania zabiegów uzupełniających lub zwiększania dawek. Na rysunku 1 przedstawiono wyniki ilustrujące wpływ adiuwantów na skuteczność zwalczania *Viola arvensis* i *Polygonum convolvulus* preparatem Basagran 600 SL w uprawie grochu. Zastosowanie adiuwantów pozwoliło na obniżenie dawki herbicydu o 20% bez utraty skuteczności zwalczania obu chwastów.

Adiuwanty stosowane są najczęściej w zabiegach powstochodowych (nalistnych). Coraz większego znaczenia nabierają adiuwanty stosowane z herbicydem w zabiegach przedwstochodowych (doglebowych); (19). Dzięki dodatkowi adiuwanta następuje spowolnienie przenikania herbicydu w głębsze warstwy profilu glebowego, co znacząco wydłuża czas działania na chwasty. Na rysunku 2 przedstawiono wyniki doświadczenia, w którym porównywano skuteczność zwalczania chwastów na obiektach, gdzie stosowano adiuwant w zabiegach przedwstochodowych. Korzystny wpływ adiuwantu na skuteczność działania trifluraliny można zaobserwować, szczególnie po 56 dniach od aplikacji herbicydu. Na obiekcie z adiuwantem stwierdzono bowiem 20-30% wzrost skuteczności w niszczeniu chwastów w porównaniu z obiektem, gdzie stosowano sam herbicyd. Zbliżoną efektywność uzyskano po zastosowaniu znacznie wyższej dawki trifluraliny ($0,84 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$).



Rys. 1. Wpływ adiuwantów na skuteczność zwalczania chwastów herbicydem Basagran 600 SL na plantacji grochu

Źródło: Badania własne, Wrocław, 1999.



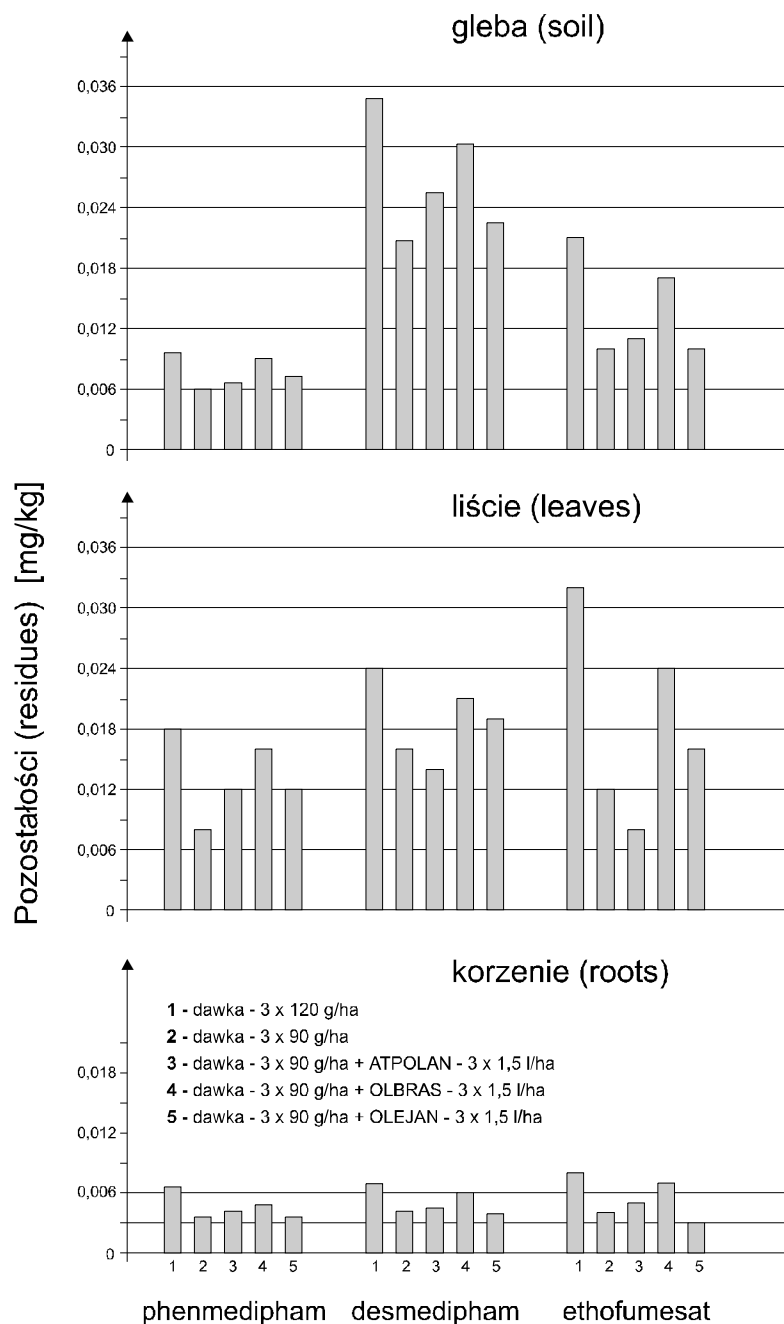
Rys. 2. Wpływ adiuwantów na skuteczność zwalczania chwastów w soi – zabieg przedwiosenny
Źródło: Mc Mullan P. M., 1998 (19).

Wpływ adiuwantów na zachowanie się herbicydów w środowisku

W wielu krajowych i zagranicznych ośrodkach naukowych prowadzone są badania mające na celu określenie wpływu jaki stosowane agrochemikalia (w zależności od warunków pogodowych, glebowych i sposobu aplikacji) wywierają na środowisko wodne, glebowe i roślinne (stężenie pozostałości, dynamika rozkładu); (13). Do tych prac należą również badania nad oddziaływaniem substancji wspomagających (adiuwantów).

Wyniki uzyskane z doświadczeń polowych (17) wskazują, że w około 50-70% prób gleby i materiału roślinnego wystąpił nieznaczny wzrost stężenia pozostałości substancji aktywnych herbicydów po zastosowaniu ich z adiuwantami, w porównaniu z obiektami, gdzie aplikowano sam herbicyd. Nie stwierdzono jednak, aby dodatek adiuwantów powodował tak wysoki wzrost pozostałości herbicydów, który by prowadził do przekroczenia dopuszczalnych stężeń pozostałości określonych w normach polskich i unijnych. Na rysunku 3 przedstawiono wyniki analiz pozostałości trzech substancji aktywnych herbicydów badanych w glebie, liściach i korzeniach buraka cukrowego. W doświadczeniu tym herbicydy były aplikowane w dawce pełnej, rekomendowanej oraz w dawce obniżonej – bez i z dodatkiem adiuwantów.

Adiuwanty trafiając do gleby mogą powodować zmianę jej właściwości fizycznych, chemicznych i biologicznych. Skutkiem tego zmienia się penetracja i pojemność



Rys. 3. Wpływ adiuwantów na poziom pozostałości fenmedifamu, desmedifamu i etofumesatu w glebie, liściach i korzeniach buraka cukrowego
 Źródło: Badania własne, Wrocław, 2000.

wodna gleby oraz mobilność bądź trwałość herbicydu (4). Stwierdzono, że dodatek adiuwanta powoduje zmniejszenie mobilności herbicydów w profilu glebowym (9), co może powodować wzrost poziomu pozostałości substancji aktywnej w warstwie ornej. Z drugiej zaś strony szybkość rozkładu wielu substancji aktywnych w tej warstwie gleby uzależniona jest od warunków pogodowych (wyższa temperatura i wilgotność gleby sprzyjają szybszemu rozkładowi); (22). Badania laboratoryjne i polowe wykazały, że dodatek adiuwanta spowalnia proces rozkładu wielu substancji aktywnych herbicydów (np.: trifluraliny (25), atrazyny (16) i fenmedifamu (17, 21)) w glebie. Przebieg tego procesu jest różny w zależności od badanych substancji aktywnych i rodzaju adiuwanta, a także od warunków, w których odbywały się doświadczenia (szklarnia i pole).

Podsumowanie

Łączne stosowanie herbicydów z adiuwantami daje wymierne korzyści dla środowiska i praktyki rolniczej, gdyż umożliwia:

- ograniczenie ujemnych następstw stosowania chemicznych środków ochrony roślin (pozostałości substancji aktywnych oraz przenikanie ich w głąb profilu glebowego i do wód gruntowych),
- obniżenie dawki herbicydu bez utraty skuteczności działania,
- ograniczenie wpływu niekorzystnych czynników środowiska podczas zabiegu na jego skuteczność (np. wilgotność i temperatura powietrza),
- zmniejszenie kosztów ochrony roślin,
- polepszenie właściwości fizykochemicznych cieczy użytkowej.

Literatura

1. Adamczewski K.: Wpływ oleju lnianego na fitotoksyczne działanie bentazonu w zależności od niektórych czynników siedliska. *Rocz. Nauk Rol., Seria E*, 1978, **8(1)**: 9-55.
2. Adamczewski K., Matysiak R.: Adiuwanty do środków ochrony roślin - podział i klasyfikacja. *Ochr. Rośl.*, 1997, **4/5**: 16-18.
3. Adamczewski K., Praczyk T.: Rape seed oil as a herbicide adjuvant in Poland. *Proc. 4th Intern. Symp. „Adjuvants for agrochemicals”*. Melbourne, 1995, 374-378.
4. Bayer D. E., Foy C. L.: Action and fate of adjuvants in soils. *Weed Sci.*, 1982, **34**: 84-92.
5. Beckett T. H., Stoller E. W.: Effect of methylammonium and urea ammonium nitrate on foliar uptake of thifensulfuron in velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). *Weed Sci.*, 1991, **39**: 333-338.
6. Beckett T. H., Stoller E. W., Bode L. E.: Quizalofop and setoxydim activity as affected by adjuvants and ammonium fertilizers. *Weed Sci.*, 1992, **40**: 12-19.
7. Bruce J. A., Carey J. B.: Effect of growth stage and environment on foliar absorption, translocation, metabolism and activity of nicosulfuron in quackgrass (*Elytrigia repens*). *Weed Sci.*, 1996, **44**: 447-454.
8. Davies D. H. K., Wilson G. W.: Activity improvements of sulfonylurea herbicides in spring barley by use of adjuvants. *Proc. 4th Intern. Symp. „Adjuvants for agrochemicals”*. Melbourne, 1995, 415-419.
9. Foy C. L., Foy C. M.: Influence of certain surfactants on the mobility of selected herbicides in soil. *Proc. 2nd Intern. Symp. „Adjuvants for agrochemicals”*. Blacksburg, 1989, 349-365.

10. Green J. M., Bruhn J. A., Baylis A. D., Chapman P. F.: Commercially successful pesticide mixtures. *Aspec. Appl. Biol.*, 1995, **41**: 1-9.
11. Green J. M., Green J. H.: Surfactant structure and concentration strongly affect rimsulfuron activity. *Weed Technol.*, 1993, **7**: 633-640.
12. Holloway P. J., Stock D., Whitehouse P., Grayson B. T.: Rational approaches to selection of surfactants for optimising uptake of foliage applied agrochemicals. *Proc. Brighton Crop Prot. Conf. - Weeds*, 1989, **1**: 225-230.
13. Horbowicz M., Dobrzański A.: Dynamika zanikania pozostałości chizalofopu etylowego w buraku ćwikłowym, pietruszce i truskawkach. *Mat. 27 Sesji Nauk. Inst. Ochr. Rośl.*, 1987, 211-214.
14. Jost R. E.: Benefits and mode of action of nitrogen fertilizers as adjuvants. *Proc. 5th Intern. Symp. „Adjuvants for agrochemicals”*. Memphis, USA, 1998, 259-266.
15. Knoche M.: Organosilicone surfactant performance in agricultural spray application: a review. *Weed Res.*, 1994, **34**: 221-239.
16. Kostowska B., Sadowski J.: The influence of adjuvants on atrazine degradation in plants and soil. *Mat. 32 Sesji Nauk. Inst. Ochr. Roślin*, 1992, 260-267.
17. Kucharski M.: Wpływ herbicydów stosowanych łącznie z adiuwantami na poziom ich pozostałości w buraku cukrowym. *Progr. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 1998, **38(2)**: 602-605.
18. Manthey F. A., Szelezniak E. F., Nalewaja J. D.: Phytotoxicity of bentazon with oils, surfactants and fertilizer salts. *Adjuvants for agrichemicals*. CRC Press, Boca Raton, Ann Arbor, London, 1992, 473-483.
19. McMullan P. M., Thomas J. M., Volgas G.: HM9679 – a spray adjuvant for soil-applied herbicides. *Proc. 5th Intern. Symp. „Adjuvants for agrochemicals”*. Memphis, USA, 1998, 285-290.
20. Rogers L. M.: New trends in the formulation of adjuvants. *Proc. 4th Intern. Symp. „Adjuvants for agrochemicals”*. Melbourne, 1995, 1-10.
21. Sadowski J., Kucharski M.: Wpływ adiuwantów na dynamikę rozkładu herbicydów stosowanych do odchwaszczania buraka cukrowego. *Progr. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 1997, **37(2)**: 244-246.
22. Savage K. E., Jordan T. N.: Persistence of three dinitroaniline herbicides on the soil surface. *Weed Sci.*, 1980, **28**: 105-110.
23. Skrzypczak G., Nalewaja J. D.: Wpływ dodatków olejowych na pobieranie i przemieszczanie CGA-82725, sethoxydim i flazifop-butylu. *Rocz. Nauk Rol.*, 1985, **15(1/2)**: 159-165.
24. Stevens P. J. G.: Organosilicones as adjuvants for graminicides. *Proc. Brighton Crop Prot. Conf.-Weeds*, 1995, **2**: 757-763.
25. Swarczewicz M.: Wpływ adiuwantów olejowych na trwałość trifluraliny w glebie lekkiej. *Zesz. Nauk. AR Szczecin*, 1996, **173(63)**: 211-217.
26. Woźnica Z., Idziak R., Szewczyk R.: Nowy, wielofunkcyjny adiuwant do herbicydów opartych na glifosacie. *Progr. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2004, **44**: 531-537.

Adres do korespondencji:

doc. dr hab. Mariusz Kucharski
Zakład Herbologii i Techniki Uprawy Roli
IUNG - PIB
ul. Orzechowa 61
50-540 Wrocław
tel. (071) 363 87 07
e-mail: m.kucharski@iung.wroclaw.pl

Jerzy Sadowski, Mariusz Kucharski

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

MONITOROWANIE STANU ZANIECZYSZCZEŃ HERBICYDOWYCH W WODACH POWIERZCHNIOWYCH I GRUNTOWYCH NA TERENACH ROLNICZYCH*

Wprowadzenie

W rolnictwie zrównoważonym środki ochrony roślin powinny być wykorzystywane w taki sposób, aby minimalizować ich niekorzystny wpływ na środowisko. Zapis o nadrzędności ochrony zdrowia ludzi i zwierząt oraz środowiska nad osiąganiem korzyści wynikających z tytułu wzrostu produkcji znajduje odzwierciedlenie w preambule do Dyrektywy nr 91/414/EWG Rady Unii Europejskiej.

W rolnictwie zrównoważonym istotnym zmianom uległa również koncepcja stosowania herbicydów. W chwili obecnej nie mówi się już o zwalczaniu chwastów, ale o regulacji zachwaszczenia w poszczególnych uprawach. Zdecydowały o tym zarówno względy ekonomiczne, jak również zagadnienia ochrony środowiska. Znaczący rozwój i postęp w dziedzinie badań dotyczących praktycznych i ekonomicznych aspektów stosowania herbicydów oraz coraz szersze i precyzyjne badania zachowania się chemicznych środków ochrony roślin w środowisku przyczyniły się do unowocześnienia samych herbicydów i poprawy szeroko rozumianego bezpieczeństwa ich stosowania.

Metody badań

Monitoring jest jedną z metod badawczych pozwalających na obserwację i kontrolę zjawisk towarzyszących chemicznej ochronie roślin. W zależności od celu i zakresu badań wybierane są odpowiednie strategie badawcze. Jako metoda badawcza monitoring umożliwia:

- ocenę potencjalnego zagrożenia środowiska,
- oszacowanie ilości, mobilności i toksyczności środków szkodliwych,
- kontrolę procesu oczyszczania terenów skażonych,
- ocenę przyczyn awarii,
- prewencyjne monitorowanie środowiska.

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.4 w programie wieloletnim IUNG - PIB

Metody monitorowania substancji szkodliwych w środowisku można podzielić na trzy zasadnicze grupy ze względu na przyjęte procedury badawcze:

Metoda klasyczna

Polega na pobieraniu próbek wody w terenie (próbkowanie punktowe). Próbki te transportowane są do laboratorium, a następnie sukcesywnie poddawane obróbce i analizom instrumentalnym.

Badania w terenie (field screening)

W odróżnieniu od metody klasycznej sposób ten polega na dokonywaniu na miejscu testów analitycznych, które mogą być stosowane również poza laboratorium, pozwalających wykryć obecność monitorowanych substancji. Dzięki szybkim wynikom analiz (metody polowe mają z reguły skrócone i uproszczone cykle analityczne) możliwe jest elastyczne postępowanie rozpoznawcze. W przypadku analityki w terenie próbkowanie oraz przygotowanie próbek do analizy jest elementem dostosowanym do warunków lokalnych i rozwiązuje się je od razu na miejscu.

Metody łączone

Ta grupa metod łączy w sobie cechy wyżej wymienionych sposobów prowadzenia monitoringu. W terenie dokonuje się wstępnej selekcji próbek. Do dokładnych badań laboratoryjnych pozostawia się tylko te, które we wstępnych testach dały wynik pozytywny. Umożliwia to przebadanie większej liczby próbek oraz elastyczny wybór miejsc ich pobierania. Sposób ten pozwala na dokładniejszą lokalizację występowania skażeń w terenie.

Wybór metody monitorowania zależy w głównej mierze od posiadanego zaplecza laboratoryjnego i aparatury analitycznej.

Przykłady monitorowania wód

W wielu krajach badania z tego zakresu prowadzone są na dużą skalę od szeregu lat. Obok rutynowej kontroli czystości wód prowadzi się prace badawcze w terenie, w celu weryfikacji wyników uzyskanych w badaniach modelowych oraz dogłębniejszego poznania mechanizmów i procesów wpływających na zachowanie się herbicydów w środowisku. Uzyskane przez poszczególnych autorów wyniki były różne w zależności od skali i metodyki badań.

W latach 1985–1987 w wodach powierzchniowych i gruntowych stanu Arkansas wykryto obecność 18 substancji czynnych herbicydów, w tym głównie pochodnych triazyn, fenylomocznika i związków z grupy 2,4-D w ilościach $0,0055\text{--}0,0065\text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ (2). Podobne badania w stanie Nebraska wykazały obecność atrazyny w 22% próbek wody gruntowej w stężeniu do $0,003\text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ (25).

Wpływ naturalnych warunków hydrogeologicznych na występowanie i poziom skażeń herbicydowych oraz wybór pod tym kątem punktów monitorowania opisują K l e i n e i in. (5). Autorzy stwierdzają obecność triazyn w wodach gruntowych. Natomiast monitoring 18 jezior Szwajcarii wykazuje obecność w ich wodach atrazyny i simazyny w stężeniu do $0,0460\text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ (1). Monitoring rzeki Sydenham w prowincji

Ontario (Kanada) w latach 1981–1987 wykazuje stałą obecność pochodnych triazynowych (4).

Badania na obszarze południowej Styrii (Austria) pozwoliły wykryć obecność atrazyny w 91% pobranych próbek wód gruntowych (26). Analizy próbek wody z delt wielkich rzek wpadających do Morza Śródziemnego prowadzone wspólnie przez kraje EWG wykazały obecność pochodnych triazynowych (symazyna i atrazyna); (19).

Pochodne fenylomocznikowe (izoproturon i chlorotoluron) oraz triazyny w wodach powierzchniowych i gruntowych wschodniej Anglii wykrył C r o l l (3). Autor zauważa zależność między występowaniem skażeń wód gruntowych a intensywnością i zmianowaniem stosowania herbicydów.

Badania próbek wód powierzchniowych i gruntowych z okolic Paryża wykazały obecność 38 pestycydów, w tym 19 herbicydów (m.in. atrazyna, symazyna i mekoprop), nawet do poziomu $0,8000 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ (10).

Wieloletnie stosowanie tych samych substancji czynnych (triazyny), jak to ma miejsce w uprawie kukurydzy czy w sadownictwie, może prowadzić do przenikania tych substancji do wód gruntowych i wystąpienia wysokiego poziomu skażeń (9, 11, 12).

Badania monitoringowe i kontrolne wody pitnej wykazują również obecność substancji czynnych herbicydów (głównie pochodnych triazynowych). Jednak stężenia tych związków są na ogół bardzo niskie (7, 8, 18).

Badania w Polsce prowadzone przez IUNG

Pierwsze wyniki badań z lat 1983–1989 wykonane w Zakładzie Ekologii i Zwalczania Chwastów IUNG we Wrocławiu (6) wykazują obecność w wodach powierzchniowych Dolnego Śląska substancji czynnych herbicydów z grup triazyn i kwasów fenoksyalkanokarboksylowych. Rezultaty potwierdzające te wyniki uzyskano w toku kontynuacji i rozszerzenia prac z tego zakresu (20, 22, 23). Na skromną krajową literaturę z tego zakresu składa się kilka przyczyn, a do istotnych należą braki odpowiedniej aparatury analitycznej, duży koszt i pracochłonność badań.

Badania w Zakładzie Ekologii i Zwalczania Chwastów prowadzono według metody klasycznej. Monitorowanie obejmowało sieć stałych punktów pobierania próbek wód powierzchniowych i studziennych w zlewniach rzek: Bystrzycy, Ślęzy i Widawy. Zakładanie sieci punktów poboru wód rozpoczęto w roku 1983. W chwili obecnej obejmuje ona 45 punktów, z których 27 to płynące wody powierzchniowe (rowy melioracyjne, cieki śródpolne), a 18 – studnie o różnej głębokości (głównie 4-6 m). Z punktów tych pobierano próbki wody w dwu zasadniczych terminach:

- wiosennym (w okresie trwania wiosennych zabiegów herbicydowych),
- jesiennym (w okresie jesiennych zabiegów herbicydowych).

Uzupełniając pobierano wyrywkowo próbki po okresach intensywnych opadów (np. po powodzi w roku 1997 (21)).

W pobranych próbkach wód oznaczano pozostałości kilkunastu substancji aktywnych herbicydów. W tabeli 1 zamieszczono nazwy zwyczajowe i chemiczne analizo-

wanych substancji oraz oznaczalności tych związków. Do finalnego oznaczania pozostałości wykorzystywano chromatografię gazową (Shimadzu GC 17A i Varian CP 3800) z zastosowaniem detektora jonizacyjno-rekombinacyjnego (ECD) oraz wysokosprawną chromatografię cieczową z detektorem UV (Shimadzu SPD 10A). Do weryfikacji wyników budzących wątpliwości (np. wykrycie wyjątkowo „dużych” pozostałości) próbkę analizowano równolegle różnymi metodami (GC i HPLC) dla potwierdzenia lub zanegowania uzyskanego wyniku, a od roku 2005 GLC/MS (Varian Saturn 2200). Stosowane procedury analityczne, które stały się normami, opracowano w Zakładzie Ekologii i Zwalczania Chwastów IUNG-PIB we Wrocławiu (13-17).

Wyniki badań i ich wykorzystanie

Wyniki uzyskane w trakcie monitorowania wód stanowią zbiór rezultatów wielu analiz. Mogą być przedstawiane w różny sposób. Wybór sposobu opracowania wyników ma istotne znaczenie dla wniosków z przeprowadzonych badań. Na wynikach badań uzyskanych w Zakładzie Herbológii i Technik Uprawy Roli IUNG-PIB przedstawiono różne sposoby opracowywania i prezentacji wyników.

Zazwyczaj jako wynik monitorowania podawane są takie informacje, jak: spektrum wykrywanych substancji, ich maksymalne stężenia oraz wielkości normatywne (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), do których porównywane są uzyskiwane wyniki.

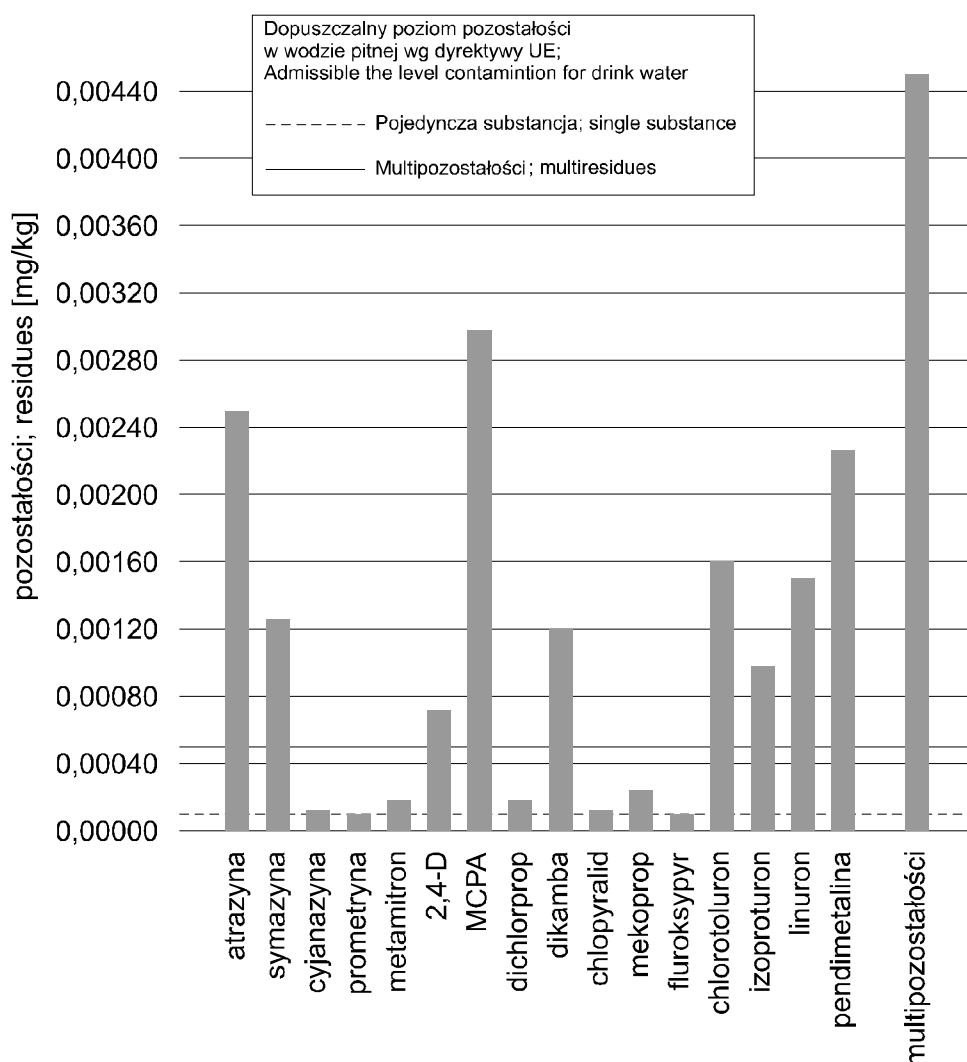
Tabela 1

Substancje aktywne herbicydów monitorowane w wodach powierzchniowych i studziennych

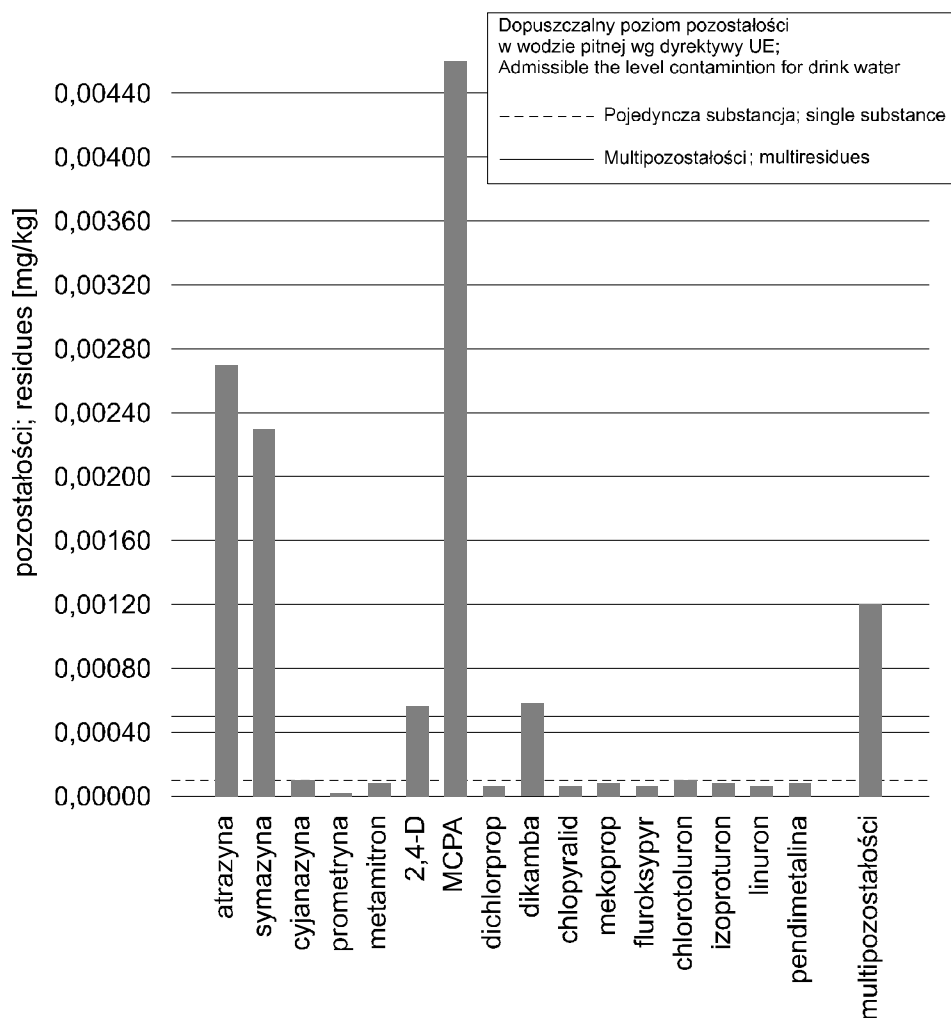
Lp.	Substancja aktywna	Nazwa chemiczna	Oznaczalność ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$)
1.	Atrazyna	2-chloro-4-etyloamino-6-izopropiloamino-1,3,5-triazyna	0,00002
2.	Cyjanazyna	2-(4-chloro-6-etyloamino-1,3,5-triazyn-2-yloamino)-2-metylopropionitryl	0,00002
3.	Metamitron	4-amino-6-fenilo-3-metylo-1,2,4-triazyn-5(4H)-on	0,00002
4.	Symazyna	2-chloro-4,6-bis(etyloamino)-1,3,5-triazyna	0,00002
5.	2,4-D	kwasy (2,4-dichlorofenoksy) octowy	0,00002
6.	Dichlorprop	kwasy ($\pm$)-2-(2,4-dichlorofenoksy) propionowy	0,00002
7.	MCPA	kwasy (4-chloro-2-metylofenoksy) octowy	0,00004
8.	Mekoprop	kwasy (4-chloro-2-metylofenoksy) propionowy	0,00004
10.	Dikamba	kwasy 3,6-dichloro-2-metoksy benzoowy	0,00002
11.	Chlopyralid	kwasy 3,6-dichloropirydyno-2-karboksylowy	0,00001
12.	Chlorotoluron	3-(3-chloro-4-metylofenilo)-1,1-dimetylomocznik	0,00002
13.	Izoproturon	3-(4-izopropilo-4-metylofenilo)-1,1-dimetylomocznik	0,00002
14.	Linuron	3-(3,4-dichlorofenilo)-1-metoksy-1-metylomocznik	0,00002
15.	Fluroksypyr	kwasy 4-amino-3,5-dichloro-6-fluoro-2-pirydyloksyloctowy	0,00001
16.	Pendimetalina	N-(1-etylopropyl)-3,4-dimetylo-2,6-dinitrobenzamid	0,00002

Źródło: Opracowanie własne z wykorzystaniem norm (13-17, 20).

Przykłady takiej prezentacji wyników przedstawiono na rysunkach 1 i 2. Taki sposób prezentacji wyników nie jest jednak kompletny i może prowadzić do fałszywych wniosków. Podanie jedynie maksymalnych wykrytych pozostałości nie pozwala na oszacowanie stanu zanieczyszczenia środowiska wodnego. Nie określa bowiem jaki jest odsetek prób, w których wykryto pozostałości poszczególnych substancji aktywnych oraz jak liczne są próbki zawierające określony poziom pozostałości. Taką informację z uzyskanych badań przedstawiono na rysunkach 3 i 4. Ten sposób prezentacji określa strukturę uzyskanych wyników, a także pozwala na ocenę stanu i stopnia zanieczyszczenia środowiska monitorowanymi agrochemikaliami.



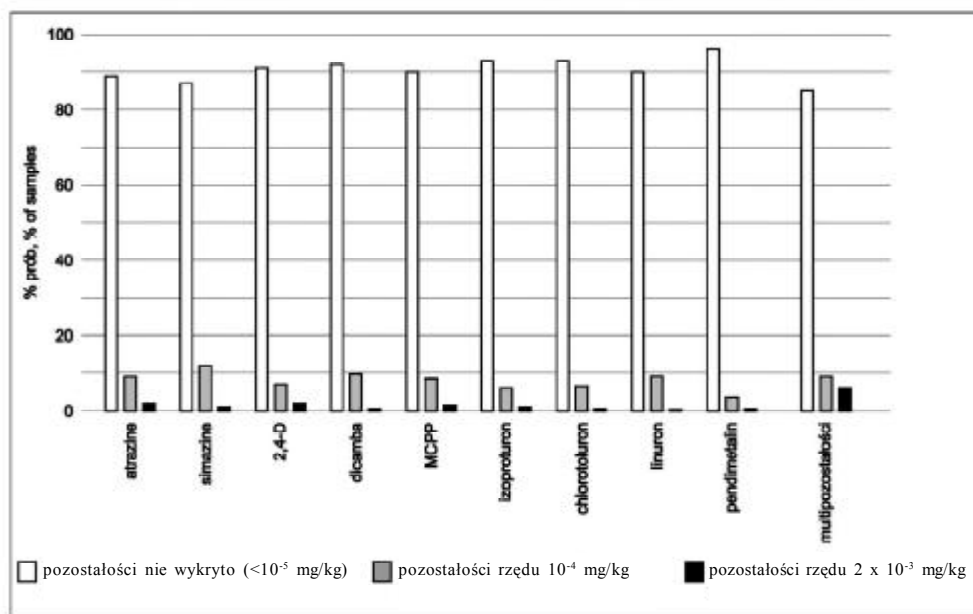
Rys. 1. Maksymalne pozostałości herbicydów wykryte w wodach powierzchniowych
Źródło: Opracowanie własne.



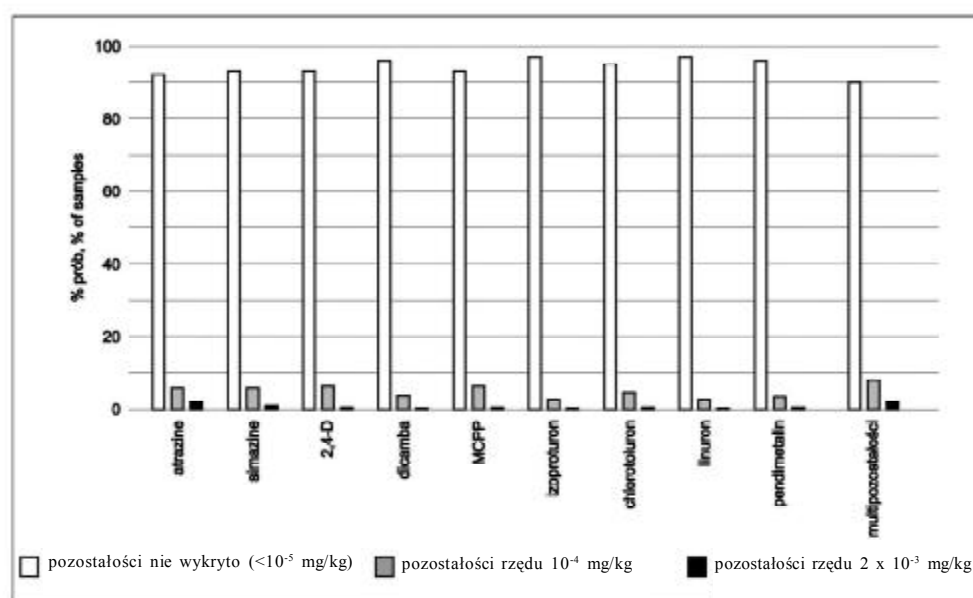
Rys. 2. Maksymalne pozostałości herbicydów w wodach gruntowych
Źródło: Opracowanie własne.

Gromadzenie wyników monitoringu z wielu lat pozwala na zaobserwowanie zmian zachodzących w środowisku wodnym (skala i stopień zanieczyszczeń) oraz określanie trendu zachodzących zmian. Przykład takiego wykorzystania wyników przedstawiono na rysunku 5.

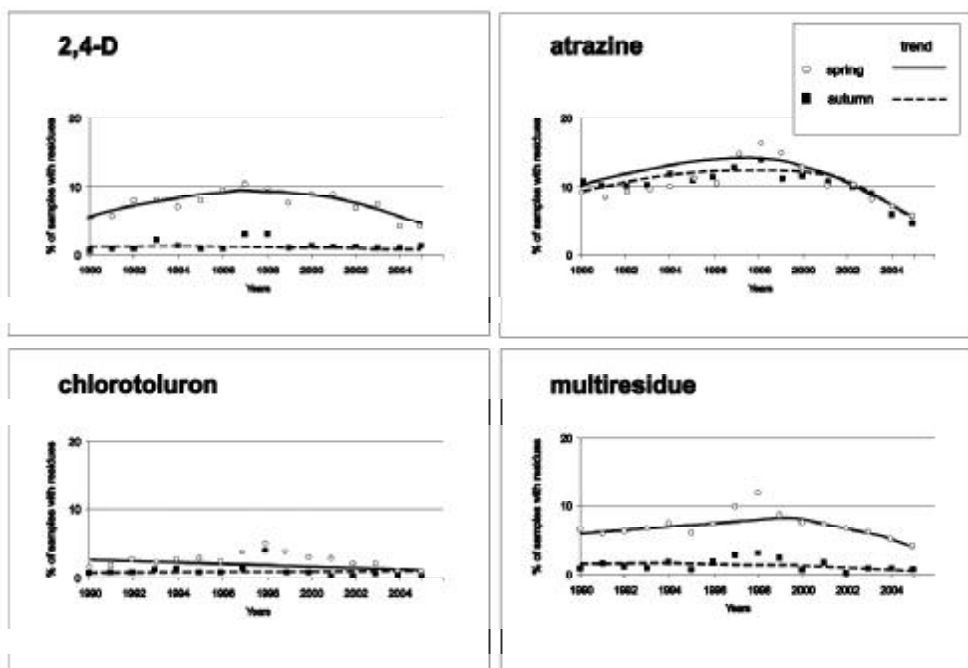
Wyniki wieloletnich badań pozwalają również na sporządzanie różnorodnych opracowań odnoszących się do wybranych wycinków monitorowanego terenu. Taki sposób wykorzystania wyników przedstawiono na rysunku 6. Prezentowany przykład pozwala na ocenę stopnia zanieczyszczenia wód w wybranej zlewni (w tym przypadku rzeki Widawy).



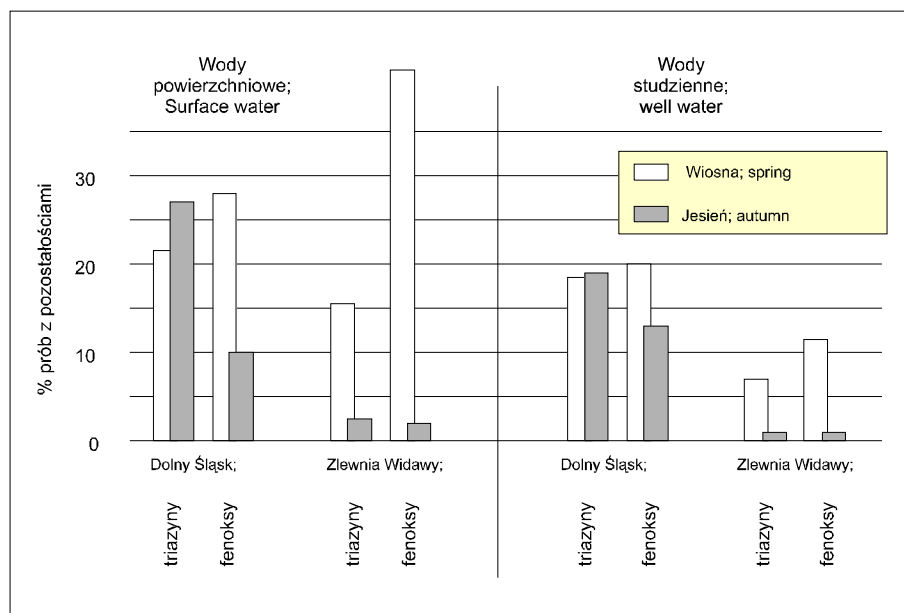
Rys. 3. Poziom i częstotliwość występowania pozostałości w wodach powierzchniowych
Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 4. Poziom i częstotliwość występowania pozostałości w wodach gruntowych
Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 5. Częstość występowania pozostałości herbicydów w wodach gruntowych
 Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 6. Poziom zanieczyszczenia wód w zlewni rzeki Widawy
 Źródło: Opracowanie własne.

Podsumowanie

Wyniki uzyskiwane w trakcie badań monitoringowych pozwalają na przygotowanie raportów o stanie zanieczyszczenia środowiska oraz na określanie przyczyn obserwowanych sytuacji. Wyniki uzyskiwane w badaniach prowadzonych przez Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli IUNG - PIB we Wrocławiu pozwalają na następujące stwierdzenia:

- Częstotliwość wykrywania pozostałości substancji aktywnych w wodach powierzchniowych związana jest z terminami zabiegów wiosennych i jesiennych oraz asortymentem stosowanych herbicydów. Wiosną najczęściej stosowane są herbicydy zawierające głównie 2,4-D i MCPA. Pozostałe substancje z tej grupy (dikamba, 2,4-DP, MCPP, chlopypirid, fluroksypir) stanowią zwykle niskoprocentowy dodatek w preparatach wieloskładnikowych. Substancje pochodne fenylomocznika (chlorotoluron i izoproturon) zawarte są w preparatach stosowanych w zabiegach wiosennych i jesiennych. Natomiast pochodne triazyn stosowane są najczęściej w terminach wiosennych. Znajduje to odzwierciedlenie w wynikach monitoringu wód powierzchniowych.
- Do wód powierzchniowych herbicydy przedostają się głównie w wyniku znośnienia kropli cieczy opryskowej w czasie zabiegu. Inne drogi przenikania herbicydów do wód nie transportują takich ilości pozostałości. Ponadto w płynących wodach powierzchniowych następuje szybkie rozcieńczenie trafiających do wody substancji, co sprawia, że po kilku dniach w tym samym punkcie poziom pozostałości może być zupełnie różny. Pojedynczy wynik jest więc „fotografią momentu pobierania próby”. Natomiast wyniki z wielu lat odzwierciedlają skalę i dynamikę zjawiska przedostawiania się agrochemikaliów do wód powierzchniowych na terenie objętym badaniami.
- W wodach gruntowych nie stwierdzono tak wyraźnych różnic w sezonowości (wiosna–jesień) występowania skażeń herbicydowych.
- Równie istotne, jak dane dotyczące częstotliwości występowania, są informacje o wielkości wykrywanych pozostałości. Poziom $<10^{-5} \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ to próby, w których pozostałości nie wykryto. Poziom $10^{-4} \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ to próby z pozostałościami na granicy wykrywalności stosowanych metod analitycznych. Poziom $2 \cdot 10^{-3} \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ i więcej cechuje próby, w których pozostałości przekraczają dopuszczalne wielkości dla wody pitnej.
- W wodach powierzchniowych odsetek prób zawierających pozostałości na poziomie $2 \cdot 10^{-3} \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ był znikomy. Zwykle było to nie więcej niż 2 próbki w roku – dotyczy to pojedynczych substancji, jak i multipozostałości. Skażenia na poziomie wykrywalnym, ale nie przekraczającym dopuszczalnych norm dla wody pitnej zawierało nie więcej niż 10% prób. Zdecydowana większość badanych wód powierzchniowych nie zawierała pozostałości substancji aktywnych.
- W wodach pobranych ze studni odsetek prób w poszczególnych grupach wyników był zbliżony do rezultatów dla wód powierzchniowych. Dodać należy, że w okresie lat 1990–2005 pozostałości o stężeniach przekraczających dopuszczalne

normy na ogół nie były wykrywane. Zdarzały się jedynie przypadki incydentalne. Intensywność i szybkość przenikania pozostałości herbicydów do wód podziemnych zależy od wielu czynników. W znacznym uproszczeniu jako najistotniejsze można wymienić: właściwości fizykochemiczne substancji aktywnej, typ i skład granulometryczny gleby oraz warunki meteorologiczne (głównie rozkład w czasie i intensywność opadów).

- W wodach powierzchniowych i gruntowych zaobserwowano tendencję spadkową występowania pozostałości herbicydów, zwłaszcza pochodnych triazynowych. Związane jest to ze stopniowym wycofywaniem z produkcji i sprzedaży preparatów zawierających tę grupę substancji aktywnych.

Literatura

1. Buser H. R.: Atrazine and other s-triazine herbicides in lakes and in rain in Switzerland. *Environ. Sci. Technol.*, 1990, **24(7)**: 1049-1058.
2. Cavalier T. C., Lavy T. L., Mattice J. D.: Assessing Arkansas ground water for pesticides: methodology and findings. *Ground Water Monit. Rev.*, 1989, **9(4)**: 159-166.
3. Croll B. T.: Pesticides in surface waters and ground waters. *J. Institut. Water Environ. Manag.*, 1991, **5(4)**: 389-395.
4. Frank R., Clegg B. S., Chapman N. D.: Triazine and chloroacetamide herbicides in Sydenham River water and municipal drinking water, Dresden, Ontario, Canada, 1981-1987. *Arch. Environ.-Contamin. Toxic.*, 1991, **19(3)**: 319-324.
5. Kleine W., Litz N., Müller-Wegener U., Milde G.: Strategie und bisherige Ergebnisse einer Beprobungsserie von Eigenwasserversorgungsanlagen auf PSM-Belastungen im Grundwasser. *Mitt. Deuts. Bodenkund.-Gesell.*, 1989, **59(2)**: 1079-1084.
6. Kostowska B., Sadowski J., Rola J.: Herbicydy a środowisko glebowo-wodne. *Mat. Kraj. Konf. Nauk.-Techn. „Stan zagrożenia środowiska glebowo-wodnego przez agrochemikalia”*. Wyd. SITR-NOT Wrocław, 1989, 1-28.
7. Koterba M. T., Banks W. S. L., Shedlock R. J.: Pesticides in shallow groundwater in the Delmarva Peninsula. *J. Environ. Quality*, 1993, **22(3)**: 500-518.
8. Kross B. C., Selim M. I., Hallberg G. R., Bruner D. R., Cherryholmes K.: Pesticide contamination of private well water, a growing rural health concern. *Environ. Intern.*, 1992, **18(3)**: 231-241.
9. Kuhn G., Franzle O.: Assessment of pollution of groundwater by atrazine. *Land Degrad. Rehab.*, 1993, **4(4)**: 245-251.
10. Legrand M. F., Costentin E., Bruchet A.: Occurrence of 38 pesticides in various French surface and ground waters. *Water-Supply*, 1992, **10(2)**: 51-61.
11. Litz N.: Information on the contamination situation by herbicides in former border areas. *Nachricht. Deuts. Pflanzenschut.*, 1991, **43(12)**: 257-261.
12. Pickett C. H., Hawkins L. S., Pehrson J. E., O'Connell N. V.: Irrigation practices, herbicide use and groundwater contamination in citrus production: a case study in California. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 1992, **41(1)**: 1-17.
13. Polska Norma – PN-R-04109: Materiał roślinny i gleba. Oznaczanie pozostałości herbicydów. Substancja aktywna – chlopyralid. Wyd. Norm., Warszawa, 1994.
14. Polska Norma – PN-R-04111: Materiał roślinny i gleba. Oznaczanie pozostałości herbicydów. Substancja aktywna – pochodne fenoksykwasów. Wyd. Norm., Warszawa, 1994.
15. Polska Norma – PN-94/R-04113: Gleba i materiał roślinny. Oznaczanie pozostałości herbicydów. Substancja aktywna – metamiton. Wyd. Norm., Warszawa, 1994.

16. Polska Norma – PN-94/R-04118: Gleba i materiał roślinny. Oznaczanie pozostałości herbicydów. Substancja aktywna – pochodne triazyn. Wyd. Norm., Warszawa, 1994.
17. Polska Norma – PN-R-04123: Materiał roślinny i gleba. Oznaczanie pozostałości herbicydów. Substancja aktywna – pochodne mocznika. Wyd. Norm., Warszawa, 1994.
18. Radix P., Belleville L., Eyguen J., Chevallier P.: Pesticides pollution in several drinking water networks in the south-eastern part of France. *Fresenius-Environ. Bull.*, 1992, suppl., 36-41.
19. Readman J. W., Albanis T. A., Barcelo D., Galassis S., Tronczynski J., Gabrieldes G. P.: Herbicide contamination of mediterranean estuarine waters: results from a MED POL pilot survey. *Marine Poll. Bull.*, 1993, **26(11)**: 613-619.
20. Sadowski J., Kostowska B.: Stopień skażenia wód śródlądowych przez herbicydy. *Mat. 28 Sesji Nauk. IOR Poznań, cz. I. Referaty*, 1988, 85-93.
21. Sadowski J., Kucharski M.: Skażenia wód podziemnych w wyniku powodzi 1997. *Progr. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 1998, **38(1)**: 30-35.
22. Sadowski J., Rola J., Kostowska B.: Belastungssituation von Grund-und Oberflächenwasser mit Herbiziden in Südwestpolen. *Proc. 8th Symp. EWRS, Braunschweig*, 1993, **2**: 537-542.
23. Sadowski J., Kostowska B., Rola J.: Monitoring wód powierzchniowych i gruntowych województwa wrocławskiego na zawartość herbicydów. *Mat. 34 Sesji Nauk. IOR Poznań, cz. I. Referaty*, 1994, 245-251.
24. Sadowski J., Kucharski M.: Herbicide residues of water in water-collecting area of Widawa river. *Pol. J. Environ. Stud.*, 2006, **15(5)**: 441-445.
25. Spalding R. F., Burbach M. E., Exner M. E.: Pesticides in Nebraska's ground water. *Ground Water Monit. Rev.*, 1989, **9(4)**: 126-133.
26. Zouzaneas P., Sovegjarro F., Stadlbauer H., Schmid E. R.: Bestimmung von 35 ausgewählten Pestiziden in Grundwasserproben aus der Südsteiermark. *Ernährung*, 1993, **17(2)**: 77-82.

Adres do korespondencji:

prof. dr hab. Jerzy Sadowski
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli
IUNG-PIB
ul. Orzechowa 61
50-540 Wrocław
tel. (071) 363 87 07
e-mail: j.sadowski@iung.wroclaw.pl

Ewa Stanisławska-Głubiak, Jolanta Korzeniowska

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

ZASADY NAWOŻENIA MIKROELEMENTAMI ROŚLIN UPRAWNYCH*

Skład chemiczny roślin uprawnych

Wśród składników mineralnych suchej masy roślin znajdują się zarówno pierwiastki niezbędne dla ich wzrostu i rozwoju (tzw. składniki pokarmowe), jak i pierwiastki o nieznanym dotąd funkcjach fizjologicznych oraz zbyteczne czy wręcz szkodliwe. Należy podkreślić, że niektóre z nich mają charakter składników pokarmowych dla określonych gatunków roślin, a dla innych gatunków są zbędne. Stąd ścisły podział pierwiastków na wymienione grupy nie jest możliwy.

Składniki pokarmowe w zależności od zapotrzebowania ilościowego, a także funkcji jaką pełnią w roślinie, dzieli się umownie na dwie grupy:

- **makroelementy** – pierwiastki budulcowe o podstawowym znaczeniu w żywieniu roślin, występujące w dość dużych ilościach (powyżej $0,5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.), do których zalicza się: N, P, K, S, Ca i Mg;
- **mikroelementy** – pełniące funkcje fizjologiczne, występujące w znacznie mniejszych ilościach: Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo, Cl i Ni.

Do pierwiastków niezbędnych tylko dla niektórych roślin należą: Na (buraki, szpinak), Si (ryż, trawy) i Co (motylkowate). Ponadto niektóre pierwiastki występujące w roślinach są dla nich zbędne, ale pożądane w paszach dla zwierząt i produktach spożywczych dla ludzi. Należą do nich: J, F, Co, Se i Cr. Rośliny mogą zawierać również: As, Hg, Cd, Pb i inne pierwiastki, które nie są składnikami pokarmowymi ani dla roślin ani dla zwierząt, natomiast w większych stężeniach mogą działać toksycznie na rośliny, a głównie na zwierzęta i ludzi po włączeniu ich do łańcucha pokarmowego.

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 i pozostałych makroskładników w tworzeniu biomasy. Mikroelementy jako składniki lub aktywatory enzymów uczestniczą w wielu reakcjach metabolicznych oraz spełniają bardzo ważne funkcje fizjologiczne w roślinie. **Bor** bierze udział w metabolizmie węglowodanów oraz wpływa na rozwój orga-

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.4 w programie wieloletnim IUNG - PIB

nów generatywnych, spełniając ważną rolę w procesie kiełkowania pyłku i wzrostu łagiewki pyłkowej. **Miedź** reguluje przemianę związków azotowych, wpływa na tworzenie się chlorofilu oraz na budowę ścian komórkowych. **Mangan** jest odpowiedzialny za intensywność fotosyntezy oraz bierze udział w przemianie związków azotowych i węglowodanów. **Molibden** jako składnik enzymu zwanego reduktazą azotanową bierze udział w metabolizmie azotu. Ponadto wpływa na przemiany fosforu oraz syntezę chlorofilu i witamin. **Cynk** spełnia bardzo ważną rolę w syntezie hormonów wzrostu, wpływa na przemianę białek, syntezę witamin B, C, P oraz reguluje przemiany fosforu w roślinie.

Niedobór mikroelementów w roślinie prowadzi w pierwszej kolejności do obniżenia jej odporności na niekorzystne warunki środowiska, a następnie do obniżenia poziomu plonu i pogorszenia jego jakości.

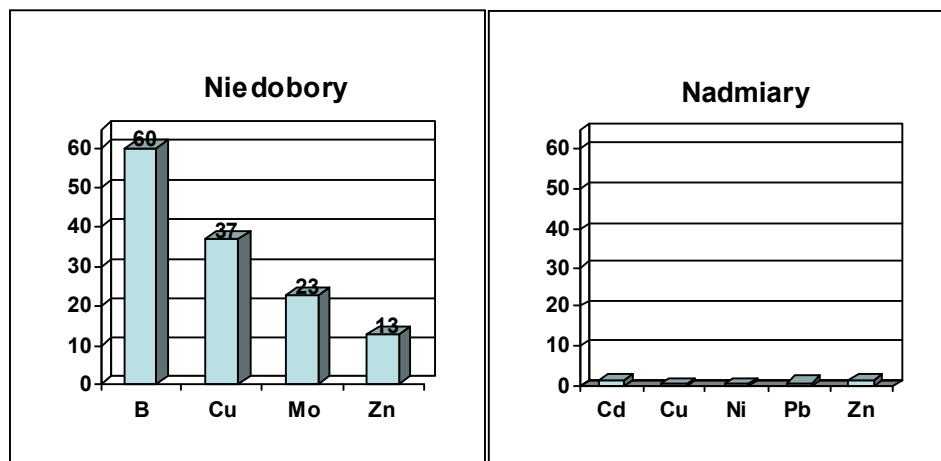
Potrzeby nawożenia mikroelementami w Polsce

Nawożenie mikroelementami roślin uprawnych zyskuje na znaczeniu w obliczu drastycznego w ostatnim dziesięcioleciu obniżenia poziomu nawożenia obornikiem, który jest cennym źródłem zarówno makro-, jak i wielu mikroskładników. Na potrzebę nawożenia mikroelementami wskazuje również fakt zmniejszenia zużycia nawozów mineralnych zawierających balast, np. superfosfatu prostego, kainitu, kizerytu itp., ograniczenie emisji przemysłowych oraz uprawa wysoko plonujących odmian roślin. Wymienione przyczyny systematycznie pogłębiają niedobór mikroelementów w glebach Polski.

W ostatnich latach, w związku z dużym zainteresowaniem problemami z dziedziny ochrony środowiska, częściej mówi się o zanieczyszczeniu gleb metalami ciężkimi niż o niedoborach pierwiastków w polskich glebach. Należy pamiętać, że niektóre z metali ciężkich (Cu, Zn) są równocześnie mikroelementami niezbędnymi dla roślin, zwierząt i ludzi. W Polsce istnieje możliwość dużo częstszego występowania ich niedoborów niż nadmiarów. Problem poważnego zanieczyszczenia gleb ogranicza się jedynie do niewielkich obszarów, najczęściej wokół zakładów przemysłowych, podczas gdy pozostałe rejony naszego kraju charakteryzują się często niewystarczającą ilością mikroelementów. Najlepiej widać to na przykładzie inwentaryzacyjnych badań gleb przeprowadzonych przez Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa we współpracy ze stacjami chemiczno-rolniczymi (7, 8) i potwierdzonych badaniami roślin (3). Z badań tych wynika, że mamy obecnie w kraju aż 60-75% gleb ubogich w bor, około 40% w miedź, 20% w molibden i 10% w cynk i mangan (rys. 1). Równocześnie tylko 0,4% stanowią gleby zanieczyszczone miedzią, a około 1,5% cynkiem (11).

Z przeprowadzonego przez C z u b ę (2) bilansu mikroelementowego we współczesnych systemach nawożenia wynika, że najniższe pokrycie potrzeb mikroelementowych roślin dotyczy boru i miedzi (tab. 1), co jest zgodne ze stwierdzoną w kraju najniższą zasobnością gleb w te składniki.

Potrzeba nawożenia mikroelementami wynika również z konieczności poprawy jakości produktów rolniczych i zapewnienia odpowiedniej zawartości mikroelemen-



Rys. 1. Porównanie skali występowania niedoborów i nadmiarów pierwiastków śladowych w glebach Polski (w % powierzchni UR)

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych wg Gembarzewskiego (3), Terelaka i in. (11).

Tabela 1

Pokrycie zapotrzebowania na mikroelementy w trzech systemach nawożenia (%)

Mikroelement	Plony średnie krajowe			Plony o 50% wyższe od średnich		
	obornik + nawozy mineralne	obornik + nawozy mineralne + nawozy płynne	nawozy zawieszinowe + dolistne	obornik + nawozy mineralne	obornik + nawozy mineralne + nawozy płynne	nawozy zawieszinowe + dolistne
Bor	72	89	47	50	60	32
Miedź	116	136	57	78	91	38
Mangan	276	301	57	185	201	38
Molibden	120	125	47	79	86	32
Cynk	154	182	48	103	122	33

Źródło: Czuba R., 2000 (2).

tów w diecie ludzi i zwierząt. O ile niedobór manganu i cynku u mieszkańców Polski należy do rzadkości, a brak molibdenu nie występuje, to niedobory miedzi są powszechne wśród ludności nie tylko naszego kraju, ale także innych krajów europejskich (wg WHO). Prace Katedry Żywienia Człowieka SGGW (9) oraz Instytutu Żywienia i Żywności (10) ujawniły, że Polacy spożywają w diecie o 30-40% mniej miedzi niż wymagana dzienna dawka. Jest to wysoce niepokojące, ponieważ deficyt Cu w organizmie człowieka wiąże się ze wzrostem śmiertelności z powodu niewydolności sercowo-naczyniowej. Badania IUNG wykazały niepokojące zmniejszenie zawartości miedzi w ziarnie polskich pszenic w ostatnich latach w stosunku do okresu 1966–1970 (3).

Badania ostatnich lat dowiodły też, że bor, który dotychczas był uważany za potrzebny wyłącznie roślinom ma również znaczenie dla organizmu człowieka i zwierząt.

W świetle przytoczonych faktów wyraźnie widać potrzebę nawożenia roślin uprawnych przede wszystkim borem i miedzią, zwłaszcza gatunków wrażliwych na niedobory tych składników. Podjęcie decyzji o nawożeniu roślin mikroelementami jest trudne i wymaga przeanalizowania wielu czynników. Mikroelementy w przeciwieństwie do takich pierwiastków, jak azot i fosfor są pobierane w minimalnych ilościach. Efekty ich stosowania nie zawsze są widoczne w formie opłacalnej ekonomicznie zwiększki plonów, a jeśli są, to z pewnością mniejsze niż można uzyskać wskutek nawożenia makroskładnikami. Często wynikiem nawożenia mikroelementami jest wyłącznie poprawa jakości produktów roślinnych, co niestety nie jest jeszcze doceniane. Korzystnych efektów plonotwórczych nawożenia mikroelementem należy oczekiwać przede wszystkim wtedy, gdy jest on czynnikiem ograniczającym, czyli jego niedobór względem innych składników jest największy.

Objawy niedoboru mikroelementów

W warunkach ostrego deficytu mikroelementu mogą wystąpić wizualne objawy jego niedoboru na roślinie. Najczęściej występującymi objawami niedoboru mikroelementów jest zahamowanie wzrostu roślin oraz chloroza i nekroza. Chloroza to żółknięcie roślin na skutek utraty chlorofilu. Może ona dotyczyć całych roślin, przestrzeni między nerwami liści lub brzegów liści w zależności od pierwiastka występującego w niedoborowej ilości. Nekroza (martwica) jest ogólnym określeniem zbrązowiałych, zamierających tkanek. W diagnostyce wizualnej bardzo ważna jest lokalizacja objawów, która ma związek ze zdolnością do przemieszczania się danego pierwiastka w roślinie. Do mikroelementów tzw. ruchliwych, mogących łatwo przemieszczać się w roślinie, zalicza się molibden, a do mało ruchliwych: bor, miedź, mangan, cynk i żelazo. W przypadku deficytu molibdenu w roślinie może on być wycofywany ze starszych liści i kierowany do młodszych. Wskutek tego starsze liście w pierwszej kolejności wykazują wyraźne objawy chorobowe, podczas gdy młodsze rozwijają się początkowo normalnie. Odwrotnie jest w przypadku pierwiastków mało ruchliwych, których niedobory występują przede wszystkim na młodszych liściach. Pierwiastki te, zgromadzone w starszych liściach, zostają w nich unieruchomione i nie mogą być skierowane do młodszych liści.

Ocena wizualna stanu odżywienia rośliny w mikroelementy nie jest wcale łatwa, jak się powszechnie uważa, nie zawsze bowiem niedobór czy nadmiar składnika powoduje nieprawidłowy wygląd roślin. Często spotyka się tzw. ukryte niedobory czy nadmiary, a jedynym skutkiem zaburzeń prawidłowego składu chemicznego jest zmniejszenie plonu przy normalnym wyglądzie roślin. Występujące objawy zewnętrzne niedoboru lub nadmiaru składnika często trudno jest odróżnić od symptomów porażenia przez choroby czy uszkodzenia wywołane przez szkodniki albo niekorzystne warunki pogodowe, takie jak mróz lub susza. Ponadto objawy wizualne mogą być nieco inne

u różnych gatunków roślin. Dodatkową trudność stanowi fakt, że niedobory czy nadmiary kilku składników mogą występować łącznie, nakładając się na siebie. Określenie stanu odżywienia roślin na podstawie objawów zewnętrznych wymaga więc znacznej wprawy od osoby przeprowadzającej ocenę.

Nawożenie mikroelementami na podstawie wyników analizy gleby

W sytuacji stwierdzenia zewnętrznych objawów niedoboru mikroelementu jest już za późno na jakąkolwiek interwencję ze strony rolnika. Decyzja o nawożeniu mikroelementem powinna być podjęta odpowiednio wcześniej, przy czym muszą być spełnione następujące warunki:

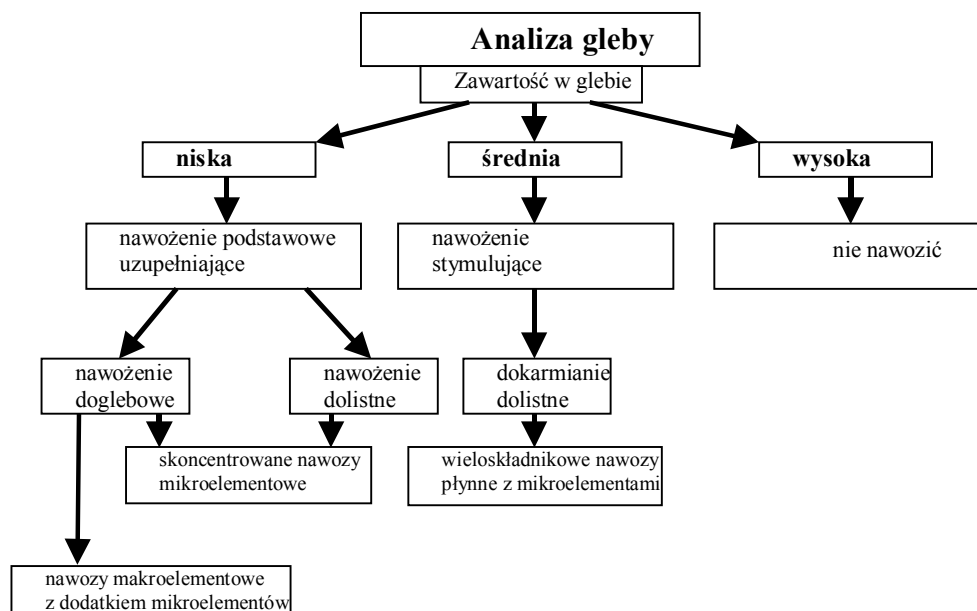
- uregulowany odczyn gleby,
- optymalne zaopatrzenie roślin w makroelementy,
- roślina wrażliwa na niedobór mikroelementu,
- niewystarczająca zawartość mikroelementu w glebie lub roślinie.

Podstawowe doradztwo mikroelementowe opiera się na analizie chemicznej gleby. Oznaczaniem zawartości mikroelementów w glebie oraz wyceną, która polega na określeniu czy jest ona niska, średnia czy wysoka, zajmują się stacje chemiczno-rolnicze. Nawożenie danym mikroelementem jest uzasadnione, a nawet konieczne w przypadku stwierdzenia jego niskiej zawartości, przy wysokiej natomiast nie zaleca się tego zabiegu (rys. 2). O ile niedobory boru i miedzi w glebach Polski są dość powszechne, o tyle problem ten nie odnosi się do cynku i manganu, chociaż lokalnie może wystąpić niska zawartość tych składników w glebie.

Uzupełnienie niedoborów boru, miedzi i cynku jest możliwe poprzez nawożenie doglebowe skoncentrowanymi jednoskładnikowymi nawozami mikroelementowymi (tab. 2), w dawkach jednorazowych wystarczających na kilka lat (tab. 3). Najlepszym rozwiązaniem jest stosowanie ich pod roślinę wrażliwą na deficyt mikroelementu (tab. 4). Można również stosować nawozy makroelementowe z dodatkiem odpowiedniego mikroelementu. W tym przypadku dawka makroskładnika determinuje niewielką ilość mikroelementu jaką wprowadza się do gleby. Stąd zastosowanie takiego nawozu jednorazowo w zmianowaniu może być niewystarczające do uzupełnienia niedoborów i należałoby go stosować nawet corocznie.

Dostępność dla roślin takich pierwiastków, jak mangan i molibden zależy w dużym stopniu od odczynu gleby, stąd nawożenie doglebowe może stracić swoją skuteczność w bardzo krótkim czasie. W tym przypadku zaleca się raczej nawożenie dolistne, w odpowiednich dawkach, roślin wrażliwych na niedobory (tab. 3, 4). Pozostałymi mikroelementami można również nawozić dolistnie rośliny wrażliwe na ich deficyt. Do nawożenia dolistnego nadają się skoncentrowane nawozy mikroelementowe, lecz w znacznie mniejszych dawkach (tab. 3) i po rozpuszczeniu w wodzie, przy zachowaniu odpowiednich stężeń.

Przy średnim poziomie zawartości mikroelementów w glebie można również dokarmiać nimi rośliny, ale wtedy zabieg ten ma inny cel niż w przypadku niskiej zawar-



Rys. 2. Schemat nawożenia mikroelementami na podstawie analizy gleby

Źródło: Opracowanie własne.

tości składnika. Nie uzupełnia bowiem niedoboru, lecz działa stymulująco na przyrost biomasy. Służą do tego wieloskładnikowe nawozy dolistne, które oprócz mikroelementów zawierają na ogół azot i magnez, przy zachowaniu odpowiednich dla danej rośliny proporcji między wszystkimi składnikami (tab. 5). Nawozy te często dostarczają roślinom zbyt małe ilości mikroelementów, aby pokrywały potrzeby roślin w razie niedoboru jednego lub kilku z nich.

Nawożenie mikroelementami na podstawie wyników analizy roślin

Przyswajanie mikroelementów przez rośliny zależy od wielu czynników glebowych i pogodowych, które nie zawsze są przewidywalne. Stąd nie ma gwarancji, że dawka mikroelementu zastosowana do gleby zostanie przez rośliny pobrana w stopniu, który zaspokoi jej potrzeby pokarmowe. Przy intensywnej uprawie, zwłaszcza na dużych plantacjach, gdzie nawet niewielkawyżka plonu może przynieść określone korzyści ekonomiczne warto sprawdzić w czasie wegetacji stan odżywienia roślin mikroelementami. Należy wtedy wykonać analizę tzw. części wskaźnikowej rośliny pobranej w określonej fazie rozwojowej. Stwierdzona zawartość mikroelementu w roślinie, mieszcząca się w zakresie poniżej optymalnego, wymaga nawożenia interwencyjnego, które jest nawożeniem dolistnym, uzupełniającym niedobór składnika w czasie wegetacji (rys. 3). Rodzaj nawozu i dawki składników są analogiczne, jak w przypadku podstawowego nawożenia dolistnego stosowanego przy niskiej zasobności gleby. Podjęcie

Tabela 2

Przykłady nawozów do nawożenia mikroelementami

Mikro- element	Skoncentrowane nawozy mikroelementowe			Nawozy makroelementowe z dodatkiem mikroelementów
	sole techniczne	chelaty	inne związki	
Bor	kwas borowy (17%) boraks (11%)	Symfonia B (20%)	Solubor (17,5%) Bormax (11%) Borvit (8%)	Salmag z borem (0,2%) Saletszak dolomitowy z borem (0,2%) Lubofoska z borem (0,2%) Superfosfat z borem (0,2%) Lubofos corn (0,09% B, 0,24% Zn)
Miedź	siarczan miedziowy (25%)	Symfonia Cu (10%) Insol Cu (5%) Mikrovit Cu (6%) ADOB Cu (6,2%)		
Cynk	siarczan cynkowy (23%)	Symfonia Zn (10%) ADOB Zn (10%) Insol Zn (5%) Mikrovit Zn (6%)		
Żelazo	siarczan żelazawy (20,5%)	Symfonia Fe (10%) Mikrovit Fe (3%)		
Mangan	siarczan manganowy (23%)	Symfonia Mn (10%) Insol Mn (5%) Mikrovit Mn (6%)		
Molibden	molibdenian amonowy (54%) molibdenian sodowy (39%)	Symfonia Mo (10%) ADOB Mo (10%)	Molibdenit (3%)	

Źródło: Opracowanie własne.

decyzji o nawożeniu na podstawie testu roślinnego wymaga konsultacji ze specjalistą. Potrzebna jest bowiem wiedza na temat części wskaźnikowych roślin i fazy ich pobierania oraz zakresów optymalnych zawartości dla poszczególnych mikroelementów i gatunków roślin. Można również korzystać z programu komputerowego InfoPlant opracowanego w Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa.

Tabela 3

Dawki mikroelementów zalecane przy niskiej zasobności gleby
(w przeliczeniu na formę pierwiastkową)

Mikroelement	Dawka dogłębowa (kg · ha ⁻¹)	Dawka dolistna (g · ha ⁻¹)
B	2-3,5*	200-400*
Cu	6-10	300
Zn	8-12	600
Mn	-	1200
Mo	-	40 (60**)

* najwyższą dawkę stosować pod buraki

** dawka dla rzepaku

Cu i Zn – dogłębowo stosować raz na 4-5 lat

B – dogłębowo można stosować zawsze pod roślinę wrażliwą

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 4

Rośliny uprawne wrażliwe na niedobory mikroelementów, pod które zaleca się nawożenie przy niskiej zasobności gleby

B	Cu	Zn	Mo	Mn
Burak cukrowy	pszenica	kukurydza	lucerna	owies
Słonecznik	owies	pszenica	koniczyna	pszenica
Rzepak	jęczmień	fasola	rzepak	jęczmień
Lucerna	żyto	jabłoń	bobik	burak cukrowy
Koniczyna	burak cukrowy		groch	ziemniak
Kukurydza	lucerna		kalafior	groch
Kapusta				fasola
Kalafior				

Źródło: Opracowanie własne.

Doradztwo komputerowe

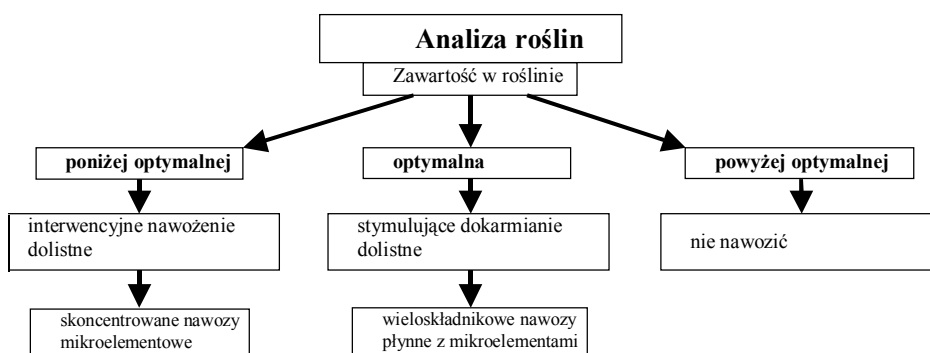
InfoPlant jest programem, który na podstawie wyników analizy chemicznej odpowiedniej części rośliny uprawnej (tzw. części wskaźnikowej), pobranej w określonej fazie rozwojowej, dokonuje oceny aktualnego stanu jej odżywienia. Wzorzec stanu odżywienia rośliny stanowią przedziały zawartości wystarczającej według B e r g m a n n a (1), uzupełnione danymi dotyczącymi żelaza według J o n e s a i in. (4). Zasadniczym elementem programu jest graficzna prezentacja wyników analizy chemicznej próbki roślinnej na tle zakresów zawartości niskiej, optymalnej i wysokiej (rys. 4). Umożliwia ona użytkownikowi szybką i kompleksową ocenę koncentracji składników pokarmowych w roślinie, ułatwia diagnozowanie potrzeb nawozowych uprawianej rośliny i sformułowanie odpowiednich zaleceń do nawożenia interwencyjnego. Osoby korzystające z programu powinny posiadać pewną wiedzę z dziedziny chemii rolnej i żywienia roślin, ponieważ wykres obrazujący stan odżywienia rośliny należy

Tabela 5

Wieloskładnikowe nawozy płynne z dodatkiem mikroelementów do nawożenia roślin uprawnych

Nawozy	Makroelementy	Zawartość mikroelementu (%)					
		B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
Uniwersalne							
Mikrovit	-	0,2	0,4	0,6	0,6	0,02	0,4
Basfoliar 36 Extra	N, Mg	0,027	0,27	0,027	1,35	0,0067	0,013
Basfoliar 12-4-6	N, P, K, Mg	0,2	0,01	0,01	0,01	0,005	0,005
Specjalistyczne							
Sonata zboże	Mg	0,08	0,8	0,6	0,9	0,01	0,6
Sonata rzepak	Mg	0,8	0,2	0,6	0,6	0,01	0,5
Sonata kukurydza	Mg	0,5	0,8	1,0	1,0	0,08	1,0
Sonata burak	Mg	0,8	0,15	0,4	0,8	0,01	0,8
Plonvit-Z (zboża)	N, Mg, S	-	0,9	0,8	1,1	0,005	1,0
Plonvit-R (rzepak)	N, Mg, S	0,5	0,1	0,5	0,5	0,05	0,5
Plonvit-Ku (kukurydza)	N, P, K, Mg, S	0,15	0,3	0,2	0,2	0,02	0,4
Plonvit-B (burak)	N, Mg, S, Na,	0,5	0,2	0,2	0,65	0,005	0,5
Insol 3 (zboża)	N, Mg	0,28	0,56	1,2	1,68	0,01	1,12
Insol 4 (burak)	Mg	0,5	0,1	0,35	0,65	0,005	0,35
Insol 5 (rzepak)	Mg	0,63	0,063	0,19	0,38	0,006	0,25
Basfoliar 34 (zboża)	N, Mg	-	0,128	-	0,128	-	-
Basfoliar 6-12-6 (kukurdyza, straczkowe)	N, P, K, Mg	0,1	0,01	0,01	0,01	0,005	0,05

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 3. Schemat nawożenia mikroelementami na podstawie analizy

Źródło: Opracowanie własne.

odpowiednio zinterpretować. Pewne trudności w interpretacji wyników analizy roślinnej mogą wynikać w przypadku niedoborowych lub ponadoptimalnych (wysokich) zawartości jednego, a zwłaszcza kilku składników. W roślinach występują bowiem antagonizmy lub synergizmy między składnikami pokarmowymi (5, 6). W zaleceniach należy zatem uwzględnić również interakcje, jakie mogą wystąpić przy zaburzeniu równowagi jonowej w roślinie (tab. 6). W sytuacji stwierdzonego niedoboru mikroelementu należy przyjąć, że zawartość poniżej 50% zakresu zawartości niskiej stanowi sygnał alarmowy dla rolnika, szczególnie gdy deficyt składnika 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 Mo : Cu, jeśli stwierdzona zawartość molibdenu w roślinie stanowi 90% zakresu zawartości niskiej, nie będzie wymagane interwencyjne nawożenie roślin Mo, o ile jednocześnie zawartość miedzi nie jest wysoka i mieści się w zakresie optymalnym. Zbyt szeroki stosunek miedzi do molibdenu jest niekorzystny.

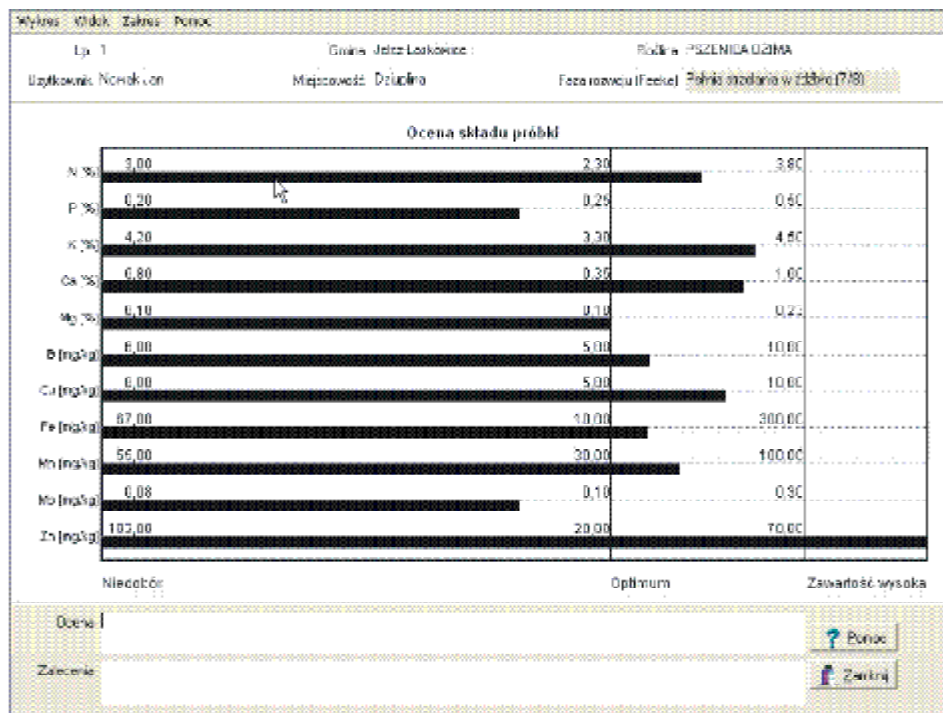
Przykładowy wydruk komputerowy (rys. 4) dotyczący wyników analizy próbki części wegetatywnych pszenicy pobranej w fazie pełni strzelenia w źdźbło można zinterpretować w następująco: zawartość wszystkich makroelementów, z wyjątkiem fosforu, mieści się w przedziale zawartości optymalnych. Nieco obniżona zawartość fosforu nie byłaby niepokojąca, gdyby jednocześnie zawartość cynku nie była zbyt wysoka, są to bowiem pierwiastki antagonistyczne (tab. 6). W tym przypadku nawo-

Tabela 6

Interakcje zachodzące między mikroelementami w roślinach

Ponadoptimalny wzrost zawartości w roślinie	Antagonizm
Cu	- znaczne obniżenie zawartości Fe , pośrednio osłabienie fotosyntezy - obniżenie zawartości Zn w częściach nadziemnych, wzrost w korzeniach - niedobór Mo , zwłaszcza u roślin korzystających z N-NO ₃ - wtórny niedobór Mn , obniżenie zawartości
Fe	- spadek poziomu zawartości Cu w chloroplastach
Mo	- Fe – chloroza żelazista, potęgowanie antagonizmu Mn-Fe - niedobór Cu
Mn	- obniżenie zawartości Mo , niedobór - obniżenie zawartości Cu - objawy niedoboru Fe , antagonizm zachodzi w procesie transportowania tych pierwiastków w roślinie (prawidłowy stosunek Fe : Mn = 1,5-2,5)
Zn	- obniżenie zawartości P - obniżenie zawartości Cu , zwłaszcza na glebach lekkich - obniżenie zawartości Fe , zwłaszcza w częściach nadziemnych (ograniczenie transportu), chloroza spowodowana brakiem Fe - obniżenie zawartości Mn

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych Kabaty-Pendias A. i Pendiasa H., 1979, 1999 (5, 6).



Rys. 4. Ocena zawartości makro- i mikroelementów w próbce roślinnej za pomocą programu komputerowego InfoPlant

Źródło: Opracowanie własne.

żenie 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 zbyt niska.

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, 306.
2. C z u b a R.: Mikroelementy we współczesnych systemach nawożenia. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2000, **471**: 161-169.
3. G e m b a r z e w s k i H.: Stan i tendencje zmian mikroelementów w glebach i roślinach z pól produkcyjnych w Polsce. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2000, **471**: 171-179.
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, 213.
5. K a b a t a - P e n d i a s A., P e n d i a s H.: Pierwiastki śladowe w środowisku biologicznym. Wyd. Geologiczne Warszawa, 1979, 299.
6. K a b a t a - P e n d i a s A., P e n d i a s H.: Biogeochemia pierwiastków śladowych. Wyd. Nauk. PWN Warszawa, 1999, 398.

7. Kucharczyński A., Dembowski M.: Odczyn i zawartość mikroelementów w glebach Polski. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2000, **471**: 627-635.
8. Obojski J., Strączyński S.: Odczyn i zasobność gleb polskich w makro- i mikroelementy. IUNG Puławy, 1995, 40.
9. Pietruszka B., Brzozowska A., Puzio-Dębska A.: Dietary assessment of adults in three villages in Warsaw, Radom and Biała Podlaska. Roczn. Państw. Zakł. Hig., 1998, **49**: 219-229.
10. Rutkowska U., Iwanow K., Kunachowicz H.: Zawartość mikroelementów w krajowych racjach pokarmowych w latach 1973–1989. Materiały VII Sympozjum Mikroelementy w Rolnictwie, 1992, 432-435.
11. Terelak H., Piotrowska M., Motowicka-Terelak T., Stuczyński T., Budzyńska K.: Zawartość metali ciężkich i siarki w glebach użytków rolnych Polski oraz ich zanieczyszczenie tymi składnikami. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1995, **418**: 45-60.

Adres do korespondencji:

doc. dr hab. Ewa Stanisławska-Głubiak
Zakład Herbologii i Techniki Uprawy Roli
IUNG-PIB
ul. Orzechowa 61
50-540 Wrocław
tel. (071) 363 87 07
e-mail: e.głubiak@iung.wroclaw.pl

Urszula Sienkiewicz-Cholewa, Ewa Stanisławska-Głubiak

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

ROLA MIKROELEMENTÓW W KSZTAŁTOWANIU WIELKOŚCI I JAKOŚCI PLONU RZEPAKU OZIMEGO*

Rzepak jest najważniejszą rośliną oleistą w Europie. W Polsce uprawiany jest na powierzchni 450 tys. ha. Nasiona rzepaku w zależności od odmiany zawierają 43-49% oleju i ponad 20% białka pastewnego. Olej z nasion odmian podwójnie ulepszonych jest uznawany za najzdrowszy olej roślinny dla żywienia człowieka, ze względu na wysoką zawartość niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych (linolowego i linolenowego) oraz ich właściwy stosunek ilościowy 2 : 1. Śruta rzepakowa i wytloki są wartościową paszą białkową i stanowią ważne uzupełnienie deficytu pasz białkowych w Polsce i innych krajach UE. Średnia wielkość plonów nasion uzyskiwana w kraju w ciągu ostatniego dziesięciolecia – niewiele ponad 2 t z ha – znacznie odbiega poziomem od wydajności osiąganej w innych krajach UE, jak Niemcy, Francja, Dania i Wielka Brytania, gdzie średni plon wynosi 3,2 t z ha (30). W praktyce jednak rolnicy polscy realnie zbierają plony, które stanowią około 50% plonu wyznaczonego możliwościami obecnie uprawianych odmian, a 25% plonu teoretycznie możliwego do osiągnięcia (17).

Z końcem lat 70. sukcesem zakończyły się prace genetyczne i biochemiczne nad usunięciem zawartego w nasionach kwasu erukowego. W olejach uprawianych wówczas odmian tradycyjnych jego udział przekraczał 50% zawartości kwasów tłuszczowych i budził poważne zastrzeżenia co do wykorzystania ich do celów jadalnych (22). Kolejnym osiągnięciem było poprawienie wartości żywieniowej śruty rzepakowej, która nie mogła być wykorzystywana do celów paszowych z uwagi na obecność szkodliwych dla zwierząt związków siarkowych, tzw. glukozynolanów (olejków gorczycznych). Odmiany powszechnie dziś uprawiane zawierają śladowe ilości kwasu erukowego, a także mniejsze niż $20 \mu\text{M} \cdot \text{g}^{-1}\text{s.m.}$ beztłuszczowej glukozynolanów. Nazywa się je „podwójnie ulepszonymi” lub dwuzerowymi „00”, ponieważ dają zarówno ulepszony olej spożywczy, jak i lepszą śrutę paszową. Obecnie prace hodowlane zmierzają do uzyskania odmian rzepaku o cieńszej okrywie nasiennej, tzw. potrójnie ulepszonych („000”), co zwiększyłoby znacznie strawność śruty (22). Znajdujemy się również na progu innego przełomu w hodowli rzepaku, jakim jest wprowadzenie do pro-

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.4 w programie wieloletnim IUNG - PIB

dukcji odmian mieszańcowych, tzw. mieszańców liniowych, plonujących o 20-30% wyżej od uprawianych obecnie.

W warunkach naszego kraju uzyskiwanie niskich plonów nasion rzepaku związane jest z niepełnym rozeznaniem jego potrzeb pokarmowych, a są one wysokie zarówno w stosunku do makro-, jak i mikroelementów. W praktyce pod rzepak stosuje się duże dawki nawozów podstawowych, nie uwzględniając zapotrzebowania tej rośliny na mikroelementy, które oprócz ważnej roli fizjologicznej dla roślin mają również znaczenie plonotwórcze. Synteza zarówno tłuszczu, jak i białka w rzepaku zachodzi w stosunkowo krótkim okresie wytwarzania nasion i wymaga odpowiedniej aktywności enzymatycznej, która zależy od zawartości mikroelementów w tkankach roślinnych. Bor jest niezbędny w przemianach węglowodanów prowadzących do syntezy tłuszczu. Miedź, molibden, mangan i cynk pełnią rolę w przemianach związków azotowych i ich niedobór powoduje zaburzenia w syntezie białek (22, 37).

Większość prac w kraju i na świecie nad znaczeniem mikroelementów dla rozwoju i plonowania rzepaku przypada na lata 1970–1980, kiedy uprawiano powszechnie odmiany tradycyjne. Badania te koncentrowały się głównie na analizowaniu zawartości mikroelementów w rzepaku w różnych fazach rozwojowych rośliny. Z początkiem lat 90. podjęto ściśle badania nawozowe zmierzające do określenia ilościowego zapotrzebowania rzepaku na poszczególne mikroelementy i sprecyzowania odpowiednich zaleceń nawozowych.

Bor

Zarówno w badaniach krajowych, jak i zagranicznych bor przedstawiany jest jako jeden z najbardziej deficytowych składników pokarmowych roślin (6, 8, 10, 12). W opinii niektórych badaczy (26) niedostatki boru w rolnictwie występują w skali globalnej z większą częstotliwością i dotyczą większej liczby gatunków roślin uprawnych niż niedobory innych składników.

Niską zasobność w bor stwierdzono w 79% gleb w kraju (8). Straty powodowane pobieraniem tego mikroelementu z plonami roślin uprawnych i wymywaniem z gleby przez opady (około 200 g B z ha rocznie) zdecydowanie przewyższają jego przychody (nawożenie mineralne i naturalne, mineralizacja). Bilans mikroelementów w krajowym rolnictwie dokonany przez C z u b ę (6) na podstawie struktury zasiewów w latach 1998–2000 potwierdza, że najniższe pokrycie potrzeb mikroelementowych roślin występuje w przypadku boru. Przy średnich plonach krajowych, nawet w klasycznym systemie nawożenia obornikiem i przedsięwziętymi stałymi nawozami mineralnymi z uzupełniającym dokarmianiem pogłównym, występują u roślin niedobory boru (pokrycie potrzeb pokarmowych wynosi 72%).

Niską zawartość B przyswajalnego wykazują zazwyczaj gleby lekkie i kwaśne, wytworzone z piasków o dużej przepuszczalności. Bor nie ulega w glebie sorpcji i jego związki są dobrze rozpuszczalne i łatwo wymywane. Jest on pobierany przez rośliny na zasadzie przepływu z wodą, stąd jego niedobory występują w latach suchych (37).

Dotychczas bor uznawany był za mikroelement niezbędny jedynie dla roślin. Badania z ostatnich lat dowodzą, że jest on także niezbędny dla ludzi i zwierząt. Niedobory boru w organizmie mogą powodować zaburzenia funkcji mózgu oraz nasilenie zachorowań na artretyzm i alergię. Udowodniono także pozytywny wpływ tego składnika w leczeniu osteoporozy (25).

Fizjologiczna rola boru

Bor bierze udział w procesie podziału i różnicowania się komórek stożków wzrostu łodyg i korzeni. Ma decydujący wpływ na przemiany i transport węglowodanów w roślinie. Duże potrzeby pokarmowe rzepaku w stosunku do boru związane są z wpływem tego składnika na tworzenie się organów generatywnych, prawidłowe wykształcanie pyłku kwiatowego i zalążni, na kiełkowanie i wzrost łagiewki pyłkowej, zapłodnienie, wykształcanie kwiatów, nasion i łuszczyń (37). Koncentracja boru w roślinach w warunkach dostatecznej zasobności gleb wzrasta aż do fazy kwitnienia, w której jego pobranie jest największe i osiąga 80% pobrania całkowitego. Konsekwencją niedożywienia roślin borem może być zahamowanie tworzenia się owoców i obniżenie plonu nasion nawet do 20% szacowanej wysokości (1). Dostateczna dla roślin zawartość boru w częściach wskaźnikowych – liściach rzepaku w okresie pełnego ich rozwoju – powinna wynosić 30-60 mg · kg⁻¹ s.m. (2).

Bor nie jest reutilizowany w roślinie i nie przemieszcza się ze starszych do młodych organów. Pierwsze objawy niedoboru tego składnika występują w pierwszej kolejności na młodych liściach w postaci chlorozy. Przy pogłębiającym się niedożywieniu symptomy niedoboru tego pierwiastka pojawiają się na rzepaku podczas kwitnienia i zawiązywania łuszczyń – kwitnienie roślin jest słabe, opadają kwiaty, zawiązywana jest mała ilość łuszczyń i nasion.

Wpływ boru na plonowanie rzepaku

Zalecenia światowej agencji ds. rolnictwa ONZ-FAO (20) informują o dużej wrażliwości roślin z rodziny *Cruciferae* na niedobory boru. Opinię tę potwierdza Shorrocks (32) na podstawie przeglądu wyników badań światowych, dotyczących nawożenia rzepaku tym składnikiem.

Rzepak ozimy w porównaniu z wieloma roślinami uprawnymi wykazuje duże zapotrzebowanie na bor. Na 1 tonę nasion pobiera szacunkowo około 50 g boru. Według Fincka (10) może on pobierać 100-500 g B z ha, dorównując niekiedy pod tym względem burakowi cukrowemu. Charakterystyczną cechą tego gatunku jest stosunkowo wysoka zawartość B w nasionach, dziesięciokrotnie wyższa niż w ziarnie zbóż.

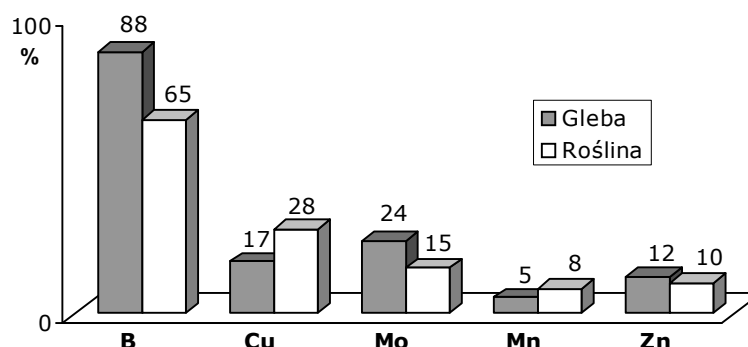
W latach 70. Bergmann (cyt. za 37) stwierdził u uprawianych wówczas odmian tradycyjnych rzepaku ozimego znaczące zwwyżki plonów nasion (0,2-0,3 t · ha⁻¹) po zastosowaniu doglebowo 2 kg B · ha⁻¹ na glebach lekkich i ubogich w bor. Gerathin (13) na podstawie doświadczeń wazonowych z rzepakiem podwójnie ulepszo-nym dowiedli, że nawożenie borem już w dawce 1 kg B · ha⁻¹, przy średniej zawartości tego składnika w glebie, powodowało wzrost plonu nasion rzepaku o 0,3 t · ha⁻¹

w stosunku do obiektu kontrolnego. W ścisłych doświadczeniach polowych po zastosowaniu dawki $2 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$ uzyskali istotny efekt plonotwórczy w postaci 5-10% zwyczajki plonu. Wzrost plonów związany był ze zwiększeniem zawartości boru w liściach z 29 mg w roślinach z obiektu kontrolnego do poziomu optymalnego – $52 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ S c h r ö d e r i F a l k e (30) w doświadczeniach polowych prowadzonych w latach 90. uzyskali pod wpływem nawożenia borem zwyczajki plonów nasion rzepaku w zakresie 8-18%, przy niskiej i średniej zasobności gleb w ten mikroelement. W podobnych warunkach duży wzrost plonów uzyskala B o w s z y s (5) po zastosowaniu nawożenia dolistnego zwiększającymi się dawkami boru od $0,4$ do $1,2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Najbardziej efektywne działanie wykazała dawka najwyższa, po zastosowaniu której uzyskano zwyczajkę plonu $0,71 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ oraz największą produkcję tłuszczu surowego – $2,2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Istotne plonotwórcze działanie wykazało również nawożenie najniższe w dawce $0,4 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$, zwiększając plon nasion o $0,4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Na początku lat 80. S i k o r a (35) zbadał, na podstawie analizy chemicznej liści, stan odżywienia rzepaku ozimego borem na 68 krajowych plantacjach produkcyjnych. Niską zawartość boru ($<30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$) wykazywały rośliny z 84% pól, natomiast silny niedobór tego składnika ($<20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$) charakteryzował aż 46% badanych próbek.

S i e n k i e w i c z - C h o l e w a i G e m b a r z e w s k i (33) na podstawie wyników badań przeprowadzonych w latach 1987–1990 stwierdzili w glebach z 81 pól produkcyjnych rzepaku w kraju występowanie ogólnego deficytu boru (rys. 1). Do określenia wielkości niedoborów posłużyli się indeksami zasobności gleb w bor, wyrażającymi stosunek aktualnej i krytycznej zawartości składnika (według liczb granicznych IUNG, 38), przyjętej za 100%. Niedostateczną dla roślin zasobność w B wykazało 88% badanych gleb, dla których uzyskane indeksy były niższe od 100 (ind. $B < 100$), natomiast ostry niedobór (ind. $B < 50$) stwierdzono w 40% gleb, głównie z pól, gdzie uzyskano najniższe plony nasion rzepaku $1,2\text{--}2,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Większe plony uzyskiwano przy wyrażnie wyższej zawartości boru przyswajalnego w glebach. Występujący powszechnie niedobór boru w glebach na polach rzepakowych odzwierciedlił się w roślinach, z których 65% próbek liści (części wskaźnikowe) wykazało niedostateczny dla roślin poziom tego składnika, w stosunku do zakresu zawartości optymalnych (2). Zawartość boru w rzepaku była tym wyższa, im wyższy był poziom uzyskanego plonu. Na polach o najsłabszych plonach stwierdzono zbyt niskie dla roślin zawartości B (średnio $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$). Zawartość tego składnika w częściach wskaźnikowych roślin zaledwie osiągała dostateczny poziom średnio – $30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$), na polach o najwyższej produktywności – $3,3\text{--}5,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Wyższa koncentracja boru występująca zarówno w glebach, jak i w liściach rzepaku z pól o najwyższych plonach zapewniała również optymalną zawartość tego składnika w nasionach.

Ci sami autorzy (34) w 4-letnich doświadczeniach polowych prowadzonych w latach 90. uzyskali jedynie tendencje wyższego plonowania roślin pod wpływem doglebowego nawożenia rzepaku ozimego borem, mimo że w większości przypadków (8 z 9) stwierdzono niską jego zawartość w glebach. Występująca jednak w 6. do-



Rys.1. Udział próbek gleb i roślin z niedoborem poszczególnych mikroelementów (%)
 Źródło: Sienkiewicz-Cholewa U. i Gembarzewski H., 1996 (33).

świadczeniach optymalna koncentracja boru w częściach wskaźnikowych świadczyła o dostatecznym zaopatrzeniu rzepaku w ten składnik. W związku z występującą niezgodnością zasobność gleb w bor dla potrzeb rzepaku wyceniono posługując się liczbami granicznymi obniżonymi o 30% (ind. B = 70 zamiast 100%), co potwierdziło niewielkie niedobory tego składnika jedynie w 3 punktach doświadczalnych. Fakt ten świadczy o konieczności wprowadzenia do liczb granicznych stosownej korekty.

Zalecane nawożenie

Rzepak można nawozić borem doglebowo i dolistnie. Przy ostrych niedoborach boru szczególnie zalecane jest na plantacjach rzepaku doglebowe nawożenie roślin, zwiększające naturalne zasoby składnika. Nawożenie dolistne nie zbilansuje bowiem w pełni podstawowego nawożenia i jest tylko uzupełnieniem nawożenia doglebowego w okresie trwania wegetacji.

Nawozy stałe zalecane do stosowania doglebowego:

- kwas borowy H_3BO_3 – sól techniczna w dawce $2 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$ – roztwór wodny przedsiewnie,
- polifoska B – NPK(S) + B 0,3% – przedsiewnie bądź pogłównie wiosną,
- superfosfat 20 z B – P + B 0,2% – przedsiewnie,
- lubofos pod rzepak – NPK(Ca, Mg, S) + B 0,2% – przedsiewnie,
- luboplón R – NPK(Mg, S)B + 0,2% – przedsiewnie.

Nawozy dolistne:

- solubor DF (B 17%), ADOB BOR (B 10,5%) – $1-3 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$; opryski od fazy rozety do zielonego pąka,
- insol B (B 10%) – $1-2 \text{ l}$ w 300 l wody w fazie zielonego pąka; można stosować łącznie z roztworem mocznika, RSM i siarczanem magnezu.

Miedź

Drugim po borze składnikiem najsilniej wyczerpywanym i występującym w zbyt małych ilościach w glebach krajowych jest miedź. Niedobory tego mikroelementu obejmują blisko 30% upraw rzepaku w kraju (33). Przyczyną istniejącego niedożywienia roślin na plantacjach jest niska zasobność gleb w ten składnik. Stwierdzono również obniżanie się zawartości miedzi w plonach roślin w stosunku do średniej krajowej z lat 70. (19). Najnowsze badania zasobności gleb z lat 1994–1999 (8) przeprowadzone przez stacje chemiczno-rolnicze na podstawie analiz ponad 100 tys. próbek wykazały, że niska zawartość miedzi cechuje 36% gleb w Polsce. Najuboższe w miedź są gleby lekkie, piaskowe. Im gleba cięższa, tym z reguły jest zasobniejsza w ten składnik.

Obliczenia wykonane dla 3 systemów nawożenia wskazują, że nawet w systemie klasycznym – obornik + nawożenie mineralne – dla plonów o połowę wyższych od średniej krajowej bilans miedzi jest ujemny, a pokrycie potrzeb pokarmowych roślin na ten składnik wynosi 78% (6).

Miedź jest w glebie i w roślinie stosunkowo mało ruchliwa. Występowaniu objawów niedoboru sprzyja silna sorpcja tego składnika przez białka obecne w dolnych liściach, utrudniająca jej transport do górnych piętér źdźbeł.

Fizjologiczna rola miedzi

Większość funkcji miedzi jako składnika pokarmowego roślin związana jest z jej występowaniem w enzymach i innych miedzioproteinach. Miedź bierze udział w procesach fotosyntezy, oddychania, transportu węglowodanów oraz metabolizmie błon komórkowych, wpływając na ich przepuszczalność (18). Uczestniczy w przemianach związków azotowych i dla dobrego wykorzystania azotu rośliny muszą być w wystarczającym stopniu zaopatrzone w ten składnik. Niedostatek Cu powoduje zaburzenia procesu biosyntezy białek. Miedź zwiększa aktywność reduktazy azotanowej, a jej niedobór ogranicza wiązanie amoniaku w aminokwasy i obniża zawartość N-białkowego.

Krytyczny poziom zawartości miedzi w częściach nadziemnych roślin mieści się najczęściej w przedziale $4\text{--}5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ (18). Następstwem niedoborów miedzi u roślin są zaburzenia w metabolizmie oraz osłabienie katalitycznego działania układów enzymatycznych, za które jest ona „odpowiedzialna”. Silny niedobór miedzi w glebie może spowodować u roślin rzepaku obumieranie nowych stożków wzrostu i części roślin (nekroza). Liście stają się nienaturalnie wydłużone i wybielone.

Miedź jest uznawana również za jeden z najważniejszych mikroelementów niezbędnych do prawidłowego rozwoju i funkcjonowania organizmów ludzi i zwierząt. Występuje prawie we wszystkich tkankach, głównie w enzymach w postaci kompleksów z białkami, spełniając rolę katalizatorów kierujących przemianą materii (29). Zawartość miedzi w produktach pochodzenia roślinnego i jej spożycie przez ludzi i zwierzęta niepokojąco się obniża. Niedobór Cu prowadzi do zaburzeń pracy serca, choro-

by wieńcowej i zapalenia stawów. Obecnie z powodu niskiego poziomu Cu w paszy 50% bydła w kraju wykazuje objawy hipokupremii (23, 24). Naturalnym sposobem dostarczania pożądanej ilości miedzi w paszy i w pożywieniu jest utrzymywanie odpowiedniej jej zawartości w produktach roślinnych. Dzienna dawka miedzi w paszy powinna wynosi $8-12 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ (21).

Wpływ miedzi na plony rzepaku

Dotychczas na świecie rzepak uważany był niezmiennie za gatunek o małej wrażliwości na niedobory miedzi (20, 32, 37). Należy jednak zwrócić uwagę, że powszechnie uprawiane dzisiaj podwójnie uszlachetnione odmiany rzepaku pobierają tak duże ilości miedzi, jak zboża – średnio 10 g na 1 t ony plonu nasion, tj. około 40 g Cu z ha , co świadczy o znacznym zapotrzebowaniu również na ten mikroelement.

Już w latach 60. wyniki doświadczeń wazonowych R u s z k o w s k i e j i Ł y s z c z (27) wskazywały na potrzebę nawożenia rzepaku miedzią w warunkach wysokiego poziomu nawożenia podstawowego, zwłaszcza na glebach lżejszych o niskiej zawartości tego składnika. Po zastosowaniu niskiego nawożenia NPK nie tylko nie stwierdzono zwyżek plonów pod wpływem miedzi, ale nastąpiło ich obniżenie przy najwyższej dawce Cu. Przy większych dawkach NPK zwyżka plonu nasion sięgała 40%. Na plonotwórczą rolę miedzi w uprawie rzepaku „00” wskazują wyniki doświadczeń ścisłych B o b r z e c k i e j i S a l a m o n i k a (3). Stwierdzono w nich istotną zależność między wysokością plonu i zawartością tłuszczu w nasionach rzepaku a nawożeniem miedzią. Po zastosowaniu $10 \text{ kg Cu} \cdot \text{ha}^{-1}$ zwyżki plonów nasion wynosiły od kilku do kilkunastu procent w stosunku do obiektu kontrolnego. Wzrastała również MTN i zawartość tłuszczu w nasionach. W dużej mierze efekt nawożenia zależał od typu gleby. Na glebie lżejszej – płowej – przy niższym plonowaniu zwyżki odnotowano większe. Na madzie, gdzie uzyskano plony znacznie wyższe reakcja rzepaku na nawożenie miedzią była słabsza. Efekt działania miedzi istotnie zwiększał dodatek boru. W innych doświadczeniach B o b r z e c k a i in. (4) dowiedli, że pod wpływem miedzi wzrasta również zawartość nienasyconych kwasów tłuszczowych, która w dużej mierze decyduje o przydatności i wykorzystaniu oleju rzepakowego w żywieniu i dietetyce człowieka. Badania prowadzone na polach produkcyjnych rzepaku w kraju wykazały, że uprawiany jest on w większości na glebach lekkich – 44% pól, które są zwykle ubogie w miedź (33). W 17% badanych gleb stwierdzono niską zasobność w ten składnik. Niedostateczna zawartość Cu w liściach rzepaku w okresie pełnego rozwoju (części wskaźnikowe), w porównaniu z zakresem optymalnym Bergmanna (2), występowała aż w 28% plantacji (rys. 1). Syntetyczna analiza plonów rzepaku z 9 doświadczeń ścisłych na glebach czarnoziemnych wykazała istotny wpływ nawożenia miedzią w dawce $8 \text{ kg Cu} \cdot \text{ha}^{-1}$ na wysokość uzyskiwanych plonów nasion – zwyżki sięgały $0,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (34). Mimo że gleby na obiektach doświadczalnych wykazywały średnią (6 pól) i wysoką (3 pola) zasobność gleb w Cu, to w liściach rzepaku z obiektów kontrolnych stwierdzono w większości punktów niedostateczną jej zawartość dla roślin. Również w nasionach koncentracja Cu była niższa

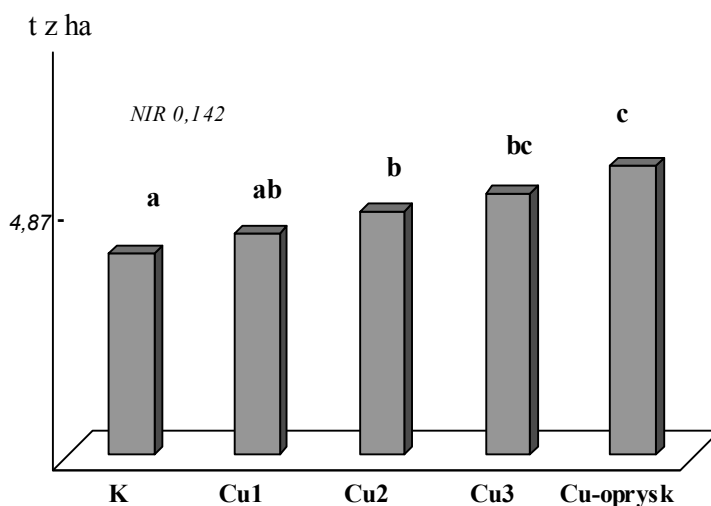
od średniej krajowej (19), jak i w stosunku do wymagań paszowych stawianych makucom (21).

W latach 2003–2005 w SD Baborówko i Osiny Sienkiewicz-Cholewa (materiały w publikacji) przeprowadziła 6 ścisłych doświadczeń polowych ze zróżnicowanym nawożeniem rzepaku miedzią. Obok obiektu kontrolnego zastosowane w nich doglebowe nawożenie wzrastającymi dawkami miedzi (4, 8 i 10 kg Cu · ha⁻¹) oraz oprysk dolistny w dawce optymalnej dla roślin (250 g Cu · ha⁻¹). We wszystkich doświadczeniach pod wpływem nawożenia miedzią wystąpiły udowodnione statystycznie wyższe plony nasion rzepaku po zastosowaniu dolistnego oprysku oraz w wyniku doglebowego nawożenia średnią i najwyższą dawką miedzi (8 i 12 kg Cu · ha⁻¹). Nawożenie dawką 4 kg Cu · ha⁻¹ nie powodowało zwiększenia plonów nasion rzepaku (rys. 2). Wyższe plony nasion pod wpływem dolistnego nawożenia miedzią wynosiły 9%, natomiast skutek nawożenia doglebowego 7%.

Najbardziej skuteczny pod względem odżywienia rzepaku miedzią okazał się oprysk dolistny w dawce 250 g Cu · ha⁻¹, który spowodował optymalne i ponadoptymalne zaopatrzenie roślin w ten składnik.

Zalecane nawożenie

W przypadku, gdy występują niedobory miedzi najskuteczniej jest zastosować przed-siewnie nawożenie w postaci soli technicznej w dawce 8 kg Cu · ha⁻¹. Zabieg taki jest wystarczający na pokrycie zapotrzebowania roślin na kilka lat (9). W przypadku stwierdzenia niskiej zawartości miedzi w roślinach należy zastosować w czasie wegetacji nawożenie dolistne w fazie pąkowania rzepaku – oprysk 2% roztworem wodnym



Rys. 2. Średnie plony nasion rzepaku z doświadczeń (synteza wyników).

Obiekty oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie wg testu Tukeya

Źródło: Sienkiewicz-Cholewa U., Gembarzewski H., 1997 (34).

siarczanu miedzi w dawce $250 \text{ g Cu} \cdot \text{ha}^{-1}$ (1 kg siarczanu miedzi na 500 l wody). Jednakże bardziej wskazane od dolistnego jest przedsiewne nawożenie rzepaku miedzią.

Molibden

Udział gleb o niskiej zawartości molibdenu w Polsce szacuje się na około 40% (8). Z badań plantacji produkcyjnych rzepaku w kraju wynika, że niedobory molibdenu dotyczą 24% gleb (rys. 1), a w przypadku roślin – 15% pól (33).

Z bilansu mikroelementów sporządzonego dla warunków krajowych wynika, że w klasycznym systemie nawożenia, w którym stosowany jest obornik współzręcznie ze stałymi nawozami mineralnymi, pokrycie potrzeb roślin na molibden jest wystarczające tylko dla średniego poziomu plonów. Przy plonach o 50% wyższych od średnich krajowych deficyt molibdenu wynosi około 20% w stosunku do potrzeb pokarmowych. Bez stosowania obornika może natomiast wynosić nawet 70% (6).

W warunkach naszego kraju, gdzie gleby zakwaszone stanowią blisko 60% areалу dostępność molibdenu dla roślin jest ograniczona. Rzepak, który często uprawiany jest w warunkach optymalnego odczynu może odczuwać niedostatek tego składnika. Molibden jest jedynym z ważnych rolniczo mikroelementów, którego przyswajalność dla roślin zwiększa się wraz ze wzrostem wartości pH gleby. Na glebach zakwaszonych pierwiastek ten jest silnie wiązany i praktycznie niedostępny dla roślin. Przy $\text{pH} < 5$ zachodzi jego adsorpcja przez tlenki żelaza, glinu, manganu oraz przez minerały ilaste. W miarę wzrostu wartości pH adsorpcja staje się coraz słabsza i zanika całkowicie przy $\text{pH} = 7,5$ (18, 37). W glebach o uregulowanym odczynie niedobory molibdenu praktycznie nie występują, z wyjątkiem gleb bardzo lekkich.

Zewnętrzne symptomy niedoboru molibdenu w pierwszej kolejności pojawiają się na liściach starszych i przypominają objawy głodu azotowego. Zostaje zahamowany wzrost roślin, a następnie pojawia się chloroza między żyłkami. Błyszki liściowe słabo się wykształcają, są wąskie i zdeformowane, co nazywane jest biczykowatością liści.

Fizjologiczna rola molibdenu

Rola molibdenu we wzroście i rozwoju rzepaku polega głównie na jego udziale w metabolizmie azotowym prowadzącym do syntezy białek. Molibden jest komponentem reduktazy azotanowej, która uczestniczy w redukcji azotanów (V) do azotanów (III), a więc w pierwszym etapie procesu tworzenia białek (37). Przy optymalnym nawożeniu rzepaku azotem ($200\text{--}240 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$) niedobór molibdenu prowadzi do akumulacji azotanów (V), osłabienia wzrostu roślin i zahamowania syntezy białka. Stwierdzono również wpływ tego pierwiastka m.in. na syntezę chlorofilu i kwasu askorbinowego.

Molibden ze średnim plonem rzepaku pobierany jest w ilości około 4 g z ha.

Wpływ molibdenu na plony rzepaku

W Polsce pionierem badań nad reakcją rzepaku na nawożenie molibdenem był Gorlach (cyt. za 7), który proponował rzepak jako roślinę testową do oceny zasobności gleb w ten składnik. W latach 60. w doświadczeniach wazonowych na 16 glebach o zróżnicowanym odczynie (pH 4,1-7,3) i różnej zawartości Mo ($0,05-0,26 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) oceniał wpływ nawożenia molibdenem na plon rzepaku (15). Istotną reakcję na Mo stwierdził w 8 przypadkach, w tym silną na 5 glebach kwaśnych o pH 4,1-5,2. W innych doświadczeniach uzyskał najczęściej powtarzające się zwwyżki plonów, po łącznym stosowaniu Mo z innymi mikroelementami (cyt. za 37). Prace te dotyczyły powszechnie uprawianych wówczas tradycyjnych odmian rzepaku.

Stosowanie molibdenu w uprawie rzepaku jest dziś jednym z nowych trendów nawożenia w Niemczech. F i n c k i S a u e r m a n n (11) dla oceny zaopatrzenia gleb w Mo oraz zdiagnozowania potrzeb nawożenia rzepaku tym składnikiem przeprowadzili ponad 70 doświadczeń w różnych rejonach Niemiec, stosując jego zróżnicowane dawki. Aż 81% pól wykazało wysoką zawartość Mo, natomiast na 11 polach odnotowano jego niedobór. W 6 doświadczeniach uzyskano pod wpływem dawki $1 \text{ kg Mo} \cdot \text{ha}^{-1}$ istotny wzrost plonów o około 1 dt z ha, co uzasadnia potrzebę nawożenia rzepaku molibdenem w warunkach jego niedoboru w glebie. Przy wysokiej zasobności gleb w Mo i optymalnym ich odczynie nawożenie tym składnikiem nie przyniosło efektów plonotwórczych. S c h r ö d e r i F a l k e (32) w doświadczeniach polowych z powodzeniem zastosowali kompleksowe nawożenie B i Mo na glebach o niskiej i średniej ich zasobności, uzyskując wysokie zwwyżki plonów nasion od 1,4 do 2,0 dt z ha.

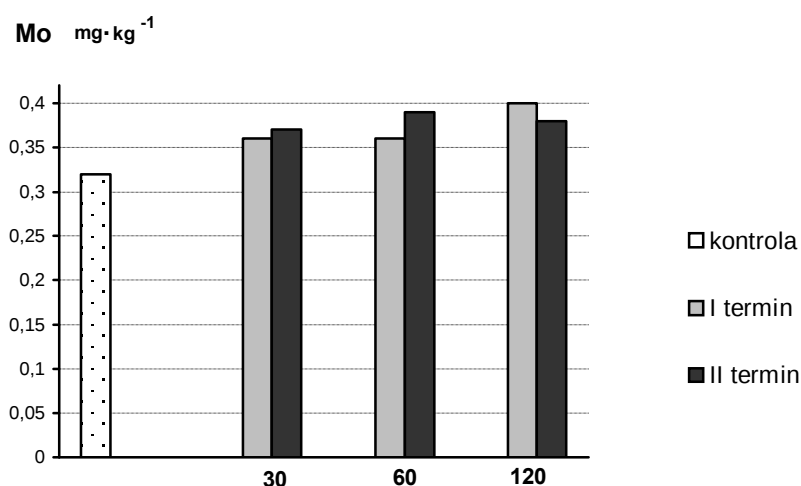
W doświadczeniach polowych S i e n k i e w i c z - C h o l e w a i G e m b a r z e w s k i (34) po zastosowaniu pod rzepak zoptymalizowanej dawki molibdenu – $0,4 \text{ kg Mo} \cdot \text{ha}^{-1}$ – uzyskali w warunkach gleb lekko kwaśnych istotny wzrost plonu nasion, średnio 8%. Lepsze efekty plonotwórcze – 10% zwwyżki plonu – przyniosło kompleksowe nawożenie rzepaku B i Mo.

Dużym krokiem naprzód w rozpoznaniu roli molibdenu w uprawie rzepaku były szeroko zakrojone badania przeprowadzone przez S t a n i s ł a w s k ą - G ł u b i a k (36). Materiał badawczy stanowiły wyniki z 33 doświadczeń dwuczynnikowych prowadzonych w okresie 2 lat (1987–1988) na polach produkcyjnych w województwach o największym w kraju udziale rzepaku w strukturze zasiewów. W doświadczeniach wytyczonych w łanach rzepaku zastosowano opryski dolistne wzrastającymi dawkami molibdenu (30, 60 i $120 \text{ g Mo} \cdot \text{ha}^{-1}$) w dwóch terminach – wiosną kilka dni po ruszeniu wegetacji oraz na początku formowania łodygi. Rzekpak uprawiany był na glebach średnich i ciężkich (16 i 4 doświadczenia) oraz lekkich (13 doświadczeń) o zróżnicowanym odczynie, w granicach pH 4,1-7,1. Największy udział stanowiły gleby o odczynie kwaśnym i bardzo kwaśnym (36%) o średniej zasobności w przyswajalny molibden. W doświadczeniach przeprowadzonych na glebach bardzo kwaśnych (pH<4,5) uzyskano najniższe plony nasion rzepaku. Z uwagi na słabą dostępność molibdenu na glebach bardzo kwaśnych i kwaśnych można było przypuszczać, że

nawożenie tym pierwiastkiem będzie najbardziej efektywne w warunkach niskiej wartości pH gleby.

Stanisława - Głubiak (36) wykazała w doświadczeniach znacznie większą skuteczność nawożenia Mo na glebach lekko kwaśnych i obojętnych o $\text{pH} > 5,5$. Uzyskana istotna statystycznie średnia zwiększa plonów nasion wynosiła $0,2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. W tej grupie doświadczeń istotnie większy wpływ na plonowanie rzepaku miały wyższe dawki molibdenu – 60 i $120 \text{ g Mo} \cdot \text{ha}^{-1}$. Wpływ terminu oprysku na wysokość plonów okazał się nieistotny. Na glebach bardzo kwaśnych i kwaśnych o $\text{pH} < 4,5$ średnia zwiększa plonów wskutek nawożenia molibdenem była bardzo niska i kształtowała się na granicy istotności ($0,08 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$). Nie udowodniono na tych glebach również wpływu wielkości dawki Mo oraz terminu zabiegu na plonowanie rzepaku ozimego. Brak reakcji na nawożenie molibdenem w warunkach gleb kwaśnych tłumaczy się występowaniem innych czynników ograniczających plony – obecnością toksycznych dla roślin jonów glinu i manganu, ograniczających dostępność fosforu i utrudniających pobieranie Ca i Mg. Dla rzepaku jako rośliny o dużym zapotrzebowaniu na ten mikroelement zasoby molibdenu nawet na glebach o wyższej wartości pH i warunkach dobrej przyswajalności składnika były na tyle małe, że zareagował on zwiększając plonów na dolistne nawożenie molibdenem.

Dolistne nawożenie rzepaku molibdenem oprócz reakcji w plonach spowodowało również zmiany zawartości tego mikroelementu w nasionach, co ma szczególne znaczenie, gdy mają one stanowić materiał siewny lub surowiec paszowy. We wszystkich doświadczeniach zawartość molibdenu w nasionach rzepaku nawożonego Mo była większa niż na obiektach kontrolnych. W zależności od stosowanych dawek i terminów aplikacji molibdenu mieściła się w zakresie $0,36\text{--}0,40 \text{ mg Mo} \cdot \text{kg}^{-1}$ (rys. 3).



Rys. 3. Średnia zawartość molibdenu w nasionach rzepaku w zależności od dawki i terminu stosowania Mo

Źródło: Stanisławska-Głubiak E., 2003 (36).

Najmniejszą zawartość Mo stwierdzono w roślinach nawożonych dawkami 30 lub 60 g Mo · ha⁻¹, a największą przy dawce 120 g Mo · ha⁻¹ stosowanej w I terminie.

Plon biologiczny białka rzepaku determinowany był przede wszystkim wielkością plonu nasion. W wyniku nawożenia rzepaku molibdenem uzyskano około 10% wyższy, udowodniony statystycznie, plon białka niż bez nawożenia Mo.

W świetle przedstawionych wyników badań dotychczas zalecana przez S z u k a l s k i e g o (37) dawka molibdenu do nawożenia dolistnego rzepaku ozimego w ilości 30 g Mo · ha⁻¹ okazała się zbyt mała. Najlepsze rezultaty można uzyskać stosując nawożenie 60-120 g Mo · ha⁻¹, niezależnie od terminu aplikacji.

Zalecane nawożenie

Głównie zaleca się wapnowanie gleb kwaśnych w celu zwiększenia dostępności molibdenu dla roślin. W glebach o uregulowanym odczynie niedobory molibdenu praktycznie nie występują (z wyjątkiem gleb bardzo lekkich) i nie zachodzi potrzeba nawożenia tym składnikiem. W przypadku uprawy rzepaku na glebach zakwaszonych wskazane jest dolistne nawożenie rzepaku w dawce 60 g Mo · ha⁻¹ roztworem wodnym molibdenianu amonu lub sodu o stężeniu 0,02% w okresie od wiosny (kilka dni po ruszeniu wegetacji) do początku formowania łodygi. Termin nawożenia Mo może być dostosowany do ewentualnego przeprowadzenia go łącznie z zabiegiem ochrony roślin.

Mangan

Zasobność większości gleb Polski w ten mikroelement pokrywa potrzeby pokarmowe rzepaku. Według badań inwentaryzacyjnych około 90% gleb użytkowanych rolniczo charakteryzuje się wysoką i dostateczną dla rzepaku zasobnością w mangan (8). Jednak proces zubożenia gleb w ten składnik, głównie na skutek ich zakwaszenia, przebiega szybko i niedobory tego składnika mogą występować coraz częściej.

Przez wielu badaczy na świecie rzepak zaliczany jest do roślin średnio wrażliwych na niedobory manganu, głównie przy wysokich wartościach pH gleby (14, 20, 37). Pobranie tego składnika przez rzepak jest duże i wynosi około 270 g Mn z ha. O przyswajalności manganu dla roślin decyduje przede wszystkim odczyn gleb – im gleba jest bardziej kwaśna, tym związki manganu są bardziej rozpuszczalne i łatwiej dostępne; w glebach kwaśnych koncentracja Mn może być nawet toksyczna dla roślin. Brak manganu hamuje proces fotosyntezy. Przy ostrym niedoborze tego składnika na liściach rzepaku tworzą się przejaśnienia (chloroza), pojawiają się martwe tkanki między nerwami.

Zasadność nawożenia rzepaku ozimego manganem zależy od stanu zaopatrzenia gleb w przyswajalne formy tego składnika. G r z e b i s z (16) zaleca stosowanie Mn w postaci oprysku na glebach przewapnowanych przy pH>6,5, o ograniczonej przyswajalności tego składnika.

W badaniach prowadzonych na polach produkcyjnych rzepaku w kraju niedobory manganu występowały tylko w nielicznych przypadkach i udział gleb o niskiej zasob-

ności w ten składnik wynosił 5% (rys. 1). Również w doświadczeniach ścisłych polowych spośród badanych mikroelementów (B, Mo, Cu, Zn, Mn) mangan wykazał najmniejsze niedobory zarówno w glebach, jak i roślinach (34). Nawożenie tymi składnikami nie przyniosło pozytywnych efektów plonotwórczych.

Zalecane nawożenie

Nawożenie rzepaku manganem należy stosować na glebach zwapnowanych o $\text{pH} > 6.0$, gdzie jest on niedostępny dla roślin. Z uwagi na szybkie uwstecznianie się manganu w warunkach wysokich wartości pH zaleca się dolistne nawożenie rzepaku w dawce $1200 \text{ g Mn} \cdot \text{ha}^{-1}$ w postaci siarczanu (VI) manganu (1% roztwór wodny), wiosną po ruszeniu wegetacji lub w fazie tworzenia łuszczyń, kiedy zapotrzebowanie rzepaku na ten składnik jest duże. Dobre efekty przynosi też nawożenie dolistne nawozem ADOB Mn, który zawiera 15,3 % Mn – wiosną w dwóch zabiegach w dawce 2×2 , łącznie z zabiegami ochrony roślin, od fazy początku wzrostu roślin do fazy luźnego pąka.

Cynk

Niedobory cynku u rzepaku występują bardzo rzadko, mimo że pobranie tego składnika przez rzepak jest stosunkowo duże i wynosi ponad 500 g z ha . Cynk jest aktywatorem enzymów kierujących przemianą białek, bierze udział w syntezie regulatorów wzrostu. Jego niedobór obniża poziom auksyn i wpływa hamująco na wzrost roślin (37). W kraju 90% gleb wykazuje wysoką i dostateczną dla roślin zasobność w cynk (8), a proces ubożenia gleb w ten składnik przebiega stosunkowo powoli (6, 12). Niedobory tego składnika mogą jednak występować na glebach o obojętnym lub zasadowym odczynie, wykazujących wysoką zawartość fosforu przyswajalnego. Na plantacjach rzepaku w kraju niedobory cynku występują rzadko – udział gleb o niskiej zawartości tego mikroelementu wynosił 12% (rys.1). Również w doświadczeniach polowych zarówno w glebach, jak i w roślinach rzepaku stwierdzono wysokie i średnie zawartości cynku. Stąd zastosowane nawożenie cynkiem w dawce $8 \text{ kg Zn} \cdot \text{ha}^{-1}$ nie przyniosło pozytywnych efektów plonotwórczych (34).

Literatura światowa nie podaje żadnych wyników badań nawozowych dotyczących tego zagadnienia. Jedynie Chińczycy Ye i Yan g (40) informują o zastosowaniu pod rzepak ozimy kombinacji nawozowej B + Zn w warunkach ich niedoboru w glebach, na której uzyskano przyrost plonów nasion o 24%. Nawożenie tymi mikroelementami obniżyło równocześnie zawartość glukozyolanów i zwiększyło poziom tłuszczu w nasionach.

W gospodarstwach o kierunku produkcji roślinnej niedobory cynku mogą występować częściej. W przypadku potrzeby zaleca się nawożenie przedsiewne rzepaku w dawce $8 \text{ kg Zn} \cdot \text{ha}^{-1}$, najlepiej w postaci soli technicznej siarczanu (VI) cynku bądź nawożenie dolistne w dawce $600 \text{ g Zn} \cdot \text{ha}^{-1}$, w postaci 0,5 % roztworu siarczanu (VI) cynku od fazy wzrostu wydłużeniowego pędu głównego do fazy tworzenia łuszczyń.

Literatura

1. Benedycka Z.: Bor decyduje o rzepaku. Nowocz. Rol., 1990, **3(7)**: 6-17.
2. Bergmann W.: Bemerkungen und Tabellen zur analytischen Pflanzendiagnose der Pflanzen oder Blattanalyse. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, 1986.
3. Bobrzecka D., Salamonik S.: Zależność między technologią nawożenia miedzią a plonem i zawartością tłuszczu w nasionach podwójnie ulepszonych odmian rzepaku ozimego. Rośl. Oleiste, 1997, **18**: 219-225.
4. Bobrzecka D., Domska D., Salamonik S.: Wpływ dolistnego nawożenia miedzią na zawartość tłuszczu w nasionach podwójnie ulepszonych odmian rzepaku ozimego oraz jakość oleju. Rośl. Oleiste, 1997, **18**: 209-217.
5. Bowszys T.: Reakcja rzepaku ozimego 00 na dolistne nawożenie borem. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1996, **434**: 71-75.
6. Czuba R.: Mikroelementy we współczesnych systemach nawożenia. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2000, **471**, **1**: 161-170.
7. Curyło T.: Zawartość mikroelementów w burakach i rzepaku jako kryterium potrzeb nawożenia tymi składnikami. Prace Kom. Nauk. PTG., 1987, **99**: 34-43.
8. Dębowski M., Kucharzewski A.: Odczyn i zawartość mikroelementów w glebach Polski. Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol., 2000, **471(1)**: 627-636.
9. Faber A.: Bezpośrednie i następne działanie nawożenia borem, miedzią, molibdenem i cynkiem w zmianowaniu czteropolowym. IUNG Puławy, 1992, **H(2)**, ss. 81.
10. Finck A.: Fertilizers and fertilization. Verlag Chemie, Weinheim, Deerfield Beach, Florida, Basel, 1982, ss. 438.
11. Finck M., Sauermann W.: Molybdändüngung zu Winterraps. Beiträge zur Düngung von Winterraps. UFOP-Schriften, 1996, **9**: 91-105.
12. Gembarzewski H.: Stan i tendencje zmian zawartości mikroelementów w glebach i roślinach z pól produkcyjnych w Polsce. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2000, **471(1)**: 171-177.
13. Gerath H., Borchmann W., Zajonc I.: Zur Wirkung Mikronährstoffs Bor auf die Ertragsbildung von Winterraps. Arch. Acker-u. Pflanzenbau. Bodenkunde, 1975, **11**: 781-792.
14. Gorlach E.: Potencjalne i aktualne możliwości gleby do zaopatrzenia roślin w mikroelementy. Mat. VI Symp. „Mikroelementy w rolnictwie”, Wrocław, 1991, 15-24.
15. Gorlach E., Gorlach K., Karkanis M.: Reakcja lucerny i rzepaku na nawożenie molibdenem w glebach o różnej zawartości przyswajalnego molibdenu. Rocz. Glebozn., 1965, **15(2)**: 607-625.
16. Grzebisz W.: Dolistne dożywianie roślin mikroelementami. Agrochemia, 1999, 8-10.
17. Grzebisz W., Gaj R.: Zbilansowane nawożenie rzepaku ozimego. Aktualne problemy. AR Poznań, 2000, 83-98.
18. Kabata-Pendias A., Pendias H.: Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN Warszawa, 1999.
19. Kamińska W., Kardasz T., Szymborska H.: Skład chemiczny roślin uprawnych i niektórych pasz pochodzenia roślinnego. IUNG Puławy, 1976.
20. Katal J. C., Randhawa N. S.: Micronutrients. FAO Fert. & Plant. Nutr. Bull., 1983, 7.
21. Kruczyńska H.: Liczby graniczne zawartości mikroelementów w roślinach dla oceny ich wartości paszowej. Nowe Rol., 1985, **9**: 45-47.
22. Krzymiński J.: Osiągnięcia i nowe perspektywy prac badawczych nad roślinami olejnymi w Polsce. Post. Nauk Rol., 1993, **5**: 7-14.
23. Kubinski T.: Rola miedzi i molibdenu w żywieniu zwierząt. Zesz. Nauk. PAN, Człowiek i Środowisko, 1996, **14**: 210-215.
24. Mielcarz G., Howard A., Petelski J.: Stężenie Cu, Zn i cholesterolu w plazmie u 4 populacji o różnej śmiertelności z powodu niewydolności sercowo-naczyniowej. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1996, **471**: 627-634.

25. Nielsen F. H.: The nutritional importance of boron throughout the life cycle of higher animals and humans. In: Boron in plant and animal nutrition, Goldbach H. E., Rerkasem B., Wimmer M. A., Brown P. H., Thellier M., Bell R. W., Ed.: Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 2002, 37-50.
26. Reisenauer H., Walsh L., Hoefl R.: Testing soils for sulphur, boron, molybdenum and chlorine. In: Walsh L. and Beaton J. Soil Testing and Plant Analysis. Soil Sci. Soc. Amer. Inc., Madison/Wisconsin, 1973, 173-200.
27. Ruszkowska M., Łyszcz S.: Wpływ dawek NPK i Cu na plony rzepaku oraz pobieranie miedzi i azotu w warunkach doświadczeń wazonowych. Pam. Puł., 1975, **62**: 229-250.
28. Ruszkowska M., Kusio M., Sykut S.: Wymywanie pierwiastków śladowych z gleby w zależności od rodzaju gleby i nawożenia. Roczn. Glebozn. 1996, **47(1/2)**: 9-20.
29. Rutkowska U. i in.: Wartość odżywcza całodziennych racji pokarmowych odtwarzanych w kilku regionach kraju. Cz. IV. Zawartość cynku, miedzi i manganu. Roczn. PZH, 1991, **44(4)**: 347-359.
30. Rynek rzepaku - stan i perspektywy. IERiGŻ Warszawa, 1996-2006.
31. Schröder G., Falke H.: Zu, Bor - und Molybdändüngungen des Winterrapses. Nach Bedarf düngen. Neue Landwirtschaft, 1992, **4**: 46-47.
32. Shorrocks V. M.: Micronutrient assessment at country level an international study. FAO Soils Bull., 1990, **63**: 20.
33. Sienkiewicz-Cholewa U., Gembarzewski H.: Stan zaopatrzenia w mikroelementy rzepaku ozimego z pól wysokoprodukcyjnych. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1996, **434**: 365-370.
34. Sienkiewicz-Cholewa U., Gembarzewski H.: Badania nad potrzebami nawożenia mikroelementami podwójnie ulepszonych odmian rzepaku ozimego. IUNG Puławy, 1997, **S(81)**: ss 38.
35. Sikora H.: Stan odżywienia rzepaku borem na plantacjach produkcyjnych na podstawie analizy liści. Biul. IHAR, 1985, **157**: 95-98.
36. Stanisławska-Głubiak E.: Analiza wybranych czynników determinujących efekty dolistnego nawożenia molibdenem w uprawie rzepaku ozimego. Monogr. Rozpr. Nauk., rozpr. hab., Puławy, 2003, **7**: ss 71.
37. SzkalSKI H.: Mikroelementy w produkcji roślinnej. PWRiL Warszawa, 1979, 320 ss.
38. Zalecenia nawozowe. Praca zbiorowa. Liczby graniczne do wyceny zawartości w glebach makro- i mikroelementów. IUNG Puławy, 1985.
39. Żechalko-Czakowska A.: Mikroelementy w żywieniu człowieka. Mat. VII Symp. „Mikroelementy w rolnictwie”, AR Wrocław, 1992, 20-25.
40. Ye Z., Yang Y.: Effect of trace fertilizers and their combined application on the yield and quality rapeseed. Micronutrients News, 1993, **13**: 18.

Adres do korespondencji:

dr Ewa Sienkiewicz-Cholewa
Zakład Herbologii i Techniki Uprawy Roli
IUNG-PIB
ul. Orzechowa 61
50-540 Wrocław
tel. (071) 363 87 07
u.sienkiewicz@iung.wroclaw.pl

Stanisław Wróbel, Jolanta Korzeniowska

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

OCENA POTRZEB NAWOŻENIA KUKURYDZY BOREM*

Wstęp

Bor należy do najbardziej deficytowych składników pokarmowych roślin (5, 10, 28). W opinii niektórych badaczy niedostatki boru w rolnictwie występują w skali globalnej z większą częstotliwością i dotyczą większej liczby gatunków roślin uprawnych niż niedobory innych składników (22). Opinię tę potwierdzają badania gleb krajowych przeprowadzone przez Stację Chemiczno-Rolniczą we Wrocławiu, w których niedobory przyswajalnych form boru określone zostały na poziomie 79% (6). Tak głębokie niedobory nie dotyczyły dotychczas żadnego innego składnika pokarmowego. W obecnej sytuacji gospodarczej rolnictwa polskiego przewidywać należy pogłębianie się niedostatku mikroelementów, w tym boru w glebach pól uprawnych, a zatem i w ziemiopłodach. Decydują o tym takie czynniki, jak: niedostatek obornika, stosowanie nawozów mineralnych wysoko skoncentrowanych, uproszczenia uprawy roli i zmianowania roślin, duże potrzeby pokarmowe odmian roślin uprawnych nowej generacji itp. Kukurydza, tak jak zboża należące do grupy roślin jednoliściennych uważana była dotychczas za roślinę o małych potrzebach pokarmowych w stosunku do tego składnika (13). Jednak badania ostatniego dziesięciolecia w zakresie tej tematyki wskazują jednoznacznie na pogarszające się zaopatrzenie mieszańcowych odmian kukurydzy w mikroelementy, w tym przede wszystkim w bor, a także na dodatnią reakcję na nawożenie tym mikroelementem (14, 16, 26). Różnice międzyodmianowe, podobnie jak w przypadku innych cech, np. odporności na stres niedoboru wody, chorób czy fitotoksyczności herbicydów (11, 23), dotyczą również potrzeb pokarmowych kukurydzy w odniesieniu do mikroelementów, w tym do boru. Wyniki badań prezentowane w ramach niniejszej pracy potwierdzają taką zależność.

Potrzeby nawożenia kukurydzy borem w świetle badań eksperymentalnych

W literaturze tematycznej potrzeby nawożenia kukurydzy mikroelementami rozpatrywane są głównie pod względem cynku, z uwagi na wrażliwość na niedobór tego

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.4 w programie wieloletnim IUNG - PIB

składnika. (12, 13, 24, 25). Jednak warunki gleb polskich nie stwarzają niebezpieczeństwa niedoborów cynku; występuje przewaga gleb lekkich o odczynie kwaśnym, w których nie zachodzi immobilizacja tego pierwiastka. Odsetek gleb uprawnych wykazujących deficyt tego składnika, w przeciwieństwie do boru, jest niewielki (do 13% gleb użytkowanych rolniczo). Przewaga gleb lekkich i kwaśnych w kraju sprzyja natomiast powstawaniu niedoborów boru, który jako bardzo dobrze rozpuszczalny w wodzie jest łatwo wymywany. Sposób pobierania boru przez rośliny (z prądem transpiracyjnym) i brak reutilizacji sprawia, że rośliny dość często cierpią na ograniczenia jego dostępności wynikającej z niedoborów wody. W świetle powyższych stwierdzeń niedobory boru stają się jedną z ważniejszych przyczyn negatywnych skutków suszy.

W okresie powojennym kolejne cykle badań inwentaryzacyjnych gleb Polski wykonywanych przez stacje chemiczno-rolnicze wykazywały największe zakresy niedostatku boru, niezależnie od stosowanych metod analitycznych. W latach 1965–1983 przeanalizowano 496 450 próbek z terenu kraju metodą Bergera-Truoga. Udział gleb o niskiej zawartości boru wyniósł wtedy 41%. W latach 1987–1993 przebadano 78 278 próbek, stosując tzw. analizę grupową (ekstrakcja 1 mol $\text{HCl} \cdot \text{dm}^{-3}$) – wykazano udział 75% próbek o niedostatecznej zawartości boru. W najnowszej rotacji badań, w latach 1995–2000, tą samą metodą przeanalizowano 101 521 próbek pobranych z warstwy ornej pól uprawnych i stwierdzono, że 79% tych gleb jest niedostatecznie zaopatrzonych w bor przyswajalny. W tych samych rotacjach badań inwentaryzacyjnych zakresy niedoboru cynku wyniosły odpowiednio: 9, 14 i 13% (6, 21). Biorąc więc pod uwagę duże potrzeby pokarmowe kukurydzy należy spodziewać się, że w rolnictwie polskim bor jest tym mikroelementem, który może ograniczać jakość i wielkość plonów. Potwierdzają to wcześniejsze badania. Już na przełomie lat 1980/1990 C z u b a i in. (4) wykazali, że intensyfikacja nawożenia podstawowego NPK obniżała zawartość boru w kukurydzy uprawianej na kiszonkę, co miało negatywny wpływ na plonowanie tej rośliny. F a b e r (8) w ścisłych doświadczeniach polowych uzyskał 10% przyrost plonu zielonki kukurydzy pod wpływem działania następczego boru zastosowanego pod buraki (przedplon) w dawce $4 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$. Natomiast B e n e d y c k a i in. (1, 2) uzyskali istotny wzrost plonu kukurydzy w drugim roku po zastosowaniu takiej samej dawki boru. Efektywność następczego wpływu tego składnika na plonowanie kukurydzy potwierdzają badania K r a u z e i in. (18), w których średni plon ziarna w 2 i 3 roku po zastosowaniu boru pod buraki wzrósł o 1,4 t z 1 ha.

Obszerne badania dotyczące nawożenia kukurydzy mikroelementami, w tym również borem, przeprowadzili w latach 1986–1994 K o r z e n i o w s k a i G e m b a - r z e w s k i. Badania rozpoznawcze pól kukurydzy w kraju (62 stanowiska) oparte na analizie części wskaźnikowych (liści kolbowych kukurydzy) wykazały, że 33% pobranych próbek charakteryzowało się niedostateczną zawartością tego składnika dla roślin (16). Natomiast w doświadczeniach wazonowych, przy niskiej zawartości boru w podłożu, zaobserwowano dodatnią reakcję (wzrost plonu o 27%) kukurydzy na nawożenie tym składnikiem (15). W 45 ścisłych doświadczeniach polowych przepro-

wadzonych w latach 1986–1988 na terenie całego kraju wykazano, że czynnikami mającymi największy wpływ na plon kontrolny kukurydzy były pH gleb i ich zasobność w bor (17). Uzyskane wyniki pozwoliły na sformułowanie twierdzenia, że kukurydza uprawiana w warunkach klimatyczno-glebowych Polski bardziej potrzebuje nawożenia borem niż cynkiem. O znacznym wpływie stosowania boru ($2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) na wielkość uzyskiwanego plonu kukurydzy świadczą również wyniki ścisłych doświadczeń polowych przeprowadzonych w latach 1992–1994 (14). Z sześciu doświadczeń w 4 przypadkach zarówno na glebach o niskiej, jak i dostatecznej zasobności w bor rośliny reagowały istotną wyższą plonów w zakresie od 11 do 30% w stosunku do obiektu kontrolnego. Doświadczenia te, w których oprócz boru stosowano również nawożenie pozostałymi mikroelementami, potwierdziły słuszność hipotezy o większych potrzebach kukurydzy uprawianej w Polsce w stosunku do boru niż do cynku. Wyniki badań eksperymentalnych wykonanych w ostatnich latach potwierdzają wcześniejsze doniesienia.

W latach 2002–2004 przeprowadzono doświadczenie z kukurydzą na dwóch różnych glebach: gleba I – piasek słabogliniasty (6,0% frakcji $<0,02 \text{ mm}$), gleba II – piasek gliniasty mocny (18,0% frakcji $<0,02 \text{ mm}$). Obie gleby cechowała bardzo wysoka zawartość fosforu i magnezu przyswajalnego, wysoka cynku, a średnia potasu, miedzi, manganu i molibdenu oraz niska boru (29). Doświadczenia założono na mikroparcelach. Porównywano obiekty różniące się sposobem uprawy roli: tradycyjny (T) – po zbiorze przedplonu gleba przekopana płytko (10 cm) i zagrabiona, a jesienią przekopana głęboko (25 cm); uproszczony (U) – płytkie (3–5 cm) spulchnienie gleby; siew bezpośredni (Z) – bez uprawy mechanicznej. Nawożenie: przedsiewnie – 60 kg N , $30,6 \text{ P}$, $124,5 \text{ kg K} \cdot \text{ha}^{-1}$; pogłównie – w maju i w czerwcu po $40 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Nawozy stosowano rzutowo na powierzchnię gleby. W trzecim roku (2004) monokultury kukurydzy pobrano próbki do analiz chemicznych. Analizowano części wskaźnikowe roślin (3) oraz ziarno i słomę na zawartość głównych składników pokarmowych, w tym boru i cynku (tab. 1).

Wyniki wskazują na słabe zaopatrzenie w bor i cynk roślin kukurydzy uprawianej w odmiennych od tradycyjnych, lecz coraz powszechniej stosowanych warunkach agrotechnicznych (monokultura, uproszczenia uprawy roli). Warunki te nasilały spowodowany niską zawartością boru przyswajalnego w glebie deficyt tego składnika w roślinach, co szczególnie uwidoczniło się w ziarnie. Znaczenie warunków uprawy dla dostępności składników pokarmowych potwierdza niska zawartość cynku w biomasie kukurydzy, mimo wysokiej zawartości tego mikroskładnika w glebie poletek doświadczalnych. Uproszczenia uprawy roli, z wyjątkiem Zn w słomie na glebie I, spowodowały wyraźne zmniejszenie zawartości obu mikroelementów w roślinach. Uzyskane wyniki potwierdzają znaczenie obu mikroelementów w uprawie kukurydzy.

W latach 2003–2005 przeprowadzono doświadczenia polowe ścisłe na glebie płożej o zawartości frakcji spławialnej ($<0,02 \text{ mm}$) – 17%, w których badano wpływ sposobu uprawy roli oraz poziomu nawożenia podstawowego NPK na zawartość mi-

Tabela 1

Wpływ sposobu uprawy roli i rodzaju gleby w doświadczeniu mikropoletkowym na zawartość boru i cynku w kukurydzy ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.)

System uprawy roli	Części wskaźnikowe*		Ziarno		Słoma	
	B	Zn	B	Zn	B	Zn
Gleba I – piasek słabogliniasty						
Tradycyjny	4,30	22,56	1,51	16,5	10,22	22,2
Uproszczony	4,24	19,55	1,42	15,3	9,78	22,8
Zerowy	4,15	19,63	1,44	15,6	9,72	31,7
NIR $\alpha = 0,05$	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	5,911
Gleba II – piasek gliniasty mocny						
Tradycyjny	6,05	19,6	1,90	15,8	12,62	23,8
Uproszczony	4,08	19,0	1,73	15,0	10,72	24,0
Zerowy	5,03	18,4	1,64	14,6	9,22	17,6
NIR $\alpha = 0,05$	0,603	r.n.	0,211	r.n.	2,773	4,522
	zawartość optymalna**		dane porównawcze (wg 9)			
	6-15	25-70	2,91	35,5	5,40	33,0

* liście spod kolby w stadium formowania kwiatostanów żeńskich – wg Bergmanna (3)

** według Bergmanna (3)

Źródło: Wróbel S. i in., 2007 (26).

kroelementów (w tym boru i cynku) w roślinach kukurydzy uprawianej w monokulturze. W doświadczeniu uwzględniono oba czynniki:

- I – systemy uprawy roli: uprawa tradycyjna (orka zimowa), uprawa uproszczona (płytką uprawą wiosenną), uprawa zerowa (siew bezpośredni przy zastosowaniu siewnika z krojem tarczowym i aplikatorem nawozów);
- II – poziomy nawożenia ($\text{N} + \text{P}_2\text{O}_5 + \text{K}_2\text{O}$) $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$: $0 + 0 + 0$; $50 + 30 + 40$; $100 + 60 + 80$; $200 + 120 + 160$.

Analiza chemiczna gleby z warstw 0-10 cm i 10-15 cm po zakończeniu 3 roku doświadczeń wykazała, że w warunkach uproszczeń uprawy roli, w tym zwłaszcza w uprawie zerowej, następował warstwowy układ składników pokarmowych (w tym boru i cynku) w warstwie powierzchniowej (0-10 cm). Towarzyszył temu spadek wartości pH. Te zmiany właściwości fizykochemicznych gleby wywarły negatywny wpływ na zaopatrzenie roślin w większość składników pokarmowych, w tym bor. Wyjątkiem były zawartości miedzi i cynku w kukurydzy wykazujące wzrost w warunkach uproszczeń uprawy roli. Mimo tendencji wzrostowych ich zawartość, podobnie jak boru, była jednak zbyt mała w porównaniu z odpowiednimi danymi z literatury krajowej (tab. 2).

Nie dotyczyło to zawartości boru w słomie kukurydzy, która była wyższa od danych porównawczych. Cechę tę uznać można za właściwość uprawianej odmiany (LG 2244) uwarunkowaną genetycznie. Obserwowane niekorzystne zmiany w glebie i w roślinach nasilały się w warunkach intensyfikacji nawożenia podstawowego NPK.

Inne badania nad określeniem potrzeb nawożenia kukurydzy borem z uwzględnieniem określenia optymalnej dawki nawozowej oraz różnic międzyodmianowych

Tabela 2

Wpływ sposobu uprawy roli i poziomu nawożenia NPK w doświadczeniu polowym na zawartość boru i cynku w kukurydzy ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.)

System uprawy roli	Części wskaźnikowe*		Ziarno		Słoma	
	B	Zn	B	Zn	B	Zn
$\text{NPK} \cdot \text{ha}^{-1} = 0 \cdot \text{ha}^{-1}$						
Tradycyjny	6,14	17,4	2,83	18,3	10,80	23,5
Uproszczony	5,20	15,5	2,15	18,0	9,14	35,4
Zerowy	4,70	19,4	2,16	20,5	9,54	79,3
$\text{NPK} \cdot \text{ha}^{-1} = (50 + 30 + 40) \cdot \text{ha}^{-1}$						
Tradycyjny	5,57	17,2	2,62	13,9	8,25	20,7
Uproszczony	4,62	19,4	2,22	19,0	7,13	30,6
Zerowy	4,70	25,6	2,16	21,5	6,16	33,2
$\text{NPK} \cdot \text{ha}^{-1} = (100 + 60 + 80) \cdot \text{ha}^{-1}$						
Tradycyjny	5,35	19,2	2,38	20,6	11,40	19,7
Uproszczony	4,65	22,4	2,10	19,4	7,89	38,3
Zerowy	4,60	31,1	2,19	21,9	7,95	42,8
$\text{NPK} \cdot \text{ha}^{-1} = (200 + 120 + 160) \cdot \text{ha}^{-1}$						
Tradycyjny	5,49	26,3	2,31	20,3	11,1	29,5
Uproszczony	5,20	28,5	2,08	21,4	8,51	28,2
Zerowy	4,70	30,6	1,96	21,5	8,60	42,1
	zawartość optymalna**		dane porównawcze (wg 9)			
	6-15**	25-70	2,91	35,5	5,40	33,0

* liście spod kolby w stadium formowania kwiatostanów żeńskich - wg Bergmana (3)

** według Bergmana (3)

Źródło: Badania własne.

kukurydzy przeprowadzili autorzy niniejszego opracowania w latach 2003–2005. Założono w tym celu 3 doświadczenia mikropoletkowe w SD IUNG Baborówko i 3 doświadczenia polowe ściśle w SD IUNG Jelcz-Laskowice z nawożeniem różnych odmian kukurydzy borem. Gleby doświadczałne w obu miejscowościach były podobne, różniły się jedynie odczynem. Doświadczenia w Jelczu-Laskowicach przeprowadzono na glebach kwaśnych lub bardzo kwaśnych (pH 4,5-5,2), a w Baborówku na glebach obojętnych (pH 6,5-7,0). Taki dobór stanowisk miał na celu sprawdzenie wpływu odczynu na dostępność boru dla roślin i efektywność nawożenia tym pierwiastkiem. Gleby w Jelczu-Laskowicach pod względem składu granulometrycznego należały do piasków gliniastych lekkich pylastych (klasy bonitacyjnej IVa i IVb), zasobnych w makroelementy (P, K, Mg). Gleby w SD Baborówko to piaski gliniaste lekkie (klasa bonitacyjna IVa) o słabszym zaopatrzeniu w potas. Ocena zawartości boru przyswajalnego w glebach pól doświadczałnych wykonana na podstawie zmodyfikowanych przez W r ó b l a (27) liczb granicznych wykazała średnią zawartość tego mikroelementu w obu punktach doświadczałnych.

Doświadczenia prowadzono jako dwuczynnikowe w Baborówku (fot. 1, 2) i w Jelczu-Laskowicach (fot. 3) według schematu:

Tabela 3

Charakterystyka badanych odmian kukurydzy

Odmiana Hodowca	Typ mieszańca	Rok wpisu do rejestru	Grupa wczesności	Kierunek użytkowania*
Anna Südwestdeutsche Saatzucht (DE)	podwójny	1995	wczesna	Z, CCM, K
Cyrkon Kobierzyce (PL)	trójliniowy	1999	średnio późna	K
Kasia Smolice (PL)	trójliniowy	1999	wczesna	Z
Limko Kobierzyce (PL/FR)	trójliniowy	1997	średnio wczesna	Z, CCM, K
Oleńka IHAR Radzików (PL/DE)	zmodyfikowany pojedynczy	1998	wczesna	Z, K
Kanzler R 2n (FR)	dwuliniowy	2000	wczesna	K

* Z – ziarno, K – kiszonka

Źródło: Opracowanie własne.



Fot. 1. Doświadczenie mikropoletkowe w SD IUNG Baborówko w 2003 r.



Fot. 2. Doświadczenie mikropoletkowe w SD IUNG Baborówko w 2004 r.

- czynnik I rzędu – dawki boru: obiekt kontrolny (bez nawożenia borem), $0,25 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$ dolistnie (faza 10 liści); $1,50 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$ doglebowo; $2,00 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$ doglebowo i $2,50 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$ doglebowo;
- czynnik II rzędu – odmiany kukurydzy: Anna, Cyrkon, Kasia, Limko, Oleńka i Kanzler (tylko w Baborówku).

Plonowanie odmian kukurydzy. W obu punktach doświadczalnych kukurydza zareagowała statystycznie istotnymi zmianami plonów ziarna na nawożenie borem, jednak ich poziom bardzo się różnił. W Jelczu-Laskowicach uzyskano przyrosty w zakresie od 3,8 nawet do 41,6%, podczas gdy w Baborówku wyniosły one zaledwie 1,8-2,6%, a więc choć istotne statystycznie były bez praktycznego znaczenia dla rolnictwa (tab. 4 i 5).

W Jelczu-Laskowicach największe (średnio z 3 lat badań) przyrosty plonów ziarna pod wpływem boru uzyskano dla odmiany Limko (32,0%) i Oleńka (21,9%), a najmniejszy dla odmiany Kasia (9,0%). Dawki doglebowe boru 1,5; 2,0 i $2,5 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$ spowodowały zbliżony efekt plonotwórczy dla badanych odmian, z tendencją do najlepszego działania dawki $2,0 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Jednocześnie oprysk dolistny w dawce $0,25 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$ dla odmian Anna i Kasia okazał się niewystarczający, a u pozostałych zaobserwowano podobną tendencję.



Fot. 3. Doświadczenie polowe w SD IUNG Jelcz-Laskowice w 2005 r.

Tabela 4

Średnie z 3 lat plony ziarna kukurydzy ($t \cdot ha^{-1}$) oraz przyrosty plonów (w % plonu kontrolnego) w Jelczu-Laskowicach

Odmiana	Dawka boru ($kg B \cdot ha^{-1}$)					Średnio
	0	0,25 _{dolistnie}	1,50	2,00	2,50	
Anna	5,34 a	5,70 ab (6,7) ^{1/}	6,69 d (25,5)	6,41 cd (19,9)	6,21 bc (16,3)	6,07 (17,0)
Cyrkon	6,10 a	6,94 b (13,8)	7,13 b (17,7)	7,25 b (18,9)	6,97 b (14,4)	6,88 (16,0)
Kasia	5,69 a	5,91 ab (3,9)	6,15 ab (8,0)	6,49 b (14,0)	6,28 ab (10,3)	6,10 (9,0)
Limko	5,23 a	6,59 b (26,1)	6,82 b (30,4)	6,79 b (29,9)	7,40 bc (41,6)	6,57 (32,0)
Oleńka	4,89 a	5,80 b (18,6)	5,81 b (18,9)	6,09 b (24,6)	5,94 b (21,6)	5,71 (21,9)
Średnio	5,45	6,19 (13,8)	6,52 (19,9)	6,61 (21,5)	6,56 (20,8)	-

^{1/} w nawiasach podano procentowe przyrosty plonów (w % plonu kontrolnego)

Plony oznaczone tymi samymi literami w ramach jednego wiersza nie różnią się istotnie przy $\alpha < 0,05$

Źródło: Badania własne.

Tabela 5

Średnie z 3 lat plony ziarna kukurydzy ($t \cdot ha^{-1}$) oraz przyrosty plonów (% plonu kontrolnego) w Baborówku

Odmiana	Dawka boru ($kg B \cdot ha^{-1}$)					Średnio
	0	0,25 ^{dolistnie}	1,50	2,00	2,50	
Anna	7,55 a	7,75 c (2,6)	7,60 ab (0,6)	7,64 abc (1,1)	7,73 bc (2,3)	7,65 (1,7)
Cyrkon	6,46 a	6,59 a (2,0)	6,46 a (0,1)	6,56 a (1,5)	6,57 a (1,8)	6,53 (1,3)
Kasia	9,13 a	9,34 b (2,3)	9,22 ab (1,0)	9,30 b (1,9)	9,26 ab (1,4)	9,25 (1,7)
Limko	8,42 a	8,60 b (2,2)	8,49 ab (0,9)	8,57 b (1,8)	8,58 b (1,9)	8,53 (1,7)
Oleńka	6,43 a	6,55 a (1,8)	6,43 a (0,1)	6,45 a (0,4)	6,49 a (0,9)	6,47 (0,8)
Kanzler	7,44 a	7,53 a (1,2)	7,42 a (-0,2)	7,45 a (0,1)	7,47 a (0,4)	7,46 (0,4)
Średnio	7,57	7,73 (2,2)	7,60 (0,5)	7,66 (1,3)	7,68 (1,7)	-

* objaśnienia jak do tabeli 4

Źródło: Badania własne.

W Baborówku, przeciwnie niż w Jelczu-Laskowicach, u wszystkich badanych odmian wystąpiła wyraźna tendencja do lepszego działania plonotwórczego oprysku dolistnego niż boru stosowanego doglebowo. Jednak różnice w reakcji odmian na bor w tym punkcie doświadczalnym były zbyt małe, aby jednoznacznie wskazać, dla których z nich nawożenie tym pierwiastkiem było najkorzystniejsze.

Zawartość boru w roślinach. W tabelach 6 i 7 przedstawiono zmiany zawartości boru w liściach i ziarnie kukurydzy pod wpływem nawożenia tym mikroelementem. W Baborówku pomimo wyższych zawartości wyjściowych boru w liściach i ziarnie kukurydzy zaobserwowano znacznie większy wzrost zawartości boru pod wpływem nawożenia niż w Jelczu-Laskowicach. Pod wpływem wzrastających dawek boru w Jelczu-Laskowicach średnia zawartość B w liściach dla wszystkich badanych odmian wzrosła z 6,1 do 9,4, a w ziarnie z 1,6 do 1,7 $mg B \cdot kg^{-1}$. W Baborówku analogiczny wzrost kształtował się na poziomie 8,8-24,7 i 1,9-2,5 $mg B \cdot kg^{-1}$.

Porównanie zaopatrzenia części wskaźnikowych kukurydzy w bor wykazało znacznie wyższe zawartości tego składnika w roślinach z doświadczenia w Baborówku niż w Jelczu-Laskowicach, nawet na obiektach wyjściowych (bez nawożenia borem); (tab. 6). Może to wyjaśniać słabą reakcję kukurydzy uprawianej na ziarno w Baborówku na nawożenie. Kolejne dawki boru zwiększały proporcjonalnie udział tego mikroelementu w roślinach, osiągając przy dawce najwyższej poziom 3-krotnie wyższy niż na obiekcie kontrolnym (bez B), przekraczając ponad 2-krotnie górną granicę optymalnego zakresu zawartości według B e r g m a n n a (3).

Zaopatrzenie tych samych mieszańców kukurydzy w bor w Jelczu-Laskowicach było wyraźnie gorsze niż w Baborówku. Zawartość boru w liściach wszystkich odmian z Jelcza-Laskowic kształtowała się na granicy niedoboru, podczas gdy w Baborówku w połowie przedziału optymalnego (3). Nawożenie tymi samymi dawkami boru w Jelczu-Laskowicach, pomimo wyraźnego wpływu na plonowanie, nie wywarło znaczącego działania na zawartość tego składnika w częściach wegetatywnych kukurydzy. Pod wpływem najwyższych dawek boru jedynie u odmian Kasia i Anna znacząco

Tabela 6

Zmiany zawartości boru w liściach kolbowych kukurydzy pod wpływem nawożenia tym mikroelementem (średnio z 3 lat, mg B · kg⁻¹ s.m.)

Odmiana	Dawka boru (kg B · ha ⁻¹)					Średnio
	0	0,25 _{dolistnie}	1,50	2,00	2,50	
Jelcz-Laskowice						
Anna	6,0	7,3	9,1	9,3	10,1	8,4
Cyrkon	6,2	7,0	7,6	8,1	8,4	7,5
Kasia	6,3	7,9	9,6	11,0	11,0	9,1
Limko	6,0	7,2	7,7	8,6	8,9	7,7
Oleńka	6,2	7,1	7,7	8,5	8,6	7,6
Średnio	6,1	7,3	8,3	9,1	9,4	-
Baborówko						
Anna	8,9	20,7	16,1	19,8	23,5	17,8
Cyrkon	10,1	16,1	16,6	20,4	23,2	17,3
Kasia	8,3	20,2	19,4	26,7	24,8	19,9
Limko	10,7	14,2	16,3	21,1	25,7	17,6
Oleńka	8,3	14,5	19,1	24,8	29,5	19,2
Kanzler	6,4	15,1	12,4	19,7	21,3	15,0
Średnio	8,8	16,8	16,7	22,1	24,7	-
Zawartość optymalna wg Bergmanna (3): 6-15 mg B · kg ⁻¹ s.m.						

Źródło: Badania własne.

zwiększyła się zawartość B w liściach, jednak i w tym przypadku zawartość ta mieściła się w granicach przedziału optymalnego. Również ziarno kukurydzy z Baborówka miało wyraźnie większą zawartość boru niż z Jelcza-Laskowic. Zmiany zawartości boru w ziarnie nie były jednak tak duże, jak w częściach wskaźnikowych. Ponadprzeciętną zawartość B pod wpływem stosowania najwyższych dawek uzyskano jedynie w ziarnie odmiany Limko (tab. 7).

W doświadczeniach uzyskano dość zróżnicowane efekty plonotwórcze pod wpływem stosowania tych samych dawek boru w uprawie tych samych odmian kukurydzy na podobnych glebach o średniej zawartości boru przyswajalnego. Oznacza to, że w praktyce rolniczej ważnym czynnikiem powinna być możliwość prawidłowego przewidywania pozytywnego efektu aplikacji boru.

Zawartość boru na granicy niedoborów w liściach kukurydzy z obiektu kontrolnego z Jelcza-Laskowic oznaczała zbyt małe zaopatrzenie roślin w ten pierwiastek, a tym samym tłumaczyła znaczny efekt plonotwórczy nawożenia borem. Jednak analiza zawartości boru w warstwie ornej gleb doświadczalnych nie potwierdzała powyższych wniosków, pomimo użycia do oceny zasobności poprawionych liczb granicznych dla zawartości boru przyswajalnego (28). Dopiero bardziej szczegółowa ocena zasobności zarówno warstwy ornej, jak i podornej pozwoliła na wyjaśnienie gorszego zaopatrzenia roślin z Jelcza-Laskowic w bor.

W celu bardziej precyzyjnego określenia zasobności gleb posłużono się tzw. indeksami. Indeks zasobności gleby w dany mikroelement oblicza się przyjmując za 100% granicę zawartości niskiej i średniej i przedstawia w procentach. Indeksy powyżej

Tabela 7

Zmiany zawartości boru ziarnie kukurydzy pod wpływem nawożenia tym mikroelementem
(średnio z 3 lat, mg B · kg⁻¹ s.m.)

Odmiana	Dawka boru (kg B · ha ⁻¹)					Średnio
	0	0,25	1,50	2,00	2,50	
Jelcz-Laskowice						
Anna	1,5	1,5	1,5	1,6	1,7	1,6
Cyrkon	1,9	2,0	1,8	1,9	1,9	1,9
Kasia	1,3	1,6	1,4	1,4	1,6	1,5
Limko	1,8	1,9	2,1	2,0	2,0	2,0
Oleńka	1,4	1,4	1,5	1,4	1,4	1,4
Średnio	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	-
Baborówko						
Anna	2,1	2,2	2,4	2,4	2,4	2,3
Cyrkon	2,1	2,3	2,4	2,7	2,7	2,4
Kasia	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	1,6
Limko	2,3	2,6	2,8	3,2	3,1	2,8
Oleńka	1,8	1,8	2,2	2,4	2,4	2,1
Kanzler	2,0	1,8	2,1	2,3	2,3	2,1
Średnio	1,9	2,0	2,2	2,4	2,5	-
Średnia dla Polski – 2,91 mg B · kg ⁻¹ s.m. (wg 9)						

Źródło: Badania własne.

100% świadczą o dostatecznej zasobności gleby. Im mniejsza jest wartość indeksu (poniżej 100%), tym większe niedobory badanego pierwiastka występują w badanej glebie.

Ponadto postanowiono przeanalizować warstwę podorną gleby. Zasobność w składniki pokarmowe warstwy podornej jest szczególnie ważna dla kukurydzy, która jest rośliną korzeniącą się głębiej niż inne gatunki roślin uprawnych (7). W roku 2005 pobrano więc próbki gleby z warstwy podornej (20-30 cm) z doświadczeń w obu miejscowościach.

Analiza indeksów obliczonych na podstawie wyników analiz chemicznych gleby wyraźnie wskazuje na duże niedobory B w warstwie podornej pól w Jelczu-Laskowicach (tab. 8). Wyjaśnia to znacznie mniejsze zawartości boru w liściach i ziarnie kukurydzy z tej miejscowości oraz dodatnią reakcję roślin (wzrost plonów) na nawożenie tym składnikiem.

Przeprowadzone doświadczenia wskazują również na możliwość występowania niedoborów boru, a tym samym większej efektywności nawożenia tym pierwiastkiem raczej na glebach lekkich i zakwaszonych (Jelcz-Laskowice) niż na glebach o uregulowanym odczynie (Baborówko). W warunkach glebowo-klimatycznych Polski bor jest łatwo wypłukiwany, a rośliny cierpią na jego niedostatek, który ogranicza ich plonowanie. Należy pamiętać, że w Polsce około 60% ogółu gleb stanowią gleby lekkie i kwaśne, potencjalnie narażone na wypłukiwanie z nich boru.

Tabela 8

Zawartość boru w warstwie ornej i podornej gleb doświadczalnych

Miejscowość	Warstwa gleby (cm)	Zawartość boru*	Indeks (%)
Jelcz-Laskowice	0-20	0,56	110
	20-30	0,38	69
Baborówko	0-20	1,00	102
	20-30	0,90	92

* ocena zawartości boru wg zmodyfikowanych liczb granicznych (27)

Źródło: Badania własne.

Efektywność ekonomiczna nawożenia kukurydzy borem. W tabeli 9 przedstawiono obliczenia opłacalności nawożenia kukurydzy borem dla wyników doświadczeń w Jelczu-Laskowicach i Baborówku.

Otrzymane w Jelczu-Laskowicach zwwyżki plonów na skutek nawożenia borem pozwoliły na uzyskanie nadwyżki bezpośredniej wynoszącej od 243 do 401 zł · ha⁻¹ w zależności od wielkości dawki nawozowej boru. Najwyższą opłacalność nawożenia stwierdzono przy dawce doglebowej 2 kg B · ha⁻¹. Oprysk dolistny spowodował najmniejszą zwwyżkę plonu i tym samym jego opłacalność była najmniejsza. Przy małych przyrostach plonów ziarna nawożenie kukurydzy borem w Baborówku było nieopłacalne. Należy dodać, że o opłacalności nawożenia kukurydzy borem w dużym stopniu decydują aktualne ceny skupu ziarna i koszty jego produkcji. Jednak potrzebna do nawożenia niewielka ilość kwasu borowego oraz jego niska cena wskazują na możliwość uzyskania opłacalności tego zabiegu.

Tabela 9

Opłacalność nawożenia kukurydzy borem (według cen z września 2006 r.)

Wyszczególnienie	Dawka boru (kg B · ha ⁻¹)				
	0	0,25 ^{dolistnie}	1,5	2,0	2,5
Jelcz-Laskowice					
Plon ziarna (t · ha ⁻¹)	5,45	6,19	6,52	6,61	6,56
Zwyzka plonu (t · ha ⁻¹)	x	0,74	1,07	1,16	1,11
Wartość zwwyżki (zł) ¹⁾	x	296	428	464	444
Koszt nawożenia (zł · ha ⁻¹) ²⁾	x	53	60	63	66
Nadwyżka (zł · ha ⁻¹)	x	243	368	401	378
Baborówko					
Plon ziarna (t · ha ⁻¹)	7,57	7,73	7,60	7,66	7,68
Zwyzka plonu (t · ha ⁻¹)	x	0,15	0,03	0,09	0,11
Wartość zwwyżki (zł) ¹⁾	x	62	13	36	45
Koszt nawożenia (zł · ha ⁻¹) ²⁾	x	53	60	63	66
Nadwyżka lub strata (zł · ha ⁻¹)	x	9	-46	-27	-22

¹⁾ cena skupu 1 t ziarna kukurydzy ok. 400 zł – średnia za 2004–2005 (źródło: <http://www.stat.gov.pl/>)²⁾ cena kwasu borowego – ok. 6,5 zł za 1 kg, koszt wykonania zabiegu nawożenia – oprysk doglebowy lub dolistny – ok. 50 zł/ha (z danych SD Jelcz-Laskowice, wrzesień 2006 r.)

Źródło: Badania własne.

Podsumowanie

W ciągu ostatnich 10 lat areal kukurydzy uprawianej na ziarno wzrósł w kraju blisko 6-krotnie, a granica jej uprawy przesunęła się na północ, co stało się możliwe dzięki wprowadzeniu nowych, wczesnych mieszańców hodowli krajowej i zagranicznej. Systematycznie wzrastają również plony ziarna kukurydzy. W latach 1995–2004 w porównaniu z okresem poprzednim (1986–1995) plony ziarna wzrosły z 4,7 do 5,8 t · ha⁻¹. Pomimo tego ciągle jeszcze znacznie pozostajemy w tyle za czołową europejską, która osiąga plony przekraczające 10 t · ha⁻¹.

Jak wynika z przedstawionych wyników badań jedną z ważniejszych przyczyn niższych plonów kukurydzy mogą być niedostatki boru występujące powszechnie w glebach Polski. Pogląd o szczególnej wrażliwości kukurydzy na niedobór cynku jest słuszny jedynie w odniesieniu do gleb o względnie wysokim pH. Natomiast braki boru, mikroelementu najbardziej deficytowego w glebach uprawnych Polski, nasilają się wobec niedostatku obornika, wysokich potrzeb pokarmowych nowych generacji mieszańcowych odmian kukurydzy, a także niesprzyjających warunków pogodowych w krytycznych okresach rozwoju roślin.

O randze potrzeb nawożenia borem decyduje również wymóg uzyskiwania cechującego się dobrą jakością biologiczną plonu kukurydzy, zwłaszcza w aspekcie przydatności konsumpcyjnej ziarna. Odkrycia naukowe stwierdzające niezbędność boru w ważnych funkcjach metabolicznych ssaków potwierdzają konieczność takich działań (20).

Wnioski wynikające z przedstawionych wyników badań wskazują, że niedoborów boru można oczekiwać na większości lekkich gleb Polski, zwłaszcza w warunkach intensyfikacji nawożenia mineralnego NPK, uproszczeń w uprawie roli i zmianowaniu roślin (płodozmiany zbożowe). Sprzyjają temu zarówno dłuższe okresy intensywnych opadów (wyplukiwanie), jak i niski ich poziom w okresach suszy (niedostępność boru). W przypadku kukurydzy – rośliny o głębokim systemie korzeniowym – zaleca się badanie zasobności gleby w bor przyswajalny również w warstwie podornej (20–30 cm).

Badane odmiany kukurydzy różniły się znacznie reakcją na nawożenie borem, ale większy wpływ na efektywność nawożenia miały warunki glebowe, takie jak zawartość boru dostępnego w glebie i jej odczyn. Do najsilniej reagujących przyrostem plonu ziarna na nawożenie borem w warunkach polowych zaliczyć można odmiany Limko i Oleńka, a do najslabiej reagujących odmianę Kasia. Dawka 2 kg B · ha⁻¹ w postaci technicznego kwasu borowego zastosowana doglebowo, zapewniająca dostępność składnika już od najwcześniejszych faz rozwojowych, przyniosła największe efekty plonotwórcze i cechowała się największą opłacalnością. W przypadku konieczności wykonania oprysku interwencyjnego w okresie wegetacji kukurydzy należy zastosować dawkę 250–300 g B · ha⁻¹ w postaci H₃BO₃ lub schelatyzowanej formy boru.

Literatura

1. Benedycka Z., Krauze A., Bowszys T.: Następny wpływ nawożenia borem. Acta Acad. Agricult. Techn. Olst., Agricultura, 1986, **43**: 51-56.
2. Benedycka Z., Krauze A.: Badania efektywności nawożenia mikroelementami w zmianowaniu. Acta Acad. Agricult. Techn. Olst., Agricultura, 1988, **45**: 43-51.
3. Bergmann W.: Bemerkungen und Tabellen zur analytischen Pflanzendiagnose der Pflanzen oder Blattanalyse. VEB Fischer Verlag, Jena, 1986, 1-38.
4. Czuba R., Andruszczak E., Szczegodzińska K.: Ocena kierunków zmian zawartości mikroelementów w roślinach uprawianych na dużych dawkach NPK. Materiały VI Sympozjum „Mikroelementy w rolnictwie”. Wrocław, 1991, 129-135.
5. Czuba R.: Mikroelementy we współczesnych systemach nawożenia. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2000, **471**: 161-170.
6. Dębowski M., Kucharzewski A.: Odczyn i zawartość mikroelementów w glebach Polski. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2000, **471(1)**: 627-636.
7. Dubas A.: Kukurydza. W: Szczegółowa uprawa roślin. Red. Jasińska Z., Kotecki A., AR Wrocław, 1999, 263-289.
8. Faber A.: Bezpośrednie i następne działanie nawożenia borem, miedzią, molibdenem i cynkiem w zmianowaniu czteropolowym. IUNG Puławy, 1992, **H(2)**: 1-81.
9. Fotyma M., Mercik S.: Chemia rolna. PWN Warszawa, 1995, 1-356.
10. Gembarzowski H.: Stan i tendencje zmian zawartości mikroelementów w glebach i roślinach z pól produkcyjnych w Polsce. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2000, **471(1)**: 171-177.
11. Gołębiowska H., Rola H.: Skutki fitotoksycznego oddziaływania herbicydów kukurydzą. Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy, 2007, **8**: 41-54.
12. Gorlach E., Mazur T.: Chemia rolna. PWN Warszawa, 2002, 1-347.
13. Katyál J. C., Randhawa N. S.: Micronutrients. FAO Fert. & Plant. Nutr. Bull., 1983, **7**: 1-82.
14. Korzeniowska J., Gembarzowski H.: Potrzeby nawożenia mikroelementami kukurydzy uprawianej na kiszonce. Roczn. Glebozn., 1999, **50(1/2)**: 79-84.
15. Korzeniowska J., Gembarzowski H.: Reakcja na nawożenie mikroelementami kukurydzy uprawianej na glebach lekkich w świetle doświadczeń wazonowych. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1996, **434**: 118-122.
16. Korzeniowska J.: Potrzeby mikroelementowe kukurydzy uprawianej na kiszonce w warunkach glebowo-klimatycznych Polski. Praca doktorska, AR Wrocław, 1995, 1-59.
17. Korzeniowska J.: Potrzeby nawożenia cynkiem kukurydzy uprawianej na kiszonce w świetle wyników doświadczeń polowych. Roczn. Glebozn., 1994, **45(1/2)**: 91-99.
18. Krauze A., Benedycka Z., Bobrzecka D.: Działanie boru w czteroletnim zmianowaniu. Zesz. Nauk. AR-T Olsztyn, 1988, **R. 45**: 53-59.
19. Metody badań laboratoryjnych w stacjach chemiczno-rolniczych. IUNG Puławy, 1980. I-IV.
20. Nielsen F. H.: The nutritional importance of boron throughout the life cycle of higher animals and humans. In: Boron in plant and animal nutrition, Goldbach H. E., Rerkasem B., Wimmer M. A., Brown P. H., Thellier M., Bell R. W., Ed.: Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 2002, 37-50.
21. Obojski J., Strączyński S.: Odczyn i zasobność gleb polskich w makro- i mikroelementy. IUNG Puławy, 1995, 1-40.
22. Reisenauer H., Walsh L., Hoeft R.: Testing soils for sulphur, boron, molybdenum and chlorine. In: Walsh L. and Beaton J.: Soil Testing and Plant Analysis. Soil Sci. Soc. Amer. Inc., Madison/Wisconsin, 1973, 173-200.
23. Rola H.: Oddziaływanie fitotoksyczne niektórych herbicydów na odmiany kukurydzy. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2003, **43(1)**.

24. S z u k a l s k i H.: Mikroelementy w produkcji roślinnej. PWRiL Warszawa, 1979, 1-320.
25. W h i t e P. J., B r o a d l e y M. R.: Chloride in soils and its uptake and movement within the plant: A review. *Ann. Bot.*, 2001, **88**: 967-988.
26. W r ó b e l S., P a b i n J., M i c k i e w i c z A.: Wpływ uproszczeń uprawy roli na dostępność składników pokarmowych w monokulturze kukurydzy. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2007 (w druku).
27. W r ó b e l S.: Określenie potrzeb nawożenia buraka cukrowego mikroelementami. *Monogr. Rozpr. Nauk.*, 2002, **2**: 1-96.
28. W r ó b e l S.: Wpływ wieloletniego produkcyjnego użytkowania pól uprawnych na zaopatrzenie gleb i pszenicy jarej w mikroelementy. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2000, **471**: 619-626.
29. Zalecenia nawozowe. Praca zbiorowa. Liczby graniczne do wyceny zawartości w glebach makro- i mikroelementów. IUNG Puławy, 1985, **P(28)1**: 1-34.

Adres do korespondencji:

doc. dr hab. Stanisław Wróbel
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli
IUNG-PIB
ul. Orzechowa 61
50-540 Wrocław
tel./fax: 071 363 87 07 wew. 122
email: s.wrobel@iung.wroclaw.pl

Helena Sztuder, Stanisław Strączyński

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

OCENA NAWOZÓW PŁYNNYCH W BADANIACH ROLNICZYCH*

Wprowadzenie

Zrównoważony rozwój rolnictwa, będący współczesną formą rozwoju gospodarczego, wymaga m.in. zrównoważonej gospodarki składnikami mineralnymi, polegającej na możliwości bilansowania ich rozchodu i przychodu z uwzględnieniem produkcyjnych, ekonomicznych i ekologicznych skutków nawożenia. Wprowadzaniu nowoczesnych systemów gospodarowania w rolnictwie towarzyszy racjonalizacja zużycia agrochemikaliów przy założeniu uzyskiwania zadowalającego poziomu plonowania, a jednocześnie zmniejszenia negatywnego oddziaływania na zdrowie ludzi i zwierząt oraz na środowisko. Można to osiągnąć modyfikując właściwości i skład produktów nawozowych, a także wprowadzając nowe systemy dystrybucji i stosowania nawozów (1-3, 5, 9, 12-14, 17, 18, 21-24, 26-28, 38).

Podstawowym zadaniem zrównoważonego nawożenia jest zwiększenie efektywności wykorzystania składników nawozowych; szacuje się, że może ono wzrosnąć nawet o około 30% poprzez podwyższanie ich jakości (skład chemiczny, substancje balastowe, domieszki szkodliwe, forma) i dalsze ulepszanie precyzji aplikacji nawozów stałych, ciekłych i zawieszinowych (20, 21).

W nawożeniu roślin uprawnych powszechnie przyjętą metodą było i jest stosowanie składników pokarmowych w formie nawozów stałych. Od kilkunastu lat wykorzystuje się również nawozy w postaci płynnej i to zarówno dolistnie, jak i doglebowo (1-5, 7, 10, 12-14, 17-19, 21-23, 25-28).

Formy, rodzaje i właściwości nawozów płynnych

W grupie nawozów płynnych można wyróżnić dwie formy:

1. Nawozy ciekłe klarowne – składniki nawozowe całkowicie rozpuszczone w wodzie:

- bezwodny amoniak,
- wodny roztwór amoniaku,

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.4 w programie wieloletnim IUNG - PIB

- roztwór saletrzano-mocznikowy (RSM-28, 30 i 32),
- roztwór saletrzano-mocznikowy z dodatkiem $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ – RSMMg, roztwór saletrzano-mocznikowy z dodatkiem $\text{NH}_4(\text{SO}_4)_2$ – RSMS, wodny roztwór mocznika o różnym stężeniu,
- azotan wapnia, siarczan magnezu, azotan sodu i potasu – sole rozpuszczalne w wodzie o przeznaczeniu nawozowym, wytwarzane jako produkty uboczne,
- nawozy wieloskładnikowe typu NPK,
- nawozy płynne zawierające mikroelementy typu INSOL.

2. Nawozy zawiesinowe typu N-P, P-K i N-P-K – obok składników rozpuszczonych w wodzie występują w nich składniki również w formie zdyspergowanej, drobnokrystalicznej, utrzymywane w fazie ciekłej, na ogół za pomocą dodatkowego czynnika stabilizującego.

W stosunku do nawozów klarownych nawozy zawiesinowe posiadają szereg zalet. Do najważniejszych z nich należą:

- wyższa zawartość składników nawozowych,
- możliwość użycia do produkcji surowców o mniejszej czystości, a nawet odpadów.

Nawozy zawiesinowe posiadają też pewne wady, do których można zaliczyć:

- ograniczony czas przechowywania wskutek osiadania zawiesin,
- konieczność ich wytwarzania w pobliżu miejsca stosowania,
- stosowanie dodatków stabilizujących zawiesiny (np. glinokrzemiany, bentonity, hydrolizaty skrobi, sorbit i inne minerały ilaste).

Z danych zawartych w tabeli 1 wynika, że w produkcji nawozów zawiesinowych można uzyskać wysoką koncentrację składników pokarmowych porównywalną ze składem stałych nawozów wieloskładnikowych, a wyższą niż w nawozach płynnych produkowanych w postaci roztworów.

Produkcja i stosowanie nawozów płynnych

Wielkość produkcji światowej nawozów płynnych szacuje się na około 5 mln $\text{t} \cdot \text{rok}^{-1}$, w tym około 90% stanowi RSM. Z tego 70% produkcji światowej jest zużywane w rolnictwie USA, około 20% w krajach Unii Europejskiej, a w Polsce około 0,3%. Produkcja krajowa nawozów płynnych osiągnęła poziom 1 mln $\text{t} \cdot \text{rok}^{-1}$, głównie w formie RSM, a zużycie tego nawozu w Polsce nie przekracza 200 tys. $\text{t} \cdot \text{rok}^{-1}$. Nawozy zawiesinowe w USA stanowią około 40% całkowitego zużycia NPK, zaś w Polsce ich zużycie nie przekracza 1% całkowitego zużycia NPK. Szacuje się, że w kraju około 10% azotu jest aplikowane w postaci płynnej przez rozpuszczenie stałych nawozów azotowych (mocznik), często łącznie ze środkami ochrony roślin i mikroelementami (20, 21, 30).

Na skalę wielkoprzemysłową nawozy płynne typu RSM (roztwory saletrzano-mocznikowe) produkują Zakłady Azotowe „Puławy” S.A. i Zakłady Azotowe „Kę-

Tabela 1

Typowy skład nawozów płynnych

Składniki	Nawozy płynne w postaci roztworów	Nawozy płynne w postaci zawiesin
N-0-0	24-0-0 28-0-0 30-0-0 32-0-0	29-0-0 36-0-0
N-P-0	7-21-0 8-24-0 10-30-0 11-33-0 (44)	9-32-0 13-38-0 12-40-0 13-41-0 (54)
N-P-K	2-6-12 3-9-9 8-8-8 (24) 4-10-10 (24)	4-12-24 4-14-28 7-21-21 5-15-30 (50) 14-14-14 15-15-15 20-10-10

Źródło: Hoffmann J., 2001 (17).

dzierzyn” S.A. Niewielkie ilości nawozów tego typu wytwarzają Zakłady Azotowe „Tarnów” S.A. Oprócz nawozów typu RSM Zakłady Azotowe „Puławy” S.A. oferują także nawozy typu RSMS (z dodatkiem siarczanu amonu), RSMMg (z dodatkiem azotanu magnezu), ale masa sprzedawanych nawozów tego typu jest niewielka (29). Ze względu na brak wystarczającej ilości kwasu fosforowego nie produkuje się w Polsce większych ilości płynnych, klarownych nawozów wieloskładnikowych doglebowych typu NPK (29). Dużym postępem w produkcji nawozów płynnych w kraju było opracowanie przez Instytut Nawozów Sztucznych w Puławach technologii wytwarzania nawozów zawiesinowych (6, 8, 9, 15, 16, 29). Obecnie funkcjonuje jedna stacja produkująca nawozy zawiesinowe w Łagiewnikach Średzkich koło Legnicy (fot. 1 i 2). Stacja oferuje nawozy o dowolnym składzie i obsługuje około 15 tys. ha użytków rolnych w najbliższym jej otoczeniu.

Należy oczekiwać, że w najbliższej perspektywie zużycie nawozów płynnych, w tym również zawiesinowych typu NPK, w Polsce może wzrosnąć z uwagi na:

- przemiany w strukturze agrarnej (wzrost udziału gospodarstw o dużym areale),
- lepsze uzbrojenie rolnictwa w specjalistyczny sprzęt do aplikacji nawozów,
- wymogi Unii Europejskiej w zakresie ochrony środowiska.

Nawozy zawiesinowe

Sposób wytwarzania nawozów zawiesinowych. Surowcami wyjściowymi do wytwarzania nawozów zawiesinowych są: fosforan jednoamonowy (MAP: 14-54-0), woda amoniakalna (20% N), roztwór saletrzano-mocznikowy RSM (28-32 % N),



Fot. 1. Stacja Nawozów Płynnych (SNP) w Łagiewnikach Średzkich – widok ogólny

bentonit (12% zawiesina), chlorek potasowy KCl (57-60% K_2O) i woda. Zawiesinę bazową NP o składzie 8-24-0 sporządza się w mieszalniku przez rozpuszczenie w wodzie stałego fosforanu jednoamonowego (MAP) z równoczesnym amoniakowaniem do momentu uzyskania pH zawiesiny 6,4-6,8. Do stabilizacji zawiesiny dodaje się przygotowaną 12% zawiesinę bentonitu. Powstały produkt (zawiesina bazowa NP) może być przechowywany lub bezpośrednio wykorzystany do sporządzenia nawozu NPK. W tym celu do zbiornika mieszalnika oprócz zawiesiny bazowej NP dodaje się roztwór RSM (zwiększając zawartość azotu), sól potasową i zawiesinę bentonitu.

Skład i właściwości. Formuły nawozów zawiesinowych i technologia ich stosowania zostały opracowane w Instytucie Nawozów Sztucznych przy współudziale Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa. Skład podstawowych nawozów zawiesinowych podano poniżej w tabeli 2.

Przeznaczenie i zasady stosowania. Nawozy zawiesinowe są w zasadzie nawozami przedsięwziętymi, jednak możliwe jest też ich stosowanie pogłównie w międzyrzędzia na plantacjach roślin z szerokimi międzyrzędziami (kukurydza, ziemniak, burak). Na użytki zielone nawozy te stosuje się wczesną wiosną i po kolejnych pokosach łąk oraz po wypasach pastwisk. Nawozy zawiesinowe można stosować także w zintegrowanych systemach nawożenia płynnego.

Z dotychczasowych doświadczeń można wnioskować, że najbardziej realny i ekonomiczny system stosowania tej grupy nawozów polega na usługowym nawożeniu sprzętem stacji w dużych gospodarstwach rolnych, prowadzących produkcję roślinną na co najmniej 20-30 ha plantacjach.



Fot. 2. Fragment instalacji SNP – zbiorniki, mieszalniki

Tabela 2

Skład nawozów zawieszinowych

Lp.	Formuły nawozów	Zawartość (%) N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	Suma składników (%) N-P ₂ O ₅ -K ₂ O
1.	3-1-3	9-3-9	21
2.	1-3-9	2-6-18	26
3.	1-3-6	3-9-18	30
4.	1-1-2	8,5-8,5-17	34
5.	1-2-4	5-10-20	35
6.	2-1-2	14-7-14	35
7.	1-1-1	12-12-12	36
8.	3-2-4	12,6-8,4-16,8	37,8
9.	1-2-3	6,7-13,5-20,2	40,4
10.	1-1-3	8,5-8,5-25,5	42,5

Źródło: Czuba R., 2000 (8).

Formy pobieranych składników. Formy makroelementów (N, P, K) występujące w nawozach zawieszinowych są dobrze przyswajalne przez rośliny. **Azot** występuje w trzech formach: amidowej, amonowej i azotanowej. Formy azotu amidowego (NH_2) i amonowego (NH_4) wolno działają w glebie i nie ulegają wymyciu w głąb profilu glebowego. Formy te chronią środowisko glebowe, w tym również wody gruntowe przed nadmiarem azotanów. Azot azotanowy (NO_3) jest końcową formą przemian glebowych azotu amidowego i amonowego. W czasie tych przemian rośliny pobierają z reguły azot już w formie amonowej, który jest również dobrze sorbowany przez glebę i przemiany azotu amonowego do azotanowego (nitryfikacja) przebiegają w znikomym rozmiarze, co chroni środowisko przed nadmiarem azotanów. **Fosfor** zawarty w nawozach płynnych zawieszinowych występuje w fosforanach jednoamonowych i dwuamonowych, czyli w związkach łatwo dostępnych dla roślin (H_2PO_4^- i HPO_4^{2-}). **Potas** w tych nawozach występuje w formie soli chlorkowej o zawartości 60% K_2O , która jest prawie bezbalastowa i umożliwia otrzymywanie wysokoprocen-towych nawozów zawieszinowych.

Systemy nawożenia płynnego

W polowej produkcji roślinnej stosowany jest obecnie duży asortyment płynnych nawozów mineralnych, który umożliwia wyodrębnienie zwartych systemów nawożenia płynnego, w tym: systemu nawożenia doglebowego, dolistnego dokarmiania roślin oraz doglebowo-dolistnego stosowania nawozów płynnych (6, 33, 36). W obrębie każdego systemu istnieje możliwość doboru różnych segmentów agrotechnicznych w zależności od wymagań roślin.

I. System doglebowego nawożenia płynnymi nawozami mineralnymi:

- RSM + $\text{MgSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$ (na gleby o niskiej zasobności w Mg),
- nawóz zawieszinowy typu NPK przedsiewnie + doglebowo międzyrzędowo RSM,
- nawóz zawieszinowy typu NPK przedsiewnie + doglebowo międzyrzędowo RSM z $\text{MgSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$.

Do typowych nawozów doglebowych stosowanych obecnie w skali produkcyjnej zaliczamy roztwór saletrzano-mocznikowy (RSM), rozprowadzany na terenie całego kraju i nawozy zawieszinowe wytwarzane i stosowane regionalnie (dolnośląskie).

II. System dolistnego dokarmiania roślin uprawy polowej obejmuje dolistne stosowanie:

- azotu w formie wodnego roztworu mocznika,
- mikroelementów w formie nawozów płynnych,
- azotu łącznie z mikroelementami,
- 5% roztworu $\text{MgSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$ lub 3% $\text{MgSO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$,
- azotu łącznie z magnezem,
- magnezu łącznie z nawozem mikroelementowym,
- azotu łącznie z magnezem i mikroelementami.

System dolistnego dokarmiania roślin zawiera głównie mocznik, ale także magnez i niezbędne mikroelementy. System ten należy do najbardziej efektywnych, a jednocześnie korzystnych ekologicznie. Dokarmianie roślin pozwala na obniżenie ogólnej dawki nawozów, głównie azotowych, zwiększenie ich wykorzystania dzięki dostarczaniu roślinom składników pokarmowych zgodnie z zapotrzebowaniem w określonych fazach rozwojowych. System pozwala również na precyzyjne dostarczanie mikroelementów zgodnie ze specyficznymi potrzebami odmian roślin w dawkach wielokrotnie mniejszych niż doglebowo.

III. System doglebowo-dolistnego stosowania nawozów płynnych:

- RSM lub nawóz zawiesinowy doglebowo + dolistnie roztwór mocznika,
- RSM lub nawóz zawiesinowy doglebowo + dolistnie nawóz płynny zawierający mikroelementowy,
- RSM lub nawóz zawiesinowy doglebowo + dolistnie roztwór mocznika z nawozem mikroelementowym,
- RSM lub nawóz zawiesinowy doglebowo + dolistnie $\text{MgSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$, ewentualnie łącznie z mocznikiem i nawozem mikroelementowym.

W tym systemie przedsięwzięcie można stosować typowe płynne nawozy doglebowe, jak RSM lub odpowiedni wieloskładnikowy nawóz zawiesinowy, a następnie stosuje się dokarmianie dolistne.

Ocena rolnicza nawozów płynnych

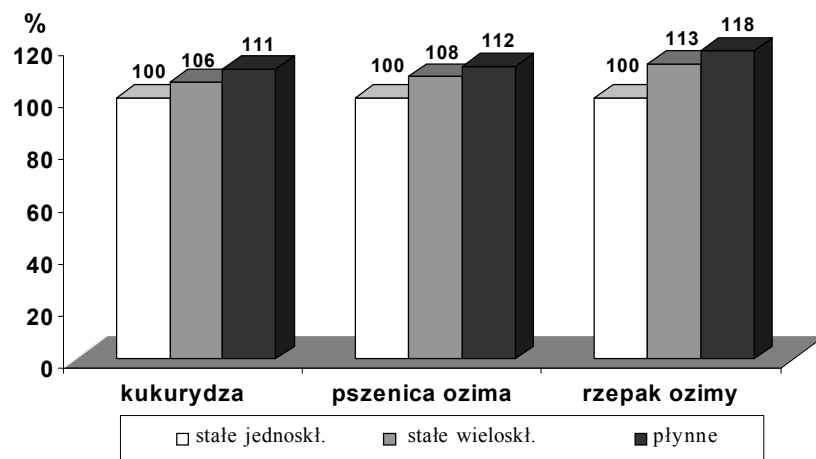
Ocenę nawozów płynnych przeprowadzono na podstawie wieloletnich ścisłych doświadczeń polowych z różnymi gatunkami roślin uprawnych (jęczmień jary, pszenica ozima, rzepak ozimy i kukurydza uprawiana na nasiona) poprzez określenie skutków ich oddziaływania w kryteriach produkcyjnych, ekologicznych i ekonomicznych. W badaniach porównano działanie nawozów płynnych z ekwiwalentnymi dawkami nawozów stałych jednoskładnikowych i wieloskładnikowych (31, 32, 34, 35, 37).

Efekty produkcyjne

Skutki produkcyjne obejmowały: wielkość plonu głównego, pobranie składników pokarmowych z plonem głównym roślin i efektywność rolniczą.

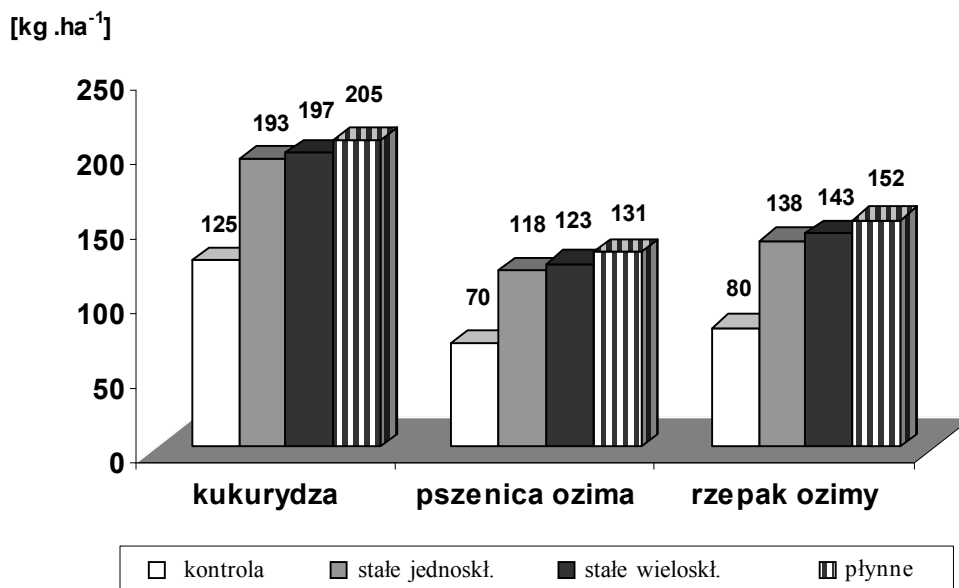
Effekt plonotwórczy nawozów płynnych wyrażony zwyżką plonu w stosunku do stałych nawozów jednoskładnikowych był większy i wynosił 11-18% (rys. 1). Wielkości te dla rzepaku ozimego, pszenicy ozimej i kukurydzy były udowodnione statystycznie i wynosiły odpowiednio: 18, 12 i 11%. Natomiast w odniesieniu do stałych nawozów wieloskładnikowych zwyżki plonu były niższe i nie przekraczały 5%. Różnice pomiędzy plonami na korzyść nawozów płynnych mogły wynikać z wysokiej równomierności rozprowadzania nawozów zawiesinowych (nie występuje zjawisko rozdzielania się składników), dostosowania składu nawozu do potrzeb pokarmowych roślin oraz lepszych efektów plonotwórczych w latach o mniejszej ilości opadów w okresie wegetacji, które wystąpiły podczas trwania doświadczeń (31,32).

Na rysunku 2 przedstawiono pobranie składników pokarmowych jako sumę azotu, fosforu i potasu z plonem głównym roślin doświadczalnych. Wielkość pobrania tych



Rys. 1. Przyrost plonu roślin doświadczalnych

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 2. Pobranie N+P+K z plonem głównym roślin

Źródło: Opracowanie własne.

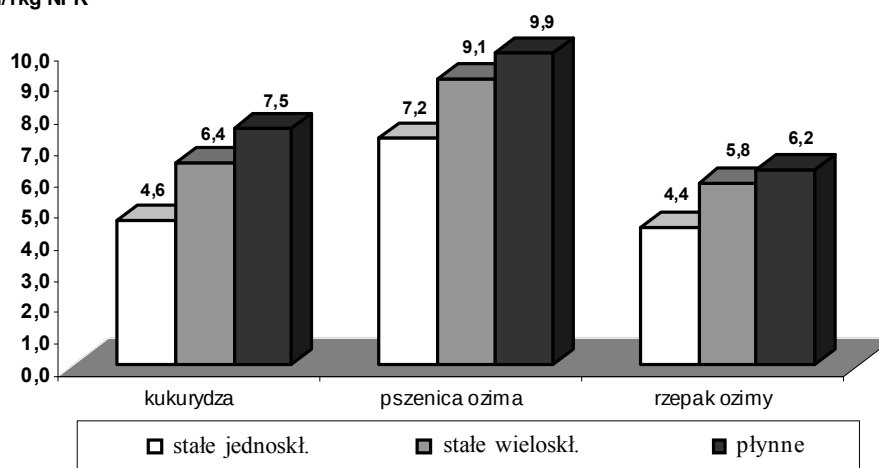
składników była uwarunkowana ilością wytworzonego plonu i zawartością w nim składników pokarmowych. Pobranie NPK z nawozów płynnych przez plon główny wszystkich roślin doświadczalnych było wyższe niż pobranie tych składników z nawozów stałych, a zwłaszcza z nawozów stałych jednoskładnikowych, w stosunku do których wzrost pobrania wynosił od 6% dla kukurydzy ($205 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) do 11% ($131 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) dla pszenicy ozimej.

Wyniki uzyskane w doświadczeniach umożliwiły również określenie efektywności rolniczej nawożenia NPK zastosowanego w różnych formach (stałej i płynnej), wyrażonej w kg plonu użytkowego na 1 kg NPK zastosowanego w nawozie. Jak wynika z rysunku 3 rolnicza efektywność nawożenia NPK wahała się od 4,4 do 9,9 kg plonu na 1 kg NPK zastosowanego w nawozach i zależała od gatunku uprawianej rośliny oraz formy stosowanego nawozu. Efektywność ta wynosiła dla: kukurydzy 4,6-7,5, pszenicy ozimej 7,2-9,9, a rzepaku ozimego 4,4-6,2 kg ziarna/nasion. Najwyższą skuteczność nawożenia nawozami płynnymi uzyskano w przypadku kukurydzy uprawianej na ziarno.

Efekty środowiskowe

Nawozy płynne można zaliczyć do nawozów bezpiecznych dla środowiska. W czasie rozlewu nawozu na rolę uzyskuje się znacznie lepszą równomierność rozprowadzenia nawozu na powierzchni niż w rozsiewie nawozów stałych, co umożliwia lepsze wykorzystanie składników przez roślinę. Nawozy te nie zawierają zbędnych substancji balastowych, co ogranicza skażenie środowiska glebowego pierwiastkami toksycznymi występującymi często w nawozach stałych. Ponadto składniki pokarmowe występujące w nawozach płynnych są łatwiej przyswajalne dla roślin i nie zalegają w glebie, co ogranicza ich wymywanie do wód gruntowych.

kg plonu/1kg NPK

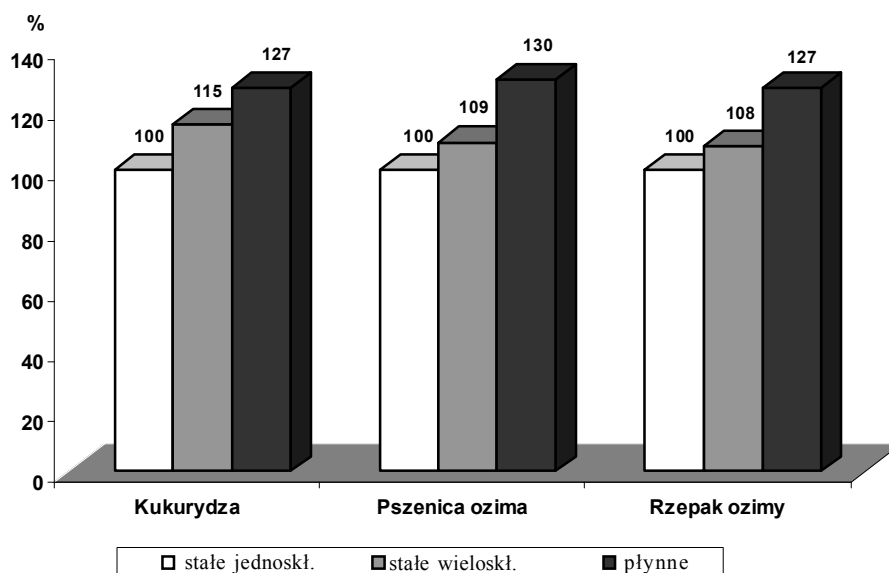


Rys. 3. Efektywność rolnicza nawozów mineralnych

Źródło: Opracowanie własne.

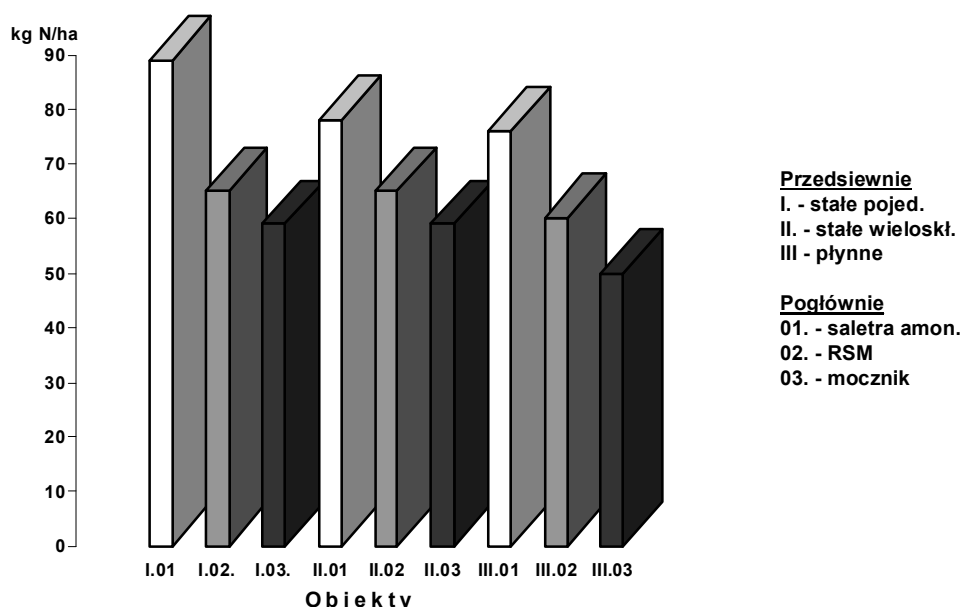
W ocenie skutków środowiskowych uwzględniono wykorzystanie NPK z nawozów i zawartość azotu mineralnego w glebie.

Na rysunku 4 przedstawiono wykorzystanie azotu, fosforu i potasu mierzone różnicą pomiędzy ilością tych składników dostarczoną w nawozach i ilością pobraną z plonem głównym roślin doświadczalnych w procentach (wielkość wykorzystania N+P+K z jednoskładnikowych nawozów stałych przyjęto za 100%). Mierzone w ten sposób wykorzystanie azotu, fosforu i potasu z nawozów przez rośliny było zróżnicowane i zależało od rodzaju zastosowanego nawożenia. Wyraźnie wyższe wykorzystanie wszystkich składników pokarmowych (N + P + K) przez rośliny doświadczalne stwierdzono na obiektach, gdzie stosowano nawozy płynne. Wykorzystanie N+P+K dla kukurydzy i rzepaku z nawozów płynnych wzrosło o 27% w porównaniu z nawozami stałymi jednoskładnikowymi, a dla pszenicy ozimej o 30%. Większe wykorzystanie azotu przez rośliny na obiektach, gdzie nawozy azotowe stosowano w formie płynnej wpłynęło w znacznym stopniu na obniżenie zawartości azotu mineralnego w glebie po zbiorze roślin. Najmniej azotu w warstwie gleby do 60 cm – średnio $56 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ (niezależnie od formy nawozu przedsięwziętego po zbiorze pszenicy ozimej), stwierdzono w wariancie z nawożeniem wodnym roztworem mocznika, podczas gdy po zastosowaniu azotu w formie stałej jego ilość wzrosła ponad 30% i wynosiła średnio $81 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ (rys. 5). W przypadku kukurydzy wielkości te przedstawiały się odpowiednio: $96 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, 20% i $119 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Z badań prowadzonych w IUNG (11, 31, 32) wynika, że większa zawartość azotu mineralnego znajdowała się w powierzchniowej warstwie gleby (0-30 cm), a dominującą formą w badanym profilu był azot azotano-



Rys. 4. Wykorzystanie N+P+K z nawozów

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 5. Zawartość azotu mineralnego w glebie po zbiorze pszenicy ozimej

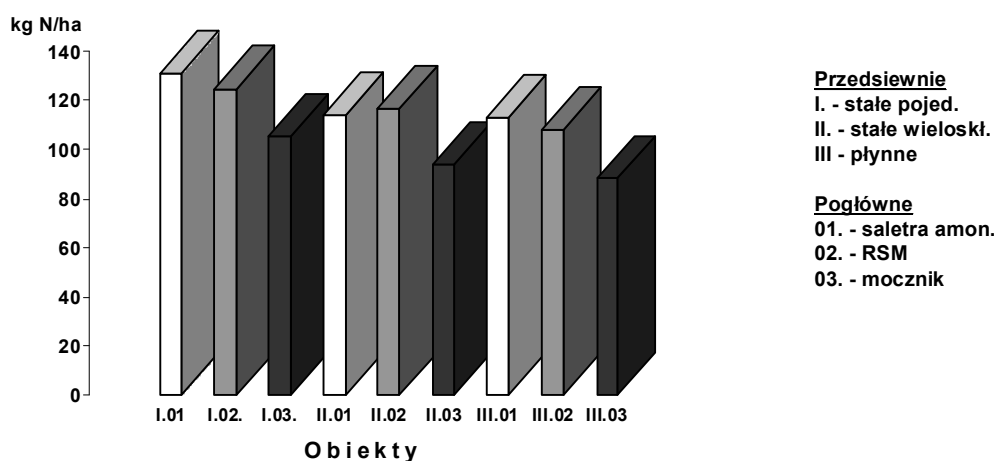
Źródło: Opracowanie własne.

wy, którego udział w azocie mineralnym stanowił średnio 60%. Z przedstawionych danych wynika, że opisane wyżej relacje pomiędzy zawartością azotu mineralnego w glebie można uznać za właściwe, co potwierdzają badania innych autorów (11, 19), a stwierdzone ilości azotu mineralnego jesienią można uznać za bezpieczne w kryteriach ochrony środowiska.

Efekty ekonomiczne

Ocenę efektywności stosowania nawozów płynnych w stosunku do tradycyjnych nawozów stałych (jednoskładnikowych i wieloskładnikowych) przeprowadzono uwzględniając następujące kryteria produkcyjno-ekonomiczne:

- plon główny roślin z 1 ha,
- wartość produkcji z 1 ha jako iloczyn wielkości plonu głównego i ceny jego sprzedaży,
- koszty nawozów łącznie z aplikacją,
- koszty bezpośrednie ($\text{zł} \cdot \text{ha}^{-1}$) obejmujące koszty pracy ludzi i maszyn oraz koszty materiałów,
- opłacalność bezpośrednią – relację wartości produkcji do kosztów bezpośrednich, która określa, w jakim stopniu wartość uzyskanej produkcji pokrywa koszty bezpośrednie poniesione na jej wytworzenie,
- wskaźnik opłacalności jako stosunek poniesionych kosztów do ceny sprzedaży otrzymanego produktu, który określa jaką ilość ziarna/nasion zostaną zrównoważone koszty bezpośrednie lub koszty zastosowanego nawożenia (łącznie koszt nawozu i aplikacji),



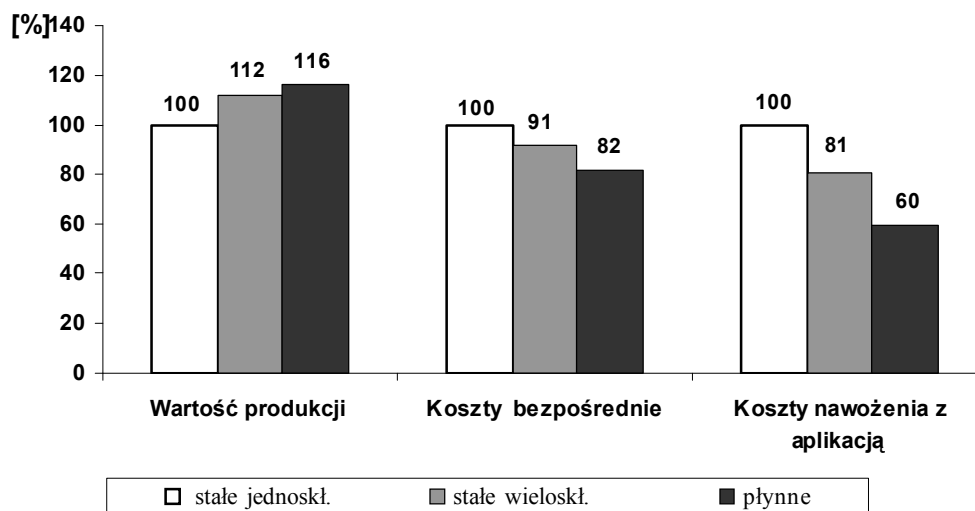
Rys. 6. Zawartość azotu mineralnego w glebie po zbiorze kukurydzy

Źródło: Opracowanie własne.

- efekt końcowy netto – różnicę pomiędzy przyrostem wartości produkcji a przyrostem kosztów bezpośrednich; wielkość tę można wyrazić w zł i w dt ziarna.

Forma stosowanego nawożenia różnicowała wyraźnie wartość produkcji oraz koszty bezpośrednie. I tak dla rzepaku ozimego (rys. 7) koszty te na obiektach z nawozami płynnymi były około 18% niższe w odniesieniu do ponoszonych przy stosowaniu nawozów stałych jednoskładnikowych i około 11% niższe w stosunku do występujących przy aplikacji nawozów stałych wieloskładnikowych. Różnice te wynikały głównie z wyraźnie niższych kosztów nawożenia (nawóz + aplikacja) w przypadku nawozów płynnych. Natomiast relacje kosztów nawożenia w stosunku do kosztów bezpośrednich dla roślin doświadczalnych przedstawiono na rysunku 8. Wynika z niego, że dla rzepaku ozimego udział kosztów nawożenia nawozami płynnymi był o około 6% niższy w porównaniu ze stwierdzonym przy stosowaniu nawozów stałych.

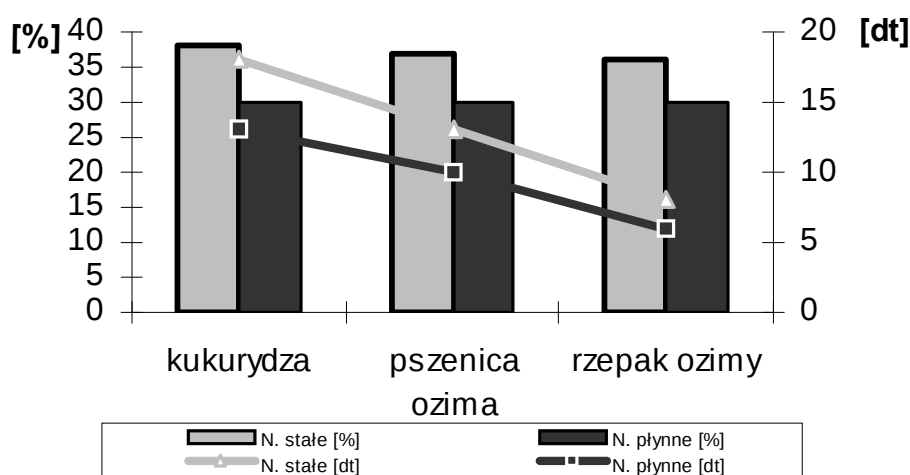
Z analizy wskaźnika opłacalności wynika (rys. 9), że dla zrównoważenia kosztów bezpośrednich trzeba było przeznaczyć różne ilości nasion rzepaku ozimego, w zależności od zmian ceny sprzedaży; średnio z trzech lat badań wynosiły od 24,2 dt na stałych nawozach jednoskładnikowych, 22,1 dt na stałych nawozach wieloskładnikowych, do 19,8 dt na nawozach płynnych. Natomiast dla zrównoważenia samych kosztów nawożenia (nawóz + aplikacja) trzeba było przeznaczyć odpowiednio 9,8; 7,9 i 5,9 dt nasion rzepaku. Ocena opłacalności bezpośredniej wykazała, że najkorzystniejsze w uprawie rzepaku ozimego było stosowanie nawozów płynnych (wskaźnik opłacalności – 155%), a mniej opłacalne stałych nawozów wieloskładnikowych (134%) i stałych nawozów jednoskładnikowych (109%); (rys. 10). W badaniach z kukurydzą relacje te były jeszcze korzystniejsze i wynosiły odpowiednio: 181, 155 i 133% (rys. 10). Na obiektach z nawozami płynnymi dla rzepaku ozimego wartość dodatkowa,



Rys. 7. Wartość produkcji i koszty nawożenia rzepaku ozimego

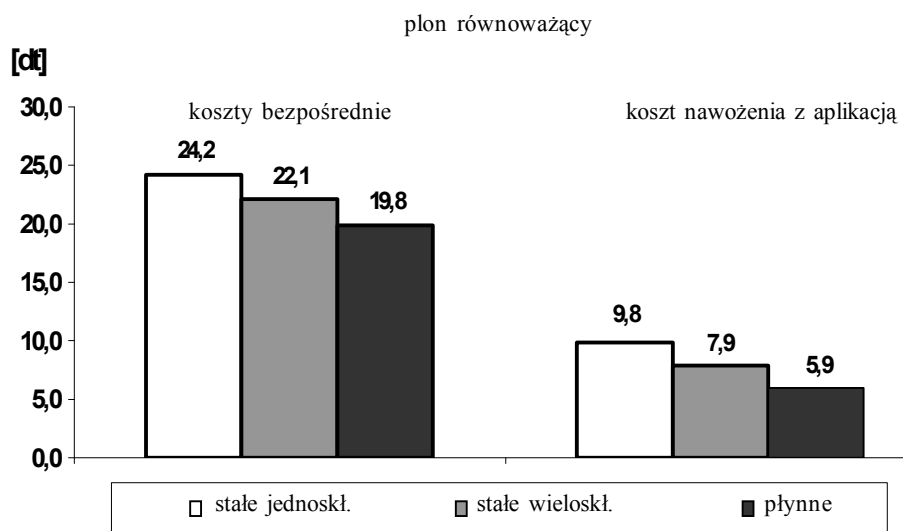
Źródło: Opracowanie własne.

tz. efekt końcowy netto liczony w odniesieniu do stałych nawozów jednoskładnikowych wynosił 8,7 dt nasion. Natomiast w przypadku zastosowania nawozów stałych wieloskładnikowych wartość dodatkowa była znacznie mniejsza – wynosiła 5,3 dt. W badaniach z kukurydzą otrzymano wartość dodatkową wynoszącą odpowiednio 17,2 i 8,9 dt, a z pszenicą ozimą 12,5 i 7,5 dt (rys. 11).

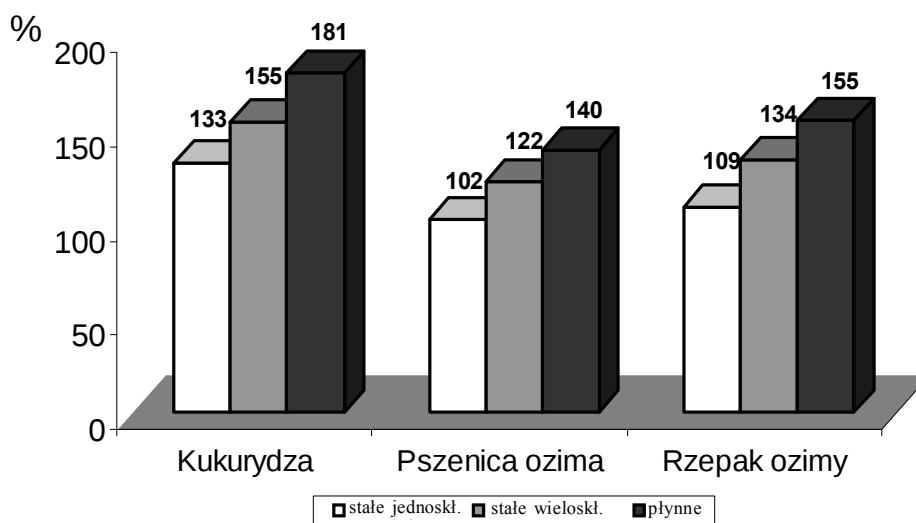


Rys. 8. Udział kosztów nawożenia w kosztach bezpośrednich

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 9. Wskaźnik opłacalności nawożenia rzepaku ozimego
Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 10. Opłacalność bezpośrednia stosowania różnych form nawozów
Źródło: Opracowanie własne.

Podsumowanie

Przedstawione w niniejszym opracowaniu właściwości nawozów płynnych i efekty ich stosowania pozwalają przypuszczać, że ta forma nawozów mineralnych cieszyć się będzie coraz większym uznaniem u rolników. Ponadto sam proces produkcji nawozów płynnych wywiera pozytywny wpływ na stan środowiska naturalnego i pozwala na ograniczenie ilości wytwarzanych nawozów granulowanych wieżowo, a operacje końcowego zateżnienia i granulacji wieżowej są najbardziej uciążliwe dla środowiska. Produkcja tych nawozów pozwala także na zagospodarowanie ścieków, roztworów odpadowych z produkcji nawozów stałych (saletranych i mocznika), a także koncentratów z operacji oczyszczania ścieków (29). Również korzystny wpływ na stan środowiska wywierają nawozy zawieszinowe. Przy ich produkcji wykorzystywane są odpady powstające przy oczyszczaniu kwasu fosforowego, a także odpady powstające przy produkcji płytek ceramicznych. Zatem uważa się, że technologia wytwarzania nawozów płynnych na skalę wielkoprzemysłową jest technologią praktycznie bezodpadową (29).

Dotychczasowe doświadczenia polowe prowadzone przez IUNG ze stosowaniem systemów nawożenia opartych na nawozach płynnych w uprawie kilku podstawowych gatunków roślin w uprawie polowej wykazały, że wielkość uzyskanych plonów była nieco wyższa w porównaniu z wydajnością osiągniętą w wyniku nawożenia nawozami stałymi, w tym wieloskładnikowymi, uważanymi za najbardziej efektywne. Wyższą efektywność działania nawozów płynnych w stosunku do stałych można tłumaczyć:

- wysoką równomiernością rozprowadzania nawozu na powierzchni pola,
- lepszym wykorzystaniem składników przez rośliny,
- precyzyjnym dostosowaniem składu nawozu do wymagań pokarmowych nawożonych roślin i do zasobności gleby w składniki pokarmowe,
- wyższym efektem plonotwórczym w latach o mniejszej ilości opadów w okresie wegetacji,

Ponadto system płynnego nawożenia roślin zapewnia:

- mniejsze wymywanie składników do wód gruntowych,
- możliwość wprowadzania nawozów pod powierzchnią gleby, co zmniejsza straty związków azotu i korzystnie wpływa na stan środowiska,
- możliwość zintegrowanego stosowania nawozu z mikroelementami i środkami ochrony roślin,
- ograniczoną zawartość zbędnych substancji balastowych,
- pełną mechanizację prac transportowo-przeładunkowych.

Wymienione walory nawozów płynnych zapewniają wymierne efekty produkcyjne, ekologiczne i ekonomiczne. W najbliższej perspektywie należy oczekiwać wyraźnego zwiększonego zużycia tej formy nawozów mineralnych.

Literatura

1. Biskupski A. i in.: Nowe nawozy ciekłe azotowo-siarczanowe. *Prace Nauk. ITNiNM PWR*, 1996, **45**: 85-95.
2. Biskupski A., Pochwański M., Kwaśniewski G.: Stabilność ciekłych nawozów azotowo-siarkowych i azotowych podczas długotrwałego przechowywania. *Prace Nauk. ITNiNM PWR*, 1996, **45**: 96-107.
3. Biskupski A., Winiarski A., Malinowski P.: Stan produkcji krajowej nawozów zawierających siarkę oraz tendencje światowe ich wytwarzania i stosowania. *Nawozy i Nawoż.*, 2003, **4(17)**: 9-30.
4. Borwik M., Biskupski A., Winiarski A., Malczewski Z.: Technologia i własności nawozów dolistnych Insol wytwarzanych w Instytucie Nawozów Sztucznych w Puławach. *Acta Agroph.*, 2003, **85**: 347-355.
5. Cichy B., Paszek A.: Nawozy ciekłe o wysokiej zawartości siarki. *Nawozy i Nawoż.*, 2003, **4(17)**: 31-39.
6. Czuba R.: Systemy nawożenia roślin płynnymi nawozami mineralnymi. *Mat. II Kongresu Technologii Chemicznej*, Wrocław 15-18.09.1997. Dolnośl. Wyd. Eduk., 1998, 1504-1507.
7. Czuba R.: Zasady stosowania nawozów płynnych w uprawie zbóż. *Wiś Jutra*, 1999, **6(11)**: 28-30.
8. Czuba R.: Nawozy zawieszinowe – nowa generacja nawozów płynnych. *Wiś Jutra*, 2000, **11(28)**: 11-14.
9. Dankiewicz M.: Technologia produkcji nawozów zawieszinowych. *Sprawozdanie*, INS Puławy, 1991.
10. Dubrovin V., Efimenko A., Kamiński E.: Ocena porównawcza technologii nawożenia pogłównego nawozami granulowanymi i roztworami azotowymi. *Wyd. SGGW, Mat. konf.*, Warszawa 19-23 czerwca 2002, 109-110.
11. Fotyła E.: Zasady nawożenia azotem z wykorzystaniem testów glebowych i roślinnych. *Nawozy i Nawoż.*, 2000, **3(4)**: 17-37.
12. Górecki H.: Nowe technologie i nowe techniki stosowania nawozów w świecie. *Chemicz.*, 1993, 47, Nr spec., 48-58.
13. Górecki H.: Wpływ nawozów i nawożenia na środowisko. *Przemysł Chemiczny*, 2002, **10**: 635-643.
14. Hoffmann J.: Wytwarzanie nawozu zawieszinowego azotowo-fosforowego z mikroelementami. *Prac. Nauk. AE Wrocław*, 1988, **426**: 128-135.
15. Hoffmann J., Górecki H., Milewska A.: Ekologiczne nawozy zawieszinowe. *Prace Nauk. ITNiNM PWR*, 1994, **40**: 17-23.
16. Hoffmann J.: Nowe rozwiązania w zakresie produkcji i stosowania nawozów płynnych. *Mat. II Kongresu Technologii Chemicznej*, Wrocław 15-18.09.1997, Dolnośl. Wyd. Eduk., 1998, 1385-1395.
17. Hoffmann J.: Nowe kierunki wykorzystania fosforanu mocznika w technologii związków fosforowych. *Prace Nauk. ITNiNM PWR*, 2001, Seria Monografie, Nr **16**.
18. Hoffmann J., Hoffmann K., Górecka H.: Chelaty mikronawozowe w roztworach zawierających makroskładniki nawozowe. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2004, **502**: 791-795.
19. Jadczyzyn T., Kubsik K., Igras J.: Produkcyjna i ekologiczna ocena różnych technik stosowania nawozów azotowych. *Mat. II Kongresu Technologii Chemicznej*, Wrocław 15-18.09.1997, Dolnośl. Wyd. Eduk., 1998, 1474-1478.
20. Kamiński E., Roszkowski A.: Technika rolnicza XXI wieku. Cz. VI. Nawożenie mineralne. *Prz. Tech. Rol. Leś.*, 2001, **10**: 2-5 i 9.
21. Kamiński E.: Nawożenie ciekłymi nawozami mineralnymi. *Tech. Rol.*, 2001, **50(1)**: 27-28.
22. Kamionka J.: Techniki stosowania ciekłych nawozów azotowych. *Agrochemia*, 2004, **4**: 10-12.

23. K ę s i k K.: Nowe nawozy i techniki nawożenia. Biul. Inf. IUNG, 1999, **10**: 4-10.
24. K ę s i k K.: Nowe generacje nawozów stałych i ciekłych oraz innowacje w zakresie techniki ich stosowania. Mat. szkol., IUNG, 2003, 107-134.
25. K u b s i k K.: Produkcyjne i ekologiczne skutki różnych technik stosowania nawozów azotowych. IUNG Puławy, 1998.
26. M a y J.: Suspension fertilizers: theoretical and practical aspect of production and storage. Proc.-Inter-Fertilizer Soc., 2005, **560**: 1-35.
27. P o p ł a w s k i Z.: Roztwór saletrzano-mocznikowy RSM. Zalecenia dla użytkowników i sprzedawców. IUNG Puławy, 1995.
28. Praca zbiorowa pod red. Z. Popławskiego: Katalog, Cz. 1 – Płynne nawozy mineralne. Wyd. INS i IUNG Puławy, 1995.
29. Praca zbiorowa pod red. A. Biskupskiego: Najlepsze dostępne techniki (BAT). Wytyczne dla branży chemicznej w Polsce. Ministerstwo Środowiska, Warszawa, 2005.
30. Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej. 2005.
31. Sprawozdanie z badań pt. „Ocena różnych systemów uprawy roli i technik nawożenia w zmianowaniu”. Raport końcowy, IUNG Puławy, 2002.
32. Sprawozdanie z badań pt. „Agroekologiczne i ekonomiczne aspekty stosowania zintegrowanych technik płynnych agrochemikaliów w zmianowaniu w warunkach różnych systemów uprawy roli”. Raport końcowy, IUNG Puławy, 2006.
33. S t r ą c z y ń s k i S.: Współczesne techniki nawożenia nawozami mineralnymi. Wieś Jutra, 2001, **11(40)**: 1-2.
34. S z t u d e r H.: Wyniki oceny nowych nawozów zawieszinowych typu NPK w badaniach rolniczych. Prace Nauk. ITNiNM PW, 1996, **45**: 289-295.
35. S z t u d e r H., Ś w i e r c z e w s k a M.: Agrochemiczna i ekonomiczna ocena nawozów płynnych w badaniach rolniczych. Fragm. Agron., 1997, **3**: 165-172.
36. Ś w i e r c z e w s k a M., S z t u d e r H.: Stosowanie płynnych nawozów mineralnych w nowych systemach nawożenia roślin uprawnych. Fragm. Agron., 1997, **3**: 159-164.
37. S z t u d e r H., Ś w i e r c z e w s k a M.: Agrochemiczna ocena wieloskładnikowych nawozów zawieszinowych typu NPK. Sprawozdanie końcowe, IUNG Puławy, 1998.
38. V a s i l y u k G. V., S h a p s h e e v a T. P.: Efficiency of the use suspension mineral fertilizers under agricultural crops. Pochwowiedenie i Agrokhimiya, 2002, **32**: 209-218.

Adres do korespondencji:

dr Helena Sztuder
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli
IUNG-PIB
ul. Orzechowa 61
50-540 Wrocław
tel. (071) 363-87-07, w.108
e-mail: hsztuder@wp.pl

Jan Pabin

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

UPRAWA ROLI A WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE GLEBY I PLONOWANIE ROŚLIN*

Wstęp

Intensyfikacja mechanizacji prac związanych z produkcją roślinną i zwierzęcą prowadzi do mimowolnego ugniatania gleby kołami ciągników i maszyn poruszających się po polach. Efektem tego mogą być zmiany w zagęszczeniu, zwięźłości, uwilgotnieniu, temperaturze i natlenieniu gleby. Wymienione czynniki zmieniają się w różnych zakresach w zależności od sposobu uprawy roli, gatunku uprawianej rośliny, gatunku gleby i zawartości w niej próchnicy oraz przebiegu pogody.

Utrzymanie w trakcie wegetacji roślin właściwego zagęszczenia w warstwie ornej jest z przyczyn technicznych bardzo trudne do zrealizowania. Należy zatem poprzez stosowanie właściwej uprawy roli i odpowiedniego zmianowania roślin nadawać glebie takie właściwości, które utrzymywałyby ją w optymalnym stanie fizycznym przez cały okres wegetacji roślin.

Stan fizyczny warstwy podornej gleby jest również ważny dla wegetacji roślin. Jego znaczenie jest kształtowane wieloma uwarunkowaniami natury glebowej i przebiegiem pogody.

Istnieje zatem potrzeba wyjaśnienia różnych zagrożeń związanych z nadmiernym zagęszczeniem gleby w warstwie uprawnej i podornej oraz określenia zależności, które mogą wpływać na ostateczny efekt zabiegów ukierunkowanych na poprawienie stanu fizycznego gleby.

Przyczyny nadmiernego zagęszczenia gleb

Wzrost zagęszczenia gleby jest wynikiem jej naturalnego osiadania, które na gruntach ornych w znacznym stopniu potęgowane jest ugniatającym działaniem kół ciągników, maszyn samobieżnych i innych środków transportu poruszających się po polach. W powszechnie stosowanych technikach uprawowych w Polsce dochodzi do wielokrotnego zagęszczania gleby. Według D o m ż a ł a i H o d a r y (15) w okresie

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.4 w programie wieloletnim IUNG - PIB

wegetacyjnym gleba w powierzchniowej warstwie poddawana jest ugniataniu średnio 2,5 do 5 razy, a w niektórych przypadkach nawet 8 razy. Wspomniani autorzy podają, że w ciągu wegetacji niezagęszczona powierzchnia gleby może zajmować jedynie 10% całego arealu pola, co znajduje potwierdzenie również w innych badaniach (8). Koła ciągników przemieszczających się na polach wywierają nacisk w granicach 100-200 kPa, natomiast pojazdy transportowe naciskają kilkakrotnie silniej. Przy wykonywaniu orki koło ciągnika poruszające się w wyorywanej bruździe może, w zależności od szerokości roboczej pługa i szerokości koła, ugniatać około 20-30% powierzchni stropu warstwy podornej, a w niektórych przypadkach może osiągać nawet 50% całkowitej powierzchni zaorywanego pola (7).

Największą podatność na ugniatanie wykazują gleby wilgotne. Każdy gatunek gleby posiada określoną wilgotność, przy której jej podatność na zagęszczenie jest największa i w mechanice gruntów nosi ona nazwę optymalnej wilgotności zagęszczania. Wilgotności wyższe i niższe od optymalnej nie pozwalają uzyskać maksymalnego zagęszczenia. Według H a k a n s s o n a i R e e d e r a (23) przejazd po glebie wilgotnej środka transportowego o nacisku 4 Mg na oś powoduje zagęszczenie do głębokości 30 cm przy nacisku 6 Mg do 40 cm, zaś przy nacisku 10 Mg – do 50 cm i przy 15 Mg do 60 i więcej centymetrów.

Uważa się, że decydujący wpływ na zagęszczenie gleby w warstwie powierzchniowej ma wielkość nacisku jednostkowego. Zależność ta nie ma jednak większego znaczenia dla warstw głębiej zalegających. Stopień zagęszczenia tych warstw zależy głównie od całkowitego obciążenia koła (13, 26, 31). Stąd wniosek, że stosowanie coraz powszechniej cięższych i wydajniejszych ciągników oraz kombajnów zachowujących niezmienny nacisk jednostkowy (szersze opony) powoduje zagęszczenie gleby w jej głębszych warstwach. Jest ono szczególnie uciążliwe ze względu na jego długotrwałość. Z doniesień różnych autorów (6, 19, 20, 49) wynika, że zagęszczenie warstwy podornej wywołane przejazdami środków transportu o obciążeniu osi w granicach 10-20 Mg, mimo oddziaływania procesów zamarzania – odmarzania oraz nawilżania – wysychania, utrzymywało się po upływie 6-10 lat. Z syntezy wieloletnich badań przeprowadzonych w Szwecji na glebach o zróżnicowanej zawartości frakcji koloidalnych (6-85 %) wynika, że przejazdy sprzętu o obciążeniu osi 10 Mg na glebie o wilgotności zbliżonej do połowej pojemności wodnej powodowały zagęszczenie do głębokości 50-60 cm (16). Po okresie 11 lat, gdy gleba corocznie zamarzała do głębokości 50-70 cm nie stwierdzono wyraźnego zmniejszenia wspomnianego zagęszczenia na głębokości poniżej 35 cm i plony w dalszym ciągu były niższe. Świadczy to o trwałości zagęszczenia warstwy podornej, nawet w warunkach, gdzie występuje głębokie przemarzanie gleby.

Utrzymywanie się nabytego zagęszczenia w warstwie podornej zależy między innymi od stopnia uziarnienia. Gleby posiadające więcej minerałów ilastych mają większą zdolność regeneracji stanu fizycznego w wyniku procesów zamarzania i odmarzania oraz nawilżania i wysychania (cyt. za Heinonen, 30). Szczególną rolę odgrywają tu minerały z grupy montmorylonitowej. Jeśli gleba posiada 20-35% frakcji koloidalnej

i w tym co najmniej 50% montmorylonitów oraz substancji organicznej nie mniej niż 4%, to cechuje się ona dużą zdolnością powracania do naturalnego zagęszczenia, nawet po kilku cyklach nawilżania i wysychania (cyt. za Kovdą, 30).

Ocenia się, że spadek plonów wywołany nadmiernym zagęszczeniem w USA przynosi straty na ponad miliard dolarów rocznie (cyt. za Raghavanim i in., 30). Według H a k a n s s o n a (24) w Szwecji straty plonów spowodowane różnymi formami degradacji fizycznej mogą wynosić około 20%. Szacuje się, że na świecie około 83,3 mln ha, a w Europie około 36,4 mln ha gleb jest zdegradowanych pod względem właściwości fizycznych. Głównym czynnikiem wspomnianej degradacji jest w obu przypadkach nadmierna gęstość gleby (cyt. za Van Ouerkerk i Saone, 30).

Potrzeba utrzymania gleby we właściwym stanie fizycznym odnosi się przede wszystkim do warstwy powierzchniowej. Dowodem na to są, między innymi, badania amerykańskie i angielskie, z których wynika, że nawet gleba uprawiana tradycyjnie z wykorzystaniem uciągu ciągnikowego ulega silniejszemu zagęszczeniu i zmniejsza się jej wartość plonotwórcza w porównaniu z uprawianą narzędziami zawieszanymi na szerokiej ramie umożliwiającej uprawę roli bez ugniatania jej kołami ciągników (11, 12, 41, 42).

Relacje między gęstością i innymi właściwościami fizycznymi gleby a wzrostem i plonowaniem roślin

Gleba zdegradowana cechująca się nadmiernym zagęszczeniem jest zjawiskiem rozpowszechnionym, ale mało dostrzeganym w praktyce rolniczej. Wynika to z charakteru zależności między wzrostem i plonowaniem roślin a gęstością gleby. Otóż czynnik ten nie jest bezpośrednio związany z wegetacją roślin, ale oddziałuje na wszystkie właściwości fizyczne, od których zależy życie roślin w środowisku glebowym, a więc na: dostępność wody i tlenu, temperaturę gleby i jej opory mechaniczne stawiane korzeniom przy penetracji ośrodka glebowego. Należy zatem wyjaśnić związki, jakie zachodzą między czynnikami bezpośredniego oddziaływania na wegetację roślin i zmieniającą się gęstością gleby.

Gdy gleba ulega zagęszczeniu najsilniej różnicują się jej zdolności retencyjne w przedziale niskich wartości sił wiążących wodę (pF poniżej 2), zmniejszając ogólną ilość porów aeracyjnych i grubych porów kapilarnych, a także ilość wody zawartej w tych porach (3, 14, 15, 17, 42, 43). Przy wyższych siłach wiązania wody (pF 2-3), w przybliżeniu odpowiadających połowej pojemności wodnej, retencja wody jest stała, niezależnie od tego, czy gleba jest spulchniona czy też zagęszczona (2). Wyjaśnia się to przejściem, przy ugniataniu gleby, takiej samej ilości porów grubych do średnich, co średnich do drobnych. Przy wartościach sił ssących gleby powyżej pF 3 większość badaczy stwierdza, że ugniatanie gleby zwiększa jej zdolność do zatrzymywania wody, lecz tylko trudno dostępnej i niedostępnej dla roślin, a zatem zostaje ograniczona ilość wody dostępnej (2, 36).

Istotne znaczenie ma również wpływ gęstości gleby na gromadzenie wody w ujęciu dynamicznym, gdzie retencja wody jest modyfikowana procesami przesiąkania,

podsiąkania, parowania, transpiracji i intercepcji. Badania takie można traktować jako pewnego rodzaju weryfikację wszystkich ustaleń dokonanych w warunkach laboratoryjnych. Przeprowadzone w takim aspekcie obserwacje wykazały, że zawartość wody użytecznej w warstwie uprawnej gleby (0-25 cm) zależy od stanu jej zagęszczenia i od długotrwałości występowania okresów nawilżania i wysychania roli (33).

Reasumując trzeba stwierdzić, że negatywne skutki zwiększonej gęstości objawiają się jedynie w procesie wysychania gleby. Przy nawilżaniu natomiast efekt jest odwrotny – więcej wody gromadzi gleba zagęszczona (zwłaszcza jej powierzchniowa warstwa) niż spulchniona (33). Trzeba również podkreślić, że chociaż w warunkach polowych istnieje przewaga występowania okresów wysychania nad okresami nawilżania gleby, to częstotliwość i przemienność ich występowania sprawiają, że efekty ujemnego działania większego zagęszczenia gleby są krótkotrwałe i dotyczą przede wszystkim form wody łatwo dostępnej dla roślin.

Wspomniana dynamika zmian uwilgotnienia gleby sprawia, że nawet wzrost gęstości do stanu krytycznego jest krótkotrwały, ponieważ jest on ściśle związany z określoną wilgotnością (tab. 1). Z danych przedstawionych w tabeli 1 wynika, że np. gleba o zawartości 10% części spławialnych i 0,7% C_{org} mająca gęstość $1,55 \text{ g cm}^{-3}$ przy wilgotności 50% PPW będzie miała poziom zagęszczenia wyższy niż określony jako krytyczny, a więc powodujący znaczący spadek plonów roślin. Natomiast stan zagęszczenia tej samej gleby przy wilgotności 90% PPW będzie daleki od poziomu krytycznego i umożliwi korzeniom swobodne przerastanie gleby. Takie uwarunkowania między gęstością a wilgotnością gleby przyczyniają się do szybkich zmian przewartościowania gęstości od stanu optymalnego do krytycznego i odwrotnie. W praktyce sprawia to trudność rozpoznania, czy obserwowane zahamowanie wzrostu lub rozwoju roślin jest spowodowane nadmiernym zagęszczeniem, czy brakiem dostatecznej ilości wody, ponieważ po wzroście wilgotności (opady) rozwój roślin jest wznowiony i w tych warunkach zagęszczenie utraciło charakter restrykcyjny.

Oddrębnym zagadnieniem jest wpływ gęstości gleby na jej zwięzłość. Czynniki te nie oddziałują bezpośrednio na wegetację roślin, ale jest cechą najsilniej dodatnio skorelowaną z oporami mechanicznymi gleby. Dlatego ze względu na brak możliwości

Tabela 1

Zakresy wartości krytycznych gęstości ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) i zwięzłości (MPa) różnych gatunków gleb w warstwie ornej

Zawartość części spławialnych (%)	C_{org} (%)	Gęstość krytyczna gleby przy uwilgotnieniu		Zwięzłość krytyczna gleby przy uwilgotnieniu	
		50% PPW	90% PPW	50% PPW	90% PPW
10	0,7	1,42	1,70	0,13	2,93
20	1,0	1,44	1,72	1,08	3,88
30	1,2	1,40	1,68	1,34	4,14
40	1,5	1,42	1,70	2,29	5,09

Źródło: Pabin J. i in. (38).

pomiaru rzeczywistych oporów określa się zastępczo zwięzłość gleby. Jak już wspomniano, zależność zwięzłości od gęstości gleby jest dodatnia, jakkolwiek modyfikuje ją wilgotność gleby (2, 4, 9). Przy wyższym uwilgotnieniu wpływ gęstości na zwięzłość gleby jest niewielki (4, 6).

Reakcja roślin na zwiększenie zwięzłości gleby objawia się głównie hamowaniem wzrostu korzeni (3, 5, 21, 22, 32, 34), a to najczęściej powoduje obniżkę plonu roślin (46, 48, 50). Jednak i w tym przypadku oddziaływanie zwięzłości na rośliny jest również silnie związane z wilgotnością gleby (tab. 1). Nadmierna zwięzłość gleby, powodująca znaczącą obniżkę poziomu plonowania roślin ulega podobnemu przewartościowaniu, jak analizowana już gęstość. Jest jednak zasadnicza różnica wynikająca z zależności zwięzłości od wilgotności gleby wyrażająca się negatywnym wpływem wilgotności na zwięzłość, przy założonym stanie gęstości. Zatem jeśli gleba posiada krytyczną zwięzłość w stanie mniejszego uwilgotnienia (np. 50% PPW), to na pewno nie będzie miała takiego charakteru przy wilgotności wyższej (np. 90% PPW). Natomiast w przypadku, gdy krytyczna zwięzłość wystąpi przy wyższym uwilgotnieniu gleby, to tym bardziej wystąpi ona przy niższym, ponieważ zwięzłość jeszcze samorzutnie wzrośnie.

Następnym parametrem modyfikowanym przez gęstość gleby jest dostępność tlenu dla korzeni roślin. Wyrażana jest za pomocą różnych wskaźników. Najwłaściwszym z nich wydaje się wydatek dyfuzji tlenu, tzw. ODR (skrót od angielskiego: oxygen diffusion rate), który określa ile tlenu w danych warunkach glebowych może drogą dyfuzji przeniknąć do korzeni roślin (44, 45, 46). Wraz ze zwiększeniem gęstości gleby ODR zmniejsza się i może powodować hamowanie wzrostu korzeni, analogicznie jak występowanie zbyt dużego oporu mechanicznego gleby. Stwierdzono jednak, że na skutek nadmiernego zagęszczenia gleby głównym czynnikiem, który może ograniczać plonowanie roślin na glebach ciężkich jest ich niedotlenienie, a na glebach średnich i lekkich – nadmierne opory mechaniczne (45).

Inną cechą fizyczną gleby, która bezpośrednio oddziałuje na vegetację roślin jest jej temperatura. Wpływ gęstości gleby na ten parametr jest stosunkowo niewielki. Z obserwacji przeprowadzonych w naszych warunkach klimatycznych wynika, że wzrost zagęszczenia gleby o $0,25 \text{ g cm}^{-3}$ w stosunku do stanu naturalnego zwiększał przewodnictwo cieplne i obniżał średnią temperaturę gleby w warstwie ornej o $1,3^{\circ}\text{C}$ (1, 29). Wydaje się zatem, że zmiany te są zbyt małe, aby mogły decydować o plonowaniu roślin.

Znaczenie stanu zagęszczenia gleby w warstwie podornej dla vegetacji i plonowania roślin

Wszystkie omówione zależności zachodzące między właściwościami fizycznymi gleby a rozwojem roślin dotyczyły przede wszystkim warstwy ornej, natomiast właściwości warstwy podornej nie były oceniane i w związku z tym cecha ta jest mniej poznana. Rozpatrywanie tych zagadnień wiąże się ściśle z rozwojem korzeni. Zależy

on od indywidualnych cech gatunkowych, a nawet odmianowych roślin oraz warunków glebowych i klimatycznych.

U większości roślin uprawnych główna masa korzeni znajduje się w warstwie ornej i ona dla roślin stanowi główny magazyn składników pokarmowych i wody, a tylko niewielka część korzeni przenika głębiej. Znaczenie tej stosunkowo małej ilości korzeni przerastających do głębszych partii profilu glebowego jest bardzo istotne, zwłaszcza w warunkach ekstremalnych, np. w okresie suszy, kiedy dostarczają one roślinie niezbędnej ilości wody, a także składników pokarmowych. Warstwa podorna powinna być zatem podatna na przerastanie korzeni, które dzięki temu mogą wykorzystywać większe ilości substancji odżywczych.

Plonotwórcze znaczenie warstwy podornej było doceniane przez praktykę rolniczą na ziemiach polskich już przed I wojną światową, a także w okresie międzywojennym, kiedy co kilka lat na glebach pszenno-buraczanych wykonywano bardzo głęboką orkę (ok. 40 cm) pługami o uciągu linowym, przy zastosowaniu lokomobil. Uzyskiwano wówczas bardzo duże plony buraków.

O istotnej roli stanu fizycznego gleby w warstwie podornej dla wzrostu i plonowania roślin mogą świadczyć także wyniki badań dotyczące tzw. orek melioracyjnych, które wykonywano dla poprawienia produktywności najsłabszych gleb piaszczystych. Chociaż zabiegi te były bardzo energochłonne, to jednak w bilansie kilkuletnim przynosiły dodatni efekt finansowy i, mimo że przeprowadzone wówczas badania obecnie nie mają większego znaczenia praktycznego, mogą być cennym materiałem dowodowym świadczącym o wpływie warstwy podornej na plony roślin.

O znaczeniu warstwy podornej dla wzrostu roślin świadczą także rezultaty badań modelowych (tab. 2) wykonanych w Zakładzie Uprawy Roli IUNG w Jelczu-Laskowicach (35). Z równań przedstawionych w tabeli 2 wynika, że wzrost kukurydzy w początkowym okresie nie jest zależny od warstwy podornej. Jednak po około 7 tygodniach zwiększone zagęszczenie warstwy znajdującej się poniżej 30 cm wpłynęło istotnie negatywnie na wzrost kukurydzy. Należy zatem podkreślić, że w warunkach doświadczeń wazonowych, mimo że nie są one odzwierciedleniem warunków

Tabela 2

Równania regresji wielokrotnej opisujące zależność wysokości roślin (y) kukurydzy od gęstości gleby ($g \cdot \text{cm}^{-3}$) w warstwach zalegających poniżej: 0 cm (g_0), 10 cm (g_1), 20 cm (g_2), 30 cm (g_3)

Liczba dni po siewie	Średnia wysokość roślin (cm)	Równania znormalizowane (n = 60)	R^{2**}	Sy^*
42	119	$y = c - 0,40g_0 - 0,38g_1 - 0,35g_2$	0,89	8,2
52	150	$y = c - 0,30g_0 - 0,35g_1 - 0,34g_2 - 0,24g_3$	0,92	8,9
63	170	$y = c - 0,22g_0 - 0,31g_1 - 0,37g_2 - 0,28g_3$	0,85	12,4
73	179	$y = c - 0,19g_0 - 0,25g_1 - 0,38g_2 - 0,33g_3$	0,81	14,7

* standardowy błąd oceny

** współczynniki determinacji istotne przy $P = 0,001$

Źródło: Pabin J. i in., 1994 (35).

naturalnych, także warstwa ta nie jest dla roślin obojętna, lecz spełnia ważne funkcje mogące decydować o ich wzroście. Ze tego względu występuje potrzeba utrzymywania warstwy podornej w takim stanie fizycznym, który umożliwi korzeniom penetrację oraz wykorzystywanie składników pokarmowych i wody.

Wartości krytyczne stanu fizycznego gleby w warstwie podornej

Jednym z zasadniczych celów uprawy roli jest nadanie glebie odpowiedniego spulchnienia umożliwiającego swobodny rozwój korzeni roślin. Dotyczy to przede wszystkim warstwy powierzchniowej, natomiast głębsze warstwy najczęściej nie są spulchniane. Dlatego ulegają one kumulacyjnemu działaniu procesu osiadania i efektom tworzenia się tzw. „podeszwy płuznej” związanej z długotrwałym wykonywaniem orok na jednakową głębokość. Warstwa podorna, o czym wspomniano już wcześniej, ulega także ugniatającemu działaniu sprzętu, który porusza się po polach przy wykonywaniu różnych prac gospodarczych. W rezultacie czynniki te mogą doprowadzić do wystąpienia krytycznego zagęszczenia gleby w tej warstwie, czyli do takiego stanu, który ogranicza przerastanie korzeni do głębszych warstw. W ten sposób roślina pozbawiona zostaje pewnej objętości gleby, z której mogłaby wykorzystywać niezbędne substancje odżywcze.

Do opisu stanu fizycznego gleby w warstwie ornej najczęściej stosuje się wskaźniki gęstości i zwięzłości gleby. Istnieje potrzeba określenia dla roślin wartości tych czynników w warstwie podornej. Próbę wyznaczenia takich wartości krytycznych gęstości i zwięzłości gleby, przy których występowało całkowite zahamowanie wzrostu korzeni siewek grochu przeprowadzono w Zakładzie Technik Uprawy Roli i Nawożenia IUNG w Jelczu-Laskowicach (37). Interesujące zależności opisują równania, z których wynika, że wartość krytyczna gęstości (g) lub zwięzłości gleby (z) skorelowana jest negatywnie z ilością części spławialnych (s) w %, a dodatnio z wilgotnością gleby (w) wyrażoną w % PPW:

$$g = 1,51 - 0,01051s + 0,008394w \text{ (g} \cdot \text{cm}^{-3}\text{)},$$
$$z = 2,81 - 0,0597s + 0,0596w \text{ (MPa)}$$

przy s w zakresie: 10-50% i w : 30-100%.

Zatem można stwierdzić, że ustalone wartości krytyczne gęstości lub zwięzłości gleby, przy pewnym stanie jej uwilgotnienia, charakteryzujące się zatrzymywaniem wzrostu korzeni, nie będą miały takich własności, gdy wzrośnie wilgotność lub zmieni się gatunek gleby. Względnie, wartości tych parametrów gleby nie mające cech krytycznych mogą je nabyć przy obniżeniu wilgotności lub przy odniesieniu ich do innej jednostki glebowej zawierającej więcej części spławialnych. Wartości krytyczne gęstości lub zwięzłości gleb dla warstw podornych, podobnie jak omówione wcześniej dla warstwy ornej, są wielkościami zmieniającymi się w zależności od wilgotności i składu granulometrycznego gleby. Bardzo dobrze ilustrują to dane przedstawione

w tabeli 3. Posługując się przedstawionymi równaniami i znając aktualną gęstość i wilgotność oraz zawartość części spławialnych danej gleby można określić wartość krytyczną gęstości lub zwięzłości i przewidzieć w jakim zakresie wilgotności stan fizyczny tej gleby będzie przybierał wartości krytyczne, co pozwoli określić możliwości obniżenia plonów roślin.

Tabela 3

Wartości krytyczne gęstości ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) i zwięzłości (MPa) różnych gatunków gleby w warstwie podornej

Zawartość części spławialnych (%)	Gęstość krytyczna przy uwilgotnieniu		Zwięzłość krytyczna przy uwilgotnieniu	
	50% PPW	80% PPW	50% PPW	80% PPW
10	1,82	-	5,19	6,98
20	1,72	1,97	4,60	6,38
30	1,61	1,87	4,00	5,79
40	1,51	1,76	3,40	5,19

Źródło: Pabin J. i in., 1994 (35).

Znaczenie zabiegów agrotechnicznych dla ograniczania negatywnego wpływu zagęszczenia gleb

Jednym z podstawowych sposobów ograniczających negatywne skutki nadmiernego zagęszczenia gleby jest zwiększenie zawartości w niej substancji organicznej. Potrzeba taka udowodniona została eksperymentalnie w badaniach modelowych prowadzonych przez Zakład Technik Uprawy Roli i Nawożenia IUNG w Jelczu-Laskowicach (37). Efektem przeprowadzonych badań było określenie zależności wzrostu korzeni siewek grochu od wybranych cech fizycznych gleby, co opisuje następujące równanie:

$$y = 130,65 + 56,80c - 1,40s - 83,24g - 1,77z + 0,620w, R^2 = 0,775$$

gdzie:

y – względna długość korzeni w %

c – zawartość węgla organicznego gleby w %, w zakresie: 0,72-1,57

s – zawartość części spławialnych gleby w %, w zakresie: 10-50

g – gęstość gleby w g cm^{-3} , w zakresie: 1,3-1,7

z – zwięzłość gleby w MPa, w zakresie: 0,24-6,66

w – zawartość wody glebowej w % PPW, w zakresie: 30-100%

Z przedstawionego równania wynika, że zawartość C_{org} podobnie jak i wody, w glebie wpływa dodatnio na wzrost korzeni. Jeśli zatem wzrośnie zawartość węgla organicznego w glebie, to dzięki temu stanie się ona bardziej odporna na destrukcyjne działanie niektórych czynników środowiskowych i antropogenicznych. Innymi słowy,

gęstość lub zwięzłość krytyczna dla gleby o niskiej zawartości próchnicy ma niższą wartość niż takiej samej (gatunkowo) gleby, lecz zawierającej więcej próchnicy. Czyli, gdy rośliny na glebie słabo próchnicznej, ze względu na krytyczną wartość zagęszczenia, mają zahamowany wzrost korzeni, to przy tym samym zagęszczeniu na glebie zasobnej w próchnicę nie ma ono jeszcze znaczenia krytycznego i korzenie mogą swobodnie rosnąć. Szczegółowo przedstawiają to wartości zawarte w tabeli 4, które odnoszą się do uwilgotnienia odpowiadającego 70% PPW; przy wyższej wilgotności poziom krytycznego zagęszczenia również będzie podniesiony. Z tych danych bardzo wyraźnie wynika znaczenie zawartości próchnicy (C_{org}) w przeciwdziałaniu czynnikom negatywnie wpływającym na stan fizyczny gleby. W praktyce rolniczej pierwszorzędnym zadaniem jest stosowanie takiej agrotechniki, która prowadziłaby do podwyższenia zawartości C_{org} w glebie. Do takich działań należy zaliczyć stosowanie właściwego zmianowania, uwzględniającego rośliny motylkowate i trawiaste, a także nawożenie gleb obornikiem i kompostem. Pomocą w konstruowaniu właściwego zmianowania mogą służyć współczynniki reprodukcji i degradacji glebowej substancji organicznej opracowane przez Eichę i Kundlera (tab. 5). Wyszczególnione przez autorów rośliny i grupy roślin wpływają na obniżenie lub wzrost zawartości substancji organicznej w glebie. Wartości współczynników określają stopień wzbogacenia (+) lub

Tabela 4

Porównanie krytycznych wartości gęstości ($g \cdot cm^{-3}$) utworów glebowych uwilgotnionych do 70% PPW, zawierających różne ilości C_{org} .

Zawartość części spławialnych w glebie (%)	Gęstość krytyczna gleby przy zawartości C_{org}		
	0,7%	1,0%	1,2%
15	1,47	1,67	-
20	-	1,58	1,71
25	-	1,50	1,62

Źródło: Pabin i in., 1994 (35).

Tabela 5

Współczynniki reprodukcji i degradacji materii organicznej w glebie według Eichy i Kundlera

Roślina lub nawóz organiczny	Współczynniki reprodukcji (+) lub degradacji (-) dla gleb ($t \cdot ha^{-1}$)			
Okopowe	-1,26	-1,40	-1,54	-1,02
Kukurydza	-1,12	-1,15	-1,22	-0,91
Zboża i oleiste	-0,49	-0,53	-0,56	-0,38
Owies na ziel. m. i poplony ozime	-0,32	-0,35	-0,38	-0,25
Strączkowe	+0,32	+0,35	+0,38	+0,38
Wsiewki	+0,63	+0,70	+0,77	+0,77
Trawy	+0,95	+1,05	+1,16	+1,16
Motylkowate i mieszanki	+0,89	+1,96	+2,10	
Obornik		+0,35		
Gnojowica		+0,28		
Słoma		+0,21		

Źródło: Mercik S. i Fotyma M., 1992 (18).

zubożenia (-) gleby w tę substancję ($\text{w t} \cdot \text{ha}^{-1}$) w wyniku jednorocznej uprawy danego gatunku rośliny lub po zastosowaniu odpowiedniej dawki nawozu naturalnego i organicznego. Właściwy dobór roślin w zmianowaniu powinien być taki, aby po zakończeniu rotacji na danym polu efekt oddziaływania roślin na zawartość substancji organicznej w glebie był dodatni.

O znaczeniu właściwego doboru roślin w zmianowaniu dla gospodarki próchnicznej mogą świadczyć również wyniki doświadczeń polowych przeprowadzonych w ZD IUNG Grabów na glebie żytnej bardzo dobrej (tab. 6). W zmianowaniu z 50% udziałem roślin okopowych po trzech rotacjach zawartość substancji organicznej w warstwie ornej gleby była o 0,26% mniejsza niż w zmianowaniu, które zawierało mieszankę koniczyny (50%) z trawami.

Doskonałym przykładem poprawy właściwości gleby na skutek wprowadzenia międzyplonów ścierniskowych do uprawy monokulturowej pszenżyta ozimego dostarczają badania P a r y l a k (38); (tab. 7). W tym przypadku zastosowane międzyplony ścierniskowe wzbogaciły glebę w substancję organiczną, co najprawdopodobniej wpłynęło na poprawę nie tylko właściwości chemicznych, ale również fizycznych gleby i w istotny sposób podniosło poziom plonowania pszenżyta ozimego.

Zwiększenie zawartości substancji organicznej w glebie można także uzyskać, wprowadzając system uprawy bezorkowej, zwanej konserwującym. W systemie tym resztki poźniwne, a niekiedy także słoma, w postaci sieczki mieszane są z powierzchniową 10-15 cm warstwą gleby. Część (około 30%) słomy i resztek poźniwnych pozostaje na powierzchni roli w formie mulczu, który chroni glebę w pewnym stopniu przed erozją, zwiększa wsiąkanie wody w warstwę z wymieszaną substancją organiczną i przyspiesza jej rozkład. W takim systemie uprawy roli zamiast pługa podorywkowego stosuje się zestaw uprawowy, składający się z kultywatora o sztywnych łapach (lub brony rotacyjnej) i wału strunowego oraz sekcji brony talerzowej. Uprawa wykonana agregatem sprzyja nagromadzeniu się zwiększonej ilości próchnicy, która odgrywa rolę bufora przeciwdziałającego nadmiernemu zagęszczeniu gleby. Ponadto zaniechanie wykonywania orki podstawowej zmniejsza obciążenie gleby ugniatającymi przejazdami kół ciągnika, co pomaga w odzyskiwaniu przez glebę właściwej gęstości. Efektem bezpłużnej uprawy roli jest również poprawienie stabilności struktury gruzelkowej gleby; uprawa bezorkowa pozbawiona jest mankamentów uprawy płuż-

Tabela 6

Wpływ zmianowania na zawartość próchnicy w warstwie ornej gleby
(Grabów – 1986 r., po 12 latach trwania doświadczenia)

Zmianowanie	Zawartość próchnicy (%)
Ziemniak ¹⁾ – burak cukrowy – kukurydza – jęczmień jary	1,25
Burak cukrowy ¹⁾ – jęczmień jary + poplon ²⁾ – ziemniak – jęczmień jary	1,39
Owies + wsiewka ¹⁾ – koniczyna z trawami – kukurydza – jęczmień jary	1,51

¹⁾ obornik $30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$

²⁾ poplon z gorczycy białej

Źródło: Kuś J., 1995 (28).

Tabela 7

Wpływ stosowania międzyplonów ścierniskowych w monokulturze pszenżyta ozimego na zawartość C_{org} w glebie i plony roślin

Obiekt	C_{org} (%)	Plon ziarna (średnio 1992–1997) (t · ha ⁻¹)
Monokultura bez międzyplonu	0,78	3,77
Monokultura z międzyplonem (mieszanka motylkowatych)	0,84	4,38
Monokultura z międzyplonem (rzepak ozimy)	0,84	4,55

Źródło: Parylak D., 1998 (39).

nej, tj. tworzenia się podeszwy płuznej. Zjawisko to przy wykonywaniu orki z zastosowaniem uciągu ciągnikowego potęgowane jest ugniataniem kół ciągnika przetaczających się po dnie wyorywanej bruzdy. Odejście od uprawy płuznej będzie ograniczać występowanie warunków sprzyjających powstawaniu nadmiernego zagęszczenia warstwy podornej.

W uprawie konserwującej należy także stosować mulczowanie z roślin międzyplonowych i resztek poźniwnych, co wzbogaca glebę w próchnicę i podnosi jej aktywność biologiczną oraz poprawia liczebność pożytecznych mikro- i makroorganizmów glebowych. Stosowanie uprawy konserwującej chroni glebę przed erozją i zaskorupianiem się, a także przeciwdziała niszczeniu struktury gruzełkowej, która sprzyja tworzeniu się optymalnego stanu fizycznego gleby.

Należy także podkreślić istotną rolę uprawy w oddziaływaniu na gospodarkę wodną w układzie gleba – roślina. W praktyce szczególne znaczenie przypisuje się wykonywaniu uprawy poźniwnej, która chroni pozostające w glebie resztki wody i umożliwia wykonywanie uprawy podstawowej pod oziminy, a następnie zapewnia im właściwe warunki rozwoju. Wytworzona w trakcie poźniwnej uprawy roli spulchniona warstwa stanowi okrywą izolacyjną chroniącą warstwy głębsze przed utratą wody. Jak duże ilości wody można ochronić przed bezproduktywnym wyparowaniem przez wytworzenie na powierzchni spulchnionej warstwy, świadczą badania J a b ł o ņ s k i e g o (40). Ilość wody zaoszczędzonej w okresie miesiąca równała się opadowi wielkości 20 mm.

Spulchnienie warstwy uprawnej przyspiesza wsiąkanie wody opadowej do głębszych poziomów strefy korzeniowej i dzięki temu nie wyparowuje ona tak łatwo, jak w warunkach gleby zagęszczonej, która w trakcie opadów gromadzi wodę w warstwie powierzchniowej; w okresie bezopadowym znaczna część tej wody intensywnie paruje (33).

Usprawnienia gleby charakteryzującej się nadmierną gęstością w warstwie podornej można dokonać poprzez mechaniczne spulchnienie warstwy zagęszczonej, co najczęściej wykonuje się przy użyciu głębosza. Najogólniej rzecz biorąc plonotwórczy efekt głęboszowania jest uwarunkowany relacjami między poziomem żyzności gleby w warstwie ornej i podornej.

Szerokie badania nad skutkami spulchnienia podglebia, które przeprowadzono w Polsce w okresie powojennym (1948–1966) wykazały, że zabieg taki zwiększał plony roślin tylko w 25% przypadków, w 25% je obniżał, zaś w 50% nie powodował żadnej zmiany (47). Podobną reakcję roślin obserwowano również we wcześniejszych (1945–1953) i późniejszych (1965–1985) badaniach angielskich (10). Współczesne badania krajowe i zagraniczne dotyczące reakcji roślin uprawnych na spulchnienie podglebia charakteryzują się także dużą różnorodnością uzyskiwanych wyników. Większość badań z tego zakresu ograniczała się do określenia wpływu spulchniania na właściwości fizyczne gleby i plony roślin. Z przytoczonych badań nie można jednak wywnioskować, w jakich okolicznościach głęboka uprawa (zmniejszenie gęstości gleby w warstwie podornej) przynosi rezultaty pozytywne, a w jakich negatywne, względnie kiedy działanie jej jest obojętne.

Bardzo pouczające w tym zakresie są wyniki badań uzyskane przez K u s i a i in. (27) oraz I b r a h i m a i M i l l e r a (25), z których wynika, że samo spulchnienie warstwy podornej jest tylko zabiegiem pomocniczym, zwiększającym przestrzeń penetracji korzeni roślin w profilu glebowym. Reakcja roślin na spulchnienie nadmiernie zagęszczonej warstwy podornej może być zatem trojakiiego rodzaju: pozytywna, obojętna i negatywna. Każdy z uzyskanych efektów jest uwarunkowany relacjami zachodzącymi między warstwą orną i podorną, a także przebiegiem pogody. Pozytywna reakcja wystąpi wtedy, gdy spulchniona warstwa podorna udostępni roślinie brakujące w warstwie ornej składniki pokarmowe lub wodę. Obojętna, gdy roślina nie odniesie takich korzyści, czyli wtedy, gdy podglebie jest mało zasobne w przyswajalne składniki pokarmowe i wodę, a także wówczas, gdy sama warstwa orna zapewnia roślinie dostateczną ilość niezbędnych jej do życia substancji.

Przykładem występowania niekorzystnego wpływu spulchniania warstwy podornej na plonowanie roślin mogą być wyniki badań uzyskane w Zakładzie Uprawy Roli IUNG w Jelczu-Laskowicach (36). Stwierdzono, że między wielkością plonu (y) korzeni buraka cukrowego a gęstością (g_3) i wilgotnością (w_3) gleby w warstwie 0-30 cm zachodzi następująca zależność:

$$y = 386,3 - 199,6g_3 + 1,48w_3$$

przy: $R^2 = 0,488$; $P_m = 0,0009$; $P_{w_3} = 0,23$; $P_{g_3} = 0,0003$

a także między wilgotnością gleby w warstwie 0-30 cm (w_3) oraz gęstością (g_6) i wilgotnością (w_6) gleby w warstwie 30-60 cm:

$$w_3 = -10,62 + 3,86g_6^2 + 1,03w_6$$

przy: $R^2 = 0,833$; $P_m = 0,0000$; $P_{g_6} = 0,09$; $P_{w_6} = 0,0000$

gdzie:

P_m – poziom istotności modelu równania,

P_{w_3} – poziom istotności dla regresji cząstkowej według zaznaczonego symbolu.

Z przedstawionych relacji wynika, że plon korzeni buraka cukrowego był dodatnio związany z wilgotnością gleby w warstwie ornej (0-30 cm), a ta jest dodatnio skorelowana z gęstością gleby w warstwie podornej (30-60 cm). Zatem spulchnienie warstwy podornej wpływało negatywnie na wilgotność gleby w warstwie ornej, co w konsekwencji odbijało się niekorzystnie na plonach. Ogólnie rzecz biorąc, reakcja negatywna wystąpi wówczas, gdy warstwa orna ma małą pojemność wodną. W takim przypadku zagęszczona warstwa podorna zatrzymuje wodę przesiąkającą i uzupełnia potrzeby wodne roślin. Spulchnienie jej w takim układzie, w latach cechujących się pewnym niedostatkiem opadów, będzie powodowało obniżki plonów roślin uprawnych. Ten ostatni przypadek może zachodzić tylko przy stosunkowo umiarkowanym niedoborze opadów, bowiem przy głębokiej suszy negatywna reakcja roślin będzie bardziej drastyczna na polu z nadmiernie zagęszczonym podglebiem niż z podglebiem spulchnionym.

Podsumowanie

Ubocznym, a zarazem niekorzystnym efektem mechanizacji prac polowych i stosowania do tych celów coraz cięższego sprzętu jest ugniatanie gleby w warstwie ornej i podornej. Konsekwencją tego jest ograniczenie zdolności penetracyjnych korzeni, zmniejszenie pobierania składników pokarmowych przez rośliny i obniżenie plonowania. Wartość gęstości gleby, która wpływa negatywnie na wzrost i plonowanie roślin nie jest wielkością stałą, zależy bowiem, między innymi, od wilgotności i zawartości węgla organicznego w glebie. Przy utracie wilgoci gleba o gęstości optymalnej może wejść w krytyczną i przy wzroście wilgotności ponownie odzyskać wartość optymalną. Podobne oddziaływanie ma zawartość C_{org} w glebie, jednak konsekwencje są groźniejsze, ponieważ zmiany tego czynnika w glebie są długotrwałe. Stąd podatność gleby na zagęszczenie narasta wraz ze stosowaniem zmianowań składających się z roślin zbożowych, pastewnych, okopowych i kukurydzy, a więc takich, których uprawa obniża zawartość próchnicy w glebie. Istnieje zatem konieczność wprowadzania do zmianowań roślin motylkowatych i trawiastych oraz stosowania nawozów naturalnych i organicznych, co sprzyja osiągnięciu dodatniego bilansu substancji organicznej w glebie. Do przeciwdziałania skutkom nadmiernego zagęszczenia gleby należy także wykorzystywać możliwości, które daje konserwujący system uprawy roli. Nadrzędnym celem wszystkich poczynań zmierzających do ograniczenia negatywnych skutków degradacji fizycznej gleby w warstwie ornej jest podniesienie w niej zawartości substancji organicznej oraz ograniczenie ilości przejazdów ciągników i innego sprzętu wykorzystywanego do prac polowych, co uzyskuje się przez agregatowanie narzędzi i stosowanie bezpługowego systemu uprawy roli.

Warstwa podorna gleby spełnia także istotną rolę w zaspokajaniu potrzeb życiowych roślin. Znaczenie jej stanu fizycznego i chemicznego w oddziaływaniu na plonowanie roślin zależy od żyzności warstwy ornej. Dobra zasobność tej warstwy we wszystkie składniki pokarmowe i wodę przez cały okres wegetacji pozwala uzyski-

wać wysokie plony roślin niezależnie od stanu fizykochemicznego gleby w warstwie podornej. Jeśli warunek ten nie jest spełniony, choćby tylko dla części okresu wegetacyjnego cechującego się wzmożonym zapotrzebowaniem rośliny na wodę i składniki pokarmowe, wówczas możliwość zaspokojenia tych potrzeb przez warstwę podorną podnosi jej potencjalną wartość plonotwórczą. Możliwość taka zachodzi tylko wówczas, jeśli warstwa podorna jest zasobna w przyswajalne dla roślin składniki pokarmowe, a jej stan fizyczny pozwala korzeniom na swobodną penetrację i pobieranie składników pokarmowych i wody

Szczególnym przypadkiem relacji między omawianymi warstwami gleby są mała pojemność i duża przepuszczalność wodna warstwy ornej, które sprawiają, że część wody opadowej przemieszcza się poza zasięg systemu korzeniowego. W takich warunkach, przy umiarkowanym niedoborze opadów, duże zagęszczenie gleby w warstwie podornej (tzw. „podeszwa płuzna”) wpływa korzystnie na plonowanie roślin wskutek ograniczenia przesiąkania wody opadowej. Jednak w przypadku występowania głębokiej suszy wpływ nadmiernie zagęszczonej warstwy podornej na plonowanie roślin jest zdecydowanie negatywny. Zniszczenie „podeszwy płuznej” poprzez głęboszowanie jest zabiegiem zawsze pożądanym i opłacalnym, jeśli szkodliwość jej występowania zostanie rzeczywiście stwierdzona.

Literatura

1. Baranowski R., Bakowski B.: Wpływ zróżnicowanego składu fazowego gleby na dynamikę jej temperatury. *Rocz. Glebozn.*, 1977, **28(1)**: 37-44.
2. Baranowski R.: Wpływ gęstości gleby na jej agrofizyczne właściwości. *Rocz. Glebozn.*, 1980, **31(2)**: 15-31.
3. Baranowski R., Pabin J.: Wpływ zagęszczenia gleby lekkiej na plonowanie buraków cukrowych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 1980, **227**: 61-67.
4. Baranowski R.: Bulk density and moisture as factors influencing the strength of a calcareous soil. *Sborník Mechanizací Fakulty Vysoké Školy Zemedelské v Praze*, 3rd Intern. Conf. “Physical properties of agricultural materials”, 1985, 33-36.
5. Barley K. P.: Influence of soil strength on growth of roots. *Soil Sci.*, 1963, **96**: 175-180.
6. Blake G. R., Nelson W. W., Allmaras R. R.: Persistence of subsoil compaction in a Mollisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1976, **40(6)**: 943-948.
7. Bułiński J.: Zagęszczenie gleby w różnych technologiach uprawy roślin i związane z tym opory orki. *SGGW Warszawa*, 1998, ss. 140.
8. Bułiński J.: Wpływ czynników konstrukcyjnych i eksploatacyjnych agregatu ciągnikowego na ugniatanie gleby. *Masz. Ciąg. Rol. Leś.*, 1991, **7**: 15-17.
9. Canarache A.: Factors and indices regarding excessive compactness of agricultural soil. *Soil Till. Res.*, 1991, **19**: 145-164.
10. Cannel R. Q.: Reduced tillage in north-west Europe – a review. *Soil Till. Res.*, 1985, **5**: 129-177.
11. Chamen W. C. T., Watts C. W., Leede P. R., Longstaff D. J.: Assessment of a wide span vehicle (gantry), and soil and cereal crop responses to its use a zero traffic regime. *Soil Till. Res.*, 1992, **24(4)**: 359-380.
12. Chamen W. C. T., Vermeulen G. D., Campbell D. J., Sommer C.: Reduction of traffic-induced soil compaction. *Soil Till. Res.*, 1992, **24(2)**: 303-318.
13. Danfors B.: Changes in sub soil porosity caused by heavy vehicles. *Soil Till. Res.*, 1994, **29**: 135-144.

14. Domżał H.: Wpływ zagęszczenia gleby na zawartość wody silnie związanej oraz retencję wody produkcyjnej i użytkowej. *Rocz. Glebozn.*, 1979, **30(3)**: 45-72.
15. Domżał H., Hodara J.: Physical properties of three soil compacted by machine wheels during field operations. *Soil Till. Res.*, 1991, **19**: 227-236.
16. Etana A., Hakansson I.: Swedish experiments on the persistence of subsoil compaction caused by vehicles with high axle load. *Soil Till. Res.*, 1994, **29**: 167-172.
17. Ferrero A. F.: Effect of compaction simulating cattle trampling on soil physical characteristics in woodland. *Soil Till. Res.*, 1991, **19**: 319-329.
18. Fotyma M., Mercik S.: *Chemia rolna*. PWN Warszawa, 1992, ss. 323.
19. Gameda S., Raghavan G. S. V., Mckyes E., Theriault R.: Subsoil compaction in a clay soil. Vol. 2. Natural alleviation. *Soil Till. Res.*, 1987, **10**: 123-130.
20. Gameda S., Raghavan G. S. V., Mckyes E., Watson A. K., Mehuis G.: Long-term effects of a single incidence of high axle load compaction on a clay soil in Quebec. *Soil Till. Res.*, 1994, **29**: 173-177.
21. Gerard C. J., Mehta H. C., Hinojosa E.: Root growth in a clay soil. *Soil Sci.*, 1972, **144**: 37-50.
22. Grzebisz W.: Wzrost korzeni roślin uprawnych w glebie zagęszczonej. *Fragm. Agron.*, 1989, **3(23)**: 19-31.
23. Hakansson I., Reeder R. C.: Subsoil compaction by vehicles with high axle load-extend, persistence and crop response. *Soil Till. Res.*, 1994, **29**: 277-304.
24. Hakansson I.: A method for characterizing the state of compactness of the plough layer. *Soil Till. Res.*, 1990, **16**: 105-120.
25. Ibrahim B. A., Miller D. F.: Effect of subsoiling on yield and quality of corn and potato at two irrigation frequencies. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1989, **53**: 247-251.
26. Kooistra M. J., Boersma O. H.: Subsoil compaction in Dutch marine sandy loams: loosening practices and effects. *Soil Till. Res.*, 1994, **29**: 237-247.
27. Kuś J., Nawrocki S., Skrzypek Z.: Wpływ spulchniania i nawożenia podglebia na plonowanie roślin. *Pam. Puł.*, 1986, **87**: 7-18.
28. Kuś J.: Systemy gospodarowania w rolnictwie. *Mat. szkol.*, IUNG Puławy, 1995, **42/95**.
29. Lipiec J., Kossowski J., Tarkiewicz S.: The effect of soil compaction on its thermal relations in a model experiment. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 1987, **346**: 71-76.
30. Miatkowski Z.: Wpływ zabiegów agromelioracyjnych na właściwości fizyczno-wodne gleb zwięzłych oraz ukorzenie i plony roślin. *IMUZ Bydgoszcz*, 2001, **99**: ss. 103.
31. Olsen H. J.: Calculation of subsoil stresses. *Soil Till. Res.*, 1994, **29**: 111-123.
32. Pabin J., Sienkiewicz J.: Wpływ zagęszczenia gleby i głębokości siewu nasion na wschody i plonowanie buraków cukrowych. *Rocz. Glebozn.*, 1984, **35(3-4)**: 75-86.
33. Pabin J., Włodek S.: Wpływ zagęszczenia gleby lekkiej na niektóre jej właściwości fizyczne oraz na plonowanie peluszek i jęczmienia jarego. I. Dynamika wody użytkowej w glebie a plony roślin. *Pam. Puł.*, 1986, **88**: 71-85.
34. Pabin J., Sienkiewicz J., Włodek S.: Effect of loosening and compacting on soil physical properties and sugar beet yield. *Soil Till. Res.*, 1991, **19**: 345-350.
35. Pabin J., Włodek S., Biskupski A., Kaus A.: Zależność wzrostu i plonowania kukurydzy od gęstości gleby w warstwie zalegającej na różnych głębokościach poziomu próchnicznego. *Pam. Puł.*, 1994, **105**: 27-39.
36. Pabin J.: Zależność plonowania roślin od właściwości fizycznych gleby lekkiej różnicowanych głębokościowo i ugniataniem. *IUNG Puławy*, 1995, **H(7)**: ss. 85.
37. Pabin J., Lipiec J., Włodek S., Biskupski A., Kaus A.: Critical soil bulk density and strength for pea seedling root growth as related to other soil factors. *Soil Till. Res.*, 1998, **46**: 203-208.
38. Pabin J., Włodek S., Biskupski A.: Wartości krytyczne gęstości różnych gatunków gleb mineralnych. *Fol. Univ. Agric. Stein.* 195, 1999, *Agricultura*, **74**: 81-86.

39. P a r y ł a k D.: Międzyplony ścierniskowe jako czynnik regeneracyjny w monokulturze pszenżyta ozimego uprawianego na glebie lekkiej. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1998, **460**: 709-718.
40. Podstawy agrotechniki. Praca zbiorowa pod red. W. Niewiadomskiego. PWRiL Warszawa, 1983, ss. 763.
41. R e e v e s D. W., R o g e r s H. H., D r o p p e r s J. A., P o w e l l J. B.: Wheel-traffic effects on corn as influenced by tillage system. Soil Till. Res., 1992, **23**: 177-192.
42. R o n a i M. D.: Influence of tire inflation pressure on soil bulk density. 3rd Intern. conf. on physical properties of agricultural materials and products, Prague, 1988, 867-872.
43. S o w i Ń s k a - J u r k i e w i c z A., D o m ż a ł H.: The structure of the cultivated horizon of a Stagnogleyic Luvisol developed from loam within the zone affected by tractor wheel traffic. Soil Till. Res., 1991, **19**: 245-253.
44. S t ę p n i e w s k i W., G l i Ń s k i J.: Reakcja roślin na stan aeracji gleby. Probl. Agrofiz., 1985, **45**: 1-76.
45. S t ę p n i e w s k i W.: Zależność dyfuzji tlenu i zwięzłości od zagęszczenia gleby. Rozpr. hab., maszynopis. Zakład Agrofizyki PAN, Lublin, 1980, ss. 90.
46. S t o l z y L. H., L e t e y J., S z u s z k i e w i c z T. E., L u n t O. R.: Root growth and diffusion rates as function of oxygen concentration. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 1961, **25**: 463-467.
47. Ś w i ę t o c h o w s k i B., S i e n k i e w i c z J., Ś m i e r z c h a ł s k i L.: Wpływ pogłębienia warstwy ornej na plony i niektóre właściwości gleby w świetle doświadczeń ścisłych i produkcyjnych wykonanych w Polsce w latach 1948–1966. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1970, **100**: 193-204.
48. T a y l o r H. M., B r a r G. S.: Effect of soil compaction on root development. Soil Till. Res., 1991, **19**: 111-119.
49. V o o r h e e s W. B., N e l s o n W. W., R a n d a l l G. W.: Extend and persistence of subsoil compaction caused by heavy axle loads. Soil Sci. Soc. Am. J., 1986, **50**: 428-433.
50. W a d i n g t o n D. U., B a k e r J. M.: Influence of soil aeration on the growth and chemical composition of three grass species. Agron. J., 1965, **57**: 253-258.

Adres do korespondencji:

doc. dr hab. Jan Pabin
Zakład Herbologii i Techniki Uprawy Roli
IUNG - PIB
ul. Orzechowa 61
50-540 Wrocław
tel. (071) 363 87 07
e-mail: j.pabin@iung.wroclaw.pl

Stanisław Wróbel, Karolina Nowak-Winiarska

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

DOSTĘPNOŚĆ SKŁADNIKÓW POKARMOWYCH DLA ROŚLIN W WARUNKACH UPROSZCZEŃ W UPRAWIE ROLI*

Wstęp

Uproszczenia uprawy roli, których wspólną cechą jest rezygnacja z orki, oprócz znanych korzyści niosą ze sobą również szereg skutków niepożądanych, takich jak konieczność wzmożonej ochrony chemicznej, zmiany niektórych właściwości fizycznych (zwłaszcza gęstości i zwięzłości gleby), a także warunków termicznych i wilgotnościowych. Zjawiska te są stosunkowo dobrze rozpoznane i często dyskutowane w publikacjach. Natomiast znacznie mniej badań poświęcono dynamice przemian i dostępności składników pokarmowych w odmiennych od uprawy orkowej warunkach glebowych, występujących w przypadku systemów uproszczonych. Zagadnienia te są nadal słabo rozpoznane, lecz coraz częściej dostrzegane przez praktykę rolniczą. W literaturze krajowej problem nawożenia podstawowego w uprawach uproszczonych podejmowany jest stosunkowo rzadko. Niemal całkowicie brak jest opracowań poświęconych przemianom i dostępności składników pokarmowych niedostarczanych do gleby z podstawowym nawożeniem, takich jak mikroelementy i siarka, która staje się obecnie składnikiem deficytowym w uprawach rolnych. Do przyczyn takiego stanu można zaliczyć ograniczenie emisji przemysłowych SO_2 do atmosfery, brak nawożenia obornikiem, stosowanie niskobalastowych nawozów mineralnych, genetycznie uwarunkowane duże wymagania pokarmowe nowych generacji odmian roślin uprawnych itp.

Znacznie więcej prac z tego zakresu znaleźć można w literaturze zagranicznej, co dowodzi zainteresowania problemem i potwierdza potrzebę prowadzenia podobnych badań w kraju. Wyniki doniesień zagranicznych są jednak często rozbieżne i niejednoznaczne. Przyczyną jest z pewnością znaczne zróżnicowanie warunków glebowo-klimatycznych w jakich badania prowadzono, co również wskazuje na konieczność weryfikacji tych wyników w warunkach polskich. Takie czynniki uprawowe, jak stosowanie mulczu, uproszczenia zmianowania roślin (płodozmiany zbożowe, monokultu-

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.4 w programie wieloletnim IUNG - PIB

ra), intensyfikacja nawożenia NPK przy braku obornika wielokierunkowo oddziałują na warunki glebowe. W przypadku upraw uproszczonych nasilają się niekorzystne zjawiska, zwłaszcza gdy przebieg pogody w okresie wegetacji roślin nie jest w pełni korzystny, np. występują okresowe susze.

Zasadniczo wymagania pokarmowe roślin w systemach uproszczonej uprawy roli są podobne jak w uprawie płuźnej, jednak rezygnacja z orki głębokiej poprzez zmianę warunków w środowisku glebowym wyraźnie oddziałuje na dostępność składników. W uprawach bezorkowych nie tylko nawozy azotowe, lecz także fosforowe i potasowe stosowane są najczęściej wiosną powierzchniowo pod agregat uprawowy (uprawa powierzchniowa) lub w czasie siewu nasion siewnikiem z aplikatorem (siew bezpośredni). Często, nawet w gospodarstwach dysponujących specjalistycznym sprzętem, w uprawach uproszczonych nawozy fosforowe i potasowe wysiewa się na powierzchnię gleby. Podobnie postępuje się z drugą częścią dawki azotu.

Działanie nawozów zastosowanych powierzchniowo lub płytko wymieszanych z glebą jest bardziej niż w uprawie tradycyjnej uzależnione od przebiegu pogody. Na podstawie danych meteorologicznych ostatniego dziesięciolecia stwierdzić można, że anomalie pogodowe na stałe wpisują się do scenariusza pogodowego Europy, a cechą klimatu polskiego staje się występowanie nawet kilkudekadowych okresów suszy w sezonie wiosennym. Bardzo spowalnia to proces rozkładu zastosowanych przedsięwzięcie nawozów, a także uzupełnianych pogłównie (druga część dawki N) oraz dopływu azotanów z naturalnej nitryfikacji glebowej i mineralizacji połączeń organicznych. Zjawiska te nasilają się w warunkach monokultury roślin i intensyfikacji nawożenia podstawowego NPK bez obornika i nie mogą pozostawać bez wpływu na jakość i wielkość uzyskiwanych plonów.

Okresowo występować może duże stężenie składników nawozowych w powierzchniowej warstwie gleby (0-10 cm), które w połączeniu z chemicznymi środkami ochrony roślin (uprawy uproszczone wymagają na ogół wzmożonej ochrony chemicznej), produktami rozkładu mulczu czy resztek poźniwnych, a także mikotoksynami wydzielanymi przez rozwijające się tam grzyby mogą wydatnie zmieniać warunki fizykochemiczne gleby (w tym odczyn i potencjał redox). Nie bez wpływu na te zjawiska pozostaje również wzrost zwięzłości oraz zmniejszenie przepuszczalności gleby w warunkach uprawy bezorkowej. W tej sytuacji dochodzi często do okresowego naruszenia równowagi jonowej w glebie i ujawniania się antagonizmów i synergizmów stwarzających sztuczną konkurencyjność w pobieraniu składników przez rośliny. Monokultura wyczerpująca mikroelementy i wymagająca pełnej chemicznej ochrony roślin oraz wysokie dawki nawozów NPK nasilają omawiane procesy. Zjawiska te mogą wpływać negatywnie na rozwój i plonowanie roślin.

Najważniejszymi czynnikami decydującymi o dostępności składników mineralnych dla roślin w uprawach uproszczonych są ich właściwości chemiczne oraz warunki glebowe i meteorologiczne w sezonie wegetacyjnym. Duże znaczenie odgrywa tutaj stopień rozpuszczalności składników decydujący o ich przenikaniu do głębszych warstw gleby. Składniki pokarmowe wprowadzane do gleby w postaci nawozów pod wpływem

wem wilgoci ulegają rozpuszczeniu i stopniowo przemieszczają się do roztworu glebowego. Warunkiem efektywnego ich wykorzystania jest jednak pozostawanie w zasięgu korzeni roślin. Równomierne rozmieszczenie składników w profilu warstwy ornej ma szczególne znaczenie w przypadku nawozów słabo przemieszczających się w glebie, jak fosfor i potas (6). Brak orki wyraźnie nasila stratyfikację tych składników. Siew bezpośredni, zwłaszcza na glebie bardziej zwięzłej, utrudnia rozwój korzeni i zmniejsza ich masę. Ogranicza to możliwości pobierania wody i składników pokarmowych przez rośliny. W tych warunkach susza, zwłaszcza długotrwała, zmniejsza efektywność nawożenia mineralnego stosowanego na powierzchnię gleby. Wymieszanie z glebą jest mniej istotne w przypadku azotu, składnika o dobrej rozpuszczalności. Jednak brak wilgoci w glebie, w przypadku wystąpienia okresowej suszy powoduje niedostępność tego składnika, który ponadto będzie narażony na ulatnianie się w postaci NH_3 . Dlatego też przy uprawach uproszczonych zaleca się wysiew nawozów azotowych przede wszystkim w systemie zlokalizowanym przy zastosowaniu siewnika z aplikatorem nawozów.

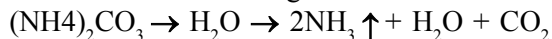
Przyczyny i mechanizmy zmian dostępności składników pokarmowych dla roślin w uproszczonych systemach uprawy roli

Azot. W systemach uproszczonych brak orki i pozostawienie resztek poźniwnych, a tym bardziej mulczy na powierzchni gleby utrudnia gospodarkę azotem i zmniejsza opłacalność jego stosowania. Gleba w warunkach upraw bezorkowych nagrzewa się wolniej w okresie wiosennym, co znacznie spowalnia proces mineralizacji i nityfikacji azotu. Później rozpoczyna się również aktywność bakterii wiążących wolny azot atmosferyczny. Opóźnia to rozwój młodych siewek, wpływając negatywnie na stan upraw w późniejszym okresie. Znaczne ilości azotu mogą zostać okresowo unieruchomione w procesie mineralizacji resztek poźniwnych lub stosowanego mulczy, co hamuje wzrost roślin w krytycznym okresie ich rozwoju. Azot może również ulegać stratom poprzez ulatnianie się do atmosfery w postaci NH_3 , jeśli zastosowano mocznik lub inne formy amonowe lub spływom powierzchniowym (w zależności od ukształtowania terenu i intensywności opadów).

Gleby w tradycyjnej uprawie rolniczej zawierają zmienne ilości substancji organicznej, zazwyczaj 1-4%. Stosowanie uproszczonych systemów uprawy roli wzbogaca glebę w substancję organiczną, która z kolei staje się źródłem składników pokarmowych dla roślin i mikroorganizmów glebowych, a także materiałem wyjściowym do tworzenia humusu glebowego i poprawy struktury gleby. Mineralizacja jest naturalnym procesem przemian substancji organicznej przez mikroorganizmy glebowe, połączonym z wydzielaniem się amonowych form azotu i innych ważnych z rolniczego punktu widzenia składników pokarmowych. Jednak tylko część azotu amonowego zostaje pobrana przez rośliny lub związana w kompleksie sorpcyjnym gleby. Większość NH_4 ulega w glebie nityfikacji przy udziale bakterii autotroficznych *Nitrosomonas* i *Nitrobacter*, czyli przemianie w formę azotanową (NO_3), która jest dobrze przyswajalna dla roślin, a w wodzie może łatwo ulegać wymyciu.

W sytuacji znacznej obfitości materii organicznej w glebie, np. w warunkach stosowania mulczu w uprawach uproszczonych czy dużej ilości resztek poźniwnych, intensywny rozwój mikroorganizmów glebowych rozkładających materię organiczną (element cyklu węgla w glebie) powoduje duże zapotrzebowanie na azot. Dochodzi wówczas do pobierania i unieruchomiania wolnego azotu glebowego. Proces ten ma charakter okresowy – po rozłożeniu substancji organicznej z mulczu azot zostaje zwrócony do gleby, stając się źródłem pokarmu dla roślin. Z rolniczego punktu widzenia proces unieruchomiania azotu jest niekorzystny, gdyż przypada na okres wschodów i wczesnych faz rozwojowych roślin uprawnych. Zrównoważenie efektu czasowego unieruchomiania azotu glebowego polega na wczesnowiosennym stosowaniu nawożenia azotem w dawce $30\text{--}60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Efekty takie obserwuje się w uprawach płuznych oraz w początkowych latach prowadzenia gospodarki bezorkowej (do 2-3 lata). W okresie późniejszym następuje wysycenie wierzchnich warstw gleby azotem mineralnym i wówczas unieruchomianie jego części w małym stopniu odbija się na rozwoju roślin. Nie ma wtedy konieczności dodatkowego nawożenia azotem, co jest jednym z elementów stabilizacji warunków uprawy uproszczonej.

Straty azotu z nawozów niedostatecznie wymieszanych z glebą zachodzić mogą również na drodze ulatniania się do atmosfery w formie gazowej (NH_3). Ten sposób strat azotu dotyczyć może mocznika, chociaż jest to nawóz wolniej rozkładający się od form saletrzanych. Mocznik (forma amidowa azotu) wysiany na powierzchnię gleby ulega hydrolizie przy udziale enzymów (ureaza) występujących obficie w glebie. Powstający w wyniku tej reakcji amoniak może zostać częściowo związany w glebie (sprzyja temu wymieszanie nawozu z glebą), jednak większość tego związku z powierzchniowo zastosowanego mocznika ulatnia się do atmosfery zgodnie z reakcją:



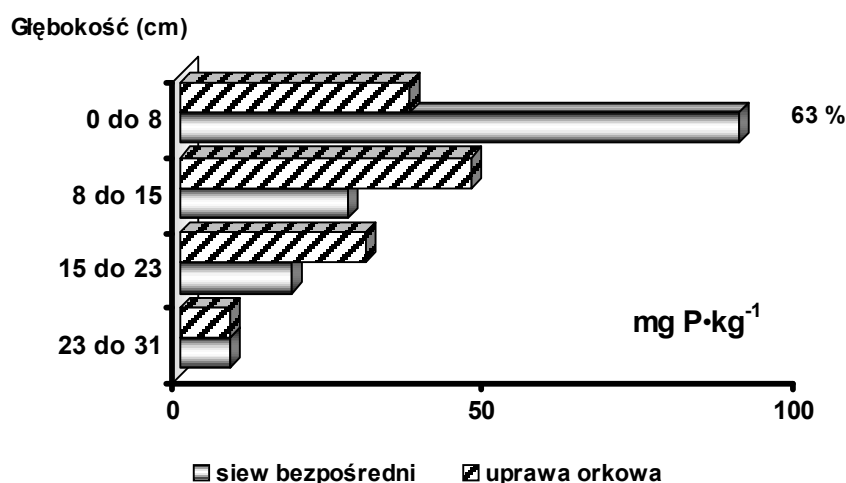
Wysiew mocznika pod powierzchnię gleby (aplikatorem) zapobiega w znacznym stopniu tym niekorzystnym zjawiskom. Dobre wyniki uzyskuje się również przy stosowaniu deszczowania lub nawadniania bezpośrednio po wysiewie nawozu. Do powierzchniowego stosowania azotu w uproszczonych systemach uprawy roli należy dobierać raczej formy saletrzane nawozów.

Fosfor i potas. W przeciwieństwie do azotu fosfor i potas charakteryzują się małą mobilnością w glebie i dlatego też w uprawach bezorkowych dość łatwo ulegają stratyfikacji. Sprzyja temu wzrost związłości i ograniczenie przepuszczalności gleby oraz okresowe susze wiosną i wczesnym latem. W uprawie minimalnej (wiosenna uprawa roli agregatem z kultywatorem) stratyfikacja dotyczy warstwy powierzchniowej do głębokości około 10 cm, a w siewie bezpośrednim 2-6 cm. W największym stopniu stratyfikacji ulega fosfor, którego koncentracja w warstwie powierzchniowej sięgać może 90% całkowitej zawartości tego składnika w warstwie ornej. Przyczyną tego stanu w warunkach braku orki są również normalne potrzeby pokarmowe roślin, w wyniku których składniki pokarmowe pobierane są z głębszych warstw gleby. Po kilkuletnim nieprzerwanym stosowaniu uprawy uproszczonej lub siewu bezpośredniego stratyfikacja składników w glebie odgrywa mniejszą rolę wskutek stopniowego

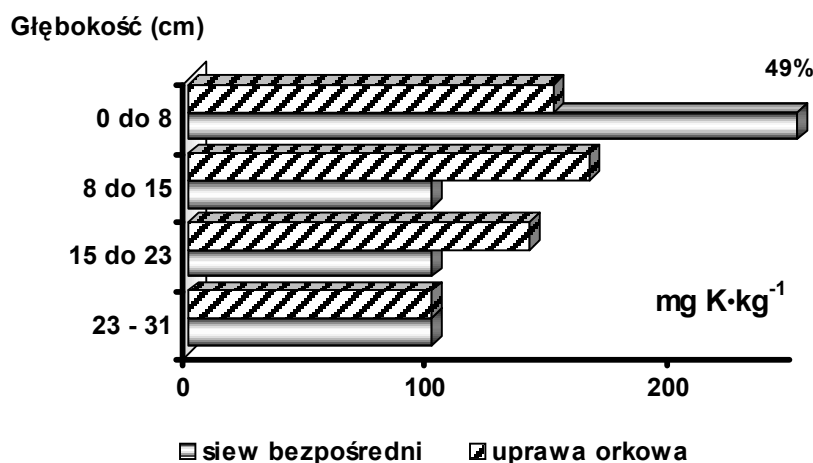
przenikania składników do warstw głębszych, w czym dużą rolę odgrywają korzenie roślin i fauna glebowa, w tym dżdżownice.

Autorzy szeregu prac donoszą o kumulacji składników w powierzchniowej warstwie gleby, uzależniając ją od długości okresu stosowania uproszczeń uprawy roli. W badaniach W ł o d k a i in. (14) analizowano 7 poziomów warstwy ornej (0-2, 2-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30 cm) gleby wytworzonej z piasku gliniastego mocnego, uprawianej systemem tradycyjnym, uproszczonym (kultywator) oraz zerowym przez okres sześciu lat. W obu systemach bezorkowych stwierdzono wyraźną stratyfikację fosforu, potasu i magnezu w warstwach 0-2 i 2-5 cm. W warunkach uprawy zerowej pozostawianie słomy po zbiorze zbóż powodowało spadek zawartości potasu i magnezu, co autorzy wiążą ze spowolnieniem procesów mineralizacji materii organicznej w glebie słabiej ogrzewanej wiosną pod przykryciem. Podobny kierunek zmian zawartości fosforu, potasu i magnezu w glebie w warunkach upraw bezorkowych obserwowali F r a n z l u e b b e r s i H o n s (8).

Według C r o z i e r a i in. (3) w uprawach uproszczonych kontynuowanych przez okres krótszy niż 6 lat stwierdzano wyraźną stratyfikację fosforu, potasu, miedzi, cynku i manganu w warstwie 0-10 cm, w porównaniu ze stanem w warstwie 10-20 cm. Zależność ta dotyczyła również odczynu gleby. W okresie powyżej 6 lat zjawiska te nie występowały. Badania przeprowadzono na 59 polach z różnymi glebami. W badaniach M a k u s a (11) zawartość P, K, S i Fe w warstwach 0 - 5, 10-15 i 25-30 cm stopniowo zmniejszała się wraz z głębokością. Nie dotyczyło to jednak Na i NO_3 . Natomiast według C r u z a (4) siew bezpośredni powodował stratyfikację fosforu w warstwie 0-8 cm w zakresie 63%, a potasu 49% całkowitych ilości tych składników oznaczonych w warstwie ornej (0-31 cm); (rys. 1 i 2). Niektórzy autorzy donoszą, że



Rys. 1. Stratyfikacja fosforu w warunkach siewu bezpośredniego
Źródło: Cruz J. C., 1982 (3).



Rys. 2. Stratyfikacja potasu w warunkach siewu bezpośredniego
 Źródło: Cruz J. C., 1982 (3).

w początkowych latach uprawy uproszczonej występować mogą różnice w zależności od rodzaju składnika. Obserwowano stratyfikację fosforu, podczas gdy zawartość potasu zmniejszała się w powierzchniowej warstwie gleby 1-5 cm (12).

Również zawartość siarki w warunkach uprawy zerowej wykazywała zróżnicowane kierunki zmian. Wykazywano zarówno kumulację tego składnika w powierzchniowej warstwie gleby (11), jak również obniżenie się jej zawartości w warstwie 0-10 cm, w stosunku do niższego poziomu 10-25 cm (3). Tendencja malejąca zawartości siarki w warstwie powierzchniowej gleby wynikać może z okresowego uwsteczniania się tego składnika w cyklu węgla (podobnie jak azotu) w warunkach obfitości substancji organicznej (resztki poźniwne, mulcz); (7).

Wyniki badań własnych potwierdzają wnioski z wcześniejszych doniesień. Badania nad dostępnością składników w monokulturze kukurydzy uprawianej w trzech systemach uprawy roli przeprowadzono w doświadczeniach mikropoletkowych oraz polowych ścisłych.

Doświadczenia mikropoletkowe założono w Stacji Doświadczalnej IUNG Jelcz-Laskowice w 2002 roku na mikroparcelach o powierzchni 1 m², w których porównywano trzy systemy uprawy: tradycyjny (T), uproszczony (U) – wiosenna płytka uprawa, uprawa zerowa – siew bezpośredni (Z). Mikroparcele wypełniono glebą pobraną z warstwy ornej o składzie granulometrycznym piasku gliniastego mocnego (18,0% frakcji <0,02 mm). W 2004 roku (po trzech latach badań) analizowano glebę z warstw 0-5 oraz 10-15 cm, oznaczając przyswajalne formy makro- i mikroelementów oraz odczyn gleby. Stwierdzono wzrost koncentracji badanych składników pokarmowych w warstwie 0-5 cm, w stosunku do ich zawartości w warstwie 10-15 cm na obiektach z uprawą uproszczoną (U) i zerową (Z). Zawartość tych składników była także istot-

nie wyższa niż w warstwie gleby 0-5 cm z tradycyjnym systemem uprawy (T). Podobne zmiany wykazywał odczyn gleby; tendencje spadkowe wartości pH_{KCl} w warstwie 0-5 cm (tab. 1).

Nierównomierne rozmieszczenie przyswajalnych form makroelementów w profilu warstwy ornej wywarło negatywny wpływ na zaopatrzenie roślin kukurydzy. Stwierdzano istotne zmniejszanie się ich zawartości w roślinach z obiektów, gdzie stosowano uprawę uproszczoną (U) i siew bezpośredni (Z); (tab. 2 i 3). Podobnie kształtowały się zależności z mikroelementami.

Siarka, podobnie jak azot, ulegać może w glebie procesom immobilizacji i mineralizacji, w cyklu przemian związków węgla. Decyduje o tym stosunek C:S w resztkach organicznych (mulczu) w glebie. Pozostawienie na powierzchni pola słomy zbóż lub kukurydzy ubogiej w siarkę powoduje jej immobilizację. W przeciwieństwie do tego słoma rzepaku stosunkowo zasobna w siarkę może uwalniać ten składnik. Immobilizacja siarki w glebie zachodzi jeśli stosunek C:S w glebie > 400, a zawartość siarki

Tabela 1

Wpływ sposobu uprawy roli na odczyn oraz zawartość i rozmieszczenie przyswajalnych form makroelementów w warstwie ornej gleby

Uprawa*	Głębokość (cm)	pH_{KCl}	P	K	Mg
			mg·100 g ⁻¹ gleby		
T	0-5	6,5	17,7	11,8	9,3
	10-15	6,6	17,7	12,5	9,0
U	0-5	6,3	20,1	16,5	11,3
	10-15	6,5	18,1	12,7	9,6
Z	0-5	6,3	19,6	15,9	11,4
	10-15	6,7	18,2	12,8	9,6
$NIR_{\alpha=0,05}$	II/I	r.n.	1,55	1,35	1,05
	I/II		1,72	2,96	1,80

T – tradycyjna, U – uproszczona, Z – zerowa

r.n. – różnice nieistotne

Źródło: Wróbel S. i in., 2007 (15).

Tabela 2

Wpływ sposobu uprawy roli na zawartość makroelementów w częściach wskaźnikowych kukurydzy**

Uprawa*	N	P	K	Ca	Mg
	% s.m.				
T	2,65	0,28	2,12	0,82	0,35
U	2,37	0,22	1,89	0,65	0,32
Z	2,33	0,20	1,91	0,59	0,31
$NIR_{\alpha=0,05}$	0,255	0,033	0,195	0,213	r.n.
Zawartości optymalne wg Bergmana (1)					
	2,8-3,5	0,25-0,5	2,0-3,5	0,25-1,0	0,2-0,5

* objaśnienia jak do tabeli 1

** liście spod kolby w stadium formowania kwiatostanów żeńskich

Źródło: Wróbel S. i in., 2007 (15).

Tabela 3

Wpływ sposobu uprawy roli na zawartość makroelementów w ziarnie kukurydzy

Uprawa*	N	P	K	Ca	Mg
	% s.m.				
T	1,30	0,35	0,34	0,11	0,13
U	1,21	0,27	0,25	0,08	0,09
Z	1,17	0,19	0,26	0,06	0,10
NIR _{α = 0,05}	0,125	0,109	0,041	0,04	r.n.
Dane porównawcze (wg 7)					
	1,55	0,34	0,66	0,09	0,16

* objaśnienia jak do tabeli 1

Źródło: Wróbel S. i in., 2007 (15).

Tabela 4

Wpływ sposobu uprawy roli na odczyn oraz zawartość i rozmieszczenie przyswajalnych form mikroelementów w warstwie ornej gleby

Uprawa*	Głębokość (cm)	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
		mg · kg ⁻¹ gleby					
T	0-5	1,11	4,18	1275	320	0,04	24,2
	10-15	1,10	4,11	1253	326	0,05	22,1
U	0-5	1,31	4,33	1344	362	0,06	24,8
	10-15	1,00	3,88	1203	303	0,03	22,7
Z	0-5	1,30	4,82	1389	383	0,07	30,8
	10-15	1,10	3,85	1111	298	0,03	24,7
NIR _{α = 0,05}	II/I	0,145	0,331	117,0	55,2	0,030	2,06
	I/II	0,108	0,514	111,5	31,2	0,020	3,82

* objaśnienia jak do tabeli 1

Źródło: Wróbel S. i in., 2007 (15).

w resztkach poźniwnych nie przekracza 0,25% (7). Mineralizacja organicznych połączeń siarkowych oraz wzrost kwasowości gleby zmniejszający redukcję siarczanów są ważnymi czynnikami wzrostu zawartości S-SO₄ w powierzchniowej warstwie gleby (9).

W doświadczeniach mikroplotkowych kumulacja siarki przyswajalnej w wierzchniej warstwie gleby (0-5 cm) z obiektów, w których stosowano bezorkową uprawę roli (U i Z) była przyczyną obniżania się zawartości tego składnika w roślinach kukurydzy (rys. 3).

Pogarszające się w stosunku do wartości optymalnych według Bergmanna (1) zaopatrzenie kukurydzy w badane składniki mineralne dowodzi, że stosowanie uproszczeń uprawy roli w monokulturze kukurydzy uznać należy za czynnik o negatywnym oddziaływaniu na jakość biologiczną roślin. Wynik ten wskazuje, że stosowanie jednoczesnych uproszczeń uprawy roli i zmianowania roślin wymaga podejmowania dodatkowych działań zapobiegających pogarszaniu się jakości uzyskiwanych ziemiopłodów.

Tabela 5

Wpływ sposobu uprawy roli na zawartość mikroelementów w częściach wskaźnikowych kukurydzy

Uprawa*	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg · kg ⁻¹ s.m.				
T	6,05	7,55	136	37,8	19,6
U	4,80	6,11	114	32,3	19,0
Z	5,03	6,24	106	27,6	18,4
NIR _{α = 0,05}	0,603	0,892	15,2	4,93	1,02
Zawartości optymalne wg Bergmana (1)					
	6-15	6-12	21-250	35-100	25-70

* objaśnienia jak do tabeli 1

Źródło: Wróbel S. i in., 2007 (15).

Tabela 6

Wpływ sposobu uprawy roli na zawartość mikroelementów w ziarnie kukurydzy

Uprawa*	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg · kg ⁻¹ s.m.				
T	1,90	1,64	19,4	5,37	15,8
U	1,73	1,28	19,8	5,05	15,0
Z	1,64	0,99	19,9	4,83	14,6
NIR; LSD (α = 0,05)	0,211	0,302	r.n.	0,489	0,96
Dane porównawcze (wg 7)					
	2,91	4,81	-	24,5	35,5

* objaśnienia jak do tabeli 1

Źródło: Wróbel S. i in., 2007 (15).

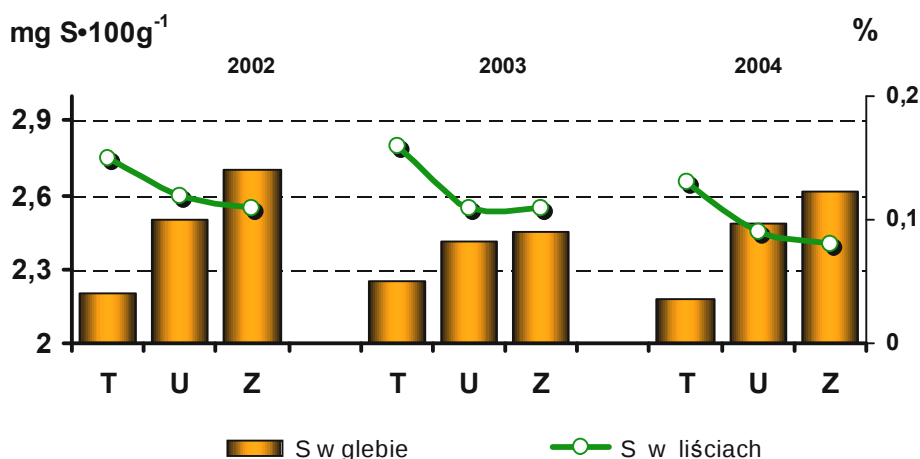
Na rysunku 4 przedstawiono plonowanie kukurydzy w poszczególnych latach badań z uwagi na duży i zmienny wpływ czynnika pogodowego. Z wyjątkiem 2003 roku stwierdzono istotnie mniejsze plony ziarna kukurydzy w uprawie uproszczonej i zerowej, co wiązać można między innymi z ograniczoną dostępnością składników pokarmowych. Ze względu na bardzo duży plonotwórczy wpływ nawożenia (około 60% – przyjmując za 100% działanie wszystkich czynników agrotechnicznych, w tym uprawę roli, ochronę roślin, materiał siewny itd.); (5), ograniczenia dostępności składników pokarmowych uważać można za jedną z głównych przyczyn uzyskiwania mniejszych plonów w początkowych latach prowadzenia uproszczonych systemów uprawy roli.

Doświadczenia połowe ścisłe przeprowadzono w latach 2003–2005 na glebie płowej (piasek gliniasty mocny) o zawartości frakcji spławialnej (<0,02 mm) – 17%, w których uwzględniono dwa czynniki:

- I – systemy uprawy roli: uprawa tradycyjna, uprawa uproszczona (płytką uprawą wiosenną) i siew bezpośredni przy zastosowaniu siewnika z krojem tarczowym i aplikatorem nawozów;

- II – poziomy nawożenia NPK ($N+P_2O_5+K_2O$) · ha⁻¹: 0+0+0; 50+30+40; 100+60+80 i 200+120+160.

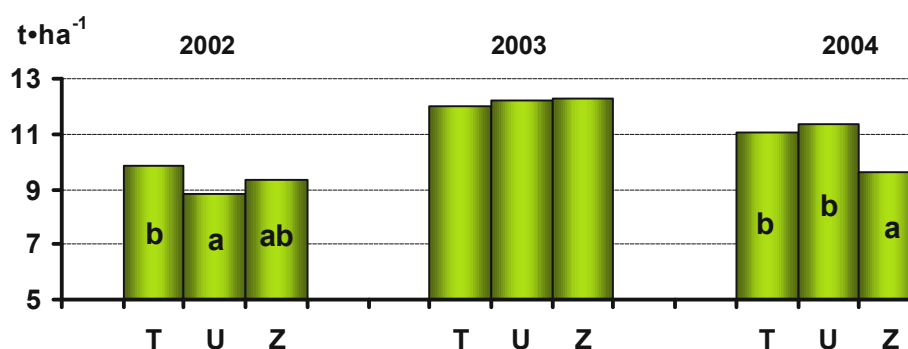
Analiza chemiczna gleby pochodzącej z warstw 0-10 cm i 10-15 cm przeprowadzona po zakończeniu trzech doświadczeń 3-letnich wykazała występowanie stratyfikacji większości najważniejszych składników mineralnych (fosfor, potas, bor, miedź,



T – uprawa tradycyjna, U – uprawa uproszczona, Z – uprawa zerowa

Rys. 3. Zawartość siarki w liściach kukurydzy na tle zawartości S-SO₄ w warstwie 0-5 cm gleby w poszczególnych latach badań

Źródło: Opracowanie własne.



Objaśnienia, jak do rysunku 3

Różnice między plonami oznaczonymi różnymi literami są istotne przy $\alpha = 0,05$

Rys. 4. Plony ziarna kukurydzy z poszczególnych lat doświadczenia mikropoletkowego

Źródło: Wróbel S. i in., 2007 (15).

mangan i cynk) w warstwie powierzchniowej 0-10 cm z upraw bezorkowych (U i Z). Zawartość tych składników była również istotnie wyższa niż w tej samej warstwie gleby z uprawą tradycyjną (tab. 7). W warstwie 0-10 cm w warunkach uprawy zerowej stwierdzono również istotny statystycznie spadek wartości pH_{KCl} w porównaniu z jego stanem w uprawie tradycyjnej. Zmiany te występowały wyraźniej w warunkach wyższego poziomu nawożenia mineralnego N – 200, P_2O_5 – 120, i K_2O – 169 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ niż przy dawkach obniżonych: N – 50, P_2O_5 – 30, K_2O – 40 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Nierównomierny rozkład składników pokarmowych w glebie z uprawą uproszczoną (U) i zerową (Z) wyraźnie oddziaływał na ich zawartość w roślinach kukurydzy. Najczęstszy kierunek zmian dotyczył obniżania się zawartości składników mineralnych w porównaniu z ich stanem w glebie uprawianej sposobem tradycyjnym. Zmiany te, występujące już w trakcie wegetacji roślin (tab. 8), stwierdzono także w ziarnie kukurydzy (tab. 9). Bardziej zdecydowane spadki zawartości dotyczyły potasu, boru, żelaza, manganu i molibdenu. Ten kierunek zmian, choć mniej wyraźnie zarysowany, dotyczył także wapnia i magnezu, a także azotu i fosforu. Jedynie zawartości miedzi i cynku w kukurydzy uprawianej na obiektach z uprawą uproszczoną (U) i zerową (Z) wykazywały istotny wzrost zawartości w biomase części wegetatywnych, co miało swoje odbicie również w składzie chemicznym ziarna. Ten efekt wiązać należy z dużym znaczeniem odczynu gleby w kształtowaniu dostępności tych mikroelementów. Obniżająca się wartość pH w powierzchniowej warstwie gleby, na której nie stosowano orki, powodowała uruchamianie się form trudno rozpuszczalnych tych składników.

Na podstawie wyników badań własnych można stwierdzić, że ziarno kukurydzy uprawianej w warunkach 3-letniej monokultury odznaczało się niską zawartością składników mineralnych. Dotyczyło to zwłaszcza takich składników, jak potas, żelazo, miedź, mangan i cynk. Uproszczenia uprawy roli poprzez stratyfikację składników negatywnie (z wyjątkiem Cu i Zn) wpływały (ograniczenie pobrania) na ich zawartość w roślinach. W wyniku tego, podobnie jak w doświadczeniu mikropoletkowym, następowało zubożenie plonów w składniki mineralne (tab. 8 i 9). O wpływie uproszczeń uprawy roli na skład chemiczny roślin donoszą *S e l l e s i M c C o n k e y* (13) oraz *B u a h* (2). *L a l i n.* (10) odnotowali zmniejszenie zawartości Ca, Mg i B oraz wzrost Mn w liściach kukurydzy uprawianej w siewie bezpośrednim. Zmiany zawartości składników mineralnych w roślinach kukurydzy z doświadczenia polowego były natomiast w małym stopniu modyfikowane przez intensyfikację nawożenia mineralnego NPK.

Podsumowanie

Przeprowadzone badania własne (eksperymenty mikropoletkowe i polowe) oraz doniesienia literatury wskazują na problem dostępności składników pokarmowych dla roślin uprawianych w warunkach uproszczeń uprawy roli, który jest dość złożony i wielowątkowy. Biorąc pod uwagę zarówno zróżnicowane właściwości chemiczne składników pokarmowych, form i sposobów aplikacji nawozów, a także różnorodność

Tabela 7

Wpływ sposobu uprawy roli i poziomu nawożenia NPK w doświadczeniu polowym na odczyn, zawartość i rozmieszczenie składników mineralnych w warstwie ornej gleby płowej (średnia z lat 2003–2005)

Uprawa*	Głębokość (cm)	pH _{KCl}	mg · 100 g ⁻¹ gleby					mg · kg ⁻¹ gleby				
			P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn	
			$B_2 - (N + P_2O_5 + K_2O) \cdot ha^{-1} = (50 + 30 + 40) \cdot ha^{-1}$									
T	0-10	5,88	19,8	14,5	5,2	0,40	2,11	690	151	0,10	4,61	
	10-20	5,98	18,7	16,0	6,3	0,50	2,66	732	164	0,10	4,54	
U	0-10	5,23	21,2	15,9	6,4	0,30	2,41	700	160	0,10	5,87	
	10-20	5,91	16,0	13,1	4,9	0,30	2,54	677	157	0,10	4,84	
Z	0-10	5,37	22,9	23,1	4,8	0,50	2,70	694	176	0,10	6,53	
	10-20	5,58	18,9	12,3	5,7	0,16	1,92	630	124	0,10	3,94	
NIR _{α=0,05}	II/I	r.n.	2,21	6,12	0,59	0,29	0,61	r.n.	33,0	r.n.	0,88	
	I/II	0,49	2,60	5,97	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	21,3	r.n.	1,09	
$B_4 - (N + P_2O_5 + K_2O) \cdot ha^{-1} = (200 + 120 + 160) \cdot ha^{-1}$												
T	0-10	5,71	15,8	10,9	4,1	0,40	2,01	609	129	0,10	3,80	
	10-20	5,07	17,0	9,7	3,6	0,30	1,97	634	118	0,10	3,61	
U	0-10	5,39	19,5	17,0	6,0	0,40	2,41	683	154	0,10	5,32	
	10-20	5,63	15,2	15,9	5,6	0,30	2,24	588	146	0,10	5,07	
Z	0-10	5,22	23,0	23,2	5,2	0,66	3,04	690	162	0,16	6,36	
	10-20	5,73	17,2	14,0	6,4	0,16	2,49	681	143	0,20	4,07	
NIR _{α=0,05}	II/I	r.n.	3,12	7,03	0,66	0,37	0,48	r.n.	18,7	r.n.	1,90	
	I/II	0,44	5,09	8,98	r.n.	0,22	0,73	r.n.	27,8	r.n.	2,11	

* objaśnienia jak do tabeli 1
Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 8

Wpływ sposobu uprawy roli i poziomu nawożenia NPK w doświadczeniu polowym na zawartość składników pokarmowych w częściach
wskaźnikowych kukurydzy (średnia z lat 2003–2005)

Uprawa*	N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
	% s.m.					mg · kg ⁻¹ s.m.					
$B_2 - (N + P_2O_5 + K_2O) \cdot ha^{-1} = (50 + 30 + 40) \cdot ha^{-1}$											
T	2,26	0,29	2,32	0,49	0,30	5,57	6,21	144	124	0,42	19,2
U	2,43	0,24	1,78	0,42	0,25	4,62	6,53	128	108	0,30	19,4
Z	2,80	0,24	1,90	0,47	0,22	4,70	8,01	133	86	0,21	25,6
$B_4 - (N + P_2O_5 + K_2O) \cdot ha^{-1} = (200 + 120 + 160) \cdot ha^{-1}$											
T	2,69	0,31	2,39	0,55	0,36	5,49	6,92	162	178	0,36	26,3
U	2,68	0,28	2,21	0,49	0,28	5,20	7,55	125	127	0,29	28,5
Z	2,91	0,26	1,92	0,50	0,20	4,70	9,27	137	110	0,16	30,6
Zawartości optymalne wg Bergmana (1)											
	2,8-3,5	0,25-0,5	2,0-3,5	0,25-1,0	0,2-0,5	6-15	6-12	21-250	35-100	0,15-0,5	25-70

* objaśnienia jak do tabeli 2

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 9

Wpływ sposobu uprawy roli i poziomu nawożenia NPK w doświadczeniu polowym na zawartość składników pokarmowych w ziarnie kukurydzy (średnia z lat 2003–2005)

Uprawa*	N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
	mg · 100 g ⁻¹ s.m.					mg · kg ⁻¹ s.m.					
	$B_2 - (N + P_2O_5 + K_2O) \cdot ha^{-1} = (50 + 30 + 40) \cdot ha^{-1}$										
T	1,53	0,32	0,39	0,04	0,13	2,62	1,73	35,3	9,98	0,29	13,9
U	1,34	0,26	0,31	0,02	0,11	2,22	2,62	29,8	7,42	0,13	19,0
Z	1,30	0,26	0,30	0,02	0,10	2,16	2,18	24,4	6,39	0,08	21,5
	$B_4 - (N + P_2O_5 + K_2O) \cdot ha^{-1} = (200 + 120 + 160) \cdot ha^{-1}$										
T	1,58	0,34	0,40	0,04	0,12	2,31	2,44	29,2	7,98	0,26	20,3
U	1,50	0,27	0,34	0,03	0,11	2,08	2,34	29,0	6,74	0,20	21,4
Z	1,28	0,25-	0,30	0,02	0,10	1,96	2,52	29,2	6,14	0,09	21,5
	Dane porównawcze (wg 7)										
	1,55	0,34	0,66	0,09	0,16	2,91	4,81	40,0	24,5	0,26	35,5

* objaśnienia jak do tabeli 1

Źródło: Opracowanie własne.

warunków glebowo-klimatycznych i wymagań roślin, opracowanie jednoznacznych zaleceń lub zasad nawożenia dla systemów z uproszczeniami uprawy roli na obecnym etapie poznania jest zadaniem trudnym. Jednak zebrany dotychczas materiał eksperymentalny oraz spostrzeżenia z praktyki pozwalają stwierdzić, że do najważniejszych czynników poprawiających warunki odżywiania się roślin przy uproszczonej uprawie zaliczyć należy:

- stosowanie nawożenia „na zapas” fosforem potasem, magnezem i mikroelementami oraz wapnowania na podstawie wyników analiz chemicznych gleby i dokładne (przed rozpoczęciem uprawy bezorkowej) wymieszanie nawozów w warstwie ornej gleby;
- unikanie wysiewu nawozów w nieodpowiednich formach chemicznych i zbyt dużych dawkach;
- stosowanie odpowiedniego siewnika umieszczającego ziarno i nawozy na odpowiedniej głębokości, niezależnie od zbitości gleby i masy resztek poźniwnych;
- prowadzenie uprawy uproszczonej na glebie o dostatecznej retencji wodnej, ale o niezbyt dużej zwięzłości;
- stosowanie racjonalnego zmianowania roślin i unikanie upraw w monokulturze;
- optymalizowanie innych elementów uprawy roślin (dobór materiału siewnego, odpowiednie terminy zabiegów, racjonalna ochrona chemiczna itd.).

Podejmując decyzję o prowadzeniu uproszczeń w uprawie roli nie należy wyciągać pochopnych wniosków na podstawie wyników w początkowych latach oraz wystąpienia niekorzystnego układu warunków atmosferycznych w jednym roku. Doświadczenia krajowe i zagraniczne wskazują, że na stabilizację agrosystemu oczekiwać należy 4-8 lat od rozpoczęcia uproszczeń w uprawie roli (12).

Literatura

1. Bergmann W.: Bemerkungen und Tabellen zur analytischen Pflanzendiagnose der Pflanzen - oder Blattanalyse. VEB Gustav-Fischer-Verlag, Jena, 1986, 1-38.
2. Buah S., Polito T., Killorn R.: No-tillage corn response to placement of fertilizer nitrogen, phosphorus and potassium. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 2000, **31(19-20)**: 3121-3133.
3. Crozier C.R., Naderman G.C., Tucker M.R., Sugg R.E.: Nutrient and pH stratification with conventional and no-till management. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 1999, **30: 1-2**: 65-74.
4. Cruz J.C.: Effect of crop rotation and tillage systems on some soils properties. Root Distribution and Crop Production. PhD Thesis. Purdue University, 1982, 3-73.
5. Czuba R.: Zasady stosowania nawozów mineralnych na gruntach ornych. W: Nawożenie mineralne roślin uprawnych. Praca pod red. R. Czuby. Wyd. Zakłady Chemiczne Police SA, 1996, 85-174.
6. Fick A.: Fertilizers and fertilization. Verlag Chemie GmbH, D-6940 Weinheim, 1982, 1-438.
7. Fotyma M., Mercik S.: Chemia rolna. PWN Warszawa, 1995, 1-356.
8. Franzluebbers A.J., Hons F.M.: Soil-profile distribution of primary and secondary plant-available nutrient under conventional and no tillage. Soil Till. Res., 1996, **39**: 229-239.
9. Gorlach E., Mazur T.: Chemia rolna. PWN Warszawa, 2001, 1-347.
10. Lal R., Fausey N.R., Brown L.C.: Drainage and tillage effects on leaf tissue nutrient contents of corn and soybeans on Crosby-Kokomo soils in Ohio. Proc. 7-th Intern. Drain. Symp., Orlando, 1998, **3**: 465-471.

11. M a k u s D. J.: Soil but not sweet corn ear nutrients are affected by conservation tillage. *J. Veget. Crop Prod.*, 2002, **8(2)**: 49-63.
12. R h o r t o n F. E.: Influence of time on soil response to no-till practices. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 2000, **64**, **2**: 700-709.
13. S e l l e s F., M e C o n k e y C. A.: Distribution and forms of P under cultivator and zero tillage for continuous and fallow wheat cropping systems. *Soil Till. Res.*, 1999, **51(1-2)**: 47-59.
14. W ł o d e k S., H r y ŋ c z u k B., P a b i n J., B i s k u p s k i A.: Zawartość składników pokarmowych w warstwach poziomu próchniczego gleby uprawianej różnymi sposobami. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2003, **493**: 727-732.
15. W r ó b e l S., P a b i n J., M i c k i e w i c z A.: Wpływ uproszczeń uprawy roli na dostępność składników pokarmowych w monokulturze kukurydzy. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2007 (w druku).

Adres do korespondencji:

doc. dr hab. Stanisław Wróbel
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli
IUNG-PIB
ul. Orzechowa 61
50-540 Wrocław
tel./fax: 071 363 87 07 wew. 122
email: s.wrobel@iung.wroclaw.pl

Andrzej Biskupski

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

AGROTECHNICZNE SPOSOBY PRZYWRACANIA ZDOLNOŚCI PRODUKCYJNEJ GLEBOM ODŁOGOWANYM*

Wstęp

Gleby wyłączone z produkcji rolniczej i pozostawione bez kontroli człowieka ulegają degradacji wyrażającej się zmianami we właściwościach fizycznych oraz silnym zachwaszczeniem (7, 10, 11, 17).

Definicje ugorów i odłogów

W piśmiennictwie rolniczym definicje ugorów i odłogów przez wielu autorów są różnie interpretowane i uzasadniane. Według R o l i (16):

Ugór, to powierzchnia pola wyłączona z rolniczego użytkowania na okres 1-2 lat, na której wykonywana jest odpowiednia pielęgnacja mechaniczno-chemiczna (ugór czarny) lub pole pozostawione bez uprawy mechanicznej, zarastające samoistnie chwastami segetalnymi i samosiewami zbóż (ugór zielony). Stopień pokrycia i rozwój roślinności na ugorze zielonym może być regulowany odpowiednimi herbicydami.

Odłóg, to powierzchnia gruntów porolnych pozostawiona bez ingerencji rolnika przez wiele lat, która początkowo zarasta roślinnością segetalną (np. miotła zbożowa, fiołek), a następnie ruderalną (perz, ostrożeń, pokrzywa) oraz mało wartościowymi gatunkami krzewów i drzew (np. jeżyna, wierzba, brzoza, olcha i inne). Stopień zarastania wieloletnich odłogów może być także regulowany i ograniczany odpowiednimi herbicydami.

Problem odłogów w naszym kraju pojawił się z końcem lat 80. w wyniku restrukturyzacji byłych PGR i Spółdzielni Produkcyjnych. Ponadto wielu rolników posiadających małe gospodarstwa położone na glebach lekkich, piaszczystych zaliczanych do 5 i 6 kompleksu przydatności rolniczej, głównie z powodów ekonomicznych, przestało obsiewać swoje pola i zgłaszało je do Urzędów Gmin jako odłogi (9, 12). Odłogowano przeważnie obszary gleb, na których poprzednio uprawiano głównie żyto, owies,

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.4 w programie wieloletnim IUNG - PIB

łubin i ziemniaki, a więc gleb słabych, wytworzonych z piasków, a także terenów podgórskich i górskich oraz pól odległych od zabudowań gospodarstwa.

W roku 1990 udział ziemi wyłączanej z produkcji wynosił ponad 27 tys. ha (0,2% gruntów ornych). W 2001 roku w gospodarstwach indywidualnych było już ponad 800 tys. hektarów odlogów i ugorów, a w roku 2002 ponad dwa razy więcej, czyli 1,8 mln hektarów (13); (rys. 1). Oznaczało to, że około 14% z 14 mln hektarów gruntów ornych nie było uprawiane, czyli prawie co szósty hektar gruntów ornych leżał odlogiem (16).

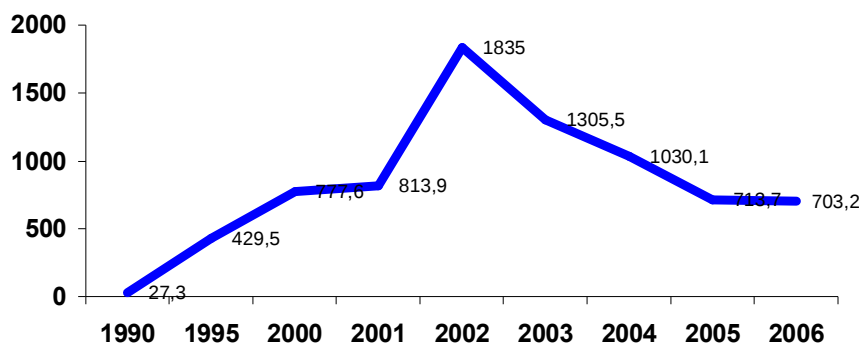
Prace przedakcesyjne i przyjęcie Polski do Unii Europejskiej zahamowały ten proces. Napływ kapitału i dopłaty strukturalne wzmożyły zainteresowanie uprawą odlogów i tematyką badawczą związaną z tym zagadnieniem, w szczególności nawiązującą do proekologicznych rozwiązań obowiązujących w Unii Europejskiej. Pomimo tych rozwiązań problem ugorów i odlogów nadal istnieje.

Udział odlogów i ugorów jest bardzo zróżnicowany regionalnie (rys. 2). Waha się on od 12 tys. ha (woj. opolskie), do 118 tys. ha (mazowieckie). Wśród czynników powodujących odlogowanie ziemi należy wymienić rozdrobnienie agrarne, a także małą konkurencyjność produkcji rolniczej w strefach podmiejskich. Ponadto niektórzy wyłączają ziemię z produkcji, ponieważ liczą, że po pewnym czasie będą mogli ją sprzedać z zyskiem pod różnego typu inwestycje.

Procesy zachodzące na glebach odlogowanych

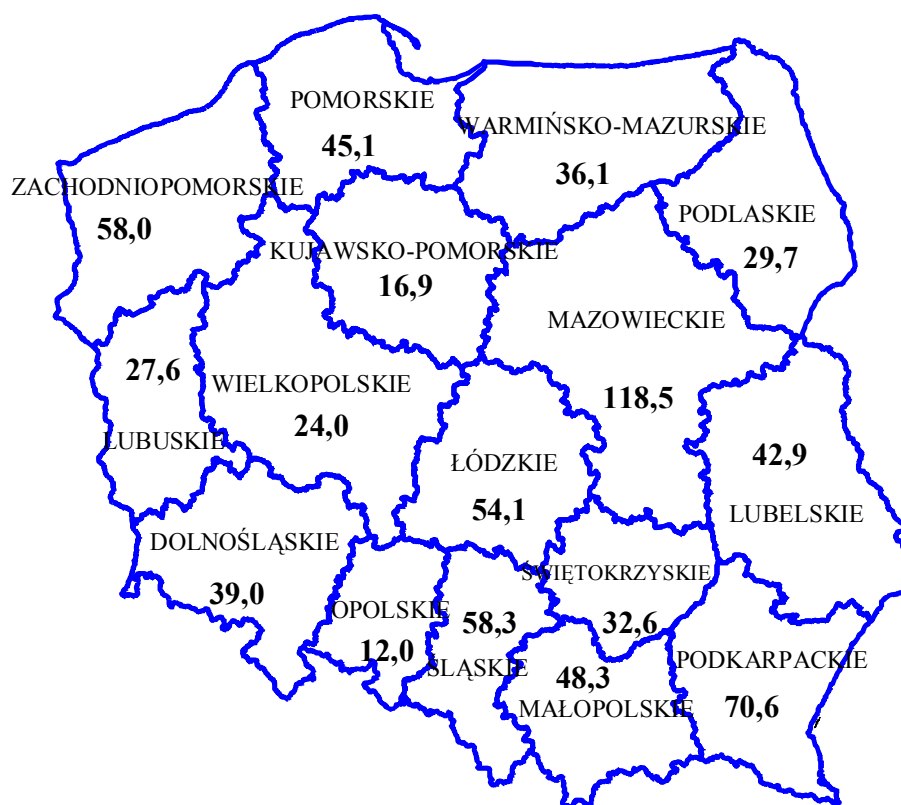
W glebach odlogowanych zachodzą różnego rodzaju procesy, takie jak:

- sukcesja wtórna, zmierzająca do odtworzenia się naturalnego zbiorowiska charakterystycznego dla lokalnych warunków środowiskowych (18). Jej stadia są zazwyczaj nieco odmienne od występujących w trakcie sukcesji pierwotnej,



Rys. 1. Powierzchnia odlogów i ugorów na gruntach ornych w gospodarstwach indywidualnych (tys. ha)

Źródło: GUS (5).



Rys. 2. Powierzchnia odłogów i ugorów na gruntach ornych w gospodarstwach indywidualnych w 2005 roku (tys. ha)

Źródło: GUS (6).

inny jest bowiem jej punkt startowy. Sukcesja wtórna prowadzi do prawie całkowitego odtworzenia się ekosystemów o dość prostej strukturze zarówno przestrzennej, jak i pokarmowej. Najczęściej w dwóch pierwszych latach zaczynają występować chwasty, takie jak: miotła zbożowa i perz, a w trzecim roku – skrzyp, ostrożeń, szczaw. W kolejnych latach na odłogach pojawiają się krzewy i samosiewy drzew, a ponadto występują takie zjawiska, jak:

- zmiany we właściwościach fizycznych (wilgotność, gęstość i zwięzłość);
- degradacja próchnicy; najbardziej narażone na degradację są lekkie gleby piaszczyste, o cienkiej warstwie próchnicznej;
- wymywanie azotu do głębszych warstw gleby. Zwiększa się zawartość azotu mineralnego, zwłaszcza $N-NO_3$, w dolnych warstwach gleby odłogowanej, co w konsekwencji może prowadzić do zanieczyszczenia wód (8);
- erozja zarówno wietrzna, jak i wodna;
- nagromadzanie się diaspor chwastów, czyli wszystkich elementów roślin służących do rozsiewania, pochodzenia wegetatywnego bądź generatywnego.

Oprócz tego na glebach odłogowanych mogą występować choroby (septoriozy, zgorzele, zarazy, rdze) i szkodniki.

Aby przeciwdziałać tym niekorzystnym zjawiskom dąży się do zagospodarowania odłogów.

Sposoby zagospodarowania odłogów w zależności od potrzeb gospodarczo-społecznych

- **Zalesianie**, pod które ze względów organizacyjno-ekologicznych najbardziej nadają się odłogujące pola usytuowane na styku istniejących kompleksów leśnych (16). Mankamentem tego sposobu zagospodarowania gruntów są wysokie koszty związane z zalesianiem, odchwaszczaniem nowo założonej plantacji, zwalczaniem chorób grzybowych i szkodników.

- **Zakładanie plantacji świerka, wikliny i roślin energetycznych**. Małe powierzchnie odłogów rozmieszczone wśród pól uprawnych doskonale nadają się do zakładania plantacji świerka na choinki oraz wikliny do wyrobów przemysłu wikliniarskiego (16). Atrakcyjne, zwłaszcza na odłogujących glebach podmokłych, może być również zakładanie plantacji roślin energetycznych, wierzby, topoli itp.

- **Tworzenie terenów rekreacyjnych**. Odłogi na gruntach porolnych rozmieszczone w pobliżu aglomeracji miejskich i ośrodków przemysłowych mogą być także wykorzystywane dla celów rekreacyjnych, jak np. pola biwakowe, tereny do uprawiania sportów hipicznych, motorowo-rowerowych lub pola golfowe itp. (16). W obrębie miast zwykle na tego typu działalność jest brak odpowiedniego miejsca.

- **Pozostawienie odłogów jako tzw. „nisze ekologiczne”**. W wielu przypadkach odłogi na gruntach porolnych można pozostawić jako „nisze” ekologiczne (użytki ekologiczne), czyli zbiorowiska naturalnej roślinności (oczka wodne, bagienka); (16). Na obszarach takich mogłaby się rozwijać naturalna szata roślinna jako siedlisko dla ptactwa i drobnej zwierzyny. Pełniłyby one funkcję „małych rezerwatów” przyrody z możliwością wykorzystania ich do rozwoju edukacji ekologicznej miejscowego społeczeństwa. Potwierdzeniem celowości takich działań mogą być przykłady stosowane od wielu lat w innych krajach Europy (Anglia, Francja).

- **Wykorzystanie na cele rolnicze**, zwłaszcza odłogów rozmieszczonych na lepszych klasach bonitacyjnych gleb (III i IV). Na takich gruntach można z powodzeniem uprawiać żyto, pszenżyto, owies i kukurydzę.

Sposoby likwidacji odłogów

W celu rolniczego zagospodarowania odłogów można stosować różne sposoby (4, 12, 14):

- **mechaniczny (uprawowy)**, gdy likwidacja odłogu odbywa się tylko przy wykorzystaniu podstawowych narzędzi i maszyn uprawowych (fot. 1);
- **mechaniczno-chemiczny** (fot. 2), gdy łączy się uprawę tradycyjną (konwencjonalną) z odchwaszczającym działaniem herbicydów (najczęściej Roundup);



Fot. 1. Sposób mechaniczny likwidacji odłogu. Fot. Andrzej Biskupski



Fot. 2. Sposób mechaniczno-chemiczny likwidacji odłogu. Fot. Andrzej Biskupski

- **chemiczny** (fot. 3), gdy dla usunięcia okrywy roślinnej z pola stosuje się tylko herbicydy i siew bezpośredni (uprawa zerowa), czyli siew specjalnym siewnikiem w glebę nieuprawioną (fot. 4).

Ważnym elementem w przywracaniu odlogów jest nie tylko dobór odpowiedniego sposobu uprawy roli, ale również zaplanowanie odpowiedniego następstwa roślin (9). Szczególnie przydatne do tego celu są rośliny wysokie, dobrze zacieniające glebę, o intensywnym początkowym wzroście, o dużych możliwościach doboru do ich ochrony herbicydów oraz rośliny przeznaczone na zieloną paszę, wielokośne lub o krótkim okresie wegetacji.

W zależności od długości trwania odlogu można stosować różne metody uprawy. I tak, gdy odlogowanie pola było stosunkowo krótkie (2-3 lata), a chwastów wieloletnich i rozłogowych jest bardzo mało należy skosić lub rozdrobnić zieloną masę chwastów, a po ich przeschnięciu intensywnie talerzować w celu pocięcia darni (9). Tak przygotowane pole należy po 1-2 tygodniach głęboko zaorać, by wierzchnia warstwa gleby znalazła się na dnie bruzdy. W tym celu należy wykonać orkę głęboką z przedplużkiem – najlepiej późną jesienią, a wiosną zastosować płytką uprawę przedsiewną i jak najszybciej wysiać roślinę zbożową o dużej konkurencyjności względem chwastów (owies lub mieszanka zbożowa) o zwiększonej o 5-10% normie wysiewu nasion. Można również uprawiać rośliny późnego siewu, na przykład jednoroczne rośliny pa-



Fot. 3. Sposób chemiczny likwidacji odlogu. Fot. Andrzej Biskupski



Fot. 4. Siew bezpośredni (uprawa zerowa). Fot. Andrzej Biskupski

stewne na zielonkę, po intensywnym zwalczaniu chwastów przed siewem poprzez bronowanie. Ten sposób powoduje jednak znaczne przesuszenie gleby i większe ryzyko niepowodzenia.

W przypadku odłogów wieloletnich, mocno zadarnionych, z dużą liczbą chwastów wieloletnich i rozłogowych, należy zastosować oprócz zabiegów uprawowych i odpowiedniego następstwa roślin, również herbicydy (9). W tej sytuacji, w zależności od stanu zachwaszczenia pola i okresu wegetacyjnego, powinno się zastosować oprysk herbicydem o działaniu nieselektywnym, na przykład preparatem zawierającym glifosat (Roundup). Jego stosowanie obniża koszty i ułatwia zagospodarowanie odłogu, gdyż niszczona jest cała roślina, łącznie z systemem korzeniowym. Jeżeli na odłogach jest dużo chwastów rozłogowych i wieloletnich, jest to właściwie jedyny skuteczny sposób zagospodarowania takiego pola. W metodzie z herbicydem proces zwalczania chwastów można rozpocząć w każdym czasie, pod warunkiem, że chwasty będą mogły wchłonać zaaplikowany herbicyd (są w pełni wegetacji).

Wyniki badań

Spostrzeżenia te znajdują potwierdzenie w wynikach badań prowadzonych przez IUNG. W doświadczeniu (1997–1999) zlokalizowanym w Stacji Doświadczalnej IUNG w Jelczu-Laskowicach na glebie płowej, od kilku lat odłogowanej, wytworzonej z piasku słabo gliniastego o niskiej zawartości próchnicy (0,70 % C_{org}), bardzo kwaśnym odczynie (pH w KCl = 4,2) i dobrej zasobności w fosfor i potas porównywano 2 czynniki. Pierwszym były dwa sposoby zagospodarowania słomy: słoma zbierana z pola i pozostawiana na polu w postaci sieczki. Drugim – trzy systemy uprawy roli: uprawa tradycyjna (T) – uprawa poźniwna wykonana agregatem do uprawy poźniwnej (kultywator o sztywnych łapach, brona talerzowa, wał strunowy), orka przedsiewna (0-25 cm) i przedsiewne doprowadzenie roli (brona ciężka i lekka); uprawa uproszczona – bezpłużna (U) – agregatem do uprawy poźniwnej (10-15 cm) i uprawa zero-wa (Z) – chemiczne zwalczanie chwastów i siew ziarna w niespulchnioną glebę siewnikiem do siewu bezpośredniego z redlicami tarczowymi (15). Ocenę zachwaszczenia żyta wykonano metodą agrofitosocjologiczną. Sposób przeprowadzenia obserwacji i pomiarów był zgodny z metodyką badań (3).

W pierwszym roku (1996/97) po zagospodarowaniu gleby odłogowanej uzyskano bardzo niskie plony żyta na wszystkich porównywanych obiektach (tab. 1). W drugim roku były one już znacznie wyższe i zróżnicowane ze względu na uprawę roli. Istotnie niższe plony były na siewie bezpośrednim zarówno w stosunku do osiągniętych w warunkach uprawy tradycyjnej, jak i uproszczonej. Dalszy progres plonów wystąpił w trzecim roku badań (1999). Najwyższy, potwierdzony statystycznie plon uzyskano w warunkach uprawy prowadzonej systemem płużnym. Na obiektach z uprawą bezpłużną i siewem bezpośrednim uzyskano mniejszy plon, lecz między tymi wariantami nie był on istotnie zróżnicowany. Przeciętnie za okres trzech lat plon ziarna żyta w uprawie płużnej był istotnie wyższy w stosunku do osiąganego na pozostałych obiektach uprawowych. Obniżki plonów z obiektów o uproszczonej uprawie mieściły się w granicach 21-32% w stosunku do wydajności uzyskanej przy uprawie tradycyjnej (płużnej).

Pozostawianie na polu słomy w postaci sieczki lub zbieranie jej z pola nie przyniosło różnic w plonach ziarna żyta we wszystkich stosowanych systemach uprawowych (tab. 1). Jedynie w roku 1999 wystąpiła tendencja do niższego plonowania na obiektach z pozostawioną słomą, zwłaszcza przy stosowaniu siewu bezpośredniego. Zjawisko to może wynikać z niewłaściwego umieszczenia ziarna w glebie w czasie siewu siewnikiem z redlicami tarczowymi. W takich warunkach zdarza się bowiem dość często, że wysiane ziarno znajduje się na warstwie słomy wciśniętej w glebę przez redlicę siewnika. Nie zapewnia to odpowiednich warunków do kiełkowania i wschodów, a w konsekwencji do rozwoju i plonowania roślin.

Duże zróżnicowanie plonowania w poszczególnych latach było silnie związane ze stanem zachwaszczenia roślin żyta (tab. 2). Największa ilość chwastów wystąpiła w pierwszym roku i wtedy także plony żyta były najniższe. W następnych latach, tj. w drugim i trzecim roku, zachwaszczenie znacznie zmniejszyło się, a plony radykalnie

Tabela 1

Wpływ różnych sposobów uprawy roli na plon ziarna żyta ozimego ($t \cdot ha^{-1}$)

Słoma	Uprawa*	Rok			Średnia
		1997	1998	1999	
Usunięta z pola	T	0,99	2,55	4,02	2,52
	U	0,87	2,48	2,90	2,08
	Z	0,86	1,45	3,24	1,85
Średnia		0,91	2,16	3,39	2,15
Pozostawiona na polu	T	0,90	3,06	3,78	2,58
	U	0,85	1,98	2,98	1,94
	Z	0,84	1,46	2,62	1,64
Średnia		0,86	2,17	3,13	2,05
Średnia	T	0,94	2,80	3,90	2,55
	U	0,86	2,23	2,94	2,01
	Z	0,85	1,46	2,93	1,74
Średnia		0,88	2,16	3,26	2,10
NIR _(0,05) słoma (s)		r.n.**	r.n.	r.n.	r.n.
uprawa (u)		r.n.	0,63	0,62	0,30
lata (l)					0,23
interakcja (l · u)					0,44

* T – tradycyjna, U – uproszczona, Z – zerowa

** różnice nieistotne

Źródło: Badania własne.

Tabela 2

Wpływ różnych sposobów uprawy roli na zachwaszczenie żyta ozimego (%)

Słoma	Uprawa*	Rok			Średnia
		1997	1998	1999	
Usunięta z pola	T	78,0	23,5	27,5	43,0
	U	60,5	17,5	19,0	32,3
	Z	67,5	29,5	17,5	38,2
Średnia		68,7	23,5	21,3	37,8
Pozostawiona na polu	T	67,0	34,5	29,5	43,7
	U	62,0	25,5	17,5	35,0
	Z	60,0	22,0	23,0	35,0
Średnia		63,0	27,3	23,3	37,9
Średnia	T	72,5	29,0	28,5	43,4
	U	61,2	21,5	18,2	33,6
	Z	63,8	25,8	20,2	36,6
Średnia		65,8	25,4	22,3	37,9

* objaśnienia jak w tabeli 1

Źródło: Badania własne.

wzrosły. Niemniej w ostatnim roku (1999) istotnego zmniejszenia plonów w przypadku uprawy roli prowadzonej sposobami uproszczonymi nie można wiązać tylko z zachwaszczeniem, gdyż na tych obiektach było ono mniejsze niż w uprawie płuźnej.

Inne 2-czynnikowe doświadczenie (trzyletnie) założono na kilkuletnim odłogu (2). W pierwszym roku porównywano trzy obiekty I czynnika: uprawowo-melioracyjny (rozdrobienie części nadziemnych, uprawa broną talerzową i głęboka orka), tradycyjny uprawowo-chemiczny (oprysk herbicydem, uprawa broną talerzową i orka zimowa) oraz bez uprawy – siew bezpośredni (oprysk herbicydem oraz siew siewnikiem do siewu bezpośredniego). Wiosną na wszystkich obiektach zastosowano nawożenie NPK i wysiano kukurydzę, którą odchwaszczono herbicydami. Drugim czynnikiem były dwa sposoby uprawy roli pod żyto i owies, w drugim i trzecim roku badań (uprawa tradycyjna, siew bezpośredni) nałożone na obiekty I czynnika.

Nie stwierdzono wpływu stosowanych sposobów uprawy roli na plonowanie kukurydzy (tab. 3). W drugim roku wykazano istotne różnicowanie plonowania owsa w zależności od zagospodarowania odłogu i sposobu uprawy roli. Najwyższy jego plon uzyskano na obiekcie z siewem bezpośrednim, stosowanym po tradycyjnej uprawie pod kukurydzę. Najmniej korzystnym okazał się obiekt uprawowo-melioracyjny. W ostatnim roku badań tylko sposoby uprawy roli istotnie różnicowały plonowanie żyta; najkorzystniejsza okazała się uprawa tradycyjna.

Analiza zachwaszczenia pól wykazała duże różnicowanie stanu i stopnia zachwaszczenia (tab. 4). Gatunkiem dominującym w grupie chwastów jednoliściennych był *Agropyron repens*, a w grupie dwuliściennych jednorocznych *Chenopodium album* i *Polygonum convolvulus*. W małym nasileniu wystąpiły gatunki dwuliścienne wielo-

Tabela 3

Plon ziarna roślin uprawnych ($t \cdot ha^{-1}$)

Sposób zagospodarowania odłogu	Kukurydza 1998	Sposoby uprawy roli	Owies 1999	Żyto 2000	Średnia 1999–2000
Uprawowo-melioracyjny	7,88	uprawa tradycyjna	4,36	2,70	3,53
		siew bezpośredni	3,93	1,86	2,90
		średnia	4,15	2,28	3,22
Tradycyjny uprawowo-chemiczny	7,98	uprawa tradycyjna	4,61	2,66	3,64
		siew bezpośredni	5,01	2,01	3,51
		średnia	4,81	2,33	3,57
Bez uprawy mechanicznej – siew bezpośredni	8,35	uprawa tradycyjna	5,11	2,53	3,82
		siew bezpośredni	4,23	1,66	2,95
		średnia	4,68	2,10	3,39
Średnia	8,07	średnia dla uprawy tradycyjnej	4,69	2,63	3,66
		średnia dla siewu bezpośredniego	4,39	1,84	3,12
		średnia	4,54	2,24	3,39
NIR _{0,05} zagospodarowanie odłogu sposoby uprawy roli lata	r.n.*		0,32 0,22	r.n. 0,24	0,23 0,16 0,16

* różnice nieistotne

Źródło: Badania własne.

Tabela 4

Ocena agrofitosocjologiczna – stan zachwaszczenia

Gatunki chwastów i stopień pokrycia gleby	Obiekty														
	uprawowo- melioracyjny (A)					tradycyjny uprawowo- chemiczny (B)					bez uprawy mechanicznej siew bezpośredni (C)				
	1998	1999		2000		1998	1999		2000		1998	1999		2000	
		a*	b**	a	b		a	b	a	b		a	b	a	b
Gatunki jednoliścienne															
<i>Agropyron repens</i>	1	1	1	1	1	2	1	1	2	3	1	1	1	1	1
<i>Apera spica-venti</i>	•	+	+	1	1	•	+	+	1	1	•	1	1	1	1
<i>Echinochloa crus-galli</i>	2	+	+	•	•	3	+	+	•	•	3	+	+	•	•
Gatunki dwuliścienne jednoroczne															
<i>Chenopodium album</i>	5	•	•	•	•	13	•	•	•	•	5	•	•	•	•
<i>Polygonum convolvulus</i>	3	•	•	+	+	4	•	•	+	+	11	+	+	1	1
Gatunki dwuliścienne wieloletnie															
<i>Cerastium arvense</i>	+	•	•	•	•	1	•	•	•	•	•	•	•	•	•
<i>Equisetum arvense</i>	+	•	•	+	+	1	•	•	•	•	1	•	•	+	+
Pokrycie przez roślinę uprawną (%)	65	85	85	85	80	55	85	85	80	80	45	85	80	80	75
Pokrycie przez chwasty ogółem (%)	14	5	6	5	7	25	6	6	8	7	20	5	6	7	10

a* uprawa tradycyjna

b** siew bezpośredni

Gatunki występujące sporadycznie: *Centaurea jacea* C – 1998/0,2; 1999/+; *Geranium pratense* A – 1998/+;*Plantago lanceolata* B – 1998/+; C – 1998/0,2; *Polygonum aviculare* B – 1998/+; *Sinapis arvensis* A – 1998/+; B – 1998/0,2

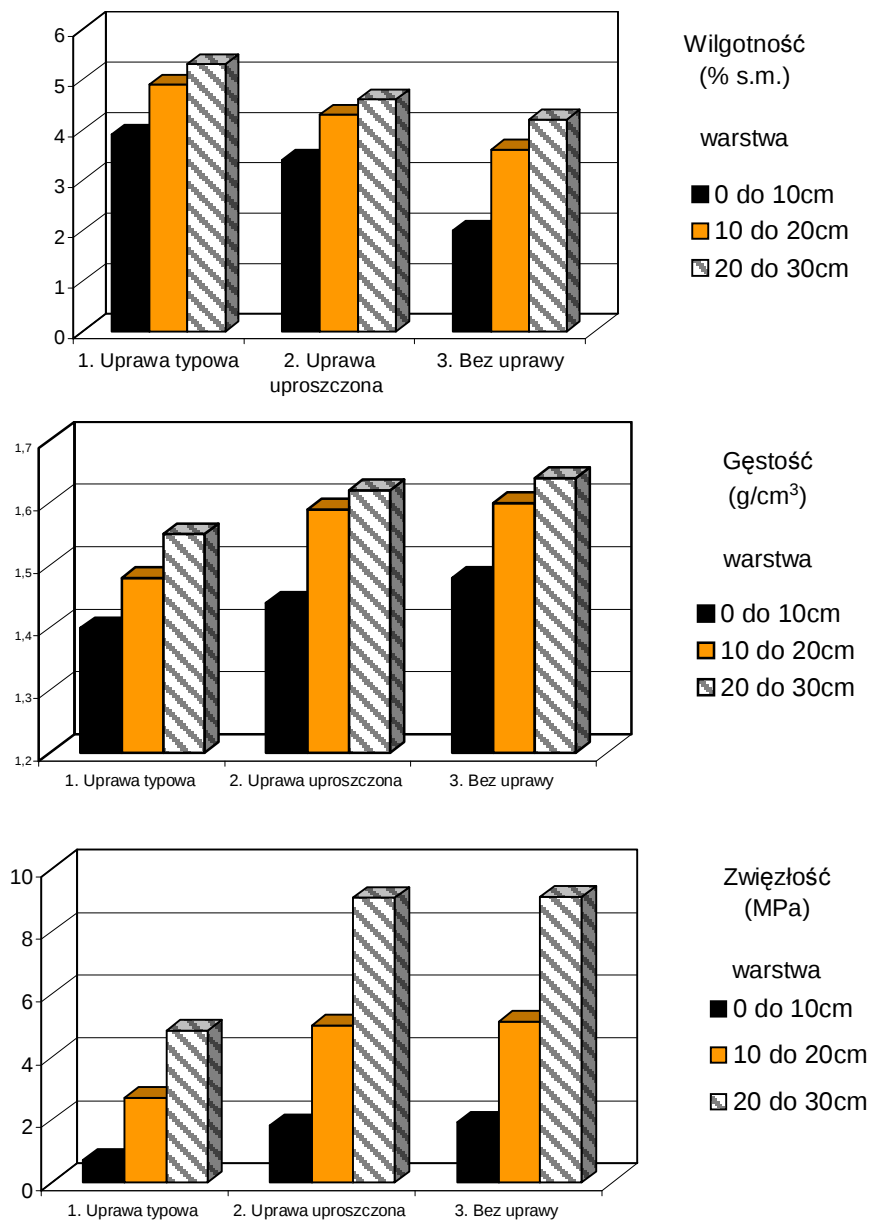
• gatunek nie wystąpił

Źródło: Badania własne.

letnie. Największe pokrycie gleby przez chwasty wystąpiło w pierwszym roku badań na wszystkich badanych obiektach.

Trzecie jednoczynnikowe doświadczenie polowe przeprowadzono w latach 1997–1999 w Stacji Doświadczalnej IUNG w Jelczu-Laskowicach na piasku słabo gliniastym (1). Na wieloletnim odłogu porównywano trzy sposoby uprawy roli: uprawę typową, uprawę uproszczoną (o ograniczonej liczbie zabiegów) + herbicydy oraz siew bezpośredni (bez uprawy) + herbicydy.

Po siewie, w pełni wegetacji i przed zbiorem roślin w warstwach 0-10, 10-20 i 20-30 cm oznaczano wilgotność, gęstość i zwięzłość gleby. Stwierdzono, że uprawa uproszczona i siew bezpośredni zwiększały gęstość i zwięzłość badanych warstw gleby (0-30 cm) oraz obniżały jej wilgotność (rys. 3).



Rys. 3. Właściwości fizyczne gleby (średnie z lat 1997–1999)

Źródło: Wyniki własne.

Podsumowanie

Podanie precyzyjnych zaleceń dotyczących zagospodarowania odłogów nie jest sprawą prostą, bowiem do każdego gospodarstwa należy podejść indywidualnie ze względu na jego specyfikę. W związku z tym dla każdego obiektu optymalne rozwiązanie będzie inne. Nie ulega jednak wątpliwości, że koszty całego postępowania będą wysokie ze względu na ponoszone nakłady związane z pracami uprawowymi, a także zakupem herbicydów, nasion, nawozów mineralnych (stosowanych co najmniej w dawkach zalecanych pod uprawiane rośliny), wapnowaniem i wykonaniem analiz chemicznych, a uzyskane plony niektórych roślin będą stosunkowo małe. Należy zdać sobie również sprawę, że w większości przypadków w pierwszym roku zagospodarowywania odłogów nie uzyskamy zadowalających plonów.

W badaniach IUNG przywracanie gleb odłogowanych (często piaszczystych) do produkcji rolniczej (monokultura żyta) zarówno w warunkach zbierania słomy z pola, jak również pozostawiania jej w postaci siewki, poprzez uprawę bezpłuczną (zerową i uproszczoną) wykazało gorszą przydatność niż stosowanie uprawy tradycyjnej (płuczonej). W badanych warunkach glebowo-klimatycznych negatywny efekt stosowanych uproszczeń w uprawie roli wiązał się ze wzrostem gęstości i zwężłości gleby oraz z niekorzystną dla roślin gospodarką wodną.

Zachwaszczenie tylko w pierwszym roku po zlikwidowaniu odłogu było czynnikiem limitującym plon ziarna żyta niezależnie od systemu uprawy roli. W następnych dwóch latach chemiczne zwalczanie chwastów prowadzone w wariantach uproszczonej uprawy roli było bardziej skuteczne niż przy stosowaniu uprawy płuczonej.

Porównywane sposoby zagospodarowania odłogu nie różnicowały w sposób istotny plonowania kukurydzy. Wpływ na plonowanie roślin następczych wywarły natomiast sposoby uprawy roli. Najwyższy plon uzyskano na obiektach z siewem bezpośrednim i tradycyjnym systemem zagospodarowania odłogu, na które nałożono siew bezpośredni i uprawę tradycyjną. Zdecydowanie wysokie pokrycie pola chwastami wystąpiło w pierwszym roku badań, a w następnych dwóch latach uległo ono znacznemu zmniejszeniu na wszystkich obiektach doświadczenia. Eliminowanie uprawy roli powodowało wzrost gęstości i zwężłości oraz spadek uwilgotnienia gleby w porównaniu z wartością tych cech stwierdzoną w warunkach typowej uprawy płuczonej.

Literatura

1. Biskupski A., Kaus A., Włodek S., Pabin J.: Niskonakładowe sposoby utrzymywania w sprawności gruntów czasowo wyłączonych z produkcji. *Mat. XIX Międzynarod. Konf. Nauk. „Inżynieria procesowa w ochronie środowiska”*. Opole - Jamrozowa Polana, 2001, 11-16.
2. Biskupski A., Włodek S., Pabin J.: Ocena sposobów przywracania rolniczej funkcji glebom odłogowanym. *Pam. Puł.*, 2003, **132**: 7-14.
3. Domaradzki K., Badowski M., Filipiak K., Franek M., Gołębiowska H., Kieloch R., Kucharski M., Rola H., Rola J., Sadowski J., Sekutowski T., Zawerbny T.: Metodyka doświadczeń biologicznej oceny herbicydów, bioregulatorów i adiuwantów. *Cz. I. Doświadczenia polowe. IUNG Puławy*, 2001, 1-167.

4. D z i e n i a S.: Zasady gospodarowania na terenach czasowo wyłączonych z produkcji rolnej. Bibl. Fragm. Agron., 1998, **5**: 13-22.
5. G U S, [dostęp 20.03.2007], dostępny w internecie: <http://www.stat.gov.pl/cps/rde/xchg/gus>
6. G U S, [dostęp 20.03.2007], dostępny w internecie: http://www.stat.gov.pl/gus/rolnic_lesnict_srodowi_PLK_HTML.htm
7. K a r ł o w s k i J.: Zagospodarowujemy odłogi. PWRiL Warszawa, 1954.
8. K o c J., C i e ć k o C., J a n i c k a R., R o c h w e r g e r A.: Czynniki kształtujące poziom mineralnych form azotu w wodach obszarów rolniczych. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1996, **418**: 37-44.
9. K o r d a s L.: Sposoby na odłogi. Farmer, 2005, **23**: 20-21.
10. K r a s o w i c z S., F i l i p i a k K.: Czynniki decydujące o regionalnym zróżnicowaniu odlogów w Polsce. Bibl. Fragm. Agron., 1998, **5**: 25-34.
11. K r ę ż e l R., M i k ł a s z e w s k i S.: Wtórna sukcesja odłogu na glebie lekkiej. Mat. Kraj. Symp. „Dynamika zachwaszczenia pól uprawnych”. IUNG Puławy, 1987.
12. K u r o w s k i T. P., M a r k s M., N o w i c k i M., K u r o w s k a A.: Następczy wpływ sposobu zagospodarowania odlogów na zdrowotność roślin. Ann. UMCS, E, 2004, **59(4)**: 1789-1796.
13. Mały Rocznik Statystyczny. GUS Warszawa, 2002.
14. M a r k s M., N o w i c k i J., S z w e j k o w s k i Z.: Odłogi i ugory w Polsce. Cz. II. Sposoby zagospodarowania. Fragm. Agron., 2000, **1**: 20-34.
15. P a b i n J., W ł o d e k S., B i s k u p s k i A.: Ocena przydatności niektórych sposobów rolniczej rekultywacji odlogów. Roczn. Glebozn., 2004, 55(2): 321-330.
16. R o ł a J.: Przywracanie odlogów i ugorów do uprawy. W: Upowszechnianie zasad dobrej praktyki rolniczej. IUNG Puławy, Mat. szkol., 2003, **87/03**: cz. 2, 173-180.
17. Ś w i ę t o c h o w s k i B.: Ogólna uprawa roślin. PWRiL Warszawa, 1969, 709-717.
18. Wikipedia: Sukcesja wtórna. [dostęp 05.05.2007], dostępny w internecie: http://pl.wikipedia.org/wiki/Sukcesja_wt%C3%B3rna

Adres do korespondencji:

dr Andrzej Biskupski
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli
IUNG - PIB
ul. Orzechowa 61
50-540 Wrocław
tel. (071) 363-87-07, wew. 109
e-mail: biskupand@poczta.onet.pl

Stanisław Włodek

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

MOŻLIWOŚĆ WYKORZYSTANIA ŚCIEKÓW I OSADÓW ŚCIEKOWYCH W UPRAWIE ROŚLIN ENERGETYCZNYCH*

Wstęp

Działania zmierzające do ograniczenia zmian klimatycznych koncentrują się przede wszystkim na zmniejszeniu emisji gazów cieplarnianych do atmosfery. Nasz kraj zobowiązany jest do realizacji zadań wynikających z postanowień protokołu z Kioto, a przedstawionych w dokumencie „Polityka energetyczna Polski do roku 2025” (23). Zakłada ona zwiększenie ilości energii pozyskiwanej z odnawialnych źródeł do poziomu 7,5% do roku 2010 oraz 14% do roku 2025. Według tego dokumentu głównym źródłem odnawialnej energii ma być biomasa oraz energia wiatrowa. Wymienione zadania zostały zapisane również w „Strategii rozwoju obszarów wiejskich i rolnictwa na lata 2007–2013 z elementami prognozy do roku 2020” (24).

Problemem dotyczącym w głównej mierze wsi polskiej jest ochrona środowiska w zakresie gospodarki wodno-ściekowej. Szybko postępujące wodociągowanie gospodarstw domowych nie idzie w parze ze wzrostem ilości przyłączy do kanalizacji (8). Oczyszczanie ścieków jest kosztowne, szczególnie w sytuacji rozproszonej zabudowy, gdzie dostarczenie ścieków do oczyszczalni wymaga budowy rozległych sieci kanalizacyjnych. Wzrost ilości oczyszczanych ścieków stwarza problem zagospodarowania osadów ściekowych.

Końcowe lata XX wieku były okresem dynamicznych zmian, które dotyczyły również rolnictwa. Spadek opłacalności produkcji rolnej spowodował wyłączenie z uprawy gruntów o niskiej klasie bonitacyjnej i powstanie odłogów, a tym samym problemów z ich utrzymaniem (25-28). Ustawa o ochronie gruntów rolnych i leśnych wyłączonych z produkcji nakłada na właścicieli gruntów rolnych obowiązek przeciwdziałania degradacji gleb (41). Pola wyłączone z uprawy nie mogą stać się siedliskiem agrofagów stanowiących zagrożenie dla sąsiadujących terenów.

Celem pracy było przedstawienie możliwości wykorzystania ścieków do nawodnień oraz osadów ściekowych do nawożenia upraw roślin energetycznych.

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.4 w programie wieloletnim IUNG - PIB

Omówienie wyników

Wzrost zapotrzebowania na energię pozyskiwaną z odnawialnych źródeł powoduje zainteresowanie warunkami i możliwościami produkcji biomasy na ten cel. Uprawa roślin przeznaczonych na cele energetyczne stwarza, m.in., szansę zagospodarowania ścieków i osadów ściekowych przez wykorzystanie ich do nawodnień i nawożenia. Miejscem uprawy roślin energetycznych mogą być grunty orne odłogowane. Gleby lekkie, które stanowią przeważającą część gruntów odłogowanych, w pierwszej kolejności nadają się do rolniczego wykorzystania ścieków (17). Duża przepuszczalność tych gleb i duża zawartość powietrza glebowego zapewnia szybkie wsiąkanie dawek polewowych oraz mineralizację składników organicznych zawartych w ściekach. Odpowiednio dobrane dawki polewowe oraz położenie zwierciadła wody gruntowej poniżej 1,5 m zapewnia bezpieczeństwo ochrony wód gruntowych przed zanieczyszczeniem (38).

Pola wyłączone z uprawy nie mogą ulegać degradacji. Jednym z najprostszych sposobów przeciwdziałania zachwaszczeniu odłogu jest mechaniczne zwalczanie chwastów i utrzymywanie pola w czarnym ugorze. Wadą tej metody jest pozostawianie gleby bez okrywy roślinnej, co naraża ją na erozję wodną i wietrzną. Pod tym względem korzystniej wypada chemiczne zwalczanie chwastów, ponieważ pozostałości roślin działają stabilizująco na powierzchnię gleby (33). Obie metody wymagają nakładów finansowych oraz ujemnie wpływają na mikroklimat, ponieważ duże obszary utrzymywane bez okrywy roślinnej lub pokryte suchą, nieaktywną fizjologicznie roślinnością mogą powodować silne konwekcyjne ruchy w atmosferze (18).

Grunty wyłączone z produkcji rolnej mogą być zagospodarowane przez zalesienie. Wymaga ono jednak dużych nakładów w porównaniu z gospodarką leśną odnawiającą wyręby (26). Mniej kosztowne jest wprowadzenie na odłogi ekstensywnej uprawy roślin wieloletnich (14, 20). Propozycja zagospodarowania osadów oraz wykorzystania ścieków w uprawie roślin energetycznych wychodzi naprzeciw planowanemu wzrostowi produkcji energii z odnawialnych źródeł (4, 7, 11, 15, 31). Energia pozyskiwana z biomasy nie przyczynia się do potęgowania zjawiska efektu cieplarnianego. Bilans dwutlenku węgla w skali rocznej jest zerowy, ponieważ wydzielany podczas spalania CO_2 jest wiązany w procesie asymilacji (42).

Gleby lekkie, często wyłączone z produkcji rolnej, charakteryzują się małą pojemnością wodną, dużą przepuszczalnością oraz małą zasobnością w składniki pokarmowe. Wymienione cechy predestynują je do stosowania nawodnień ściekami. Ścieki oprócz wody zawierają pierwiastki biogenne i śladowe niezbędne do rozwoju roślin, a także substancje zwiększające zawartość próchnicy w glebie. Dokładność oczyszczania ścieków na polach nawadnianych jest znacznie większa niż w sztucznych oczyszczalniach biologicznych i mechanicznych. Stopień redukcji biologicznego zapotrzebowania tlenu (BZT), zawiesin, bakterii oraz jaj robaków sięga 100%, a związków biogenych 90-100% (17). Nieco niższy stopień redukcji zanieczyszczeń (94-99%) notował w okresie zimowym J ó ż w i a k o w s k i (13). Zatrzymywane w glebie

zanieczyszczenia pochodzące ze ścieków podlegają mineralizacji w warunkach tlenowych, w wyniku złożonych procesów mechaniczno-fizycznych i biochemicznych, a następnie są wykorzystywane przez rośliny lub stabilizowane przez tworzenie się substancji organicznej w glebie i nowych połączeń związków biogenych (22).

Wykorzystanie ścieków do nawodnień ma uzasadnienie w naszych warunkach glebowo-klimatycznych. Optymalne opady dla roślin uprawnych w różnych okresach są wyższe od średnich z wielolecia (tab. 1). Świadczy to o okresowych niedoborach wody, które wzrastają w latach o wyższych temperaturach powietrza oraz występują na glebach lżejszych, a nawet średnio zwięzłych. W porównaniu z innymi krajami gospodarka wodna w Polsce charakteryzuje się ubogimi zasobami oraz stale zwięk-

Tabela 1

Opady optymalne dla roślin uprawnych w mm (wg Klatta)
oraz średnie z wielolecia 1956–2006 w Jelczu-Laskowicach

Wyszczególnienie	Miesiące					
	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Temperatura powietrza (°C)	8	13	16	18	17	14
Pszenica jara	45	65	70	60		
Pszenica ozima	35	65	70	60		
Jęczmień jary	50	60	70	45		
Jęczmień ozimy	40	65	60	30		
Żyto ozime	35	70	70	45		
Owies	50	65	75	60		
Kukurydza		50	60	70	65	50
Rzepak ozimy	50	70	75	30		
Ziemniak wczesny		60	80	60		
Ziemniak późny	50	50	60	80	70	
Burak cukrowy	50	50	60	90	90	60
Burak pastewny	50	50	70	90	85	55
Kapusta pastewna		60	70	90	90	60
Marchew pastewna	45	50	70	80	80	60
Pastwiska	50	70	90	100	80	60
Łąki	50	65	80	90	80	55

Opady i temperatury powietrza w Jelczu-Laskowicach
(średnie z lat 1956–2006)

Wyszczególnienie	Miesiąc					
	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Suma opadów	36,7	61,4	68,5	81,8	67,8	45,6
Temperatura powietrza	8,2	13,6	16,8	18,4	17,7	13,6

Uwaga:

1. Podane w tabeli optymalne opady dotyczą gleb średnio zwięzłych. Na glebach lżejszych należy je zwiększyć o 15%, zaś na zwięzłych zmniejszyć o 15%.
2. Dodatkowo ww. normy można zwiększyć o 15% w warunkach intensywnego nawodnienia i wysokiego plonowania roślin.
3. Opady optymalne nawiązano do średniej miesięcznej temperatury powietrza. W przypadku innych temperatur od podanych w tabeli należy zastosować korektę, przyjmując wg Klatta 5 mm na 1°C.

Źródło: Opracowanie własne.

szającymi się obszarami objętymi deficytem wody (9). Skutki okresowych niedoborów opadów w pierwszej kolejności odczuwalne są na glebach lekkich.

Przedstawiona sytuacja skłania do podejmowania prób wykorzystania ścieków w nawodnieniach roślin energetycznych. Pojęcie roślina energetyczna utożsamiane jest najczęściej z wierzbą wiciową, trawą słoniową, różą bezkolcową lub inną rośliną o dużej wydajności biomasy z jednostki powierzchni. Rzadziej jako roślina energetyczna postrzegany jest rzepak. Według instrukcji wydanej przez Agencję Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa (1) większość roślin uprawnych oraz drzewa leśne o krótkim okresie wegetacji spełnia warunki stawiane roślinom energetycznym. Zainteresowanie tymi roślinami wzrosło w związku z włączeniem ich upraw w system płatności do gruntów rolnych. Rośliną wzbudzającą duże zainteresowanie jest wierzba (*Salix sp.*) charakteryzująca się małymi wymaganiami glebowymi. Zapewnia ona pozyskiwanie biomasy co dwa lub trzy lata z tego samego podkładu korzeniowego przez okres około 25 lat. Roczny plon odnawialnego paliwa z plantacji o powierzchni 1 ha równoważy energetycznie około 11 ton węgla kamiennego (40).

Kierunek zmierzający do zakładania plantacji roślin dostarczających biomasę na cele energetyczne ma duże szanse rozwoju. Decydują o tym między innymi mniejsza szkodliwość dla środowiska spalania biomasy niż węgla oraz jej cechy energetyczne. Dla przykładu wartość opałowa 1,5 t słomy jest równoważna z 1 t węgla kamiennego (10). Słoma po zbrykietowaniu może być spalana w zwykłych piecach domowych. Na rynku krajowym pojawili się producenci kotłów do spalania biomasy oraz urządzeń do jej brykietowania (2, 6). Stwarza to możliwości wyeliminowania niezgodnego z prawem bezpośredniego wypalania słomy w polu, niekorzystnego dla środowiska i będącego częstą przyczyną pożarów.

Zapotrzebowanie na energię odnawialną, pozyskiwaną między innymi z roślin uprawnych otwiera wręcz nieograniczony rynek zbytu na płody rolne. Energia z biomasy może być pozyskiwana w różny sposób (30, 43). Najprostsze jest pozyskiwanie energii cieplej w procesie spalania. W Polsce produkowane są kotły oraz systemy grzewcze przystosowane do spalania biomasy, jak również powstają zakłady wytwarzające pelety z biomasy roślinnej. Inną metodą jest pozyskiwanie alkoholu na drodze fermentacji i destylacji, który po odwodnieniu stanowi dodatek do paliw płynnych. W tym przypadku surowcem mogą być ziemniaki, zboża, buraki cukrowe, a także inne ziemniopłody stanowiące nadprodukcję oraz nie nadające się na paszę i do spożycia z powodu porażenia przez choroby i grzyby. Perspektywiczny jest również kierunek pozyskiwania estrów z roślin oleistych – w naszych warunkach głównie z rzepaku (7, 34).

Wieloletni dorobek naukowy dotyczący rolniczego wykorzystania ścieków nie znalazł szerokiego zastosowania w praktyce ze względu na występującą w rolnictwie nadprodukcję. Dodatni wpływ nawadniania ściekami jest niewątpliwy. Według K u t e r y (16) wzrost plonów roślin uprawnych na skutek nawadniania ściekami może być nawet kilkakrotny, zwłaszcza na glebach lekkich. Nawadnianie ściekami miejskimi ziemniaka uprawianego na piaskach słabogliniastych dawką 240 mm zwiększało plon bulw

dwukrotnie w stosunku do wydajności na obiekcie kontrolnym nienawadnianym. Jeszcze lepsze efekty dawało nawadnianie buraka pastewnego. Zwiększanie rocznej dawki ścieków do 600 mm powodowało wzrost plonu korzeni do $100 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Nieco słabsze efekty uzyskiwano w przypadku uprawy kukurydzy oraz buraka cukrowego. Natomiast bardzo dobre rezultaty osiągnęto w plonowaniu łąk (3, 5). W przypadku małego zainteresowania chowem zwierząt trawy mogą stanowić surowiec do przetwarzania na gaz w biogazowniach.

Rozpatrując zagadnienie wykorzystania ścieków należy w pierwszej kolejności uwzględnić potrzeby wodne roślin. Dawki nawodnień powinny uzupełniać niedobory opadów. Rozwiązanie takie może mieć zastosowanie na rozległych terenach nadających się do nawodnień. W przypadku dużej ilości ścieków oraz braku dostatecznej powierzchni upraw dawki polewowe mogą przekraczać potrzeby wodne roślin. Jednak nie mogą powodować nadmiernego uwilgotnienia i ograniczenia minimalnej ilości powietrza w glebie. W obu przypadkach musi być uwzględniany bilans składników pokarmowych (17). Oczyszczanie ścieków powinno mieć miejsce tylko w tych rejonach, gdzie brakuje terenów do nawodnień.

Wzrost liczby oczyszczalni oraz ilość oczyszczanych ścieków przyczynia się do powstania znacznych ilości osadów stanowiących poważny problem. Skład osadów jest mocno zróżnicowany (tab. 2 i 3); uzależniony od charakteru jednostki osadniczej, rodzaju i pochodzenia ścieków i technologii ich oczyszczania. Osady z biologicznych oczyszczalni ścieków mają korzystną dla roślin zawartość substancji organicznej i składników pokarmowych (19, 21, 29, 35, 39). Warunki stosowania osadów w rolnictwie oraz rekultywacji podane są w aktach prawnych (12, 36, 37). Wielkość dawek osadów uzależniona jest od celu ich wykorzystania (tab. 4). Określone są również dopuszczalne zawartości metali ciężkich w warstwie gleby 0-25 cm (tab. 5) oraz

Tabela 2

Skład chemiczny osadów ściekowych z 29 oczyszczalni ścieków komunalnych w kraju

Składnik	Zawartość w % suchej masy		
	osady ściekowe		obornik
	średnio	wahania (od-do)	
Sucha masa	30,70	2,90-76,50	25,00
Azot	4,20	1,74-8,35	2,00
Fosfor	0,31	0,67-2,14	0,52
Potas	0,23	0,05-0,57	2,32
Wapń	3,02	0,45-9,46	1,43
Magnez	0,35	0,11-0,59	0,48
Sód	0,10	0,04-0,51	-
Substancja organiczna	54,65	26,88-79,14	88,00
Popiół całkowity	46,28	17,96-73,16	-
Popiół rozpuszczalny	18,98	9,52-29,21	-
Krzemionka	27,53	4,65-57,13	-
pH	-	6,50-8,70	-

Źródło: Maćkowiak Cz., 1996 (19).

Tabela 3

Zawartość pierwiastków śladowych w osadach ściekowych z 29 oczyszczalni komunalnych w kraju

Składnik	Zawartość w % suchej masy	
	średnio	wahania (od-do)
Mangan (Mg)	376	50-1965
Cynk (Zn)	1504	270-4260
Ołów (Pb)	134	15-308
Kadm (Cd)	8	0,9-146
Miedź (Cu)	200	3,2-595
Chrom (Cr)	145	17-490
Nikiel (Ni)	43	7,4-254

Źródło: Maćkowiak Cz., 1996 (19).

Tabela 4

Dopuszczalne dawki komunalnych osadów ściekowych

Cel wykorzystywania komunalnych osadów ściekowych		Dawka komunalnych osadów ściekowych (mg s.m. · ha ⁻¹)	Uwagi
Rolnictwo		do 10; dawka w ciągu 5 lat	zabieg jednokrotny lub dwukrotny
Rekultywacja	gruntów na cele rolne	do 200; zależnie od požądanej zawartości substancji organicznej w gruncie (do 3%)	zabieg jednokrotny z jedno- lub wielorazowym wprowadzaniem osadu do gruntu
	terenów na cele nierolne	do 200	zabieg jednokrotny z jedno- lub wielorazowym wprowadzaniem osadu do gruntu
Dostosowanie do określonych potrzeb wynikających z planów gospodarki odpadami, planów zagospodarowania przestrzennego lub decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu		do 200	zabieg jednokrotny z jedno- lub wielorazowym wprowadzaniem osadu do gruntu
Uprawa roślin przeznaczonych do produkcji kompostu		do 250; dawka na pierwsze 3 lata	zabiegi wielokrotne
		do 10; dawka w kolejnych dalszych latach	
Uprawa roślin nie przeznaczonych do spożycia i produkcji pasz		do 250; dawka na pierwsze 3 lata	zabiegi wielokrotne
		do 10; dawka w kolejnych dalszych latach	

Źródło: Rozporządzenie..., 2002 (37).

Tabela 5

Dopuszczalne ilości metali ciężkich w wierzchniej (0-25 cm) warstwie gleby przy stosowaniu komunalnych osadów ściekowych w rolnictwie oraz do rekultywacji gruntów na cele rolne

Składnik	Dopuszczalne ilości w $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ suchej masy gleby		
	lekkiej	średniej	ciężkiej
Ołów (Pb)	40	60	80
Kadm (Cd)	1	2	3
Rtęć (Hg)	0,8	1,2	1,5
Nikiel (Ni)	20	35	50
Cynk (Zn)	80	120	180
Miedź (Cu)	25	50	75
Chrom (Cr)	50	75	100

Źródło: Rozporządzenie..., 2002 (37).

maksymalne ilości metali ciężkich, które mogą być wprowadzone do gleby z komunalnym osadem ściekowym (tab. 6). Osady nie zawsze mogą być stosowane na polu uprawnym, w związku z tym staje się konieczne wykonanie odpowiednio urządzonych placów składowych (32). Grunty, na których osady ściekowe mają być stosowane podlegają badaniom obejmującym oznaczanie odczynu gleby, zawartości metali ciężkich (ołów, kadm, rtęć, nikiel, cynk, miedź i chrom) oraz zawartości fosforu przyswajalnego (37).

Tabela 6

Maksymalne ilości metali ciężkich, które mogą być wprowadzane z komunalnym osadem ściekowym w ciągu roku do gleby, średnio w okresie 10 lat

Składnik	Ilość w $\text{g} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ suchej masy gleby
Ołów (Pb)	1000
Kadm (Cd)	20
Rtęć (Hg)	10
Nikiel (Ni)	200
Cynk (Zn)	5000
Miedź (Cu)	1600
Chrom (Cr)	1000

Źródło: Rozporządzenie..., 2002 (37).

Podsumowanie

Możliwość wykorzystania ścieków oraz osadów ściekowych w uprawie roślin energetycznych, zwłaszcza na glebach lekkich, rozwiązuje wiele zagadnień dotyczących ochrony środowiska. Zapewnia ochronę gleb przed erozją wietrzną i wodną, wpływa dodatnio na mikroklimat, poprawia gospodarkę wodną i próchniczną gleb. Pozyskiwanie energii na drodze przetwarzania biomasy włącza w obieg gazy powstające w procesie spalania, nie zwiększając ich koncentracji w atmosferze, co ma miejsce w przypadku wykorzystywania kopalin węgla i paliw ropopochodnych. Spodziewa-

wany rozwój technologii wychodzi naprzeciw problemom bezrobocia, ponieważ stwarza szansę powstawania nowych miejsc pracy przy obsłudze nawodnień, uprawie roślin energetycznych, ich przeróbce, a także produkcji urządzeń przetwarzających biomę w nośniki energii.

Odłogi należy zagospodarować, bowiem ziemia stanowi bogactwo naturalne, które powinno być wykorzystane. Przy odpowiedniej polityce ziemia może stanowić miejsce pracy i źródło dochodu. Istnieją ku temu przesłanki natury technicznej oraz ekonomicznej. Realizacja tych zadań wymaga naukowego opracowania oraz finansowego wsparcia rozwoju infrastruktury do pozyskiwania i wykorzystania energii z biomasy. W dalszym ciągu aktualny jest problem doboru roślin charakteryzujących się dużą produkcją biomasy z jednostki powierzchni, nadających się do pozyskiwania energii, opracowania technologii uprawy mało rozpowszechnionych roślin, takich jak miskant, słazowiec pensylwański, róża bezkolcowa itp. oraz wskazania terenów nadających się do rolniczego wykorzystania ścieków i osadów ściekowych.

Literatura

1. Agencja Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa, 2007. Instrukcja wypełniania wniosku o przyznanie płatności do gruntów rolnych, płatności cukrowej i o przyznanie pomocy finansowej z tytułu wspierania gospodarowania na obszarach górskich i innych obszarach o niekorzystnych warunkach gospodarowania. www.arimr.gov.pl.
2. B e d n a r z L.: Rozwój konstrukcji wsadowych kotłów na słomę o mocy 30-500 kW. Przegląd Komunalny – dodatek branżowy. Strategia wdrażania energetyki odnawialnej – biomasa. 2001, **1**: 12-14.
3. B o ó k o J.: Zużycie wodne łąki na madzie lekkiej deszczowanej ściekami miejskimi. Roczn. Nauk Rol., F, **72(4)**: 1958.
4. C i e c h a n o w i c z W., G a r ś c i a E.: Bioetanol szansą rozwoju wsi. Aura, 2003, **1**: 11-13.
5. C z y ż y k E.: Wpływ deszczowania ściekami miejskimi na plonowanie i skład botaniczny łąki. Wiad. IMUZ, 1968, **7(4)**.
6. D y b i e c C z., P a n a s i u k J.: Brykietowanie słomy. Technika Rolnicza, 2003, **1**: 22-23.
7. D y n g u s M.: Rynek biopaliw płynnych w Polsce – perspektywy rozwoju do 2010 roku. Agencja Rynku Rolnego, Biul. Inf., 2006, **11**: 18-29.
8. Główny Urząd Statystyczny. Rocznik Statystyczny 2006.
9. D z i e ż y c J.: Czynniki plonotwórcze – plonowanie roślin. PWN Warszawa-Wrocław, 1993.
10. G r a d z i u k P.: Możliwości energetycznego wykorzystania słomy. Post. Nauk Rol., 1995, **5**: 31-39.
11. G r a d z i u k P. (red.): Biopaliwa. Warszawa, 2003, ss. 160.
12. G w o r e k B., G i e r c u s z k i e w i c z - B a j t l i k M.: Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych w aspekcie ochrony gleb i wód w aktach prawnych Unii Europejskiej i Polski. Roczn. Glebozn., 2004, **55(2)**: 151-161.
13. J ó Ź w i a k o w s k i K.: The efficiency of pollution removal in willow bed with subsurface flow in winter conditions. Roczn. AR Poznań, Melior. Inż. Środ., cz. II, 1999, **310(20)**: 283-290.
14. K o ś c i k B., K a l i t a E.: Analiza możliwości zagospodarowania odłogów na Zamojszczyźnie. Fragm. Agron., 1998, **5**: 63-72.
15. K u ś J.: Możliwości wykorzystania surowców roślinnych na cele energetyczne. Biul. Inf. IUNG, 2002, **18**: 3-10.

16. K u t e r a J.: Wyniki doświadczeń z nawodnieniami roślin uprawnych miejskimi wodami ściekowymi wodami ściekowymi systemem smużnym i bruzdowym w Kamieńcu Wrocławskim. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1970, 110.
17. K u t e r a J.: Wykorzystanie ścieków w rolnictwie. PWRiL Warszawa, 1978.
18. L e ś n y J., C h o j n i c k i B. H., O l e j n i k J.: Ocena bilansu cieplnego wybranych powierzchni czynnych metodą Bowena. Roczn. AR Poznań. Melior. Inż. Środ., 2002, **23**: 249-254.
19. M a ć k o w i a k C. z.: Nawozowa użyteczność osadów ściekowych w świetle badań IUNG. Mat. Teren. Konf. Nauk. Tech., „Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych”. Puławy – Lublin – Jeziórko, 1996.
20. M a j t k o w s k i W.: Ocena przydatności traw w zagospodarowaniu nieużytków i odłogów. *Fragm. Agron.*, 1998, **5**: 257-262.
21. M a ń c z a k M. i in.: Ocena możliwości wykorzystania osadów z oczyszczalni ścieków Jelcz-Laskowice. Inst. Ochr. Środ. Politechniki Wrocławskiej, 2002, Raport serii SPR 16/2002.
22. M a r c i l o n e k S., N y c K., D r a b i ń s k i A.: Użytkowanie ścieków w systemach wodno-gospodarczych. Zesz. Nauk. AR Wrocław, Konferencje 1996, **293(13)**: 87-93.
23. Ministerstwo Gospodarki i Pracy. 2005. Polityka Energetyczna Polski do 2025 roku.
24. Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi. Strategia rozwoju obszarów wiejskich i rolnictwa na lata 2007–2013 (z elementami prognozy do roku 2020), 2005.
25. M a r k s M., N o w i c k i J., S z w e j k o w s k i Z.: Odłogi i ugory w Polsce. Cz. I. Przyczyny odłogowania i zjawiska towarzyszące. *Fragm. Agron.*, 2000, **1(65)**: 5-19.
26. M a r k s M., N o w i c k i J., S z w e j k o w s k i Z.: Odłogi i ugory w Polsce. Cz. II. Sposoby zagospodarowania. *Fragm. Agron.*, 2000, **1(65)**: 20-33.
27. M a r k s M., N o w i c k i J.: Aktualne problemy gospodarowania ziemią rolniczą w Polsce. Cz. I. Przyczyny odłogowania gruntów i możliwości ich rolniczego zagospodarowania. *Fragm. Agron.*, 2002, **1(73)**: 58-67.
28. M a r k s M., N o w i c k i J.: Aktualne problemy gospodarowania ziemią rolniczą w Polsce. Cz. II. Pozarolnicze możliwości zagospodarowania odłogów i gruntów marginalnych. *Fragm. Agron.*, 2002, **2(74)**: 79-86.
29. M a z u r T.: Rozważania o wartości nawozowej osadów ściekowych. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1996, **437**: 11-13.
30. Mat. Konf. „Biomasa dla elektroenergetyki i ciepłownictwa – szanse i problemy”. Wyd. Wieś Jutra, Warszawa, 2007, 229.
31. M i k u c e w i c z K.: Biopaliwa – strategia Unii Europejskiej. Agencja Rynku Rolnego, Biul. Inf., 2006, **11**: 40-48.
32. P a l u c h J., P a r u c h A., P u l i k o w s k i K.: Przyrodnicze wykorzystanie ścieków i osadów. AR Wrocław, 2006.
33. R o l a J.: Ograniczenia zarastania chwastami segetalnymi i ruderalnymi ugorów oraz odłogów. *Fragm. Agron.*, 1998, **5**: 145-160.
34. R o s i a k E.: Sektor olejarski – prognoza rozwoju do 2013 roku. Agencja Rynku Rolnego, Biul. Inf., 2006, **11**: 30-39.
35. R o s z y k E., R o s z t y k S., S p i a k Z.: Wartość nawozowa osadów ściekowych z niektórych oczyszczalni południowo-zachodniej Polski. Cz. I. Skład chemiczny osadów. *Roczn. Glebozn.*, 1987, **38(3)**: 93-102.
36. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 11 sierpnia 1999 r. w sprawie warunków, jakie muszą być spełnione przy wykorzystywaniu osadów ściekowych na cele nieprzemysłowe. Dz. U., 1999, Nr 72, poz. 813.
37. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 sierpnia 2002 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych. Dz. U., 2002, Nr 134, poz. 1140.
38. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 8 lipca 2004 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego. Dz. U., Nr 168, poz. 1763.

39. Siuta J. i in.: Przyrodnicze zagospodarowanie osadów ściekowych. PWN Warszawa, 1988.
40. Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M.: Biomasa krzewiastych wierzb (*Salix* sp.) pozyskiwana na gruntach ornych odnawialnym źródłem energii. Pam. Puł., 2000, **120/II**: 421-428.
41. Ustawa z dnia 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych. Dz. U., Nr 16, poz. 78.
42. Wiśniewski G.: Paliwa, źródła ciepła. Tech. Rol., 1996, **4**: 12-15.
43. Włodek S., Biskupski A., Pabian J.: Techniczne możliwości pozyskiwania energii z biomasy. Zesz. Nauk. Uniw. Opolskiego, Nauki Techniczne, 2003, **21**: 213-21.

Adres do korespondencji:

dr Stanisław Włodek
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli
IUNG-PIB
ul. Orzechowa 61
50-540 Wrocław
tel./fax: 071 363 87 07, wew. 122
email: s.wlodek@iung.wroclaw.pl

Ryszard Weber

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

BEZPŁUŻNA UPRAWA ROLI W WARUNKACH DUŻYCH ILOŚCI POZOSTAŁOŚCI POŻNIWNYCH*

Wstęp

Uprawa zachowawcza (*conservation tillage*) to taki system uprawy roli, który w porównaniu z konwencjonalną uprawą płużną pozostawia na powierzchni gleby co najmniej 30% resztek poźniwnych (8). Europejskie Stowarzyszenie Rolnictwa Konserwującego określa ten system uprawy roli jako sposób gospodarowania ograniczający zaburzenia w strukturze gleby i jej bioróżnorodności. System ten ogranicza w znacznym stopniu degradację gleby i straty wody (8). Obecnie ze względu na duże koszty uprawy płużnej stosuje się w coraz większym zakresie uprawę zachowawczą, która wpływa korzystnie na środowisko glebowe. Zachowawcza – konserwująca uprawa roli stymuluje różnorodność biologiczną gleby, ogranicza erozję wodną i wietrzną, stabilizuje agregaty glebowe oraz sprzyja zwiększaniu zawartości substancji organicznej, potasu i fosforu w glebie (32). Skrajną metodą bezpłużnej uprawy roli jest siew bezpośredni (uprawa zerowa). Wyniki badań krajowych i zagranicznych wskazują na zróżnicowane plonowanie roślin w warunkach uprawy zerowej w porównaniu ze stwierdzonym w warunkach konwencjonalnej uprawy roli. Niektórzy autorzy (33, 35) donoszą o znacznym zmniejszeniu plonów przy stosowaniu siewu bezpośredniego, inni zaś wysokość plonowania roślin uzależniają głównie od warunków hydrotermicznych w okresie wegetacji (26). W wielu pracach podkreśla się jednak, że plony w warunkach uprawy zerowej lub bezpłużnej, nawet na glebach lekkich, nie różnią się istotnie od uzyskiwanych przy stosowaniu tradycyjnej uprawy roli (1, 9). W publikacjach porównujących różne systemy bezpłużnej uprawy roli w wielu przypadkach autorzy nie podają typu stosowanego siewnika do siewu bezpośredniego. Znaczne zróżnicowanie tych siewników pod względem rodzaju redlic wysiewających oraz sekcji doprawiających rolę bezpośrednio przed siewem może warunkować nieporównywalność wyników w cytowanych doniesieniach. Duży udział zbóż w obecnie stosowanych zmianowaniach wskazuje, że szczególną uwagę należy poświęcić technice siewu bezpośredniego w warunkach dużych ilości resztek poźniwnych. Stąd celem pracy jest przed-

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.4 w programie wieloletnim IUNG - PIB

stawienie aktualnych problemów związanych z techniką siewu w warunkach bezpłужnej uprawy roli.

Charakterystyka okresów stosowania bezpłужnej uprawy roli

Należy podkreślić, że nie różniące się plony roślin w uprawie konwencjonalnej i długoletnim siewie bezpośrednim lub uprawie uproszczonej można jedynie osiągnąć poprzez przestrzeganie podstawowych zaleceń w okresie przejściowym (4-6 lat) po wprowadzeniu uprawy bezpłужnej (16). Wyniki badań z obszaru Europy Zachodniej wskazują, że efekty działania uprawy bezpłужnej, a szczególnie siewu bezpośredniego, należy podzielić na dwa okresy. **Okres I – przejściowy** charakteryzuje się znacznymi zmianami we właściwościach fizycznych, chemicznych i biologicznych górnych warstw gleby. Po początkowym zwiększeniu zwięzłości i gęstości gleby w miarę wzrostu zawartości substancji organicznej następuje poprawa właściwości fizycznych na skutek tworzenia się kompleksów ilasto-próchnicznych oraz biogennych porów, w większości o pionowym przebiegu (20). Zwiększa się również aktywność biologiczna górnych warstw gleby oraz zawartość makroelementów (16). Natomiast obniża się ilość azotanów wypłukiwanych do wód gruntowych i powierzchniowych (32). Zmianom tym towarzyszy powolny wzrost plonowania roślin uprawnych w porównaniu z niskimi plonami w pierwszych latach stosowania uprawy bezpłужnej. Czas trwania zmian właściwości biologicznych i chemicznych, jak również struktury wierzchnich warstw gleby uzależniony jest od klasy gleby, jej składu granulometrycznego i wyjściowej zawartości próchnicy. **Okres II** odznacza się znaczną stabilizacją wymienionych właściwości biologicznych i fizykochemicznych gleby. W okresie tym plonowanie roślin w systemach uprawy bezpłужnej w wielu przypadkach jest podobne do występującego w warunkach uprawy konwencjonalnej.

Uprawa roślin w okresie przejściowym

Sukces w postaci porównywalnych plonów w warunkach siewu bezpośredniego i uprawy płужnej można osiągnąć poprzez odpowiedni dobór systemu bezpłужnej uprawy roli i agrotechniki do rodzaju gleby w okresie przejściowym.

Do bezpłужnej uprawy roli szczególne nadają się (6, 16):

- gleby ilaste odznaczające się dużą zawartością próchnicy i wapnia, które sprzyjają tworzeniu struktury gruzelkowej i stwarzają korzystne środowisko dla rozwoju mikroorganizmów, bogate w minerały ilaste o znacznej pojemności sorpcyjnej, wykazujące dużą kurczliwość i plastyczność;
- gleby gliniaste o dobrym drenażu, odznaczające się dużą zawartością substancji organicznej (powyżej 3%) i wysoką aktywnością biologiczną;
- piaski gliniaste o znacznej zawartości substancji organicznej (powyżej 2%) i małej zwięzłości gleby w okresie wegetacji.

W mniejszym stopniu do uprawy bezpłужnej nadają się gleby ilaste i gliniaste o małej zawartości substancji organicznej, piaski słabogliniaste lub piaski luźne pylaste,

które odznaczają się zwiększoną zwięzłością, gęstością i skłonnością do zamulania. Do uprawy bezplużnej nie nadają się ily pylaste zbite, mokre, o złych stosunkach wodno-powietrznych i wysokim poziomie wody gruntowej, wykazujące bardzo małą zawartość substancji organicznej (16).

W okresie przejściowym następuje najczęściej znaczne zwiększenie zwięzłości i gęstości gleby, czyli głównego czynnika ograniczającego plonowanie roślin (33, 34). W pierwszych latach stosowania systemów bezplużnych obserwuje się również zwiększoną liczebność chwastów, szczególnie jednoliściennych i wieloletnich. Dlatego pole, na którym w przyszłości zamierzamy prowadzić siew bezpośredni powinno być wyrównane. Przed przystąpieniem do uprawy uproszczonej należy zlikwidować wszelkiego rodzaju zagęszczenia gleby spowodowane ciężkimi maszynami rolniczymi oraz ograniczyć występowanie chwastów. W okresie przejściowym należy stopniowo zmniejszać głębokość spulchniania gleby, stosując w pierwszym, drugim i trzecim roku uprawę bezplużną, na przykład przy użyciu gruberów, bron talerzowych lub kultywatorów (6). Wszelkiego rodzaju zabiegi uprawowe w okresie przejściowym należy bezwzględnie wykonywać w optymalnych warunkach wilgotnościowych, unikając zagęszczeń górnej warstwy gleby (5, 22). Zaleca się stosowanie ciągników z kołami bliźniaczymi lub w układzie tandemowym w celu zmniejszenia naprężeń w glebie. Pozytywne efekty można uzyskać poprzez wprowadzenie opon radialnych lub obniżenie ciśnienia w oponach ciężkich maszyn rolniczych (25). Resztki poźniwne powinny być pocięte na 5 cm odcinki i równomiernie rozrzucone na powierzchni pola. W okresie czterech pierwszych lat uprawy bezplużnej zaleca się stosować takie zmianowanie roślin, które ograniczy niebezpieczeństwo wtórnego zagęszczenia gleb przez ciężkie maszyny rolnicze w warunkach podwyższonej wilgotności gleb (np. zbiór buraków cukrowych). Po okresie przejściowym w wyniku poprawy nośności gleby można zrezygnować z wyżej wymienionych zabiegów. Niektórzy autorzy zalecają zastosowanie w okresie przejściowym zwiększonej dawki azotu o 20-30 kg · ha⁻¹ (6). Jednak ostatnie doniesienia wskazują, że w wyniku zmiany intensywności mineralizacji substancji organicznej należy zmienić jedynie podział dawki azotu (16). Dawka startowa na początku wegetacji powinna być podwyższona o 20-30 kg, a następne stosowane w trakcie wegetacji roślin ograniczone o tę ilość. W okresie przejściowym szczególną uwagę należy poświęcić ochronie roślin. Jednak przy prawidłowej agrotechnice i zróżnicowanym następstwie roślin w okresie przejściowym nie należy się liczyć z podwyższonymi kosztami związanymi ze zwalczaniem chwastów i chorób grzybowych. Przed wprowadzeniem uprawy bezplużnej należy dokonać wyboru siewnika, który będzie najbardziej odpowiedni do warunków glebowo-wilgotnościowych panujących na obszarze gospodarstwa rolniczego.

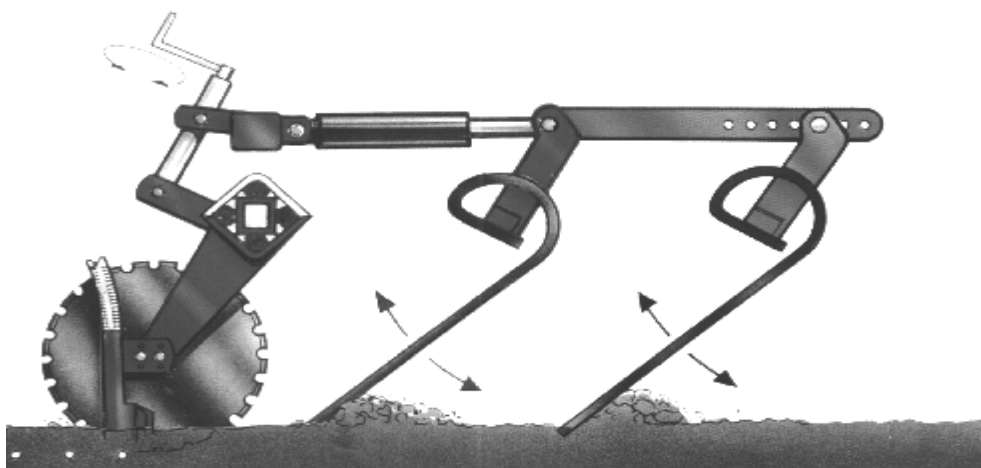
Budowa i rodzaje siewników do siewu bezpośredniego i uprawy bezplużnej

Siewniki do siewu bezpośredniego tworzą bruzdkę siewną najczęściej poprzez redlice tarczowe albo talerzowe pojedyncze lub podwójne, które przystosowane są do siewu w glebę pokrytą dużą ilością resztek poźniwnych. Kąt ustawienia talerzy jest

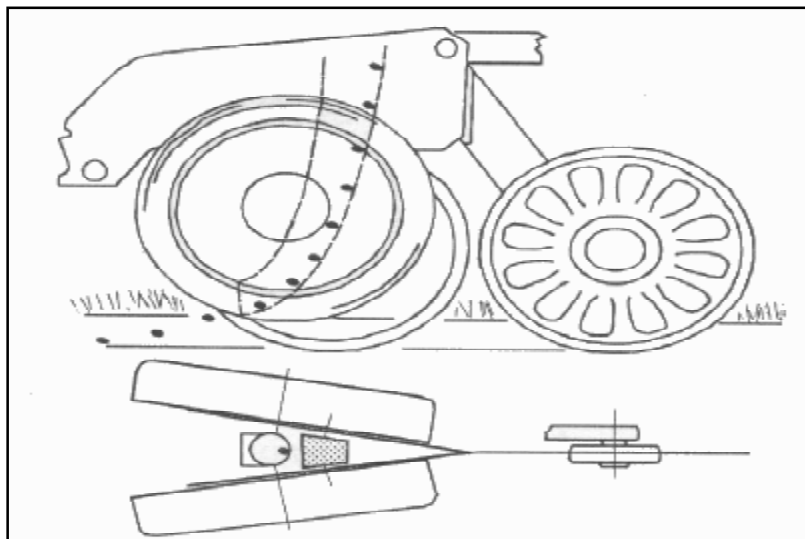
uzależniony od prędkości jazdy siewnika i ilości resztek poźniwnych i waha się od 6° - 14° (13). Rzadziej stosuje się redlice klinowe lub w postaci gęsiostópki. Wiele firm oferuje również redlice dłutowe wyposażone w zęby, które lepiej niż redlice talerzowe pracują na glebach zakamienionych (12).

Siewniki stosowane w warunkach uprawy bezpłużnej wyposażone są w różnego rodzaju sekcje poprawiające jakość wysiewu nasion. Są to najczęściej kroje talerzowe, rozgarniacze resztek, koła kopiujące itp. urządzenia:

- Kroje talerzowe, zęby sztywne lub wibrujące spulchniające pas siewny i rozcinające lub rozgarniające pozostałości poźniwne tworzą sekcję wysiewającą (rys. 1). Pofałdowane kroje tarczowe rozrywają materię organiczną i spulchniają glebę przed sekcją wysiewającą (rys. 2). Kroje te najczęściej pracują kilka centymetrów głębiej w stosunku do redlicy wysiewającej. W celu optymalnego działania tych krojów stosuje się w niektórych siewnikach obciążenie do 200 kg na pojedynczy krój tarczowy.
- Rozgarniacze resztek poźniwnych, w postaci tarcz zębatych lub gwiazdowych ustawionych pod kątem ostrym w stosunku do siebie, przesuwają masę organiczną poza obręb działania redlicy wysiewającej (rys. 3). Mogą one również powodować lekkie spulchnienie gleby. Rozgarniacze te są szczególnie przydatne w warunkach znacznych ilości słomy i plew na polu. Złe ustawienie rozgarniaczy może powodować zbytne przemieszczanie gleby i tworzenie płytkich bruzd stwarzających niebezpieczeństwo erozji wodnej. Dlatego w niektórych siewnikach montowane są dodatkowe koła kopiujące utrzymujące precyzyjnie głębokość pracy rozgarniaczy.
- Specjalne koła kopiujące i układy dociskające zespoły redlicowe do gleby pracują w bezpośrednim sąsiedztwie zespołu tworzącego rowek, warunkując zarazem utrzymanie równomiernej głębokości siewu. Koło podporowe umieszczone



Rys. 1. Sekcja wysiewająca z dwoma rzędami zębów spulchniających firmy Väderstad



Rys. 2. Aparat wysiewający z podwójnymi tarczami

Źródło: Linke C., 1998 (20).

z boku redlicy talerzowej umożliwia bardziej precyzyjne umieszczenie nasion w rowku siewnym niż koła podporowe z tyłu lub z przodu sekcji wysiewających.

- W niektórych siewnikach koła kopiujące spełniają równocześnie rolę kół wciskających nasiona na dno rowka siewnego. Jednak przy dużej gęstości gleby działanie tych kół nie jest wystarczające i często nasiona nie zostają umieszczone na dnie bruzdy siewnej. Koła dociskowe o zróżnicowanym kształcie i szerokości, o średnicy nie przekraczającej 250 mm, wprasowują wysiane nasiona w dno rowka, umożliwiając nawilżenie nasion wodą podsiąkającą z gleby. W warunkach zbyt dużej wilgotności koła dociskowe pracujące w bruzdce siewnej mogą powodować rozmazywanie gleby i w wyniku przyklejania się nasion do kół dociskowych wyrzucanie ich na powierzchnię roli. Niektóre siewniki wyposażone w redlicę radełkową posiadają dodatkowo montowane gumowe koła palcowe. Koła te poruszają się po powierzchni pola obok rowka siewnego przyciskając resztki poźniwne do podłoża. Zapobiega to przedwczesnemu zasypywaniu bruzdki siewnej i sprzyja równomiernemu umieszczeniu nasion na dnie bruzdki (30).
- Zagarnianie rowka siewnego wykonywane jest przez jedno lub dwa skośnie ustawione koła lub tarcze o tępych krawędziach. Często koła zagarniające pracujące w warunkach suszy lub zbyt dużej wilgotności mają do dyspozycji mało spulchnionej roli i pozostawiają rowek siewny nieprzykryty glebą, co powoduje nierówne wschody i spadki plonów. Dlatego w niektórych siewnikach są montowane ostre tarcze zagarniające, które zagłębiają się w wierzchnią warstwę roli i przemieszczają ją na nasiona w bruzdce siewnej.

Głębokość umieszczenia nasion w glebie uzależniona jest również od masy siewnika. Gdy zbiornik na nasiona umieszczony jest na siewniku, wówczas przy pełnym zbiorniku siła nacisku na redlice wysiewające jest znacznie większa niż przy częściowo opróżnionym. Dlatego siewniki przyczepiane charakteryzują się lepszą dokładnością głębokości wysiewu niż zawieszane. Przy siewnikach zawieszanych istnieje możliwość regulacji siły nacisku poprzez różne systemy hydrauliczne lub pneumatyczne. Jednak przy niewyrównanym polu drgania ciągnika przenoszone są na siewnik i przyczyniają się do nierównomiernego wysiewu. Siew w mulcz bez uprawy późniejszej wymaga znacznego obciążenia redlicy wysiewającej typu talerzowego.

Obecnie siewniki można podzielić w zależności od intensywności uprawy na następujące grupy (14, 19):

1. Siewniki wyposażone w aktywne brony rotacyjne lub wirnikowe (rys. 4). Nadają się do siewu w mulcz, szczególnie przy zastosowaniu po bronach wałów ugniatających masę organiczną. Jednak przy znacznej ilości resztek późniejszych na polu konieczna jest dodatkowa płytka uprawy późniejszej. Wymienne redlice spulchniające w postaci łap grubera o rozstawie do 80 cm umożliwiają intensywną bezpłazną uprawę roli. Maszyny te (AmazoneD9/AD3, Lemken DKA-S, Rauch Venta LC, Dutzi QM 250/300) wymagają jednak znacznego nakładu energii.
2. Siewniki uzbrojone w redlice wysiewające typu talerzowego o sile nacisku na powierzchnię gleby do 100 kg na pojedynczą sekcję wysiewającą. Przy znacznej



Rys. 3. Tarcze rozgarniające warstwę słomy w siewnikach do uprawy bezpłaznej
Źródło: Kreitmayr J., Beckmann Ch., 2004 (14).

- ilości resztek poźniwnych siewniki te nie utrzymują prawidłowej głębokości siewu. Dlatego przed sekcją wysiewającą montowane są w tego typu siewnikach sekcje doprawiające w postaci bron rotacyjnych lub wirnikowych. Firma Väderstad przed aparatem wysiewającym typu talerzowego proponuje zamontowanie na pojedynczej belce dwu rzędów zębów wibrujących lub sprężynowych z możliwością wymiany na dwa rzędy karbowanych indywidualnie resorowanych tarcz do uprawy ścierniskowej (rys. 1). Siewniki nowej generacji (Amazone Xakt, Horsch Pronto AS, John Deere 740 A, Junkkari 3000T, Kerner KC 300) wyróżniają się dobrą precyzją wysiewu, nawet przy prędkościach powyżej $10 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.
3. Siewniki posiadające redlice wysiewające typu talerzowego o sile nacisku na powierzchnię gleby powyżej 100 kg . Przy znacznych ilościach resztek poźniwnych redlice te wprasowują słomę na dno rowka siewnego, ograniczając możliwość podsiąkania wody z dolnych warstw gleby. W wilgotnych warunkach siewu ściany i dno rowka siewnego ulegają rozmazywaniu, co w istotny sposób ogranicza wschody i plonowanie roślin. Dlatego przy tego typu siewnikach, w warunkach dużych ilości słomy na polu, należy przed siewem przeprowadzić płytką uprawę poźniwną, np. przy użyciu kultywatora lub brony talerzowej. Ostatnio proponuje się system wysiewu Cross-Slot, który polega na stosowaniu odpo-



Rys. 4. Siewnik uniwersalny wyposażony w redlice talerzowe i bronę wirnikową
Źródło: Kreitmayer J., Beckmann Ch., 2004 (14).

wiednio wyprofilowanej redlicy talerzowej z dwoma bocznymi skrzydełkami; tworzy się bruzdka siewna w postaci odwróconej litery T. Precyzyjne wysianie nasion następuje z jednej strony redlicy, natomiast z drugiej strony wysiew nawozów mineralnych. Ten typ wysiewu ogranicza wprowadzenie słomy do rowka siewnego i zmniejsza niebezpieczeństwo zagęszczenia gleby. Obciążenia pojedynczej redlicy wynoszą do 500 kg (siewniki typu Amazone Cirrus, Cross-Slot No-Tillage Air Grill, John Deere 7500 A).

4. Siewniki uzbrojone w podwójne redlice wysiewające. Przy tego rodzaju siewnikach przed zespołem wysiewającym montowany jest pofałdowany krój tarczowy (rys. 2), który spulchnia glebę i rozrywa masę organiczną w obszarze działania redlicy wysiewającej. Aparat wysiewający z podwójnymi tarczami jest podstawą wyposażenia siewnika Great Plains (rys. 2). Siewniki tego typu (Great Plains CP-1000, Kuhn Fastliner 3000-6000 SD) zaopatrzone są również w wymienne spulchniacze talerzowe o różnej amplitudzie pofałdowań w zależności od rodzaju gleby i ilości resztek poźniwnych. Znaczne ilości resztek poźniwnych na polu pogarszają efektywność pracy tych siewników, dlatego często zaleca się przeprowadzać płytką uprawę poźniwną.
5. Siewniki o sztywnych redlicach w kształcie łap grubera nie powinny być zaliczane do siewników do siewu bezpośredniego, ponieważ wykonują typową uprawę poźniwną. Stosuje się je najczęściej na obszarze Ameryki Północnej do wysiewu



Rys. 5. Siewnik uzbrojony w redlice wysiewające w kształcie łap grubera

Źródło: Kreitmayr J., Beckmann Ch., 2004 (14).

pasowego. Siewniki te (Farmet BSK, Köckerling AT, Horsch) mogą pracować w obecności znacznych ilości resztek poźniwnych (rys. 5).

6. Siewniki wyposażone w redlice zębate (Amazona Primera, Dutzi KS). W przeciwieństwie do redlic talerzowych redlice typu zębatego wymagają mniejszego nacisku na pojedynczy przyrząd wysiewający. Wprowadzają one mniej resztek poźniwnych do bruzdki siewnej, umożliwiając dokładniejszą głębokość wysiewu. Nadają się one szczególnie do siewu bezpośredniego i uprawy w mulcz bez jakiegokolwiek uprawy przedsiewnej. Jednak słoma na polu powinna być bezwzględnie pocięta na fragmenty długości około 5 cm i równomiernie rozmieszczona na polu. Nieprzestrzeganie tego warunku grozi zapychaniem się redlic długimi żdźbłami słomy.

W niektórych siewnikach, przy dużych ilościach masy organicznej na polu, za sekcjami doprawiającymi w postaci bron czynnych lub biernych stosuje się różnego rodzaju wały ugniatające w postaci walców klinowych lub trapezowych. Przedstawiona powyżej charakterystyka siewników stosowanych do siewu bezpośredniego wskazuje na znaczną zmienność spulchnienia wierzchniej warstwy gleby w czasie siewu, co może w istotny sposób wpływać na jakość wschodów i plonowanie roślin.

Czynniki wpływające na prawidłowe wykonanie siewu bezpośredniego

Niezadawalająca jakość siewu obecnie stosowanych siewników może być spowodowana dużą ilością słomy na powierzchni gleby oraz nadmierną wilgotnością warstwy uprawnej. Badania B a k e r a i in. (2) wykazały, że w wielu przypadkach sekcje wysiewające niewystarczająco głęboko wnikają w warstwę siewną gleby i nie utrzymują określonej głębokości wysiewu. Często pozostałości poźniwne nie ulegają rozdrobnieniu i są wciskane do gleby, powodując niekorzystne warunki do kiełkowania nasion. Redlice talerzowe odznaczają się mniejszą ingerencją w wierzchnią warstwę gleby i ograniczają bezproduktywne parowanie wody w początkowym okresie rozwoju roślin. Warunkują one wąskie wcięcie w powierzchniową warstwę ze znacznymi, w zależności od składu mechanicznego gleby, zagęszczeniami bocznych ścian rowka siewnego (20). Redlice talerzowe spulchniają glebę w istotnie mniejszym stopniu niż zębate. Bruzda wytworzona przez przyrząd wysiewający może jednak być w znacznym stopniu zapychana przez nierozcięte żdźbła słomy, które tworzą zwartą warstwę ograniczającą kontakt nasion z wilgotną glebą. Przy dużych ilościach słomy pociętej na sieczkę, w wyniku wprasowania resztek poźniwnych, wytwarza się również szczelina w kształcie litery „V”, która nie jest zagarniana przez koło dociskające przyrządu wysiewającego. Słabe spulchnienie gleby za pomocą redlic talerzowych powoduje zmniejszenie głębokości siewu. Głębokość działania redlic wysiewających uzależniona jest od siły nacisku siewnika, zwięzłości gleby, średnicy i kształtu tarczy oraz typu krawędzi tnącej. Zmiana gęstości gleby w zakresie $1,1-1,4 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-2}$ powodowała trzykrotny wzrost oporów nacisku sekcji wysiewających przy zachowaniu odpowiedniej głębokości wysiewu (23). Stały nacisk redlicy na glebę jest podstawą uzyskania jednakowej głębokości umieszczenia nasion w rowku siewnym. Badania

wykazały, że przy nierównościach pola do 100 mm wahania nacisku wynosiły 21% (11). Siły nacisku na redlice talerzowe zwiększają się wraz ze średnicą i grubością tarczy. Pofalowane kroje tarczowe potrzebują większej siły nacisku niż gładkie lub zębate talerze. Duże ilości słomy na polu wymagają zwiększonej siły nacisku na redlice wysiewające; przy stosowaniu podwójnych tarcz wysiewających siła nacisku może się zwiększyć do poziomu 2500 N. W wyniku działania redlicy talerzowej w rowku siewnym na głębokości 2-3 cm może nastąpić nagromadzenie resztek poźniwnych, które odcinają kontakt wysianych nasion z głębszymi warstwami gleby. Redlice talerzowe w porównaniu z sekcjami wysiewającymi typu zębatego mogą powodować większe zagęszczenie gleby i rozmazywanie bocznych ścian rowka siewnego. Siła nacisku na pojedyncze redlice zębate jest najczęściej mniejsza i wynosi około 800 N (15). Siewniki do siewu bezpośredniego zaopatrzone w redlice zębate powodują często gromadzenie resztek poźniwnych na powierzchni pola, co sprawia zapychanie się przyrządów wysiewających. Głęboko pracujące zębate redlice wysiewające wynoszą wilgotne warstwy gleby na powierzchnię, co wpływa w suchych regionach na poprawę wschodów. Na obszarach o dobrym zaopatrzeniu w wodę zwiększone spulchnienie i wymieszanie gleby sprzyja szybszemu ogrzaniu wierzchniej warstwy i wschodom roślin. Jednak zbytne spulchnienie gleby może być powodem znacznych strat wody w początkowej fazie wzrostu roślin. Redlice typu zębatego powodują wytworzenie rowka w kształcie litery „V” przy równoczesnym znacznym spulchnieniu gleby w obszarze umieszczanych nasion. Bruzda wytworzona przez redlicę typu zębatego wypełniona jest mieszaniną gleby i części słomy, w której umieszczone są nasiona. Brak bezpośredniego kontaktu nasion z dolną warstwą gleby może powodować znaczne opóźnienia wschodów roślin. Ograniczenia wschodów mogą być również spowodowane podszwą wytworzoną z rozmażanej gleby, która powstaje w wyniku pracy zakończenia redlicy zębatej. W warunkach znacznej zwięzłości gleby siewniki uzbrojone w redlice w postaci gęsistópki, dzięki zwiększonemu spulchnieniu roli, sprzyjały wyższym plonom roślin w porównaniu z plonami uzyskanymi przy siewie z redlicami talerzowymi (24).

Redlice zębate i talerzowe przy prędkości powyżej $10 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ lub dużych ilościach resztek poźniwnych zmniejszają głębokość umieszczenia nasion (20, 21). Wysiew w słomę pociętą na sieczkę sprawia mniejsze trudności, lecz przy dużych ilościach resztek poźniwnych należy zastosować większą siłę nacisku na redlicę wysiewającą. Dlatego rozdrobnienie słomy i równomierne jej rozmieszczenie na polu wpływa znacząco na wyrównanie wschodów roślin. Znaczne wahania głębokości siewu mogą być spowodowane przez koła podporowe, które w wyniku dużej ilości resztek poźniwnych unoszą zespół roboczy siewnika. Przy zwiększonych prędkościach siewnika, gdy koło kopiujące (podporowe) znajduje się w linii prostej za sekcją wysiewającą typu zębatego redlice wysiewające wyrzucają na powierzchnię pola coraz większe ilości ziemi z bruzdki siewnej. Powoduje to coraz niższe położenie koła kopiującego w stosunku do powierzchni pola i za głębokie wysiewanie nasion. Prawidłową głębokość siewu można jedynie uzyskać w przypadku, gdy koło kopiujące znajduje się

w bezpośrednim sąsiedztwie z boku sekcji wysiewającej. Wówczas wszelkie nierówności pola są w odpowiedni sposób odwzorowywane poprzez koło kopiujące na sekcje wysiewające siewnika. Przy małych prędkościach i nieznacznej ilości resztek poźniwnych może nastąpić również zwiększenie głębokości wysiewu w porównaniu z nastawioną głębokością. Prędkość powyżej $10 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ powoduje także znaczne zróżnicowanie głębokości wysiewu poszczególnych nasion (od 3 do 8 cm). Należy jednak zaznaczyć, że nowe wysokowydajne pneumatyczne siewniki do siewu bezpośredniego o dużej szerokości roboczej są przystosowane do pracy z dużymi prędkościami. Prawidłowe dozowanie wysiewanych nasion w tych siewnikach zapewnia bezstopniowy napęd dozowników. Siewniki te posiadają również elektroniczną regulację wysiewu w zależności od warunków występujących na poszczególnych częściach pola przy wykorzystaniu GPS (15).

Postępowanie ze słomą

Resztki poźniwne pozostające na powierzchni gleby odznaczają się znacznie zróżnicowanym oddziaływaniem zarówno na strukturę, jak i na życie biologiczne gleby (tab. 1). W warunkach niedoboru opadów zastosowanie mulczu ze słomy może przyczynić się do lepszego plonowania roślin z powodu wyższej wilgotności gleby w warstwie siewnej. Badania wykazały, że pokrycie powierzchni pola warstwą drobno rozdrobnionej słomy umożliwia zmniejszenie o 80% strat wody w górnej warstwie gleby. Zastosowany mulcz przyczynia się do zwiększenia zapasu wody w warstwie uprawnej w zakresie $30\text{--}90 \text{ l} \cdot \text{m}^{-2}$ (27). Wprawdzie spalanie słomy może wpłynąć na zwiększenie plonowania roślin uprawnych, jednak zabieg ten jako środek poprawiający warunki siewu należy zdecydowanie odrzucić. Czynność ta praktykowana w Wielkiej Brytanii sprzyjała jedynie przejściowo uzyskiwaniu wyższych plonów. Po kilku latach nastąpiło na polach znaczne zmniejszenie zawartości substancji organicznej i zwiększenie zwięzłości warstwy ornej oraz zniszczenie życia biologicznego górnych warstw gleby, co wpłynęło na znaczne pogorszenie plonowania roślin (3).

Do usuwania resztek poźniwnych oprócz często stosowanych odgarniaczy talerzowych wykorzystywane są również aktywnie działające tarcze gwiazdowe lub zębate, które ustawione są pod ostrym kątem do jazdy siewnika. Zmniejszenie odległości pomiędzy talerzami rozgarniającymi lub tnącymi a redlicą zębatą ogranicza niebezpieczeństwo zapychania redlic i zmniejsza zbytnie spulchnianie gleby. Efektywność rozdrobnienia słomy przez redlice tarczowe lub zębate uzależniona jest od wielu czynników. Istotną rolę przypisuje się strukturze, stopniu zdrewnienia i wilgotności materiału roślinnego. Obszerne informacje związane z właściwościami reologicznymi i odpornością na cięcie podaje w swej pracy P e r s s o n (28). Zróżnicowanie zdrewnienia słomy może wynikać z różnych sposobów pielęgnacji plantacji (regulatory wzrostu, herbicydy, fungicydy). Badania wykazały znaczną zmienność tej cechy wśród odmian pszenic uprawianych na terenie kraju (7). Zwiększenie prędkości pracy siewnika wpływa również na zwiększenie oporów cięcia resztek poźniwnych.

Tabela 1

Wpływ pozostałości poźniwnych na środowisko

Obszar	Funkcje	Oddziaływania
Gleba	ochrona przed erozją	mniejsze straty gleby i składników odżywczych,
	ochrona przed zamulaniem	wyższa infiltracja wody, mniejsze spływy powierzchniowe, wyższa stabilność agregatów glebowych, mniejsza zwężłość i gęstość gleby, wyższa
	źródło próchnicy	nośność gleby, lepsze przerośnięcie gleby korzeniami
Woda w glebie	ochrona przed ewapotranspiracją	wyższa wilgotność ornych warstw gleby, mniejsze zmiany wilgotności podczas wegetacji, więcej wody dostępnej dla roślin
Temperatura gleby	izolacja	mniejsze zmiany temperatury gleby w przeciągu roku, wolniejsze nagrzewanie gleby, wyższa mrozoodporność roślin
Chemia gleby	źródło próchnicy	wyższa pojemność sorpcyjna, adsorpcja szkodliwych substancji, poprawa właściwości buforowych gleby;
	toksyczne substancje	ujemny wpływ na kiełkowanie roślin
Składniki odżywcze	źródło humusu i substancji odżywczych	zmiana gospodarki składnikami pokarmowymi; redukcja strat składników odżywczych
Edafon	ochrona przed wysychaniem gleby i promieniowaniem UV	Wyższa biologiczna aktywność gleby, wyższa enzymatyczna aktywność, zmiana procesów przetworzenia składników odżywczych, szybszy rozkład resztek poźniwnych, tworzenie biogennych por glebowych
Chwasty	zacienienie powierzchni gleby	tlumienie rozwoju chwastów
	wytwarzanie toksycznych substancji	hamowanie rozwoju chwastów
	unieruchomienie substancji aktywnych	ograniczony wybór substancji aktywnych herbicydów
Choroby	uaktywnienie życia biologicznego, źródła infekcji chorób	zmiany występowania i nasilenia chorób grzybowych
Szkodniki	źródło pożywienia i miejsce składania jaj, ochrona – przezimowanie	korzystny stosunek szkodników i owadów pożytecznych

Źródło: Köller K., Linke C., 2001 (16).

Większość siewników do siewu bezpośredniego wykazuje wadliwe działanie w warunkach dużych ilości resztek poźniwnych na polu. Z tego względu zbiór słomy może przyczynić się do lepszej efektywności wysiewu nasion. W wielu doniesieniach podkreśla się, że słoma powinna być pocięta na sieczkę długości około 5 cm i równomiernie rozmieszczona na polu (20). Jednak efekty działania redlicy talerzowej wskazują, że ten sposób postępowania przyczynia się do znacznej niedokładności wysiewu wielu gatunków roślin charakteryzujących się wąską rozstawą rzędów. Dlatego przy siewie bezpośrednim siewnikami z redlicami talerzowymi należy ciąć słomę na sieczkę o zwiększonej długości. Dłuższe żdźbła słomy (10-15 cm) przy podwójnych redlicach talerzowych są łatwiej przesuwane na boki bruzdki siewnej i nie zostają wprasowywane na dno rowka. Krótka sieczka ze słomy (długość ok. 5 cm) jest jednak nie-

odczownym czynnikiem poprawnej pracy siewników wyposażonych w redlice zębate. W przypadku siewników talerzowych w ostatnich latach zaleca się pozostawienie na polu wysokiego ścierniska. Ten sposób zbioru odznacza się następującymi zaletami (17, 31):

- zwiększoną wydajnością kombajnu o 40-100%,
- wydłużeniem okresu żniw o 1 godzinę rano i 2 godziny wieczorem,
- zmniejszeniem wilgotności ziarna o 1-4%,
- mniejszym zużyciem paliwa o $5-7 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$,
- mniejszym obciążeniem części pracujących kombajnu,
- mniejszymi stratami ziarna o 3-4%,
- zmniejszonymi kosztami o $30-70 \text{ euro} \cdot \text{ha}^{-1}$.

W warunkach wysokiego ścierniska (30-40 cm) żdźbła słomy układają się w trakcie siewu równolegle do kierunku jazdy siewnika i nie zostają wgniecione przez redlicę talerzową na dno rowka siewnego. Ten sposób zbioru przedplonu zapewnia precyzyjniejszy wysiew.

W tabeli 2 przedstawiono wyniki pomiarów wytrzymałości słomy różnych gatunków roślin na cięcie lub ściskanie. Badania wykazały, że świeża słoma w stosunku do rozłożonej posiada prawie o 50% większą wytrzymałość na rozerwanie. Wytrzymałość na rozcinanie była ściśle skorelowana z wilgotnością słomy (20). Rozkład słomy powodował zmniejszenie odporności na rozcinanie o około 35%. Rozcinanie słomy przez redlice talerzowe uzależnione jest nie tylko od odporności żdźbła na cięcie, 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. Prędkość kątowna, promień oraz głębokość pracy kroju tarczowego wywierają również znaczący wpływ na rozcięcie słomy. Siłę oporu gleby w wielu publikacjach określa się poprzez kohezję (21). Gleby zwarte wykazują wartość tego parametru wynoszącą około $0,2 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$, natomiast odporność słomy odpowiada wartości około $3 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$. Dlatego prawdopodobieństwo uzyskania prawidłowego rozdrobnienia słomy może narażać na poważne trudności. Hipotezę tę potwierdzają badania (4, 10), w których wykazano, że przy głębokościach mniejszych niż 4 cm nie uzyskano zadowalających rezultatów. Krawędzie tarcz rozcinających ukształtowane w postaci zębów lub pofałdowane kroje tarczowe rozdrabniały słomę gorzej niż gładkie kroje lub redlice talerzowe.

Tabela 2

Odporność słomy na cięcie, rozerwanie i ściskanie

Autor (poz. literatury)	Roślina	Parametr	Wartość ($\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$)
Linke C., 1988 (20)	kukurydza bawełna soja pszenica	wytrzymałość na ściskanie	0,75-1,65
		wytrzymałość na ściskanie	6-10
		wytrzymałość na ściskanie	3,8-5,8
		wytrzymałość na ściskanie	2,8-6,4
Kushwaha R. S. i in., 1983 (18)	pszenica	wytrzymałość na ściskanie	7-23

Uprawa konserwująca (zachowawcza)

Podstawowymi narzędziami do bezpłужnej uprawy roli są różnego rodzaju brony talerzowe, kultywatory lub grube wyposażone w zróżnicowanej wielkości gęsiostópki. W Niemczech zaleca się również brony chwastowniki spulchniające glebę na głębokość 2 cm. Umożliwiają one równomierne rozrzućenie i rozerwanie pozostałości poźniwnych przy prędkości powyżej $14 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Wysokość ramy tej brony wynosi około 70 cm, na której mocowane są 4 rzędy zębów długości 70-80 cm i średnicy 15 mm. W celu poprawnego nacisku brony na powierzchnię gleby masa jej powinna wynosić 200-300 kg na 1 metr bieżący. Działanie bron talerzowych uzależnione jest w głównej mierze od masy narzędzia uprawowego i zwięzłości gleby. Często brona talerzowa wprowadza resztki poźniwne na głębokość 8-12 cm, tworząc zwartą warstwę słomy, która ogranicza kontakt wysianych nasion z podsiąkającą wodą z dolnych warstw gleby. Konwencjonalne kultywatory pracujące na głębokościach 10-20 cm odznaczają się również małą precyzją utrzymania wyrównanej głębokości spulchnionej warstwy gleby. R a p e r (29) porównując prace brony talerzowej i kultywatora o sztywnych łapach stwierdził, że brona talerzowa lepiej przykrywała resztki roślinne niż kultywator. Stopień przykrycia ziemią pozostałości poźniwnych nie zależał od głębokości pracy narzędzi. Wyniki badań wskazują jednak, że działanie kultywatora uzależnione jest od rodzaju zębów spulchniających (15). Redlice pasemkowe lub sercowe spulchniają głębiej pas ziemi w swym bezpośrednim sąsiedztwie niż między redlicami. Lepsze efekty pracy uzyskuje się przy użyciu gęsiostópki. Obecnie na terenie Niemiec propaguje się nowy typ kultywatora do uprawy konserwującej, który umożliwia płytkie spulchnienie warstwy gleby na głębokość 4 cm, pozostawiając mało naruszoną warstwę słomy na powierzchni pola (16). Kultywator ten jest przyczepiany do ciągnika, co redukuje wpływ jego drgań na równomierność spulchnienia wierzchniej warstwy roli. Za kultywatorem montowane są najczęściej wały strunowe w celu ugniećenia resztek poźniwnych. Kultywator ten posiada redlice w postaci gęsiostópki szerokości 50 cm i kącie natarcia do powierzchni gleby 25° .

W bezpłужnej uprawie roli, w celu efektywnego wymieszania słomy z wierzchnią warstwą gleby, stosuje się od wielu lat różnego rodzaju aktywne narzędzia. Są to brony wahadłowe, wirnikowe, rotacyjne i różnego rodzaju glebogryzarki. Jednak stosowane glebogryzarki odznaczają się bardzo dużą ingerencją w górną warstwę roli, dlatego nie powinny być zalecane jako narzędzia do konserwującej (zachowawczej) uprawy roli.

Podsumowanie

Przedstawiony przegląd literatury krajowej i zagranicznej związanej z zagospodarowaniem słomy w aspekcie siewu bezpośredniego i uprawy bezpłужnej wskazuje, że kroje tarczowe mogą prawidłowo rozdrabniać słomę jedynie w korzystnych warunkach uprawy (gleby zwięzłe z małą ilością suchej lekko zbutwiałej słomy). W warun-

kach znacznych ilości resztek poźniwnych są do wyboru następujące warianty: siew w wysokie ściernisko albo zbiór słomy lub bezplużna – konserwująca uprawa roli. Redlice zębate wprowadzają mniej resztek poźniwnych w obszar wysiewu nasion, ale przy dużej ilości słomy powodują zwałowanie jej i zapychanie siewnika. W przypadku użycia siewników z takimi redlicami należy zastosować rozdrabniacz słomy, który znacznie poprawi precyzję wysiewu nasion.

Przedstawione wyniki badań wskazują, że w warunkach siewu bezpośredniego jedynie zastosowanie rozgarniaczy słomy pracujących przed redlicą wysiewającą może przynieść zadowalające rezultaty poprzez szybsze ogrzanie gleby i poprawę jakości wysiewu nasion. Obecnie w wielu siewnikach stosuje się gładkie lub zębate tarcze rozgarniające słomę umieszczone bezpośrednio przed sekcją wysiewającą. Zastosowanie krojów rozgarniających słomę poprawia pracę kół przykrywających nasiona glebą, szczególnie przy zwiększonej jej wilgotności. Rozgarniacze słomy zmniejszają również obciążenie tarcz wysiewających, które przy dużych ilościach słomy na polu wymagają dodatkowego obciążenia. Należy jednak podkreślić, że w przypadku siewu nasion roślin o małej rozstawie rzędów brak jest siewników do siewu bezpośredniego, które w warunkach dużej ilości słomy na polu odznaczałyby się dobrą precyzją wysiewu.

Literatura

1. Arshad M.A., Franzluebbers A.J., Azooz R.H.: Components of surface soil structure under conventional and no-tillage in north-western Canada. *Soil Till. Res.*, 1999, **53(1)**: 41-47.
2. Baker C.J., Chaudhry A.D., Springett J.A.: Barley seeding establishment by direct drilling in a wet soil. 3. Comparison of six sowing techniques. *Soil Till. Res.*, 1988, **11**: 167-181.
3. Biederbeck V.O., Campbell C.A., Bowren K.E., Schnitzer M., Mciver R.N.: Effect of burning cereal straw on soil properties and grain yields in Saskatchewan. *Soil Sci. Amer. J.*, 1980, **44**: 103-111.
4. Campos Magana S.G., Moreno Rico D., Willis B.M.: Kinematics of notched disc coulters. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan ASAE-1994, paper **94**: 1009.
5. Dauda A., Samari A.: Cowpea yield response to soil compaction under tractor traffic on a sandy loam soil in the semi-arid region of northern Nigeria. *Soil Till. Res.*, 2002, **68**: 17-22.
6. Döbers E.S., Roth R., Meyer B., Becker K.W.: Leitfaden für die Umstellung auf Systeme der nicht wendenden Bodenbearbeitung. Ministerium für Landwirtschaft Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg, 2003, 4-57.
7. Dołiński R.: Zmienność, odziedziczalność i współzależność właściwości mechanicznych i cech morfologicznych źdźbła pszenicy zwyczajnej (*Triticum aestivum* L.) warunkujących odporność na wyleganie. Wyd. AR Lublin, 1995, 3-67.
8. Dzienia S., Zimny L., Weber R.: Najnowsze kierunki w uprawie roli i technice siewu. *Fragm. Agron.*, 2006, **2(90)**: 227-241.
9. Ellmer F., Peschke H., Köhn W., Chmielewski F.M., Baumecker M.: Tillage and fertilizing effects on sandy soils. Review and selected results of long-term experiments at Humboldt University Berlin. *J. Plant Soil Sci.*, 2000, **163**: 267-272.
10. Erbach D.C., Morrison Jr. J.E., Wilkins E.: Equipment modification and innovation for conservation tillage. *J. Soil Water Cons.*, 1983, **38**: 183-185.

11. Gratton J., Chen Y., Tessier S.: Design of a spring-loaded down force system for a no-till seed opener. *Canad. Biosyst. Eng.*, 2003, **45**: 229-235.
12. Guile G.: L'Année du machinisme: Semoirs-94 modeles en 2000 – directs et rapides. Offrir le maximum de polyvalence. *Fr. Agric.*, 2000, **2**: 96-103.
13. Kleinknecht Ch., Kornmann M., Höhner G.: Mulch und Direktsaat: Mit neuen Scharen sauber säen. *Top Agrar*, 2000, **2**: 100-1001.
14. Kreitmayer J., Beckmann C h.: Maschinen zur Zwischenfrucht- und Mulchsaat. In: Zwischenfruchtbau und Mulchsaat als Erosionsschutz, Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, 2004, **1611-4159**, 39-49.
15. Köller K.: Trends bei Saat und Mineraldüngung. *Landtechnik*, 2001, **56(6)**: 376-377.
16. Köller K., Linke C.: Erfolgreicher Acerbau ohne Pflug. *DLG-Verlags-GmbH*, 2001, 7-173.
17. Kratzmann A., Reckleben Y.: Lange Stoppel-Kosten sparen? *Neue Landwirtschaft*, 2006, **4**: 48-49.
18. Kushwaha R. S., Vaishnav A. S., Zoerb G. C.: Shear strength of wheat straw. *Can. Agricult. Eng.*, 1983, **25**: 163-167.
19. Landwirtschaft ohne Pflug 2006 <http://www.pfluglos.de>
20. Linke C.: Direktsaat - eine Bestandsaufnahme unter besonderer Berücksichtigung technischer, agronomischer und ökonomischer Aspekte. Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors. Hohenheim, 1998, 5-482.
21. Linke C., Kushwaha R. L.: High speed evaluation of draft with a vertical blade. *Amer. Soc. Agric. Engineers, St. Joseph, Michigan, ASAE-Paper*, 1992, **92**: 1019.
22. Marks M., Buczyński G.: Degradacja gleb spowodowana mechanizacją prac polowych oraz możliwości jej zapobiegania. *Post. Nauk Rol.*, 2002, **4**: 27-39.
23. Molin J.P., Bashford L. L.: Penetration forces at different soil conditions for punches used on punch planters. *Trans. ASAE*, 1996, **39**: 423-129.
24. Munkholm L. J., Schjnnig P., Rasmussen K. J., Tanderup K.: Spatial and temporal effects of direct drilling on soil structure in the seedling environment. *Soil Till. Res.*, 2003, **71**: 163-173.
25. Nidal H. Abu - Hamdeh: Soil compaction and root distribution for okra as affected by tillage and vehicle parameters. *Soil Till. Res.*, 2003, **74**: 25-35.
26. Pabin J., Biskupski A., Włodek S.: Wpływ zróżnicowanych technik uprawowych i gospodarki słomą na wilgotność gleby. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2006, **508**: 131-136.
27. Papesch J., Steinert K.: Mulch und Direktsaat im Mitteldeutschen Trockengebiet. *Landtechnik Jg.*, 1997, **52(3)**: 128-129.
28. Persson S.: Mechanics of cutting plant material. *ASAE Monograph nr 7*, St. Joseph, Michigan, 1987.
29. Raper R. L.: The influence of implement type, tillage depth and tillage timing on residue burial. *Trans. ASAE*, 2002, **45(5)**: 1281-1286.
30. Siemens M. C., Wilkins D. E., Correa R. F.: Development and evaluation of a residue management wheel for hoe-type no-till drills. *Trans. ASAE*, 2004, **47**: 2.
31. Vossenhric H., Reckleben Y., Gattermann B.: Aufwand vs. Bestellqualität. Stoppellänge – Technische Lösungen und wirtschaftliche Entscheidungen. *Neue Landwirt.*, 2006, **8**: 34-37.
32. Weber R.: Wpływ uprawy zachowawczej na ochronę środowiska. *Post. Nauk Rol.*, 2002, **1**: 57-67.
33. Weber R.: Zmienność plonowania odmian w zależności od przedplonu i sposobu uprawy roli. *Monogr. Rozpr. Nauk., IUNG Puławy*, 2004, **12**: 7-88.
34. Wilkins D. E., Siemens M. C., Albrecht S. L.: Changes in soil physical characteristics during transition from intensive tillage to direct seeding. *Trans. ASAE*, 2002, **45(4)**: 877-880.
35. Włodek S., Pabin J., Kaus A., Biskupski A.: The effect of soil different systems of tillage on the properties of soil and yielding of plants in crop rotation. *Bibl. Fragm. Agron.*, 1997, **2**: 685-688.

Adres do korespondencji:

doc. dr hab. Ryszard Weber
IUNG-PIB
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli
ul. Orzechowa 61
50-540 Wrocław
tel. (071) 363 87 07
e-mail: rweber@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 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 12,5 cm × 18,5 cm
- dołączony wydruk w odpowiednich wymiarach, bardzo dobrej jakości, na białym papierze lub na folii
- 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 zróżnicowanie 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.