

INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA
I GLEBOZNAWSTWA
PAŃSTWOWY INSTYTUT
BADAWCZY



**STUDIA
I
RAPORTY
IUNG - PIB**

18

PROGRAM WIELOLETNI
2005–2010

PUŁAWY, 2009

**PRODUKCYJNE
I ŚRODOWISKOWE ASPEKTY
WSPÓŁCZESNYCH METOD
NAWOŻENIA I REGULACJI
ZACHWASZCZENIA**

**KSZTAŁTOWANIE
ŚRODOWISKA ROLNICZEGO POLSKI
ORAZ ZRÓWNOWAŻONY ROZWÓJ
PRODUKCJI ROLNICZEJ**

INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

Dyrektor: *prof. dr hab. Seweryn Kukula*

Redaktor: *prof. dr hab. Adam Harasim*

Recenzenci: *prof. dr hab. Kazimierz Adamczewski*
prof. dr hab. Bogusław Gnusowski
doc. dr hab. Jerzy Grabiński
doc. dr hab. Janusz Igras
prof. dr hab. Seweryn Kukula
doc. dr hab. Tadeusz Praczyk
prof. dr hab. Marian Wesółowski
doc. dr hab. Stanisław Wróbel

Opracowanie redakcyjne i techniczne: *dr Irena Marcinkowska*

ISBN 978-83-7562-002-3

Egzemplarz bezpłatny

Nakład 200 egz., B-5, zam. 9/A/10
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>

PRODUKCYJNE I ŚRODOWISKOWE
ASPEKTY WSPÓŁCZESNYCH
METOD NAWOŻENIA I REGULACJI
ZACHWASZCZENIA

SPIS TREŚCI

Wstęp	7
1. Jolanta Korzeniowska – Postęp w badaniach nad nawozami o kontrolowanym działaniu	9
2. Ewa Stanisławska-Głubiak – Nawożenie roślin uprawnych molibdenem	27
3. Krzysztof Domaradzki – Przeszłość, teraźniejszość i przyszłość ochrony roślin przed chwastami	43
4. Henryka Rola, Józef Rola, Krzysztof Domaradzki, Hanna Gołębiowska – Strategia regulacji zachwaszczenia w agrocenozach	57
5. Renata Kieloch – Przyrodnicze i agrotechniczne uwarunkowania skuteczności zabiegów chwastobójczych	79
6. Katarzyna Marczevska-Kolasa, Renata Kieloch – Możliwości łączonego stosowania bioregulatorów i herbicydów w zbożach	89
7. Hanna Gołębiowska – Możliwości kontroli zachwaszczenia kukurydzy w integrowanym systemie gospodarowania	103
8. Tomasz Snopczyński – Charakterystyka wybranych gatunków chwastów stanowiących zagrożenie dla upraw kukurydzy	115
9. Mariusz Kucharski, Jerzy Sadowski – Badania pozostałości herbicydów w płodach rolnych na przestrzeni ostatniego dwudziestolecia	127
10. Tomasz Sekutowski, Henryka Rola – Glebowy bank nasion jako niewyczerpalne źródło diaspor chwastów	137
11. Jerzy Sadowski, Marek Badowski, Mariusz Kucharski – Przydatność herbicydów do regulacji zachwaszczenia na trwałych użytkach zielonych	151
12. Stefan Pruszyński, Danuta Sosnowska – Ochrona bioróżnorodności w ustawodawstwie, nauce i praktyce ochrony roślin	165

Wstęp

Postęp w produkcji roślinnej, uwzględniający zasady Wspólnej Polityki Rolnej Unii Europejskiej, powinien sprzyjać równoczesnej realizacji celów produkcyjno-ekonomicznych, środowiskowych i społecznych. Cele produkcyjne, a więc uzyskiwanie odpowiednio dużej masy plonów dobrej jakości realizowane są współcześnie głównie dzięki wykorzystywaniu chemicznych środków produkcji i postępowi w technice uprawy roli. Oprócz spełniania celów produkcyjnych intensyfikacja produkcji roślinnej może wywierać jednak określony, niekorzystny wpływ na przestrzeń użytkowaną rolniczo.

Rolnictwo, użytkując około 60% ogólnej powierzchni kraju, przyjmuje szczególną odpowiedzialność za ochronę środowiska, co znajduje swój wyraz w odpowiednich przepisach prawnych, np. w Konstytucji RP z dnia 02.04.1997 r., prawie ochrony środowiska zawartym w ustawie z dnia 27.04.2001 r., ustawie o nawozach i nawożeniu z dnia 26.07.2000 r. i innych.

Świadome przestrzeganie aktów prawnych, dyrektyw unijnych i zasad Kodeksu Dobrej Praktyki Rolniczej powinno wynikać z dobrej znajomości problematyki współczesnych metod stosowanych w uprawie roli, nawożeniu i ochronie roślin. Pod względem naukowym zagadnienia te znajdują odzwierciedlenie w zadaniu 2.4 programu wieloletniego IUNG-PIB pt.: „Opracowanie i wdrażanie bezpiecznych dla środowiska metod uprawy roli, nawożenia i regulacji zachwaszczenia” realizowanym w Zakładzie Herbologii i Technik Uprawy Roli IUNG-PIB we Wrocławiu. W dniu 18.03.2009 roku w ramach zadania zorganizowane zostały interdyscyplinarne warsztaty robocze pod hasłem: „Produkcyjne i środowiskowe aspekty stosowania współczesnych technik uprawy roli, nawożenia i ochrony roślin”, których celem było przedyskutowanie aktualnych problemów związanych z tematyką zadania 2.4. W warsztatach udział wzięli zarówno pracownicy Instytutu, jak i przedstawiciele innych placówek naukowych z Wrocławia, stowarzyszeń, firm współpracujących z Zakładem oraz rolnicy indywidualni. Spotkanie umożliwiło szeroką wymianę poglądów na płaszczyźnie naukowej i praktycznej. W zeszycie nr 18 z serii „Studia i Raporty IUNG-PIB” zamieszczono opracowania przeglądowe tematycznie związane z problematyką nawożenia i ochrony roślin, stanowiące rozszerzone wersje referatów prezentowanych podczas warsztatów.

*Kierownik zadania 2.4
doc. dr hab. Stanisław Wróbel*

Jolanta Korzeniowska

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

POSTĘP W BADANIACH NAD NAWOZAMI O KONTROLOWANYM DZIAŁANIU*

Wstęp

Podstawowymi problemami związanymi z nawożeniem roślin uprawnych jest zbyt mała efektywność tego zabiegu oraz jego niekorzystne oddziaływanie na środowisko. Efektywność nawożenia jest ograniczona z powodu unieruchomienia bądź strat składników pokarmowych dostarczanych do gleby w nawozach. Z całkowitej ilości składnika wprowadzonego w dawce nawozowej jedynie część zostaje pobrana przez rośliny. Przyjmuje się, że wykorzystanie azotu z nawozów mineralnych wynosi 50-70%, fosforu 10-25% i potasu 50-60%. Jednak, podczas gdy immobilizacja składników w glebie uniemożliwia wykorzystanie ich przez rośliny, to straty są poważnym zagrożeniem dla środowiska naturalnego. Niepobrane przez rośliny pierwiastki wprowadzone do gleby z dużymi dawkami nawozów mogą zanieczyszczać wody i powietrze poprzez wymywanie, ulatnianie do atmosfery, spływy powierzchniowe i wywiewanie poprzez erozję wietrzną. Problem ten dotyczy głównie azotu, choć przedostawanie się innych składników z nawozów do środowiska jest również poważnym niebezpieczeństwem. Przykładem takich zagrożeń jest skażenie wód gruntowych azotanami lub eutrofizacja wód powierzchniowych spowodowana nadmiarem związków azotu i fosforu.

Jedyną możliwością zwiększenia efektywności nawożenia i uniknięcia strat składników pokarmowych jest ściśle dostosowanie dawek nawozowych do tempa ich pobierania i potrzeb pokarmowych roślin. Jednym z rozwiązań tego problemu jest stosowanie nawozów o powolnym, kontrolowanym uwalnianiu składników. Wychodząc naprzeciw temu zapotrzebowaniu światowy przemysł nawozowy ciągle udoskonala i wprowadza na rynek nowe nawozy wolnodziałające, które charakteryzują się rozłożonym w czasie wydzielaniem składników pokarmowych, coraz lepiej dopasowanym do tempa pobrania ich przez rośliny.

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

Terminologia i definicje

Terminologia dotycząca nawozów wolnodziałających jest niejednolita, bowiem różni autorzy posługują się różnymi terminami. W literaturze światowej omawiane są nawozy o spowolnionym (slow-release fertilizers – SRF) lub kontrolowanym uwalnianiu składników (controlled-release fertilizers – CRF), przy czym brak jest jednoznacznych definicji, a określenia te często stosowane są zamiennie. Również AAPFCO (Association of American Plant Food Control Officials), amerykańska organizacja powołana do ujednolicania praw i zasad dotyczących produkcji i stosowania nawozów w USA i Kanadzie, używa w swoich publikacjach obu terminów wymiennie. Najczęściej jednak produkty azotowe rozkładane przez mikroorganizmy, takie jak mocznikoformaldehydy zaliczane są do nawozów typu SRF, a produkty otoczkowane do nawozów CRF (40). Równie często w odniesieniu do szeroko pojętych nawozów wolnodziałających używany jest skrót SRF/CRF (nawozy o spowolnionym lub kontrolowanym uwalnianiu). W niniejszym opracowaniu zdecydowano się na używanie skrótów przejętych z języka angielskiego ze względu na wygodę stosowania oraz powszechne ich występowanie w literaturze światowej.

Termin nawozy wolnodziałające SRF/CRF używany jest w tym opracowaniu w odniesieniu do nawozów, z których uwalnianie składników pokarmowych do środowiska zachodzi w sposób mniej lub bardziej spowolniony lub kontrolowany, dostosowany do potrzeb roślin. Nawozy te charakteryzują się znacznie wolniejszym uwalnianiem składników w porównaniu z dobrze rozpuszczalnymi nawozami tradycyjnymi. Aktualnie przyjmuje się, że termin CRF stosowany jest do określania produktów, dla których sposób, czas trwania i tempo uwalniania składników z nawozu są znane i możliwe do zaplanowania w czasie ich produkcji.

Według AAPFCO (1) nawozy SRF/CRF charakteryzują się:

- opóźnioną dostępnością składników pokarmowych w stosunku do terminu aplikacji nawozu,
- znacznie dłużej trwającą dostępnością składników w stosunku do odpowiadającym im szybko rozpuszczalnym nawozom mineralnym, takim jak: azotan amonu lub mocznik, fosforan amonu i chlorek potasu.

Europejski Komitet Normalizacyjny (CEN) przyjmuje, że produkt może być nazywany nawozem o działaniu spowolnionym jeśli spełnia w określonych warunkach (25°C) każde z 3 poniższych kryteriów:

- nie więcej niż 15% składników uwalnia się w ciągu 24 godzin,
- nie więcej niż 75% składników uwalnia się w ciągu 28 dni,
- co najmniej 75% składników uwalnia się w deklarowanym przez producenta tzw. „czasie uwalniania”.

Podział i charakterystyka nawozów wolnodziałających

Można wyróżnić dwie główne grupy nawozów wolnodziałających (SRF/CRF):

- produkty kondensacji mocznika z aldehydami (często zaliczane do typu SRF);

- nawozy otoczkowane, gdzie uwalnianie substancji pokarmowych kontrolowane jest przez barierę fizyczną (CRF).

Ponadto wielu autorów (17, 31, 38) do nawozów wolnodziałających zalicza trudno rozpuszczalne fosfority, a zwłaszcza nawozy fosforowe wytworzone przez częściowe roztworzenie surowców fosforowych kwasem siarkowym lub fosforowym, zwane PAPR (Partially Acidulated Phosphate Rock).

W szerszym znaczeniu do nawozów wolnodziałających zaliczane są również nawozy azotowe z dodatkiem inhibitorów nitryfikacji lub ureazy (40, 42). Nawozy te jednak nie będą omawiane w pracy dotyczącej nawozów o kontrolowanym działaniu.

Produkty kondensacji mocznika z aldehydami

Produkty kondensacji mocznika z aldehydami to azotowe nawozy organiczne o słabej rozpuszczalności. Największe praktyczne znaczenie mają 3 z nich: nawóz mocznikowo-formaldehdowy, tzw. ureaform (UF), izobutilidenodimocznik (IBDU) i krotonolidenodimocznik (CDU).

Zdecydowanie najpopularniejszym produktem z tej grupy jest ureaform, który był pierwszym wprowadzonym na rynek nawozem wolnodziałającym. Jego produkcja ruszyła w USA w 1955 roku. W Polsce w latach 70. Zakłady Azotowe w Kędzierzynie wyprodukowały nawóz tego rodzaju o nazwie agroform. Jednak ze względu na wysokie koszty wytwarzania zaprzestano jego produkcji. Ureaform powstaje w reakcji formaldehydu z nadmiarem mocznika. Typowy nawóz UF zawiera 37-40% azotu i nie stanowi jednolitego związku chemicznego, lecz jest mieszaniną polimetylenomoczników o różnym stopniu spolimeryzowania. Na jego rozpuszczalność, a tym samym na przyswajalność dla roślin ma wpływ długość łańcuchów powstających związków. W skład ureaformu wchodzi 3 frakcje o różnym stopniu rozpuszczalności (w zimnej wodzie, w gorącej wodzie i nierozpuszczalne w gorącej wodzie). Rozpuszczalność nawozu, a tym samym jego efektywność zależy od stosunku frakcji do siebie. Na podstawie stosunku poszczególnych frakcji oblicza się tzw. „indeks aktywności”, który informuje o szybkości uwalniania azotu i efektywności działania nawozu. Według AAPFCO indeks 40 uznany jest za minimalny. Dawniej produkowane ureaformy charakteryzowały się indeksami na poziomie 40-50, dzisiaj to raczej poziom 55-65. Rozkład UF zachodzi głównie przy udziale mikroorganizmów glebowych, dlatego uwalnianie N jest silnie uzależnione od aktywności mikrobiologicznej gleby, a tym samym od jej uwilgotnienia, temperatury, pH i składu granulometrycznego (19). Ponieważ ureaformy wykazują lepsze działanie w wyższych temperaturach, są szerzej stosowane w cieplejszych strefach klimatycznych (rejon śródziemnomorski, południowe stany USA). Ponadto wadą tych nawozów jest uwalnianie (w wielu przypadkach) z frakcji łatwo rozpuszczalnych większych ilości mocznika niż są potrzebne roślinom we wczesnych fazach wzrostu oraz uwalnianie w zbyt wolnym tempie mocznika z frakcji trudno rozpuszczalnych. Jest to prawdopodobnie przyczyną relatywnego zmniejszenia się udziału UF w całej puli nawozów SRF/CRF stosowanych aktualnie na świecie.

IBDU i CDU, stosowane znacznie mniej powszechnie, zawierają około 32% mocznika i są produktami trudniej rozpuszczalnymi niż ureaform. IBDU powstaje w wyniku reakcji płynnego aldehydu izobutylowego ze stałym mocznikiem, a CDU jest produktem kondensacji mocznika i aldehydu octowego. Rozkład nawozów zachodzi w wyniku hydrolizy i procesów mikrobiologicznych. Stopień uwalniania azotu z IBDU zależy od wielkości cząstek nawozu, wilgoci, temperatury i pH. Im mniejsze są granule, tym tempo uwalniania jest większe, a duże granule rozpuszczają się bardzo wolno.

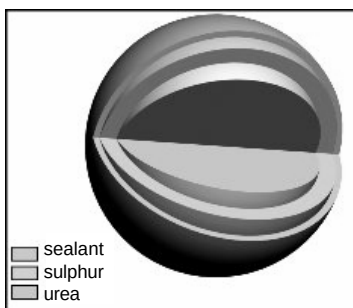
Nawozy otoczkowane

W nawozach otoczkowanych uwalnianie substancji pokarmowych kontrolowane jest przez barierę fizyczną. Nawozy te mają formę granul wytworzonych z łatwo rozpuszczalnych składników pokarmowych, a następnie pokrytych warstwą innej substancji zwanej otoczką lub powłoką, która utrudnia wydostawanie się składników na zewnątrz. Ze względu na materiał użyty do wytworzenia powłoki nawozy te dzielimy na otoczkowane:

- siarką,
- siarką i polimerami organicznymi (poliolefinami i żywicami),
- polimerami organicznymi.

Mocznik otoczkowany siarką

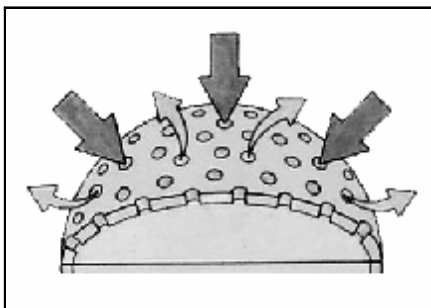
Spośród nawozów otoczkowanych siarką największe znaczenie ma mocznik zwany w skrócie SCU (Sulfur Coated Urea). Technologia wytwarzania tego nawozu została opracowana w 1961 r. w USA, a jego masowa produkcja ruszyła w 1972 roku w Wielkiej Brytanii. SCU jest otrzymywany w wyniku powlekania podgrzanych granul mocznika stopioną siarką. Następnie na powierzchni otoczek siarkowych rozpylany jest воск w celu wypełnienia szczelin w otoczce siarkowej i zmniejszenia tempa jej rozkładu przez mikroorganizmy glebowe (rys. 1). Aktualnie produkowane nawozy SCU zawierają ok. 30-42% N i 6-30% S. Siarka jest używana do otoczkowania granul ze względu na jej zdolność do topienia się w relatywnie niskich temperaturach, niewielki koszt i podatność na rozkład w wyniku procesów mikrobiologicznych.



Rys. 1. Granula mocznika otoczkowanego siarką. Warstwa zewnętrzna – воск uszczelniający, warstwa druga – siarka, środek – mocznik

Źródło: <http://www.zafaran.net>

Mechanizm działania mocznika otoczkowanego siarką został opisany już na przełomie lat 1979/1980 (21). Na uwalnianie się mocznika ma wpływ temperatura (13), zawartość wody w glebie i aktywność mikroorganizmów glebowych. Tempo uwalniania azotu z SCU zależy również od wielkości granul oraz grubości i jakości ich otoczek. Część wytworzonych otoczek siarkowych posiada defekty mechaniczne typu pęknięć lub dziurek. W typowym nawozie SCU występują 3 typy granul: z uszkodzonymi otoczkami posiadającymi pęknięcia, z otoczkami, w których pęknięcia uszczelnione są woskiem i z idealnymi nieuszkodzonymi grubymi otoczkami. Z granul o uszkodzonych otoczkach azot uwalnia się natychmiast po wprowadzeniu do gleby i zetknięciu się z wodą. Otoczka woskowa drugiego typu granul jest rozkładana przez mikroorganizmy, odsłaniając otwory, które pozwalają na wnikanie wody. Zakłada się, że mocznik dyfunduje z granul przez pory lub szczeliny powstałe w otoczce (rys. 2). Proces uwalniania azotu z granul o nieuszkodzonych grubych otoczkach jest bardzo długotrwały. Niekiedy słabej jakości SCU może składać się z 1/3 części granul uszkodzonych i 1/3 granul o nieuszkodzonych bardzo grubych otoczkach. W efekcie z takiego nawozu 1/3 azotu uwalnia się natychmiast po wprowadzeniu go do gleby (tzw. burst effect), a 1/3 może uwolnić się dopiero po zbiorze roślin (tailing effect); (30).



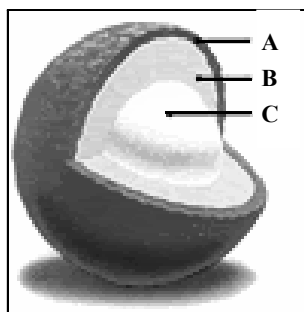
Rys. 2. Schematyczne przedstawienie uwalniania składnika pokarmowego z granul przez otwory w otoczce

Źródło: na podstawie www.dkimages.com

Nawozy otoczkowane siarką i polimerami organicznymi

W związku z wadami zwykłego mocznika otoczkowanego siarką (SCU) wprowadzono modyfikację polegającą na pokrywaniu granul SCU dodatkową cienką warstwą organicznego polimeru – poliolefiny lub żywicy (rys. 3). Otoczkowany polimerem SCU nosi nazwę PCSCU (Polimer Coated Sulfur Coated Urea) i wykazuje znacznie lepsze własności niż zwykły SCU. Otoczki siarkowo-polimerowe łączą zarówno lepszą kontrolę uwalniania dzięki zewnętrznej, cieniutkiej powłoce polimerowej, jak i niskie koszty otoczek siarkowych.

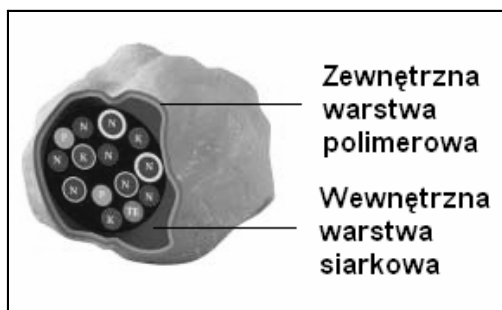
Technologia otoczkowania siarką i polimerami może być z powodzeniem wykorzystywana nie tylko do mocznika, ale również do innych nawozów. Aktualnie tę metodę otoczkowania stosuje się do różnych rodzajów kompletnych nawozów NPK, często



Rys. 3. Granula mocznika otoczkowanego siarką i polimerem: A – warstwa polimeru,
B – warstwa siarki, C – mocznik

Źródło: www.greensleeves-uk.com

z innymi dodatkami, takimi jak magnez, siarka i mikroelementy (rys. 4). Tego typu nawozy stanowią obecnie większość nawozów otoczkowanych dostępnych na rynku i stosowanych w praktyce.



Rys. 4. Przykład granuli nawozu wieloskładnikowego z otoczką polimerowo-siarkową

Źródło: na podstawie <http://www.scottspprofessional.co.uk>

Nawozy otoczkowane polimerami organicznymi

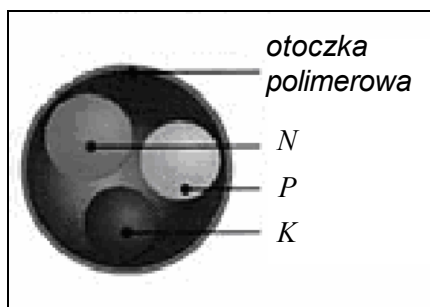
Przez wiele lat na rynku nawozów otoczkowanych dominował standardowy SCU. Jednak w wyniku wzrostu wymagań odbiorców pojawiła się potrzeba stworzenia nawozów o bardziej precyzyjnym mechanizmie uwalniania składników pokarmowych. Doprowadziło to do opracowania nowych metod otoczkowania, w których do wytwarzania powłok na granulach wykorzystuje się różne związki organiczne. Wśród nich największe znaczenie mają poliolefiny, takie jak polietylen i polipropylen oraz żywice alkidowe i poliuretanowe. Ponadto do powlekania granul używane są również woski (18), parafiny, asfalty, lateks, oleje, akryloamid (23, 25) i polistyren (4, 26). W Polsce prowadzono badania nad powlekaniem granul polisulfonami (36) oraz poliakrylonitrylem (37). Kontrola nad uwalnianiem składników pokarmowych z nawozów otoczkowanych osiągana jest poprzez różny skład i grubość powłok (28). W tym celu granule

pokrywa się nawet kilkoma różnymi warstwami tej samej lub różnych substancji (22, 46, 47), przy czym do powłok polimerowych można dodawać specjalne substancje modyfikujące ich działanie.

Większość organicznych polimerów używanych do otoczkowania granul bardzo dobrze przylega do nieorganicznego rdzenia granul. Dzięki temu powstają nawozy odporne na ścieranie, co daje im przewagę nad SCU, którego otoczki siarkowe nie mają takich właściwości. W przeciwieństwie do SCU uwalnianie składników z granul otoczkowanych polimerami jest znacznie mniej uzależnione od właściwości gleby, takich jak pH, uziarnienie i aktywność mikrobiologiczna, a bardziej od temperatury i przepuszczalności wodnej zastosowanych powłok (12, 15, 28). Stwarza to możliwość dość precyzyjnego regulowania uwalniania składników w określonym czasie.

Nowe nawozy otoczkowane polimerami mogą zawierać tylko jeden składnik (najczęściej mocznik) lub mieszanki wieloskładnikowe NPK z dodatkiem lub bez mikroelementów o różnych stosunkach składników (rys. 5). Prowadzone są również badania nad nawozami będącymi połączeniem typowych produktów o działaniu spowolnionym typu UF lub IBDU, a nawozami otoczkowanymi. W takich nawozach rdzeniem otoczkowanych granul są produkty kondensacji mocznika z aldehydami lub inne substancje nawozowe o działaniu spowolnionym (23, 45).

Pierwszym nawozem otoczkowanym polimerami organicznymi, który pojawił się na rynku był wyprodukowany w Kalifornii w 1967 roku nawóz Osmocote z granulami pokrytymi żywicą alkaidową. Innym przykładem nawozów z powłokami żywicowymi są Polyon, Plantacote i Multicote otoczkowane żywicami poliuretanowymi. Na ogół powłoki poliuretanowe wytwarza się w reakcji poliizocyjanianów z alkoholami wielowodorotlenowymi (poliolami) na powierzchni granul nawozu. Poliizocyjaniany reagują również z rdzeniem granul dzięki czemu nawóz odporny jest na ścieranie. Produkty tego typu nazywane są RLC (Reactive Layer Coated). Technologia RLC pozwala na otoczkowanie wielu różnych granulowanych produktów. Zapewnia ona dobrą kontrolę nad uwalnianiem składników pokarmowych poprzez różną grubość otoczki i w pewnym stopniu poprzez modyfikację jej składu.



Rys. 5. Schemat granul nawozu wieloskładnikowego z otoczką polimerową

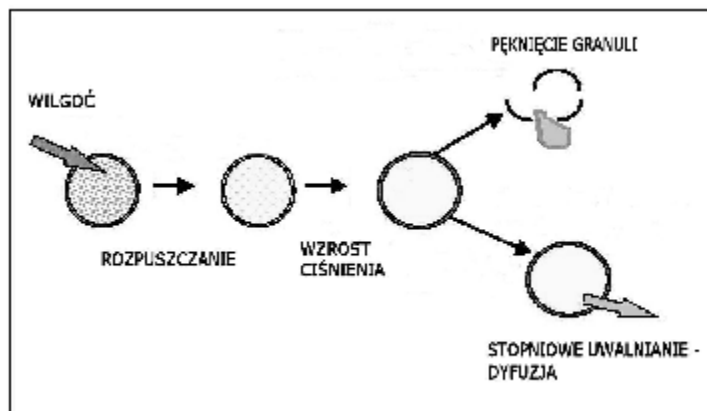
Źródło: na podstawie http://demo.itent.hu/scotts/portal/downloads/English/D165_Br_Agrobien.pdf

Drugą grupą polimerów organicznych, prócz żywic, z powodzeniem używaną do wytwarzania powłok na granulach są poliolefiny. Związki takie, jak polietylen czy polipropylen charakteryzują się dużą stabilnością chemiczną oraz małą przepuszczalnością dla wody. Najbardziej rozpowszechnioną technologią otoczkowania nawozów poliolefinami, takimi jak polietylen jest rozpuszczenie materiału przeznaczonego do otoczkowania w rozpuszczalniku organicznym, a następnie rozpylenie go na granulach lub naprzemienne natryskiwanie granul polimerem i rozpuszczalnikiem (39). Inną stosowaną metodą jest zalewanie granul roztworem polimeru, a następnie wprowadzaniem ich do kąpieli żelującej i suszenie (20, 36). Grubość powłoki, od której zależy dynamika uwalniania, regulowana jest ilością naniesionych warstw lub czasem natryskiwania polimeru (38).

Mechanizm uwalniania składników z nawozów otoczkowanych polimerami

Czas od wprowadzenia granul nawozu do gleby do całkowitego uwolnienia z nich składników pokarmowych nazywa się niekiedy „cyklem życia” nawozu. Proces uwalniania z otoczkowanych granul przebiega stopniowo i składa się z 3 faz: wstępnej, właściwego uwalniania i zanikania uwalniania. Pierwszą wstępną fazą jest wnikanie wody przez otoczkę do wnętrza granul i rozpuszczanie zawartych w niej substancji pokarmowych (29); (rys. 6 i 7). Ciśnienie wewnątrz granul stopniowo wzrasta, osiągając znaczne wartości przy równoczesnym wzroście nasycenia roztworu. Od tego momentu rozpoczyna się II faza uwalniania, która może przebiegać według dwóch różnych schematów:

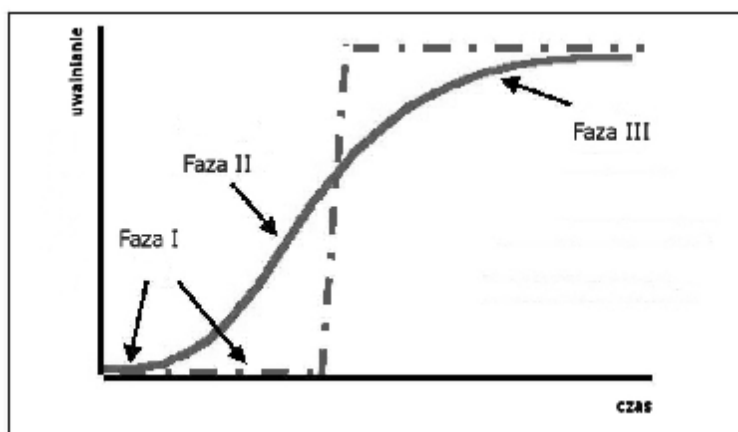
- uwalnianie stopniowe: otoczka wytrzymuje wewnętrzne ciśnienie, a po uzyskaniu nasycenia roztworu składniki pokarmowe uwalnianie są z granul w stałym tempie w wyniku zjawiska dyfuzji;
- uwalnianie skokowe: otoczka pęka na skutek wytworzonego wewnętrznego ciśnienia przewyższającego jej wytrzymałość, a cała zawartość granul natychmiast wydostaje się na zewnątrz.



Rys. 6. Mechanizm uwalniania składników z otoczkowanej granul nawozu CRF

Źródło: Shaviv, 2001.

Ostania III faza cyklu „życia granuli” zwana też fazą zanikania uwalniania to dalsze i coraz wolniejsze uwalnianie na skutek zmniejszania się stężenia wewnątrz granuli, aż do całkowitego wydostania się składników pokarmowych na zewnątrz. Skutkiem pęknięcia granul jest nagłe, skokowe uwalnianie, podczas gdy mechanizm dyfuzyjny powoduje stopniowe uwalnianie składników z nawozu dopasowane do potrzeb pokarmowych roślin (rys. 7). Rozrywanie granul jest charakterystyczne dla kruchych, nieelastycznych otoczek. Uwalnianie poprzez dyfuzję zachodzi w nawozach otoczkowanych polimerami, takimi jak: poliuretany, żywice alkaidowe i poliolefiny.



Rys. 7. Przebieg procesu uwalniania składników pokarmowych z pojedynczej otoczkowanej granuli. Linia ciągła – uwalnianie stopniowe (dyfuzyjne), linia przerywana – uwalnianie skokowe (pęknięcie otoczki)

Źródło: Shaviv, 2001.

Opisany powyżej mechanizm uwalniania odnosi się do zachowania pojedynczej granuli. Natomiast zjawisko uwalniania składników z nawozu dotyczy całej populacji granul, zazwyczaj silnie zróżnicowanej pod względem właściwości otoczek. Różnorodność grubości i jakości powierzchni otoczek poszczególnych granul powoduje, że uwalnianie składników zachodzi stopniowo nie tylko z nawozów o elastycznych niepękających otoczkach, ale również z nawozów, których otoczki pękają w wyniku wzrostu ciśnienia wewnątrz granul. Ponieważ grubsze otoczki rozpadają się później niż cienkie wydzielanie się składnika z nawozu jest rozłożone w czasie. Oczywiście dyfuzyjny stopniowy mechanizm uwalniania daje znacznie większą możliwość kontroli tempa wydzielania się składników z nawozu niż uwalnianie skokowe.

Obecnie prowadzi się coraz więcej badań dotyczących możliwości kontrolowania mechanizmu uwalniania składników pokarmowych z nawozów CRF. W tym celu opracowuje się modele matematyczne, które umożliwiają przewidywanie dynamiki uwalniania w zależności od warunków glebowych i pogodowych (3, 32).

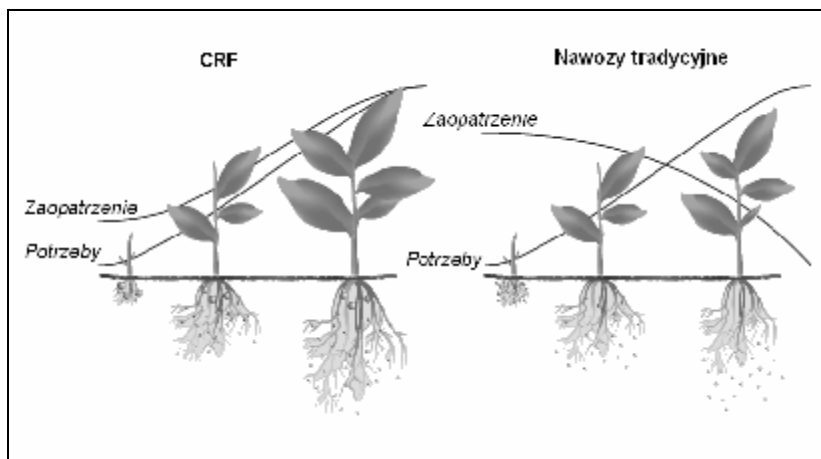
Korzyści ze stosowania nawozów typu SRF/CRF

Wszystkie korzyści wynikające ze stosowania SRF/CRF spowodowane są stopniowym, rozłożonym w czasie w sposób dostosowany do potrzeb roślin uwalnianiem z nich składników pokarmowych. W przeciwieństwie do nawozów tradycyjnych, które rozpuszczają się od razu po wprowadzeniu do gleby przebieg krzywej uwalniania się składników z CRF ma kształt zbliżony do krzywej zapotrzebowania roślin na te składniki (rys. 8).

Stosowanie nawozów o kontrolowanym działaniu powoduje szereg korzyści zarówno agronomicznych, jak i środowiskowych. Do najważniejszych z nich należą:

- wzrost efektywności nawożenia (uwalnianie składników pokarmowych z nawozu zachodzi stopniowo i rośliny są w stanie pobrać je w większej ilości),
- wzrost wielkości i jakości plonów,
- ograniczenie uszkodzeń siewek i sadzonek spowodowanych nadmierną koncentracją soli,
- możliwość obniżenia wielkości stosowanych dawek składników pokarmowych,
- zmniejszenie nakładu pracy ze względu na jednorazową aplikację nawozu,
- ograniczenie unieruchomiania składników pokarmowych w glebie,
- ograniczenie strat składników pokarmowych spowodowanych wymywaniem, spływami powierzchniowymi i ulatnianiem (w przypadku azotu nawet 2–3-krotne w porównaniu z nawozami tradycyjnymi),
- możliwość stosowania w pobliżu ujęć wody pitnej.

Przy stosowaniu SRF/CR na podkreślenie zasługuje zmniejszenie niekorzystnego wpływu nawożenia na środowisko związanego z ograniczeniem strat składników po-



Rys. 8. Porównanie potrzeb i zaopatrzenia roślin w składniki pokarmowe przy stosowaniu nawozów o kontrolowanym działaniu (CRF) i nawozów tradycyjnych

Źródło: na podstawie http://demo.itent.hu/scottis/portal/downloads/English/95L828_D424_Agroblen.pdf

karmowych, szczególnie wymywaniem azotu (8, 13, 14, 27, 43). Przedostawanie się azotu i fosforu oraz innych składników z tradycyjnych nawozów do środowiska jest poważną przyczyną skażenia wód gruntowych i eutrofizacji wód powierzchniowych.

Pomimo niewątpliwych zalet nawozów SRF/CRF należy pamiętać o problemach związanych z ich stosowaniem. Głównym zagadnieniem wymagającym rozwiązania, które limituje zużycie tego typu nawozów jest wysoka cena, prawie 10-krotnie większa niż odpowiednich tradycyjnych nawozów mineralnych. Ogranicza to stosowanie nawozów o kontrolowanym działaniu głównie do upraw wysokonakładowych. Ponadto nie bez znaczenia dla środowiska jest problem nagromadzania się w glebie substancji, z których wykonane są otoczki polimerowe, szczególnie przy wyższych dawkach nawozów. Z trzech najczęściej używanych w praktyce (żywice alkaidowe, żywice poliureatanowe i poliolefiny) otoczki poliolefinowe (polietylen, polipropylen) mają najdłuższy czas rozkładu. W ostatnich latach prowadzi się coraz więcej badań dotyczących stosowania otoczek biodegradowalnych, a więc bezpiecznych dla środowiska (44). Kolejnym problemem jest rzeczywista, precyzyjna kontrola nad uwalnianiem składników. Aktualnie wciąż można spotkać nawozy charakteryzujące się zbytnim opóźnieniem III fazy „cyklu życia”, w wyniku czego część składników pokarmowych może uwalniać się dopiero po zbiorze roślin. Dotyczy to głównie SCU i ma związek z nadmierną grubością otoczek na granulach nawozu. Jedną z istotniejszych kwestii jest również opracowanie wiarygodnych testów charakteryzujących proces uwalniania składników z SRF/CRF. Informacje takie umieszczone na etykiecie produktu byłyby pomocne dla nabywców nawozów. Laboratoria przemysłowe od lat starają się opracować taki test uwalniania, który mógłby być używany jako standard. Niestety w wielu przypadkach wysiłki te koncentrują się na testach, które najlepiej służą interesom producentów.

Stosowanie nawozów typu SRF/CRF w praktyce

Pomimo ciągłego rozwoju technologii produkcji i dostępności na rynku nawozów SRF/CRF ich zużycie jest niewielkie, choć stale wzrasta (tab. 1). Szacuje się, że w 2005 roku zużycie SRF/CRF wynosiło około 1000 tys. ton, co stanowiło zaledwie 0,2% całkowitego światowego zużycia nawozów. Jak już wspomniano, głównym czynnikiem ograniczającym stosowanie SRF/CRF jest wysoka cena, kilkakrotnie wyższa niż tradycyjnych nawozów mineralnych.

Tabela 1

Światowe zużycie nawozów typu SRF/CRF

Rok	Zużycie (tys. ton)	Źródło informacji
1983	322	Trenkel, 1997 (40)
1995/1996	562	Trenkel, 1997 (40)
1999	700	SPUR Ventures INC, 2009 (34)
2001	850	SPUR Ventures INC, 2009 (34)
2005	1 000	SPUR Ventures INC, 2009 (34)

Źródło: opracowanie własne.

Okolo 70% wszystkich wytwarzanych nawozów o kontrolowanym działaniu jest zużywanych w USA, głównie na Florydzie i w Kalifornii. Pozostałe 30% przypada na kraje europejskie, Japonię i Chiny. Szacuje się, że obecnie Chiny produkują około 150-200 tys. ton każdego roku, co stanowi 1% całkowitego zużycia nawozów w tym kraju. W ostatnich latach obserwuje się wzrost znaczenia nawozów otoczkowanych o działaniu kontrolowanym wobec zwykłych nieotoczkowanych o działaniu spowolnionym (31).

Prawie 90% wytworzonych na świecie nawozów CRF/SRF stosowanych jest w działalności pozarolniczej, takiej jak: utrzymanie pól golfowych i boisk sportowych, szkółkarstwo (9, 10), produkcja roślin ozdobnych (11, 24), trawniki (7) oraz zieleń miejska. W produkcji rolnej nawozy wolnodziałające używane są do nawożenia intensywnych, wysokonakładowych upraw osiągających wysokie ceny, co usprawiedliwia wzrost kosztów nawożenia. Dotyczy to głównie warzywnictwa i sadownictwa. Ponadto nawozy o kontrolowanym działaniu są szczególnie przydatne w uprawach pojemnikowych i kontenerowych. W typowej produkcji polowej takich roślin rolniczych, jak: pszenica, kukurydza, rośliny oleiste i motylkowate nawozy typu CRF/SRF praktycznie nie są stosowane. Wyjątkiem jest ryż uprawiany w Japonii na polach zalewanych wodą. W takich warunkach uprawy wmagają się straty składników pokarmowych, a stosowanie CRF/SRF jest jednym z najbardziej efektywnych rozwiązań podnoszących efektywność nawożenia (6, 33).

Większość nawozów wolnodziałających stosowanych w rolnictwie to otoczkowane nawozy o kontrolowanym uwalnianiu składników (ok. 75%), z widocznym trendem stałego 10% rocznego wzrostu zużycia nawozów otoczkowanych polimerami organicznymi. Wykorzystanie pozarolnicze dotyczy po połowie otoczkowanych SRF/CRF i wolnodziałających produktów kondensacji mocznika z aldehydami. W USA i Europie prawie 90% zużywanych nawozów wolnodziałających jest wykorzystywane w celach pozarolniczych, a tylko 10% nawozów stosuje się w rolnictwie, głównie w uprawie papryki (16), pomidora, cebuli, arbuźów, truskawek (5), cytrusów (2) i innych owoców. W Japonii większość CRF wykorzystywana jest w rolnictwie, głównie w uprawie warzyw, ryżu i owoców, a tylko niewielką część stosuje się na trawniki i w uprawie roślin ozdobnych (35).

Przykłady nawozów typu SRF/CRF

Do czołowych producentów wytwarzających nawozy o spowolnionym i kontrolowanym działaniu należą firmy: Scotts, Compo, Aglukon, Haifa, Argium i Chisso (tab. 2). Oferta nawozów SRF/CRF jest bogata i różnorodna (tab. 3). Nabywcy mają do dyspozycji cały wachlarz produktów od nawozów opartych o produkty kondensacji mocznika z aldehydami (np. Azolon 39), poprzez nawozy pojedyncze lub wieloskładnikowe otoczkowane siarką, żywicami i polimerami (np. SCU, Polyon, Osmocote Pro, Multicote), po najnowsze wieloskładnikowe mieszanki nawozowe skomponowane z produktów o różnej technologii otoczkowania, dopasowane ściśle do potrzeb określonych roślin (Agroblen, Osmocote Exact Hi End). Producenci wprowadzają na ry-

Tabela 2

Przykłady firm produkujących nawozy typu SRF/CRF

Producent	Przykłady produktów	Adres strony internetowej
SCOTTS USA	Osmocote, Ficote, Sierraform, Sierrablen, Agromaster, Agroblen	http://www.scottspprofessional.com http://www.scotts.pl
COMPO (BASF) Germany	Triabon, Floranid, Basacote Plus, Basatop/Nitrophoska Top	http://www.international.compo.com http://www.compo.pl
AGLUKON Germany	Plantodur, Plantosan, Azolon, Plantacote	http://www.aglukon.com
HAIFA Izrael	Multicote, CoteN, Multigro	http://www.haifachem.com
ARGIUM USA	IB Nitrogen, ESN, Duration, Polyn	http://www.agriumat.com
CHISSO Japonia	Meister, CDU, UBER, Nutricote	http://www.chisso.co.jp

Źródło: opracowanie własne.

nek całe rodziny nawozów NPK z dodatkiem lub bez magnezu, siarki i mikroelementów różniące się stosunkiem składników oraz czasem ich uwalniania (działania nawozu). Czynnikiem regulującym czas działania nawozu jest rodzaj materiału z jakiego wykonana jest otoczka, ilość naniesionych warstw oraz jej grubość. W tabeli 4 przedstawiono rodzinę 5 nawozów Multicote oraz czas ich działania zależnie od temperatury, a w tabeli 5 najnowszą generację nawozów Osmocote Exact. Nawozy te, zaliczane do czwartej generacji Osmocote, różnią się nie tylko stosunkiem składników i czasem działania, ale również dynamiką tempa uwalniania składników pokarmowych. Umożliwia to nabywcom dopasowanie nawozu do typu ich działalności (produkcja pojemnikowa, utrzymanie terenów zielonych) i do poszczególnych gatunków roślin (o powolnym wzroście początkowym, o dużej wrażliwości na zasolenie).

Podsumowanie

W przyszłości prawdopodobny jest znaczny wzrost zużycia nawozów typu CRF ze względu na możliwość zwiększenia wykorzystania składników pokarmowych, uzyskiwanie dużych plonów o wysokiej jakości oraz zmniejszenie niekorzystnego wpływu nawożenia na środowisko. Jeszcze 10-20 lat temu, porównując działanie nawozów wolnodziałających i tradycyjnych, uwzględniano jedynie wielkość plonu oraz cechy estetyczne, takie jak wybarwienie owoców lub kolor trawy. Dopiero w ostatnich latach, gdy zużycie nawozów otoczkowanych typu CRF stało się bardziej popularne zwrócono uwagę na dopasowanie uwalniania z nich składników pokarmowych do potrzeb pokarmowych roślin oraz wynikającą z tego redukcję strat tych składników, głównie zmniejszenie wymywania azotu. Należy pamiętać, że w dobie rolnictwa zrównoważonego aspekty środowiskowe działalności rolniczej mają kluczowe znaczenie. Pomimo niewątpliwych korzyści stosowania nawozów typu SRF/CRF czynnikiem li-

Tabela 3

Przykłady nawozów o spowolnionym/kontrolowanym działaniu dostępne na rynku

Nazwa handlowa nawozu/Producent	Skład nawozu $N + P_2O_5 + K_2O + MgO + S +$ mikroelementy	Czas działania	Uwagi
Plantodur/Aglukon	$19 + 07 + 11 + 4,8 +$ mikro	1-3 lat	N w formie UF (metyleno-mocznik), leśnictwo
Plantosan/Aglukon	$20 + 10 + 15 + 2 +$ mikro	8-10 tygodni	N w formie UF (metyleno-mocznik), rośliny ozdobne, szkółkarstwo
Azolon 39/Aglukon	$39 + 0 + 0 + 0 + 0$	wolnodziałający	N w formie UF (metyleno-mocznik), trawniki
Azolon Green Speed/Aglukon	$20 + 6 + 18 + 2 + S +$ mikro	wolnodziałający	N w formie UF (metyleno-mocznik), trawniki
Floranid permanent/Compo	$16+7+15+2+S+Fe+$ mikro (37% IBDU-N)	3 M (3 miesiące)	nawozy granulowane, część N w nawożeniu w formie IBDU (izobutyleno-dimocznik), parki, trawniki
Floramid Master Extra/Compo	$19+5+10+2+S+Fe+$ mikro (45% IBDU-N)		
Floramid Eagle/Compo	$24+5+10+0+S+Fe+$ mikro (61% IBDU-N)		
Triabon/Compo	$16 + 8 + 12$ (11% CDU-N)	3-4 M	nawóz granulow., część N w nawożeniu w formie CDU (krotonolidenodimocznik)
SCU/Zafaran (mocznik otoczony siarką)	$35 + 0 + 0 + 0$	do 6 M	otoczka siarkowa z masą uszczelniającą
Rodzina nawozów Agromaster/Scotts	różnorodne formuły NPK z Mg i mikro	wolnodziałający	otoczka siarkowo-polimerowa
Rodzina nawozów Sierrablen/Scotts	różnorodne formuły NPK z Mg, Fe i mikro	2-3 M, 4-5 M, 5-6 M, 8-9 M	otoczka siarkowo-polimerowa powierzchnie trawiaste
Polyon PCU/Agrium	41, 42, 43, 44 lub 44,5% N	4-24 tyg. zależnie od typu nawozu i temp.	mocznik z otoczką polimerową
Rodzina nawozów Polyon CREF/Agrium	różnorodne formuły NPK	2-6 M, 4-8 M, 7-12 M, 9-16 M	otoczka poliuretanowa (technologia RLC)
Rodzina nawozów Osmocote Exact/Scotts	różnorodne formuły NPK+mikro	3-4 M, 5-6 M, 8-9 M, 12-14 M, 16-18 M	otoczka żywiczna lub podwójna otoczka polimerowa
Rodzina nawozów Osmocote Pro/Scotts	$18 + 10 + 11 + 2 +$ mikro	3-4 M, 5-6 M, 8-9 M, 12-14 M	otoczka żywiczna
Osmocote Start 4-6 tyg./Scotts	$12 + 11 + 17 + 0$	4-6 tygodni	otoczka żywiczna, sadzonki

cd. tab. 3

Nazwa handlowa nawozu/Producent	Skład nawozu $N + P_2O_5 + K_2O + MgO + S +$ mikroelementy	Czas działania	Uwagi
Rodzina nawozów Plantacote/Aglucon	różnorodne formuły NPK z Mg i mikroelementami	2M, 4M, 6M, 8M, 12M, 16M	otoczka polimerowa (elastyczny polimer)
Rodzina nawozów Multicote/Haifa	różnorodne formuły NPK z mikro	4M, 6M, 8M, 12M, 16M	otoczka polimerowa, szkółkarstwo i rośliny ozdobne,
Rodzina nawozów Basacote Plus/Compo	$16 + 08 + 12 + 2 + S +$ mikro	3M, 6M, 9M, 12M	otoczka polimerowa, szkółkarstwo, rośliny ozdobne
Rodzina mieszanek Agroblen Base/Scotts	mieszanki nawozów wieloskładnikowych NPKMg o różnym składzie	2-3 M	tylko część N otoczowana, otoczki poli- merowo-siarkowe
Rodzina mieszanek Agroblen Total/Scotts	mieszanki nawozów wieloskładnikowych NPKMg o różnym składzie	5-6 M, 8-9 M	część N P K otoczowana, Mg bez oto- czek, otoczki polimerowo-siarkowe i ży- wiczne

Tabela 4

Czas uwalniania składników z nawozów typu Multicote 15 + 7 + 15 + mikroelementy w zależności od temperatury

Rodzaj nawozu	Czas działania nawozu (miesiące) w temperaturze		
	15°C	21°C	30°C
Multicote 4	6	4	2
Multicote 6	7-8	6	3-4
Multicote 8	9-10	8	5-6
Multicote 12	15-16	12	7-8
Multicote 16	20-22	16-18	9-10

Źródło: <http://www.haifachem.com>

Tabela 5

Nawozy typu Osmocote Exact różniące się składem, czasem i przebiegiem działania

Rodzaj nawozu Osmocote Exact	Skład (N + P ₂ O ₅ + K ₂ O)	Czas działania (miesiące)	Przebieg uwalniania składników
3-4 Standard	16 + 09 + 12 + mikro	3-4	równomierny wzrost uwalniania
5-6 Standard	15 + 09 + 12 + mikro	5-6	równomierny wzrost uwalniania
5-6 Hi End	15 + 09 + 12 + mikro	5-6	dwa okresy większego uwalniania
8-9 Standard	15 + 09 + 11 + mikro	8-9	równomierny wzrost uwalniania
8-9 Hi End	15 + 09 + 11 + mikro	8-9	dwa okresy większego uwalniania
12-14 Standard	15 + 09 + 11 + mikro	12-14	równomierny wzrost uwalniania
12-14 Lo Start	15 + 09 + 11 + mikro	12-14	małe początkowe uwalnianie
16-18 Lo Start	15 + 08 + 11 + mikro	16-18	małe początkowe uwalnianie
5-6 Hi K	11 + 11 + 18 + mikro	5-6	podwyższona zawartość K
8-9 Hi K	11 + 11 + 18 + mikro	8-9	podwyższona zawartość K

Źródło: na podstawie www.scottspprofessional.co.uk/files/MHHYxoDNu.pdf

mitującym dalszy wzrost ich zużycia jest ich wysoka cena. Wydaje się, że jednym z priorytetów w badaniach nad nawozami o kontrolowanym działaniu powinno być opracowanie mniej kosztownych technologii wytwarzania, gdyż tylko niższa cena tego typu produktów może doprowadzić do szerszego ich stosowania w rolnictwie.

Literatura

1. AAPFCO (Association of American Plant Food Control Officials) Official publication published by AAPFCO. Inc. West Lafayette, Indiana, USA, 1992, **45**.
2. Alva A. K., Paramasivam S.: Nitrogen management for high yield and quality of citrus in sandy soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 1998, **62**: 1335-1342.
3. Al-Zahrani S. M.: Controlled-release of fertilizers: modelling and simulation. Int. J. Eng. Sci., 1999, **37**: 1299-1307.
4. Al-Zahrani S. M.: Utilization of polyethylene and paraffin waxes as controlled delivery systems for different fertilizers. Ind. Eng. Chem. Res., 2000, **39**(2): 367-371.
5. Cadahya C., Masaguer A., Vallejo A., Sarro M. J., Pefialosa J. M.: Pre-plant slow-release fertilization of strawberry plants before fertigation. Fert. Res., 1993, **34**: 191-195.

6. Carreres R., Sendra J., Ballesteros R., Valiente E.F., Quesada A., Carrasco D., Leganes F., De La Cuadra J. G.: Assessment of slow release fertilizers and nitrification inhibitors in flooded rice. *Biol. Fertil. Soils*, 2003, **39**: 80-87.
7. Carrow R. N.: Turfgrass response to slow-release nitrogen fertilizers. *Agron. J.*, 1997, **89**: 491-496.
8. Cheng W., Nakajima Y., Sudo S., Akiyama H., Tsuruta H.: N₂O and NO emissions from a field of Chinese cabbage as influenced by band application of urea or controlled-release urea fertilizers. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 2002, **63(2-3)**: 231-238.
9. Chochura P.: Nawozy wolno działające dla produkcji szkółkarskiej. W: Miejsce polskiego szkółkarstwa w Unii Europejskiej: IX Ogólnopolska Konferencja Szkółkarska, Skierniewice, 18-19 lutego 2004 r., Wyd. ISiK Skierniewice, 2004, 55-59.
10. Chochura P.: Nawozy wolno działające w szkółkarstwie ozdobnym. *Szkółkarstwo*, 2004, **4**: 10-13.
11. Cieciora M., Czuchaj P., Szczepaniak S.: The effect of fertilizers on growth and flowering of heterosis cultivars of *Cyclamen persicum* Mill. from Halios group. *Acta Sci. Pol. Hort. Cult.*, 2006, **5(2)**: 3-10.
12. Du C., Zhou J., Shaviv A.: Release characteristics of nutrients from polymer-coated. *J. Polym. Environ.*, 2006, **14**: 223-230.
13. Engelsjord M. E., Fostad O., Singh B. R.: Effects of temperature on nutrient release from slow-release fertilizers. I. Commercial and experimental products. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 1997, **46**: 179-187.
14. Fernández-Escobar R., Benlloch M., Herrera E., García-Novelo J. M.: Effect of traditional and slow-release N fertilizers on growth of olive nursery plants and N losses by leaching. *Scientia Hort.*, 2004, **101**: 39-49.
15. Gandeza A. T., Shoji S., Yamada I.: Simulation of crop response to polyolefin-coated urea: I. Field dissolution. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 1991, **55**: 1462-1467.
16. Gołcz A., Komosa A.: Uwalnianie się azotu, fosforu i potasu z nawozu wolnodziałającego Osmocote Plus w uprawie papryki (*Capsicum annuum* L.). *Acta Agroph.*, 2006, **7(134)**: 567-576.
17. Grzmil B.: Niskoodpadowy proces kompleksowego wytwarzania produktów nawozowych o regulowanej rozpuszczalności. *Prace Nauk. Politechniki Szczecińskiej*, 1998, **542(4)**: 1-146.
18. Ibrahim A. A., Jibrii B. Y.: Controlled release of paraffin wax/rosin-coated fertilizers. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2005, **44(7)**: 2288-2291.
19. Jahns T., Kaltwasser H.: Mechanism of microbial degradation of slow-release fertilizers. *J. Polymer Environ.*, 2000, **8(1)**: 11-16.
20. Jarosiewicz A., Tomaszewska M.: Controlled-release NPK fertilizer encapsulated by polymeric membranes. *J. Agric. Food Chem.*, 2003, **51(2)**: 413-417.
21. Jarrell W. M., Boersma L.: Release of urea by granules of sulfur-coated urea. *Soil. Sci. Soc. Amer. J.*, 1980, **44**: 418-422.
22. Liang R., Liu M.: Preparation and properties of a double-coated slow-release and and water-retention urea fertilizer. *J. Agric. Food Chem.*, 2006, **54(4)**: 1392-1398.
23. Liang R., Liu M., Wu L.: Controlled release NPK compound fertilizer with the function of water retention. *React. Func. Polym.*, 2007, **67**: 769-779.
24. Matysiak B.: Wpływ nawożenia, pH i składu podłoża na wzrost i skład chemiczny liści kalmii szerokolistnej (*Kalmia latifolia* L.). *Fol. Univ. Agricult. Stetin. Agricult.*, 2004, **93(234)**: 233-237.
25. Mingyu Guo M., Liu M., Zhan F., Wu L.: Preparation and properties of a slow-release membrane-encapsulated urea fertilizer with superabsorbent and moisture preservation. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2005, **44(12)**: 4206-4211.
26. Opis patentowy PL 197802 B1. Nawóz o kontrolowanym uwalnianiu i sposób jego wytwarzania. Zgłoszony 1999, udzielony 2008.
27. Paramasivam S., Alva A. K.: Leaching of nitrogen forms from controlled-release nitrogen fertilizers. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 1997, **28(17)**: 1663-1674.

28. Pérez-García S., Fernández-Pérez M., Villafranca-Sánchez M., González-Pradas E., Flores-Céspedes F.: Controlled release of ammonium nitrate from ethylcellulose coated formulations. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2007, **46(10)**: 3304-3311.
29. Shavit U., Reiss M., Shaviv A.: Wetting mechanisms of gel-based controlled-release fertilizers. *J. Contr. Release*, 2003, **88**: 71-83.
30. Shaviv A.: Plant response and environmental aspects as affected by rate and pattern of nitrogen release from controlled release N fertilisers. *Progress in nitrogen cycling studies*. Eds. Van Cleemput et al., Kluwer Academic Publisher, Netherlands, 1996, 285-291.
31. Shaviv A.: Advances in controlled-release fertilizers. *Adv. Agron.*, 2001, **71**: 1-49.
32. Shaviv A., Raban S., Zaidel E.: Modelling controlled nutrient release from a population of polymer coated fertilizers: statistically based model for diffusion release. *Environ. Sci. Technol.*, 2003, **37(10)**: 2257-2261.
33. Shoji S., Kanno H.: Use of polyolefin-coated fertilizers for increasing fertilizer efficiency and reducing nitrate leaching and nitrous oxide emissions. *Fert. Res.*, 1994, **39**: 147-52.
34. Speciality fertilizers. SPUR Ventures INC. 2009. Dostępne jako: <http://www.spur-ventures.com>
35. Tian X., Saigusa M.: Merits, utilization, and perspectives of controlled release nitrogen fertilizers. *Tohoku J. Agr. Res.*, 2002, **52(3-4)**: 39-55.
36. Tomaszewska M., Jarosiewicz A.: Use of polysulfone in controlled-release NPK fertilizer formulations. *J. Agric. Food Chem.*, 2002, **50(16)**: 4634-4639.
37. Tomaszewska M., Jarosiewicz A.: Encapsulation of water-soluble granular fertilizer with polyacrylonitrile. *Ann. Polish Chem. Soc.*, 2003, **2**: 719-723.
38. Tomaszewska M., Jarosiewicz A.: Inteligentne nawozy. *Chemik*, 2006, **59(6)**: 328-332.
39. Tomaszewska M., Jarosiewicz A.: Encapsulation of mineral fertilizer by polysulfone using a spraying method. *Desalination*, 2006, **198**: 346-352.
40. Trenkel M. E.: Controlled-release and stabilized fertilisers in agriculture. IFA Paris, 1997, 1-151.
41. Trenkel M. E.: Slow- and controlled-release fertilizers. *Ullmann's agrochemicals 1*. Wiley-VCH Verlag GmbH and Co, Weinheim, Germany, 2007, 47-56.
42. Trenkel M. E.: Nitrification and urease inhibitors. In: *Ullmann's Agrochemicals 1*. Wiley-VCH Verlag GmbH and Co, Weinheim, Germany, 2007, 56-63.
43. Wang F. I., Alva A. K.: Leaching of nitrogen from slow-release urea sources in sandy soils. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 1996, **60**: 1454-1458.
44. Wu C.: Controlled release evaluation of bacterial fertilizer using polymer composites as matrix. *J. Contr. Release*, 2008, **132**: 42-48.
45. Wu L., Liu M.: Slow-release potassium silicate fertilizer with the function of superabsorbent and water retention. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2007, **46(20)**: 6494-6500.
46. Wu L., Liu M.: Preparation and properties of chitosan-coated NPK compound fertilizer with controlled-release and water-retention. *Carbohydr. Polym.*, 2008, **72**: 240-247.
47. Wu L., Liu M., Liang R.: Preparation and properties of a double-coated slow-release NPK compound fertilizer with superabsorbent and water-retention. *Bioresource Technology*, 2008, **99**: 547-554.

dr hab. Jolanta Korzeniowska
IUNG-PIB
Zakład Herbologii i Techniki Uprawy Roli
ul. Orzechowa 61
50-540 Wrocław
tel.: (71) 363-87-07
email: j.korzeniowska@iung.wroclaw.pl

Ewa Stanisławska-Głubiak

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

NAWOŻENIE ROŚLIN UPRAWNYCH MOLIBDENEM*

Wstęp

Molibden może mieć znaczący wpływ na zwiększenie plonu wielu roślin uprawnych i polepszenie jakości uzyskiwanych produktów. Jest bowiem pierwiastkiem, którego funkcje wiążą się ściśle z metabolizmem azotu. W roślinach spełnia ważną rolę, jako komponent reduktazy azotanowej, która poprzez redukcję azotanów do azotynów uczestniczy w pierwszym etapie procesu tworzenia białek (22, 44). Jako składnik enzymu nitrogenazy jest niezbędny przy wiązaniu azotu cząsteczkowego zarówno dla organizmów wolno żyjących, jak i bakterii z grupy *Rhizobium* żyjących w symbiozie z roślinami motylkowatymi. Stwierdzono, że dolistne nawożenie roślin molibdenem powoduje zwiększenie aktywności obu wymienionych enzymów (60). Molibden bierze udział również w innych procesach życiowych roślin, np. w metabolizmie siarki, przemianach fosforu i reakcjach oksydoredukcyjnych. Stwierdzono jego wpływ na syntezę chlorofilu, karotenu i produkcję kwasu askorbinowego (9, 44, 55).

W naszym kraju znaczenie molibdenu w produkcji roślinnej nie zawsze jest należycie doceniane. Należałoby zwrócić większą uwagę na ten pierwiastek, jako na jeden z elementów w systemach nawożenia, zwłaszcza w warunkach stosowania dużych dawek azotu, a także coraz częściej stosowanej siarki (2). Z bilansu mikroelementów sporządzonego przez Czuby (12) dla warunków krajowych wynika, że w klasycznym systemie nawożenia, z udziałem obornika i stałych nawozów mineralnych, pokrycie potrzeb roślin na molibden jest wystarczające tylko dla średniego poziomu plonów. Przy plonach o 50% większych niż średnie krajowe deficyt molibdenu wynosi około 20% w stosunku do potrzeb pokarmowych. Sytuacja jest znacznie gorsza w warunkach innych systemów nawożenia, gdzie obornik nie jest stosowany. Deficyt Mo kształtuje się wówczas na poziomie około 50-70%. Według danych International Fertilizer Industry Association (IFA) z roku 2008 w Polsce występuje największy deficyt molibdenu spośród państw europejskich. Podobny problem dotyczy takich krajów na świecie, jak Australia i Nowa Zelandia oraz Argentyna i Chiny (5). Wiele rejonów Afryki również charakteryzuje się niedoborem molibdenu w glebach (1).

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

Zawartość molibdenu w glebie

W glebie molibden występuje w niewielkich ilościach w porównaniu z pozostałymi mikroelementami. Zakres najczęściej występujących zawartości całkowitych w glebach Polski wynosi $1-5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (28). Najwięcej tego pierwiastka zawierają mady, a najmniej czarne ziemie i gleby płowe (10, 11, 19, 39). Rozmieszczenie molibdenu w profilu glebowym nie jest równomierne i w pewnym stopniu zależy od typu gleby. Na ogół w glebach płowych gromadzi się on w warstwach głębszych, podczas gdy w glebach brunatnych zasobniejsza jest warstwa wierzchnia. Mady natomiast wykazują małe zróżnicowanie zawartości Mo w profilu. Zasobność gleb w molibden zależy również od ich składu granulometrycznego. Wraz ze wzrostem udziału frakcji spławialnej wzrasta ogólna zawartość tego pierwiastka w glebie (10, 20). Szczególnie ubogie w molibden są warstwy piasku luźnego (10, 11, 35). Podobna zależność dotycząca przyswajalnych form Mo nie jest jednoznacznie dowiedziona. Wielu autorów nie stwierdziło w badanych typach gleb korelacji między zawartością przyswajalnego molibdenu oznaczonego metodą Grigga a zawartością pyłu, części spławianych bądź ich koloidalnego (15, 23, 39). Inni autorzy natomiast wskazują na taką zależność (13, 35, 64). Molibden występuje w glebie w następujących grupach połączeń: 1) związany wewnątrz krystalicznej siatki pierwotnych i wtórnych minerałów glebowych, 2) związany z materią organiczną, 3) jako anion molibdenianowy wymiennie zaadsorbowany przez koloidy glebowe, 4) w połączeniach rozpuszczalnych w wodzie.

Molibden zawarty w minerałach jest niedostępny dla roślin. Pewna część Mo związana z materią organiczną gleby, w połączeniach z kwasami huminowymi oraz fulwowymi, może być pobierana przez rośliny stosunkowo łatwo (cyt. za 21).

Najważniejszą rolę w odżywianiu roślin odgrywają aniony molibdenianowe rozpuszczone w roztworze glebowym oraz związane wymiennie na powierzchni koloidów glebowych. Molibden w roztworze glebowym (Mo aktywny) występuje w bardzo niewielkich stężeniach, od 10^{-8} do $8 \cdot 10^{-8} \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, przede wszystkim jako anion MoO_4^{2-} . Przy pH gleby poniżej 4,5 pojawiają się również jony HMoO_4^- oraz H_2MoO_4 (29). Rośliny pobierają molibden z roztworu glebowego w formie anionu MoO_4^{2-} lub HMoO_4^- na zasadzie przepływu z wodą lub dyfuzji. Wymienna adsorpcja molibdenu zachodzi na powierzchni minerałów ilastych oraz na uwodnionych tlenkach żelaza i glinu. Adsorpcja anionu molibdenianowego przez minerały ilaste wzrasta wraz z zakwaszeniem środowiska aż do pH 2,2 (21). W miarę wzrostu wartości pH adsorpcja staje się coraz słabsza, zwiększa się natomiast koncentracja jonów molibdenianowych w roztworze glebowym. Uważa się, że przy pH powyżej 7,5-8 sorpcja w ogóle nie zachodzi (18, 21).

Według Jonesa (cyt. za 21) największe znaczenie w wiązaniu molibdenu mają związki żelaza oraz w mniejszym stopniu związki glinu. Podobnie jak w przypadku minerałów ilastych wiązanie anionu molibdenianowego przez uwodnione tlenki żelaza i glinu zależy od odczynu gleby i zachodzi silnie przy pH poniżej 5,0 (18). Drugim sposobem wiązania molibdenu przez żelazo i glin jest prawdopodobnie reakcja wol-

nych jonów tych pierwiastków, znajdujących się w roztworze glebowym, z anionami molibdenianowymi, w wyniku czego wytrącają się trudno rozpuszczalne molibdeniany. Oba sposoby wiązania molibdenu – wytrącanie i adsorpcja – mogą występować w glebach bardzo kwaśnych. W glebach, gdzie ilości żelaza i glinu w roztworze są niewielkie molibden ulega głównie adsorpcji. Jony molibdenianowe związane początkowo wymiennie przez koloidalne tlenki żelaza mogą z czasem wskutek krystalizacji przechodzić w formę bardziej stabilną, niewymienną.

Czynniki decydujące o przyswajalności molibdenu dla roślin

Przechodzenie molibdenu z połączeń rozpuszczalnych w słabo rozpuszczalne i odwrotnie związane jest głównie z procesami oksydoredukcyjnymi zachodzącymi w glebie. Molibden sześciowartościowy, istniejący w formie anionu MoO_4^{2-} , w środowisku o dużych właściwościach redukujących, np. w warunkach kwaśnego odczynu lub nadmiernego uwilgotnienia gleby, może przechodzić w formy o niższych wartościowościach, tworząc połączenia trudniej rozpuszczalne nie tylko z żelazem, ale z innymi kationami. Przy zmianie warunków molibden utlenia się z powrotem do formy sześciowartościowej, która jest łatwo pobierana przez rośliny. Do najważniejszych czynników decydujących o przyswajalności molibdenu dla roślin należy więc odczyn gleby oraz zawartość tlenków żelaza i glinu.

Pewien pośredni wpływ na przyswajalność molibdenu może mieć również zasobność gleby w łatwo rozpuszczalne związki fosforowe. Jony fosforanowe wymieniają bowiem zasorbowane przez glebę jony molibdenianowe, wypierając je do roztworu glebowego. Ponadto uważa się, że w warunkach odczynu kwaśnego jony fosforanowe mogą wiązać żelazo w związki trudno rozpuszczalne. Ogranicza to w pewien sposób możliwość tworzenia związków żelaza z molibdenem, z których Mo jest trudno dostępny dla roślin (26, 56). Badania *Stouta i Barshada* (cyt. za 21) dowodzą, że dodatni wpływ jonów fosforanowych polega również na stymulacji pobierania molibdenu przez roślinę na drodze tworzenia anionów molibdenianowo-fosforanowych, które są łatwiej pobierane niż sam anion molibdenianowy. Wielu autorów stwierdziło zależność zawartości molibdenu w roślinie od zawartości przyswajalnego fosforu w glebie bądź wzrost koncentracji Mo pod wpływem nawożenia fosforem (37, 48, 54). Nie we wszystkich badaniach dodatni wpływ fosforu na pobieranie molibdenu został potwierdzony (21, 26, 42). Niekiedy uzyskiwano nawet efekt odwrotny, zwłaszcza na glebach obojętnych lub zasadowych. Panuje pogląd, że fosfor może zwiększać pobranie molibdenu tylko na glebach kwaśnych. *Ruszkowska* (42) stwierdziła na glebach kwaśnych wzrost zawartości molibdenu w pomidorach i lucernie po zastosowaniu nawożenia fosforem, natomiast na glebie o odczynie bliskim obojętnemu wyraźny spadek koncentracji molibdenu w roślinach pod wpływem dawki fosforu. Kilkakrotnie zwiększona koncentracja Mo w roślinach po zwapnowaniu gleby została obniżona wskutek nawożenia fosforem. Z uwagi na to, że suma pobranego molibdenu na ogół zwiększała się pod wpływem dawek fosforu autorka sugeruje tzw. efekt rozcień-

czenia. B i n g h a m i G a b e r (cyt. za 42) próbują natomiast tłumaczyć to zjawisko wytrącaniem molibdenianu na skutek obniżania pH gleby przy wysokich dawkach fosforu.

Wpływ na pobieranie molibdenu obok fosforu mogą mieć również inne pierwiastki. Do jonów hamujących ten proces należą jony siarczanowe. Siarczany obniżają pobieranie molibdenu przez rośliny, ale przede wszystkim na glebach kwaśnych, natomiast na glebach alkalicznych mogą one wpływać stymulująco na jego pobieranie. Mechanizm tego zjawiska zachodzi prawdopodobnie przy pobieraniu jonów przez rośliny, które mają podobną wielkość i taki sam ładunek (21, 30, 55, 56). W badaniach indyjskich (27) nawożenie roślin krzyżowych siarką powodowało obniżenie pobrania i zawartości molibdenu w roślinach. Podobny efekt antagonizmu siarki z molibdenem stwierdzono w koniczynie (40). Dowiedziono, że istnieją zależności między molibdenem, siarką i selenem. Nawożenie siarką powodowało w nasionach rzepaku dwukrotne obniżenie zawartości Mo w wariantcie bez nawożenia selenem oraz sześciokrotne przy nawożeniu Se (57).

Pierwiastki ograniczające pobieranie molibdenu to obok siarki również miedź i mangan. Mechanizm tych zjawisk nie jest do końca wyjaśniony. Może on dotyczyć zarówno procesów fizjologicznych zachodzących w samej roślinie, jak i etapu pobierania pierwiastków z gleby. Antagonizm molibdenu z miedzią polega na tym, że molibden hamuje, a miedź zwiększa aktywność oksydazy cytochromowej i kwaśnej fosfatazy (cyt. za 21). Według M a c K a y'a i in. (cyt. za 29) antagonizm manganu i molibdenu polega na tym, że nadmiar jednego z nich wywołuje niedobór drugiego poprzez interferencje w procesach enzymatycznych. H e n k e n s (26) uważa, że molibdeniany w glebie wchodzi w reakcje z manganem, tworząc związki mniej dostępne dla roślin. Według G o r l a c h a (21) wyniki badań na temat wzajemnych relacji manganu i molibdenu są kontrowersyjne i świadczą o różnych wpływach pośrednich. Cytowani przez niego autorzy (Anderson, Spenser i Arnot oraz Mulder) po dodaniu manganu do gleby stwierdzali niedobór Mo w roślinach, objawiający się spadkiem asymilacji wolnego azotu względnie zmniejszeniem pobierania azotu azotanowego oraz ustąpienie tych objawów po nawożeniu Mo. W badaniach W a r c h o ł o w e j i in. (61) nawożenie manganem gryki powodowało spadek zawartości molibdenu zarówno w liściach, jak i w nasionach. G e m b a r z e w s k i i S i e n k i e w i c z (24) stwierdzili, że rozszerzenie się stosunku Mn : Mo powodowało spadek plonu kupkówki. Inni autorzy otrzymali wyniki odmienne, tzn. wzrastające dawki Mn powodowały wzrost zawartości molibdenu w roślinach. Według K i r c h a i in. (cyt. za 21) antagonizm lub synergizm między Mo i Mn ujawnia się pośrednio przez inne współdziałania, np. z żelazem. R u s z k o w s k a (43) sugeruje, że znaczenie ma stosunek żelaza do manganu w glebie. Przy nadmiarze manganu stężenie Fe^{+2} ulega zmniejszeniu. Nieznany jest do tej pory mechanizm przechodzenia molibdenu przez błony komórkowe, wiadomo natomiast, że jego pobieranie jest aktywowane przez azotany, a hamowane w obecności wolframu (41).

Zawartość molibdenu w roślinach

Zawartość molibdenu w roślinach wynosi najczęściej 0,2-2,0 mg · kg⁻¹ s.m., a zdarza się, że jest znacznie wyższa. Według B e r g m a n n a (4) zawartość 0,5-1,0 mg · kg⁻¹ s.m. zapewnia normalny wzrost roślin. R u s z k o w s k a i in. (43) twierdzą natomiast, że zapotrzebowanie fizjologiczne pokrywa na ogół zawartość 0,03-0,2 mg · kg⁻¹ s.m. B r e n n a n (7) podaje, że krytyczna koncentracja Mo w najmłodszych liściach pszenicy, przy której plon ziarna osiąga 90% wielkości plonu maksymalnego wynosi 0,07 mg · kg⁻¹ s.m.

Akumulacja Mo w poszczególnych częściach rośliny zmienia się w okresie wegetacji i zależy od gatunku rośliny oraz od lokalizacji procesów fizjologicznych i biochemicznych, w których Mo bierze udział. W roślinach motylkowatych najbardziej zasobne w molibden są brodawki korzeniowe, gdzie wiązany jest N₂, a w innych roślinach liście, w których zachodzi redukcja azotanów. Wyniki doświadczeń świadczą o tym, że w warunkach niesprzyjających tworzeniu się brodawek korzeniowych (np. deficyt miedzi) następuje zmniejszenie koncentracji molibdenu w brodawkach wskutek przemieszczenia Mo do części nadziemnych (46). Dolistne nawożenie molibdenem roślin motylkowatych ma wpływ na zwiększenie wielkości brodawek korzeniowych i zahamowanie procesu ich starzenia się (58).

Objawy niedoboru i nadmiaru molibdenu w roślinach

Ukryty niedobór molibdenu, bez objawów zewnętrznych na roślinach, powoduje obniżenie plonu roślin. W badaniach H e n k e n s a (26) w wyniku deficytu molibdenu w glebie stwierdzono około 60% niższe plony buraka cukrowego. Zewnętrzne symptomy niedoboru Mo ujawniają się w warunkach dużego niedoboru tego mikroelementu i przypominają objawy głodu azotowego, w związku z jego funkcją w asymilacji azotu. Pojawia się bladozielone zabarwienie liści, zahamowanie wzrostu roślin, a następnie chloroza między żyłkami i na obrzeżach liści oraz żółknięcie i zasychanie roślin. Ostry deficyt tego składnika powoduje zamieranie stożków wzrostu i ograniczenie kwitnienia. Według literatury amerykańskiej wysoką wrażliwością na niedobór molibdenu charakteryzuje się rzepak, obok innych roślin krzyżowych i strączkowych (56). Inni autorzy do roślin wrażliwych zaliczają: kalafiora, koniczynę, sałatę i szpinak, a do średnio wrażliwych: lucernę, soję, buraka cukrowego, groch, kapustę i owies (30). B e l l i D e l l (5) spośród roślin uprawy polowej wyróżniają rzepak i soję jako gatunki wrażliwe na deficyt Mo.

Rośliny są na ogół odporne na wysokie koncentracje Mo. Być może dlatego, że molibden w roślinach oprócz połączeń w układach enzymatycznych tworzy również trudno rozpuszczalne związki kompleksowe, np. z antocyjanami lub taniną. Niekiedy nawet przy ponad stukrotnych różnicach koncentracji w tkankach nie wykazują objawów toksyczności (44). Nadmierne pobieranie molibdenu może jednak działać hamująco na rozwój roślin i powodować obniżkę plonów (55). Poszczególne gatunki roślin

różnią się bowiem odpornością na nadmiar tego pierwiastka. Do roślin wyjątkowo pod tym względem odpornych należy pomidor i bawełna. W badaniach W a r c h o ł o w e j i in. (61) rośliną o stosunkowo małej tolerancji okazała się gryka, ponieważ zaledwie dwukrotny wzrost stężenia Mo w roślinach w stosunku do optimum spowodował zewnętrzne objawy zatrucia i obniżkę plonów. Obserwowano również zahamowanie wzrostu, skrócenie międzywęźli, zmniejszenie powierzchni liści, a także przejściową chlorozę, zwłaszcza na najmłodszych liściach oraz zwiększenie ilości antocyjanów w pędach.

Zbyt duża zawartość molibdenu w roślinach pastewnych jest niebezpieczna przede wszystkim dla zwierząt, szczególnie przeżuwaczy. Toksyczny poziom koncentracji Mo zależy od zawartości miedzi, siarki oraz wolframu i wynosi około $10 \text{ mg Mo} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$. Za graniczną tolerowaną zawartość tego składnika w zielonce uważa się na ogół $5 \text{ mg Mo} \cdot \text{kg}^{-1}$. Nadmiar Mo w paszy zakłóca przyswajanie i wykorzystanie miedzi, wywołując jej niedobór u zwierząt. Ze względów paszowych prawidłowy stosunek Cu : Mo w roślinach nie powinien wynosić mniej niż 4 : 1 (36).

Efekty nawożenia roślin uprawnych molibdenem

Objawy niedoboru molibdenu u roślin występują najczęściej na glebach kwaśnych, co spowodowane jest jego ograniczoną przyswajalnością. Zwapnowanie gleby usuwa na ogół deficyt molibdenu, ale w przypadku jego małej ogólnej zawartości w glebie konieczne może być nawożenie tym pierwiastkiem. W Polsce około 60% areалу to gleby zakwaszone, w których przyswajalność Mo dla roślin jest ograniczona. Podobny problem niedoboru molibdenu występuje w innych krajach, gdzie gleby są piaszczyste i zakwaszone, między innymi w południowo-zachodniej Australii (7, 25). Rośliny są tam nawożone molibdenem, zwłaszcza uprawiana na dużym areale pszenica, z uwagi na nieopłacalność zabiegu wapnowania (8).

Wyniki wielu doświadczeń wskazują na pozytywne efekty stosowania Mo w uprawie roślin. Na ogół wyższe plony roślin kształtują się na poziomie od kilku do kilkunastu procent. W niektórych przypadkach jednak stwierdzono bardzo duży ich wzrost wskutek nawożenia tym pierwiastkiem. Po raz pierwszy ostry niedobór Mo wykryto w 1942 roku w Australii. Nawożenie tym mikroelementem spowodowało wówczas wzrost plonów suchej masy koniczyny (*Trifolium subterraneum* L.) z 0,31 do $3,34 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (cyt. za 14). W doświadczeniach prowadzonych w południowo-zachodniej Afryce, na bardzo kwaśnych glebach, wzrost plonów soi traktowanej molibdenem sięgał 170% i nawet po zwapnowaniu gleby uzyskano jeszcze 14% wyższe plony nasion wskutek nawożenia Mo (1). W innym przypadku nawożenie dolistne winorośli spowodowało wyższe plony i wzrost masy gron w zakresie 70-750%, w zależności od roku i lokalizacji plantacji (63).

Wyniki badań, głównie krajowych, dotyczących nawożenia molibdenem różnych gatunków roślin uprawnych podano w tabeli 1.

Nawożenie molibdenem często powoduje wzrost jego zawartości w roślinach, ale nie zawsze połączony ze wzrostem plonów. Stopień gromadzenia tego pierwiastka zale-

Tabela 1

Wyniki doświadczeń polowych z nawożeniem różnych gatunków roślin uprawnych molibdenem

Roślina uprawna	Liczba doświadczeń	Sposób i forma nawożenia Mo	Dawka Mo (g · ha ⁻¹)	Efekty nawożenia molibdenem	Pozycja literatury
Rzepak ozimy	9	doglebowo, molibdenian amonu	400	wzrost plonu nasion o 5-8% lub brak reakcji roślin	47
Rzepak ozimy	33	dolistnie, molibdenian amonu	60, 120	wzrost plonu nasion średnio o 5,2%, w zależności od warunków siedliska zwwyżki max. 14,5%, brak reakcji lub obniżenie plonu, wzrost koncentracji Mo w nasionach	50, 51
Rzepak ozimy	84	dolistnie, molibdenian sodu	40	tylko w 7 doświadczeniach niewielkie (max. 6%) zwwyżki plonu nasion	17
Koniczyna czerwona	12	doglebowo, molibdenian amonu	150, 600	w zależności od warunków siedliska wzrost plonu suchej masy o 4-19%, wzrost zawartości Mo w roślinach	48, 53
Lucerna mieszańcowa	2	doglebowo, molibdenian amonu	300 (I rok) + 300 (II rok)	brak reakcji w plonach, wzrost koncentracji Mo w suchej masie do ponad optymalnej dla roślin i powyżej dopuszczalnej dla zwierząt	49
Fasola zwyczajna	3	dolistnie, chelat	200	zwwyżka plonu nasion do 13,7%, wzrost pobrania fosforu i potasu, dodatni wpływ na jakość białka nasion	3, 32
Fasola zwyczajna	1	dolistnie, molibdenian sodu	48	wzrost plonu u 3 odmian średnio o 9%, wzrost pobrania makro- i mikroelementów	45
Groch zwyczajny	3	doglebowo, molibdenian amonu	1000, 2000	zwwyżki plonu nasion o 11-26%, nadmierny pod względem paszowym wzrost zawartości Mo w nasionach	16
Bobik	6	doglebowo, molibdenian amonu	1000	wzrost plonu nasion średnio o 15%	34
Burak cukrowy	12	doglebowo, molibdenian amonu	400	wzrost plonu korzeni średnio o 5%, wzrost zawartości cukru w korzeniach i plonu cukru	62
Jęczmień jary	3	doglebowo, molibdenian amonu	400	w zależności od odmiany wzrost plonu ziarna (8,3-27%), brak reakcji lub obniżka do 28%, wzrost zawartości Mo i obniżenie koncentracji Mn w pędach i w ziarnie	52
Owies	2	dolistnie, molibdenian amonu	4,5	zmiany składu frakcyjnego białka w ziarnie	33
Górski użytek zielony	4	wapnowanie + doglebowo molibdenian amonu	1000	wzrost udziału koniczyn w runi, wzrost plonu suchej masy średnio o 20%	31

Źródło: opracowanie własne.

ży od gatunku, części rośliny i jej wieku oraz od wielkości zastosowanej dawki. W organach roślin motylkowatych molibden nagromadza się prawie proporcjonalnie do zastosowanej dawki nawozu, natomiast w organach zbóż w znacznie mniejszych ilościach (9).

Obniżona zawartość molibdenu w nasionach, która może wystąpić w warunkach deficytu tego składnika w glebie jest niekorzystna, ponieważ materiał siewny jest wówczas gorszej jakości. W badaniach australijskich na glebach bardzo kwaśnych wielkość zwyczajki plonu pszenicy w wyniku dolistnego stosowania Mo zależała od zawartości molibdenu w materiale siewnym (8). Przy niskiej zawartości Mo w nasionach po dolistnym wniesieniu $55 \text{ g Mo} \cdot \text{ha}^{-1}$ uzyskano wzrost plonu o 59%, natomiast pszenica z wyższą zawartością Mo w materiale siewnym zareagowała 15% zwyżką plonu na dolistną dawkę $15 \text{ g Mo} \cdot \text{ha}^{-1}$. Autorzy rekomendują dla pszenicy uprawianej na glebie kwaśnej wysiewanie nasion pochodzących od roślin ze stanowisk alkalicznych, ponieważ nasiona te charakteryzują się wyższą koncentracją Mo. Prowadzone badania z fasolą nad zwiększeniem zawartości Mo w nasionach w wyniku stosowania wysokich dolistnych dawek Mo wykazały, że dzięki wzbogaceniu materiału siewnego w Mo można zrezygnować z późniejszego nawożenia roślin Mo (59).

Badania z rzepakiem w warunkach Polski wykazały około 40-50% wzrost zawartości Mo w nasionach wskutek dolistnego nawożenia rzepaku tym składnikiem zależny od wielkości dawki i terminu zabiegu (51). Po nawożeniu dawkami 60 i $120 \text{ g Mo} \cdot \text{ha}^{-1}$ w fazie początku formowania łodygi zawartość Mo w nasionach wzrosła w większym stopniu niż po nawożeniu we wcześniejszej fazie. Dawka $30 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$ spowodowała jednakowy wzrost koncentracji Mo w nasionach dla obu terminów aplikacji. Badano również wpływ różnych terminów oraz rodzaju nawożenia Mo w uprawie kukurydzy (65). Zarówno nawożenie doglebowe, jak i dolistne wzbogacało liście i ziarno kukurydzy w molibden, lecz dolistne było bardziej efektywne. Aplikacja dolistna, gdy roślina osiągała 80 cm wzrostu podnosiła koncentrację Mo w nasionach w większym stopniu niż przy wysokości roślin 30 cm.

Technika nawożenia molibdenem

Zapotrzebowanie roślin na molibden w porównaniu z innymi mikroelementami jest bardzo małe. Najwięcej tego pierwiastka wymagają rośliny z rodziny motylkowatych i krzyżowych oraz inne żywione azotanami. Według S z u k a l s k i e g o (55) rośliny motylkowate, krzyżowe oraz buraki i kukurydza pobierają od 5-15 g Mo z 1 ha. Zboża i trawy najczęściej do $5 \text{ g Mo} \cdot \text{ha}^{-1}$. Należy pamiętać, że na glebach o odczynie obojętnym lub zasadowym, przy nawożeniu molibdenem, pobranie Mo może być kilkakrotnie większe.

Uzupełnienie niedoborów molibdenu jest możliwe poprzez nawożenie doglebowe, dolistne, a niekiedy donasienne. Do nawożenia doglebowego stosowane są najczęściej skoncentrowane sole techniczne – molibdenian amonu (54% Mo) lub molibdenian sodu (39% Mo), rzadziej trójtlenek molibdenu (66% Mo). Nawożenie doglebowe

stosowane jest jednorazowo w płodozmianie pod roślinę wrażliwą na niedobór molibdenu. Jego działanie utrzymuje się przez następne lata. F a b e r (16) stwierdził następce działanie molibdenu na plony pszenicy i buraka w drugim i trzecim roku po zastosowaniu doglebowej dawki $1 \text{ kg Mo} \cdot \text{ha}^{-1}$ oraz na plony kukurydzy w czwartym roku po zastosowaniu dawki $0,5 \text{ kg Mo} \cdot \text{ha}^{-1}$. Efektywność działania zastosowanego doglebowo molibdenu zmniejsza się w miarę upływu czasu, w wyniku przechodzenia tego pierwiastka w związki niedostępne dla roślin. W wieloletnich doświadczeniach australijskich stwierdzono, że w uprawie pszenicy efektywność następczego działania Mo po 2, 5, 7 i 11 latach od zastosowania zmniejszyła się odpowiednio o 40, 50, 60 i 70% w porównaniu z efektem nawożenia zastosowanego bezpośrednio pod pszenicę. Na glebie o niższym odczynie efektywność ta po 2 i 6 latach zmniejszyła się o 60 i 80% (7), co świadczy o małej skuteczności doglebowego nawożenia Mo na glebach kwaśnych. W uprawie koniczyny działanie następcze molibdenu po 5 latach od zastosowania było około 1/3 mniej efektywne od nawożenia bezpośredniego pod tę roślinę (6).

W przeciwieństwie do nawożenia doglebowego nawożenie dolistne może być skuteczne tylko w jednym roku. Ma jednak tę przewagę nad doglebowym, że można go stosować interwencyjnie w razie stwierdzenia niedostatecznej zawartości mikroelementu w roślinach, co zapewnia bardzo szybkie pobranie brakującego składnika. Stosując dolistne nawożenie unika się strat, jakie powstają przy nawożeniu doglebowym wskutek uwsteczniania i wymywania molibdenu. Dawki dolistne mogą być wielokrotnie niższe niż doglebowe, co ma pewne znaczenie ekonomiczne, jak również ekologiczne. Ponadto istnieje możliwość łączenia nawożenia dolistnego z zabiegami ochrony roślin (38), co również daje wymierne korzyści finansowe wynikające z ograniczenia liczby zabiegów agrotechnicznych.

Znajdujące się obecnie na rynku nawozy dolistne przeznaczone do dokarmiania roślin uprawnych, produkowane przez różne firmy zagraniczne i krajowe, zawierają zwykle wybrane makroelementy oraz pełen zestaw mikroelementów. Jednak zawartość molibdenu w nawozach uniwersalnych kształtuje się na poziomie 0,007-0,02% (tab. 2). Przy zalecanej do kilkukrotnego stosowania łącznej ilości około $5-5,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ tych nawozów sumaryczna dawka molibdenu wynosi zaledwie $0,35-1,0 \text{ g Mo} \cdot \text{ha}^{-1}$. W zestawieniu z potrzebami roślin o dużych wymaganiach odnośnie tego mikroelementu, np. rzepaku, jest to ilość wielokrotnie za mała.

Nawozy wieloskładnikowe, które są przeznaczone do nawożenia określonego gatunku rośliny (specjalistyczne) zawierają nieco więcej Mo, niemniej jednak np. dla rzepaku zawartość w nawozie 0,006-0,05% Mo również nie zapewni właściwej ilości mikroelementu, która jak wynika z badań naukowych powinna wynosić co najmniej $40 \text{ g Mo} \cdot \text{ha}^{-1}$ (tab. 1). Odpowiednią dawkę można więc zastosować tylko w postaci jednoskładnikowego nawozu molibdenowego, np. skoncentrowanej soli technicznej o zawartości 40-50% czystego składnika (molibdenian amonu, molibdenian sodu) lub w postaci związków o właściwościach zbliżonych do chelatu (Symfonia Mo – 10% lub Molibdenit – 3% Mo ($33 \text{ g Mo} \cdot \text{l}^{-1}$)).

Tabela 2

Zawartość molibdenu w dolistnych nawozach wieloskładnikowych znajdujących się na rynku krajowym (według danych producenta)

Nawozy (roślina)	Makroelementy	Zawartość Mo (%)
Uniwersalne		
Mikrovit	-	0,02
Basfoliar 36 Extra	N, Mg	0,0067
Basfoliar 12-4-6	N, P, K, Mg	0,005
Specjalistyczne		
Sonata zboże	Mg	0,01
Sonata rzepak	Mg, S	0,01
Sonata kukurydza	Mg	0,08
Sonata burak	Mg	0,01
Plonvit-Z (zboża)	N, Mg, S	0,005
Plonvit-R (rzepak)	N, Mg, S	0,05
Plonvit-Ku (kukurydza)	N, P, K, Mg, S	0,02
Plonvit-B (burak)	N, Mg, S, Na,	0,005
Insol 3 (zboża)	N, Mg	0,01
Insol 4 (burak)	Mg	0,005
Insol 5 (rzepak)	Mg	0,006
Basfoliar 6-12-6 (kukurydza, strączkowe)	N, P, K, Mg	0,005

Źródło: opracowanie własne.

Donasienne stosowanie Mo ma mniejsze znaczenie w uzupełnianiu niedoborów tego mikroelementu. W doświadczeniach niemieckich nie uzyskano wzrostu plonu rzepaku, którego nasiona traktowano molibdenianem sodu, w związku z tym nie poleca się takiego sposobu nawożenia rzepaku (17). Jednakże niekiedy nawożenie donasienne może przynosić pozytywne efekty. W Republice Południowej Afryki rutynowo zaprawia się molibdenem wszystkie nasiona kukurydzy sprzedawanej z przeznaczeniem do siewu (1).

Podsumowanie

Decyzję o nawożeniu roślin składnikiem pokarmowym podejmuje się między innymi na podstawie oceny jego zawartości w glebie. W przypadku molibdenu nie ma dotychczas precyzyjnej metody oceny zasobności gleby w przyswajalne formy tego mikroelementu. Stacje chemiczno-rolnicze już od wielu lat nie wykonują takich oznaczeń. Stąd też o potrzebie nawożenia roślin molibdenem powinny decydować inne czynniki. Na ogół problem deficytu molibdenu można rozwiązać poprzez wapnowanie gleby. Jednak w sytuacji jego małej ogólnej zawartości w glebie (uboga skała macierzysta) lub w przypadku, kiedy przeprowadzenie zabiegu wapnowania jest niemożliwe ze względów technicznych czy ekonomicznych konieczne może być nawożenie tym pierwiastkiem.

Stosowanie molibdenu w nawożeniu roślin uprawnych jest uzasadnione w następujących przypadkach:

- gatunek uprawianej rośliny jest wrażliwy na niedobór molibdenu (np. rzepak),
- występują ograniczenia w pobieraniu molibdenu z gleby:
 - kwaśny odczyn gleby ($\text{pH} < 5,5$); (ogólnie gorsze warunki wzrostu rośliny, słabszy rozwój systemu korzeniowego, silne wiązanie Mo w glebie przez hydroksytlenki glinu i żelaza ($\text{pH} 4-5$);
 - gleba lekka, piaszczysta, uboga w próchnicę (niska naturalna zasobność gleby w Mo, łatwe wymywanie Mo z gleby);
 - nieodpowiednie warunki powietrzno-wodne (nadmiar wody);
 - nadmiar jonów siarczanowych w glebie (antagonizm);
 - nadmiar jonów fosforanowych (antagonizm w warunkach wyższego odczynu gleby).
- w technologii produkcji roślinnej stosowane są duże dawki azotu, zwłaszcza podane w zakwaszającej glebę formie amonowej lub/i nawożenie siarką.

Największej skuteczności nawożenia molibdenem można się spodziewać w przypadku deficytu Mo w glebie i jednocześnie optymalnego zaopatrzenia roślin w pozostałe makro- i mikroelementy. Występuje tu jednak pewna sprzeczność. Z jednej strony molibdenu najbardziej brakuje w glebach kwaśnych, z drugiej w warunkach kwaśnego odczynu roślina na ogół słabiej pobiera niektóre inne składniki (wapń, magnez, azot) i w związku z tym może być gorzej odżywiona. Efekt zastosowanego molibdenu będzie wypadkową wzajemnych relacji między pierwiastkami i jest dość trudny do przewidzenia. W podjęciu decyzji o nawożeniu Mo pomocny może być program Info-Plant opracowany w IUNG, który służy do oceny stanu odżywienia roślin makro- i mikroelementami na podstawie wyników analiz próbek roślin pobranych w trakcie wegetacji.

Zbyt niska zawartość molibdenu w roślinie może być uzupełniona za pomocą jego dolistnej aplikacji. W przypadku stwierdzenia niedoborów innych składników można zastosować je równocześnie z molibdenem, co poprawi efektywność jego działania. Nawożenie dolistne w przypadku gleby kwaśnej jest bardziej właściwe niż doglebowe, ponieważ w warunkach $\text{pH} < 5,0$ zastosowany doglebowo Mo w krótkim czasie stanie się niedostępny dla roślin. Stosowanie dolistne należy polecać również ze względów ekonomicznych. Zabieg nawożenia można bowiem połączyć z ochroną roślin, co zmniejszy koszty stosowania molibdenu. Na glebie o pH powyżej 5,5 można ten składnik, w odpowiednio większej dawce, zastosować doglebowo pod roślinę wrażliwą. Zapewni to jej, a także roślinom następczym w zmianowaniu właściwy poziom odżywienia molibdenem. Uzupełnienie deficytu molibdenu w roślinie możliwe jest tylko w przypadku użycia jednoskładnikowych nawozów molibdenowych w formie soli technicznych lub związków kompleksowych rozpuszczonych w wodzie. Natomiast wieloskładnikowe nawozy mikroelementowe nie nadają się do tego celu.

Literatura

1. Anonim: Big responses to Mo on soybean in South Africa. Micronutrient News and Information. Micronutrient Bureau. Ed. Schorrock. London, 1992, **12(4)**: 12-13.
2. Balik J., Pavlikova D., Tlustos P., Cerny J., Kulhanek M.: The content of molybdenum in oilseed rape plants after the application of nitrogen and sulphur fertilizers. Mat. Konf. Biogeochemistry of trace elements: environmental protection, remediation and human health. Eds. Zhu Y., Lepp N., Naidu R., Tsinghua University Press, Beijing, 2007, 46-47.
3. Barczak B.: Reakcja fasoli na dolistne nawożenie mikroelementami. I. Plon nasion i słomy fasoli oraz pobranie makroskładników z plonem. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2007, **522**: 427-433.
4. Bergmann W.: Farbatlas Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Visuelle und analytische Diagnose. VEB Gustav Fisher Verlag, Jena, 1986, 1-306.
5. Bell R. W., Dell B.: Micronutrients for sustainable food, feed, fibre and bioenergy production. IFA, Paris, France, 2008, 1-175.
6. Brennan R. F.: Residual value of molybdenum trioxide for clover production on an acidic sandy podzol. Aust. J. Exp. Agric., 2002, **42(5)**: 565-570.
7. Brennan R. F.: Residual value of molybdenum for wheat production on naturally acidic soils of Western Australia. Aust. J. Exp. Agric., 2006, **46(10)**: 333-1339.
8. Brennan R. F., Bolland M. D. A.: Increased concentration of molybdenum in sown wheat seed decreases grain yield responses to applied molybdenum fertilizer in naturally acidic sandplain soils. J. Plant. Nutr., 2007, **30(12)**: 2005-2019.
9. Burkin I.: Znaczenie molibdenu w produkcji rolniczej. PWRiL Warszawa, 1976, 1-319.
10. Czarnowska K.: Molibden w niektórych glebach Niziny Mazowiecko-Podlaskiej. Rocz. Nauk Rol., 1968, A, **94(4)**: 510-543.
11. Czarnowska K.: Zinc, manganese, copper and molybdenum in alluvial soils. Pol. Ecol. Stud., 1978, **4(1)**: 21-25.
12. Czuba R.: Mikroelementy we współczesnych systemach nawożenia. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2000, **471**: 161-169.
13. Czuba R., Dudziak S., Malińska H.: Wstępne wyniki badań wojewódzkich stacji chemiczno-rolniczych nad zawartością mikroelementów w glebach Polski. II. Zawartość przyswajalnych form mikroelementów w profilach niektórych typów gleb. Rocz. Glebozn., 1974, **25(3)**: 21-53.
14. Donald C., Prescott J.: Trace elements in Australian crop and pasture production. In: Trace elements in soil-plant-animal systems. Acad. Press Ins., New York, San Francisco, London, 1975, 7-37.
15. Dudziak S., Bednarek W.: Przyswajalny bor i molibden w czarnoziemach hrubieszowsko-tomaszowskich. Rocz. Glebozn., 1980, **31(1)**: 37-62.
16. Faber A.: Bezpośrednie i następce działanie nawożenia borem, miedzią, molibdenem i cynkiem w zmianowaniu czteropolowym. IUNG Puławy, 1992, **H(2)**: 1-81.
17. Finck M., Sauer mann W.: Molybdändüngung zu Winterraps. Beiträge zur Düngung von Winterraps. UFOP-Schriften, 1996, **9**: 91-105.
18. Foty ma M., Mercik S.: Nawożenie w technologiach uprawy roślin. Chemia rol. Wyd. Nauk. PWN Warszawa, 1995, 233-297.
19. Gorlach E.: Zawartość molibdenu w niektórych glebach Polski Południowej. Rocz. Glebozn., 1963, **13**: 213-225.
20. Gorlach E.: O pewnym uproszczeniu metody Grigga. Rocz. Glebozn., 1964, **14(1)**: 15-26.
21. Gorlach E.: Molibden w glebach i jego przyswajalność dla roślin. Acta Agr. Silv., Agr., 1967, **7(1)**: 79-149.
22. Gorlach E.: Rola mikroelementów w redukcji azotanów. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1996, **440**: 109-119.

23. Gorlach E., Gorlach K.: Wpływ nawożenia molibdenem na plony i skład chemiczny lucerny. *Rocz. Glebozn.*, 1970, **21(2)**: 356-364.
24. Gembarszewski H., Sienkiewicz U.: Wpływ wzrastających dawek saletry amonowej na plonowanie i zawartość Mo i Mn w kupkówce pospolitej. *Mat. VII Symp. „Mikroelementy w Rolnictwie”*, Wrocław, 1992, 343-346.
25. Gupta U. C., Macleod J. A.: Boron and molybdenum. In: *Encyclopedia of Soil Science*, Second Edition, Taylor and Francis, 2006, 188-190.
26. Henkens C. H. H.: Molybdenum uptake by beets in Dutch soils. *Centre for Agric. Pub. and Document., Agric. Res. Reports*, Wageningen, 1972, **775**: 1-54.
27. Hunashikatti M. G., Channal H. T., Sarangamath P. A., Manjunathaiah H. M.: Effect of sulphur and molybdenum on the dry matter yield and uptake of S and Mo by cabbage. *Karn. J. Agricult. Sci.*, 2000, **13(4)**: 840-845.
28. Kabata-Pendias A.: Biogeochemia miedzi i molibdenu. *Zesz. Nauk. PAN Kom. Nauk. Prez. Człow. Środ.*, 1996, **14**: 11-19.
29. Kabata-Pendias A., Pendias H.: *Pierwiastki śladowe w środowisku biologicznym*. Wyd. Geologiczne, Warszawa, 1979, 1-300.
30. Katal J. C., Randhawa N. S.: Micronutrients. *FAO Fert. Plant. Nutr. Bull.*, 1983, **7**: 69-76.
31. Kasperczyk M., Szewczyk W., Kacorzak P.: Wpływ nawożenia na rozwój koniczyny i produktywność runi górskich użytków zielonych. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 2004, **4(1)**: 283-291.
32. Kozera W., Barczak B.: Reakcja fasoli na dolistne nawożenie mikroelementami. Cz. II. Skład frakcyjny białka nasion fasoli w warunkach dolistnego nawożenia borem i molibdenem. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2007, **522**: 435-441.
33. Kozera W., Barczak B., Majcherczak E.: Zawartość i skład frakcyjny białka ziarna owsa uprawianego w warunkach dolistnego nawożenia molibdenem i borem. *Ann. UMCS, Sec. E*, 2004, **59(1)**: 375-382.
34. Krauze A., Benedycka Z., Domska D., Bobrzecka D.: Wpływ wzrastających dawek molibdenu na plonowanie bobiku i zawartość molibdenu w roślinach i glebie. *Zesz. Nauk. ART Olsztyn, Rol.*, 1983, **36**: 39-47.
35. Krauze A., Domska D., Bobrzecka D., Benedycka Z.: Dynamika zawartości przyswajalnego molibdenu w różnych rodzajach gleb użytkowanych rolniczo. *Rocz. Glebozn.*, 1993, **44(3/4)**: 63-68.
36. Kruczyńska H.: Zapotrzebowanie zwierząt na mikroelementy. *Prace Kom. Nauk. PTG*, 1985, **93**: 37-42.
37. Massumi A., Finck A.: Molybdängehalte einiger Acker- und Grünlandpflanzen Schleswig-Holsteins in Abhängig von Bodenfaktoren. *Z. Pfl. Ernähr. Bodenk.*, 1973, **134(1)**: 56-65.
38. Mrówczyński M., Wachowiak H., Seta G.: Łączenie zabiegów ochrony rzepaku z dolistnym dokarmianiem roślin. W: *Zbilansowane nawożenie rzepaku. Aktualne problemy*. AR Poznań, 2000, 121-128.
39. Piotrowska M.: Występowanie boru, miedzi i molibdenu w glebach wytworzonych z lessów Wyżyny Sandomiersko-Opatowskiej. *Pam. Puł.*, 1967, **30**: 99-114.
40. Reddy G. D., Alston A. M., Tiller K. G.: Effects of fertilizer on concentrations of copper, molybdenum, and sulfur in subterranean clover (*Trifolium subterraneum*). *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husband.*, 1981, **21(112)**: 491-497.
41. Reid R. J.: Mechanisms of micronutrient uptake in plants. *Aust. J. Plant Physiol.*, 2001, **28(7)**: 659-666.
42. Ruszkowska M.: Badania nad przyswajalnością molibdenu. Cz. I, II, III. *Pam. Puł.*, 1968, **33**: 5-76.
43. Ruszkowska M.: Mikroelementy. W: *Fizjologia mineralnego żywienia roślin*. Praca zbiorowa pod red. A. Nowotny-Mieczyskiej. PWiRL Warszawa, 1976, 361-447.

44. Ruszkowska M., Wojcieszka-Wyskupa J.: Fizjologiczne i biochemiczne funkcje miedzi i molibdenu w roślinach. Zesz. Nauk. PAN Kom. Nauk. Prez. Człow. Środ., 1996, **14**: 104-110.
45. Satoła M.: Wpływ nawożenia mikroelementami na plonowanie i cechy morfologiczne odmian fasoli zwyczajnej. Mat. II Międzynarodowej Konferencji Doktorantów, Czeskie Budziejowice, 5.04.2001, 8-12.
46. Seliga H.: Zawartość i rozmieszczenie miedzi oraz molibdenu w łubinie żółtym w warunkach niedoboru miedzi. Zesz. Nauk. PAN Kom. Nauk. Prez. Człow. Środ., 1996, **14**: 148-152.
47. Sienkiewicz-Cholewa U., Gembarski H.: Wpływ nawożenia rzepaku ozimego borem i molibdenem na plony. W: Zbilansowane nawożenie rzepaku. Aktualne problemy. AR Poznań, 2000, 175-180.
48. Stanisławska-Głubiak E.: Potrzeby nawożenia molibdenem koniczyzny czerwonej uprawianej na glebach górskich. IUNG Puławy, 1989, 1-51.
49. Stanisławska-Głubiak E.: Badania nad działaniem molibdenu zastosowanego doglebowej pod lucernę. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2000, **471**: 537-542.
50. Stanisławska-Głubiak E.: Wpływ dolistnego nawożenia rzepaku ozimego molibdenem na zawartość tego pierwiastka w nasionach. Ann. UMCS Sec. E, 2008, **63(3)**: 119-126.
51. Stanisławska-Głubiak E.: Wpływ niektórych czynników glebowych na efekty dolistnego nawożenia rzepaku ozimego molibdenem. Ann. UMCS, Sec. E, 2008, **63(4)**: 65-71.
52. Stanisławska-Głubiak E., Sienkiewicz U.: Reakcja odmian jęczmienia jarego na kwaśny odczyn gleby oraz wapnowanie i nawożenie molibdenem. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2004, **502**: 349-356.
53. Stanisławska-Głubiak E., Strączyński S.: Wpływ nawożenia molibdenem na jego zawartość w koniczyźnie. Zesz. Nauk. PAN Kom. Nauk. Prez. Człow. Środ., 1996, **14**: 162-166.
54. Szukalski H.: Wpływ wzrastających dawek nawozów fosforowych i potasowych na plony i zawartość makro- i mikrośladników w glebie i roślinach. Roczn. Nauk Rol., 1974, A, **100(1)**: 69-86.
55. Szukalski H.: Mikroelementy w produkcji roślinnej. PWRiL Warszawa, 1979, 1-320.
56. Tisdale S. L., Nelson W. L., Beaton J. D.: Molybdenum. Soil fertility and fertilizers. Fourth ed. Macmillan Pub. Co. New York, Collier Macmillan Pub. London, 1985, 378-381.
57. Torszin S. P., Jagodin B. A., Udelnowa T. M., Golubkina N. A., Dudetskij A. A.: Wlijanije mikroelementow Se, Zn, Mo pri raznoj obespečenosti poczwy makroelementami i seroj na soderżanije Se w rastenijach jarowoj pszenicy i rapsa. Agrochimija, 1996, **5**: 54-64.
58. Vieira R. F., Cardoso E. J. B. N., Vieira C., Casini S. T. A.: Foliar application of molybdenum in common bean. III. Effect on nodulation. J. Plant Nutr., 1998, **21(10)**: 2153-2161.
59. Vieira R. F., Salgado L. T., De A. C., Ferreira B.: Performance of common bean using seeds harvested from plants fertilized with high rates of molybdenum. J. Plant. Nutr., 2005, **28(2)**: 363-377.
60. Vieira R. F., Vieira C., Cardoso E. J. B. N., Mosquim P. R.: Foliar application of molybdenum in common bean. II. Nitrogenase and nitrate reductase activities in a soil of low fertility. J. Plant Nutr., 1998, **21(10)**: 2141-2151.
61. Warchołowa M., Kusio M., Kocień A.: Wpływ mikroelementów na plon i skład mineralny gryki (*Fagopyrum esculentum* Moench). II: Miedź, molibden, bor. Pam. Puł., 1991, **98**: 95-112.
62. Wróbel S.: Określenie potrzeb nawożenia buraka cukrowego mikroelementami. Monografie i Rozprawy Naukowe, IUNG Puławy, 2002, **2**: 1-95.
63. Williams C. M. J., Maier N. A., Bartlett L.: Effect of molybdenum foliar sprays on yield, berry size, seed formation, and petiolar nutrient composition of "Merlot" grapevines. J. Plant. Nutr., 2005, **27**: 1891-1916. <http://www.informaworld.com/smpp/title~content=t713597277~db=all~tab=issueslist~branches=27-v27>

64. Wiśniewska - Kielian B.: Ocena przydatności metody Grigga do ekstrakcji przyswajalnego molibdenu z gleby. I: Zależność między ilością molibdenu ekstrahowanego metodą Grigga a właściwościami gleb. Zesz. Nauk. AR Kraków, Rol., 1987, **27**: 3-16.
65. Weir R. G., Nagle R. K., Noonan J. B., Towner A. G. W.: The effect of foliar and soil applied molybdenum treatments on the molybdenum concentration of maize grain. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husband., 1976, **16(82)**: 761-764.

Adres do korespondencji:

doc. dr hab. Ewa Stanisławska-Głubiak
IUNG-PIB
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli
ul. Orzechowa 61
50-540 Wrocław
tel.: (71) 363-87-07
e-mail: e.głubiak@iung.wroclaw.pl

Krzysztof Domaradzki

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

PRZESZŁOŚĆ, TERAŹNIEJSZOŚĆ I PRZYSZŁOŚĆ OCHRONY ROŚLIN UPRAWNYCH PRZED CHWASTAMI*

Wstęp

Środki chwastobójcze zwane herbicydami (od łacińskiego *herba* – ziele i *cedeo* – niszczyć) stały się trwałym elementem w technologiach produkcji roślinnej. Jedynym wyjątkiem od tej reguły jest uprawa prowadzona zgodnie z kanonami rolnictwa ekologicznego, w której nie stosuje się środków ochrony roślin wytwarzanych przez przemysł chemiczny (35).

Prawidłowo stosowane herbicydy umożliwiają osiąganie wysokiej skuteczności zabiegu poprzez eliminowanie szerokiej gamy gatunków niepożądanych, bez uszczerbku dla chronionej rośliny. Pozwalają na elastyczność w doborze metody i terminu zabiegu, a właściwie dobrane zapewniają ograniczenie zachwaszczenia do poziomu niezagrożającego roślinie uprawnej i utrzymanie takiego stanu, aż do jej zbioru (7). Należy pamiętać, że współczesne gatunki i odmiany roślin uprawnych, wyhodowane na drodze selekcji, charakteryzują się tak małą konkurencyjnością, iż pozbawione opieki człowieka bardzo łatwo ustępują miejsca chwastom, które są lepiej przystosowane do zróżnicowanych warunków siedliskowych i bez trudu wygrywają z nimi współzawodnictwo o składniki pokarmowe, wodę, światło i miejsce w łanie (29).

Historia ochrony roślin uprawnych przed chwastami

Według źródeł historycznych początki rolniczej działalności człowieka sięgają 8 tys. lat p.n.e. Przez długi czas człowiek pierwotny nie prowadził żadnych działań związanych ze zwalczaniem chwastów. Jedyną formą eliminacji niepożądanego rośliności przez wiele wieków było jej ręczne usuwanie. Pierwszą informacją o świadomym działaniu, które wiązało się ze zwalczaniem innych roślin, są przekazy biblijne. Można z nich wyczytać, że 1 200 lat p.n.e. zwycięskie armie na Bliskim Wschodzie rozsiewały sól i popiół na zdobytych polach, aby uczynić je bezproduktywnymi, co można uznać za pierwsze w historii zastosowanie niselektywnego herbicydu. Aż do

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

połowy XX wieku nie stosowano w praktyce innych metod odchwaszczania poza metodami mechanicznymi i agrotechnicznymi, które polegały na wykorzystaniu zabiegów uprawowych późniwnych i przedsiwnych, odpowiednim zmianowaniu oraz czyszczeniu materiału siewnego. W przypadkach gdy zachodziła potrzeba całkowitej eliminacji zbędnej roślinności była ona wypalana.

Pierwszą jaskółką, która pojawiła się w drugiej połowie XIX w. i wróżyła późniejszy rozwój środków chwastobójczych było odkrycie ograniczonego działania herbicydowego cieczy bordoskiej (fungicyd miedziowy), która była używana we Francji do ochrony winorośli przed chorobami grzybowymi. Pewne działania podejmowano również w Stanach Zjednoczonych, gdzie pod koniec lat 20. XX w. testowano chlorek sodowy do zwalczania trawy Johnsona (*Sorghum halepense*), stosując go w dawce 200 lb./acr, czyli 1090 kg · ha⁻¹. Jednak początek chemicznej metodzie zwalczania chwastów dała synteza herbicydów organicznych z grupy dwunitro-o-krezoli, której dokonano w roku 1932 oraz odkrycie kwasów fenoksyoctowych (2,4-D i MCPA) w roku 1944, które znalazły zastosowanie jako pierwsze selektywne herbicydy.

Od połowy lat 50. następuje gwałtowny rozwój herbicydów. Wprowadzenie w 1957 roku do użytku atrazyny wpływa na dynamiczny wzrost areалу uprawy kukurydzy. W latach 60. wprowadzono na rynek pochodne mocznika (linuron, chlorotoluron), herbicydy amidowe (alachlor, propachlor) i środki do odchwaszczania buraka (chloridazon i fenmedifam). W latach 70. pojawiają się herbicydy zawierające tak popularne substancje aktywne, jak: glifosat, pendimetalina, izoproturon, metamitron, chlopyralid i metazachlor. Znaczne ograniczenie dawek herbicydów oraz wycofanie starych, niebezpiecznych środków miało miejsce po roku 1979, gdy wprowadzono do stosowania pierwszy herbicyd z grupy pochodnych sulfonilomocznika – chlorosulfuron. Lata 80. XX w. obfitują w dalsze substancje z tej rodziny herbicydów (tifensulfuron metylu, metsulfuron metylu, nikosulfuron, primisulfuron, amidosulfuron) oraz rozwój graminicydów (fluazyfop butylu, haloksyfop metylu, fenoksaprop etylu, cykloksidim) i imidazolin – środków o podobnym mechanizmie działania do sulfonilomoczników. Przełom XX i XXI w. to rozwój herbicydów sulfonilomocznikowych blokujących aktywność enzymów w syntezie białek roślinnych, znacznie bardziej bezpiecznych dla człowieka. Obecnie do tej grupy herbicydów należy ponad 30 substancji aktywnych.

Aby zilustrować zmiany jakie zachodzą w asortymencie herbicydów w naszym kraju w tabeli 1 przedstawiono czas, jaki upływał od pierwszej rejestracji środka za granicą do jego dopuszczenia do obrotu w Polsce w ostatnich 60 latach. Na tej podstawie można stwierdzić, że dawno minęły czasy, gdy do naszego kraju trafiały środki starszej generacji, często wycofywane w krajach Europy Zachodniej. Obecnie na rynek Polski trafiają środki nowoczesne oraz wszechstronnie przebadane.

Reasumując można stwierdzić, że na przestrzeni ostatnich osiemdziesięciu lat nastąpił dynamiczny rozwój chemicznych środków chwastobójczych, które w tym czasie przeszły ewolucję od środków o wysokiej toksyczności, często stwarzających problemy roślinom następczym, do środków bezpiecznych dla środowiska i konsumentów, o bardzo wyspecjalizowanych mechanizmach działania (2, 4, 19, 25, 26).

Tabela 1

Rejestracja herbicydów na świecie i w Polsce

Substancja aktywna	Świat	Polska
2,4-D	1942	po 23 latach
MCPA	1945	po 20 latach
Atrazyna	1957	po 8 latach
Chlorydazon	1962	po 4 latach
Fenmedifam	1967	po 5 latach
Chlorotoluron	1969	po 8 latach
Glifosat	1974	po 5 latach
Izoproturon	1974	po 7 latach
Chlorosulfuron	1979	po 6 latach
Fluazop-P-butylu	1980	po 4 latach
Fenoksaprop-P-etylu	1989	po roku
Flufenacet	1998	po 2 latach
Jodosulfuron metylu	1999	po roku
Foramsulfuron	2002	równocześnie

Źródło: Praczyk i Skrzypczak, 2004 (26).

Zmiany w asortymencie i koncepcji stosowania herbicydów

W latach osiemdziesiątych XX w. w wielu krajach o bardzo intensywnym rolnictwie pojawiła się tendencja zmierzająca do racjonalnego ograniczenia stosowania chemicznych środków ochrony roślin, a zwłaszcza herbicydów. Działania te wynikały z proekologicznej polityki lansowanej w krajach Unii Europejskiej i Stanach Zjednoczonych, a związane były z wprowadzaniem nowej strategii w ochronie roślin polegającej na redukowaniu dawek oraz zmniejszaniu ilości zabiegów do niezbędnego minimum (5). W ślad za decyzjami rządowymi nadeszła pora na opracowanie konkretnych rozwiązań. W wielu krajach rozpoczęto intensywne badania naukowe mające na celu wypracowanie – dla lokalnych warunków – właściwych metod zmniejszonego zużycia herbicydów, z jednoczesnym zachowaniem pożądanej skuteczności działania. W Europie najintensywniej prowadzono badania w Wielkiej Brytanii, krajach skandynawskich (zwłaszcza w Danii) oraz we Francji i Niemczech (15, 27, 32, 40, 41). Podobnie wyglądała sytuacja w Stanach Zjednoczonych (6).

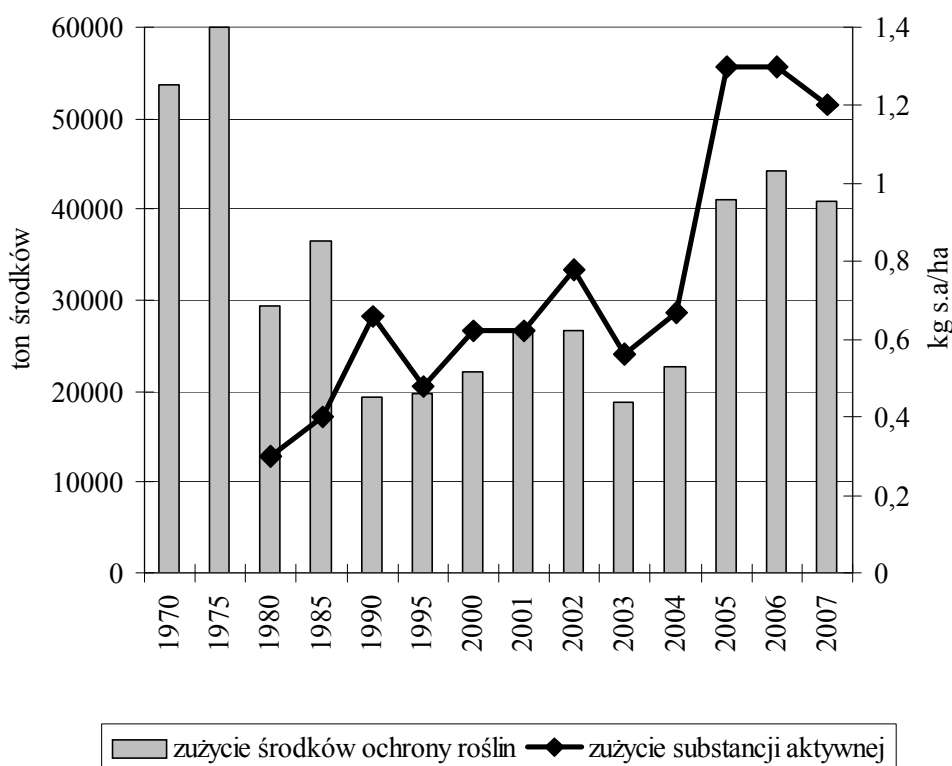
Wyraz troski o zdrowie konsumenta i środowisko znalazł również odzwierciedlenie w prawodawstwie Unii Europejskiej. Dyrektywa Rady z dnia 15 lipca 1991 roku nr 91/414/EWG zawiera w swej preambule stwierdzenie mówiące, że środki ochrony roślin dopuszczone do użycia muszą być bezpieczne w stosowaniu oraz nie mogą stwarzać zagrożenia dla zdrowia ludzi i środowiska. Stosowaniu tych środków powinna przyswieszczać zasada o nadrzędności ochrony zdrowia ludzi i zwierząt oraz środowiska, przed osiągnięciem korzyści wynikających z tytułu wzrostu poziomu produkcji (8). Doskonałym przykładem takiego sposobu myślenia jest stwierdzenie lansowane przez duńskich naukowców i doradców mówiące, że środki ochrony roślin należy stosować tylko wtedy, gdy jest to bezwzględnie konieczne, lecz w dawkach na tyle niskich, na ile to tylko możliwe (17).

Jednym ze sposobów dążenia do tego celu było powstanie koncepcji rolnictwa zrównoważonego, którego głównym hasłem jest zaspokojenie aktualnych potrzeb żywnościowych społeczeństw, bez ograniczania tej możliwości przyszłym pokoleniom. Taka forma gospodarowania jest przyjazna środowisku, korzystna ekonomicznie i odpowiedzialna społecznie. Środki ochrony roślin, stanowiąc integralny element zrównoważonej produkcji rolniczej, powinny być wykorzystane w taki sposób, aby zmniejszyć niepotrzebny ujemny wpływ na środowisko, ograniczyć ryzyko związane z ich stosowaniem dla aplikującego, zminimalizować ilość odpadów oraz zapewnić bezpieczeństwo konsumentom (24).

Z pojęciem rolnictwa zrównoważonego związane jest gospodarowanie zgodne z zasadami dobrej praktyki rolniczej z wykorzystaniem integrowanych metod uprawy i ochrony roślin (1, 10). Koncepcja ta powstała w połowie lat osiemdziesiątych XX w. i została skodyfikowana przez Europejską i Śródziemnomorską Organizację Ochrony Roślin. 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 i dających jak najmniejsze pozostałości w produktach spożywczych (23).

Zgodnie z tymi koncepcjami od kilku lat obserwuje się zmniejszenie zużycia środków ochrony roślin, w tym także herbicydów, zwłaszcza w intensywnie gospodarujących krajach Ameryki Północnej i Europy. Tendencja ta będzie się utrzymywała również w najbliższej przyszłości (16). Doskonałym przykładem ilustrującym to zjawisko jest ograniczenie zużycia środków w Danii aż o 56% na przestrzeni ostatnich 20 lat (14). Podobną sytuację, choć wynikającą z innych przyczyn, obserwuje się również w Polsce (rys. 1). W naszym kraju główną przyczyną ograniczenia zużycia środków ochrony roślin była transformacja ustrojowa, która dotknęła również sektor rolniczy. Drastyczny wzrost cen środków produkcji w rolnictwie na początku lat dziewięćdziesiątych XX w. wymusił obniżkę kosztów produkcji, co zostało zrealizowane między innymi poprzez zmniejszenie zużycia środków ochrony roślin i nawozów mineralnych. Obecnie sytuacja ta zmienia się w stronę większej intensyfikacji stosowania środków ochrony, lecz poziom ich zużycia w Polsce jest jeszcze znacznie niższy niż w krajach zachodnioeuropejskich oraz w Stanach Zjednoczonych.

Analizując asortyment herbicydów i adiuwantów na przestrzeni ostatnich czterdziestu lat można stwierdzić, że z roku na rok następuje ciągły wzrost liczby rejestrowanych środków. Z chwilą akcesji Polski do Unii Europejskiej nastąpiła zmiana tej tendencji. Przyjęcie unormowań unijnych wymusiło ponowny przegląd i rejestrację wszystkich dopuszczonych do obrotu środków. Wiele z nich nie zostało ponownie zarejestrowanych i wycofano je z obrotu. Spowodowało to znaczący spadek liczby herbicydów dostępnych dla rolnika (rys. 2), co nie odbiło się negatywnie na możliwościach ochrony plantacji przed chwastami, ponieważ nie dopuszczono do użycia głównie środków starszej generacji, o wyższej toksyczności, mniej bezpiecznych w stosowaniu, mogących dłużej zalegać w glebie i w produktach roślinnych.



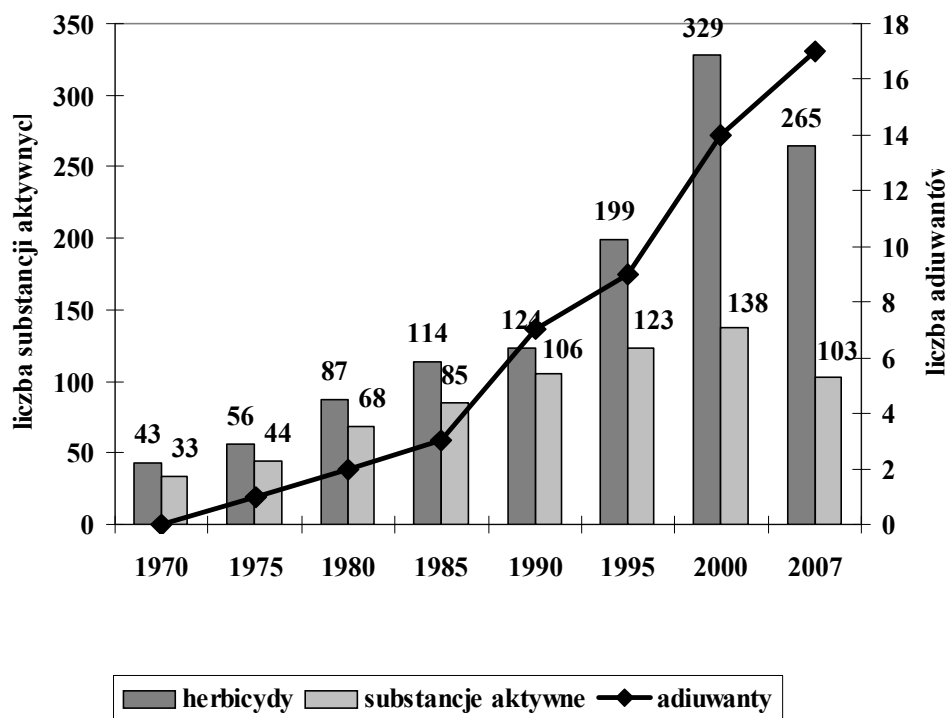
Rys. 1. Zużycie środków ochrony roślin w Polsce w latach 1970–2007

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS.

Zgodnie z wytycznymi 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 (13). W skład tych działań będą wchodziły (21):

- metody mechaniczne – z użyciem zabiegów uprawowych późniejszych i przed-siewnych;
- metody agrotechniczne – z wykorzystaniem zmianowania roślin, doбором gatunków 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.

Integrowana ochrona w swej istocie sprowadza się do regulacji występowania agrofagów, sterowania populacjami patogenów i chwastów w celu ograniczania ich liczebności poniżej progów ekonomicznej szkodliwości (42). Z tego względu zabieg chemiczny musi być traktowany jako uzupełnienie innych metod, a o konieczności jego wykonania zawsze powinno decydować nasilenie agrofaga i jego szkodliwość. Ingerencja chemiczna może być celowa tylko wtedy, gdy poziom zagrożenia będzie



Rys. 2. Herbicydy i adiuwanty zarejestrowane w Polsce w latach 1970–2007

Źródło: opracowanie własne.

na tyle wysoki, że wartość utraconego plonu przewyższy koszty wykonania zabiegu ochrony roślin (28).

Nowe wyzwania w ochronie roślin uprawnych przed chwastami

Wraz z rozwojem cywilizacyjnym również w rolnictwie pojawiają się nowe problemy i tendencje. Oczywiście trudno jest bezbłędnie przewidywać jakie trendy czy zagrożenia będą miały decydujące znaczenie; wydaje się, że w przyszłości dla ochrony roślin przed chwastami ważne będą poniżej przedstawione problemy:

Wykorzystanie biotechnologii

Wykorzystanie możliwości inżynierii genetycznej pozwala na ingerencję w genom danego gatunku. Celem tych działań jest zmiana genomu, a w konsekwencji nadanie pożądanych przez człowieka cech. Najpowszechniejszą modyfikacją u roślin jest ingerencja genetyczna zapewniająca odporność na herbicydy. Uzyskanie tej cechy pozwala na ochronę takiej rośliny za pomocą herbicydów nieselektywnych, zawierających substancję aktywną glifosat lub glifosinat. Cecha odporności na te substancje powoduje, że możliwa jest skuteczniejsza ochrona przed chwastami, zwalczanie szerszego ich spektrum oraz wykorzystanie szerszego zakresu terminów odchwaszczania.

nia. Oczywiście poza tymi niewątpliwymi korzyściami należy spodziewać się również zjawisk niekorzystnych, takich jak wytworzenie odporności na glifosat lub glifosinat przez niektóre gatunki chwastów, ewentualną możliwość przekrzyżowania się zmodyfikowanych genetycznie roślin z gatunkami dziko rosnącymi lub zaburzenie naturalnej bioróżnorodności. Modyfikacjom genetycznym poddawane są głównie rośliny mające duże znaczenie gospodarcze. W przypadku zmian genomu pod kątem odporności na herbicydy do najważniejszych gatunków roślin należą: ziemniak, soja, rzepak, burak cukrowy i bawełna. Poza tym metodami inżynierii genetycznej nadaje się roślinom odporność na choroby (grzybowe, wirusowe, bakteryjne), szkodniki i niekorzystne warunki środowiska, a także poprawia się ich cechy jakościowe i użytkowe (33).

Rozpatrując perspektywy można pokusić się o tak mało prawdopodobne jeszcze dziś wizje, jak zmianę genów, dzięki którym roślina sama wyprodukuje „czynnik” do walki z konkretnym agrofagiem, np. allelopatyny przeciw chwastom, przeciwciała chroniące przed chorobami lub wytworzy toksyny przeciw konkretnym szkodnikom (22).

Alternatywne metody ochrony roślin

W trosce o środowisko oraz zdrowie konsumentów w nadchodzących latach rozwijane będą również alternatywne metody zwalczania chwastów, polegające na wykorzystywaniu metod niechemicznych. Wśród nich największe znaczenie może mieć zastosowanie metod biologicznych i fizycznych.

Metody biologiczne – wykorzystywanie naturalnych wyciągów roślinnych, patogenów, biopreparatów lub środków zawierających naturalne składniki. Metody te mają zalety, takie jak:

- ochrona środowiska naturalnego,
- naturalna regulacja wielkości populacji patogena,
- biodegradowalność,

oraz wady:

- wysokie koszty stosowania,
- efektywność w bardzo dużym stopniu uzależniona od czynników środowiskowych,
- wolne tempo działania,
- nietrwałość biopreparatów i trudność w ich wykonaniu.

Bioherbicydy. W latach osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych XX w. prowadzono intensywne badania, zwłaszcza w Stanach Zjednoczonych i Kanadzie, a w mniejszym stopniu również w Europie, Izraelu, Chinach, Japonii i Australii, nad wprowadzeniem do użytku bioherbicydów mających być przeciwwagą i bezpieczniejszą alternatywą dla syntetycznych środków chemicznych. Do użytku wprowadzono kilka preparatów chwastobójczych opartych głównie na komponentach grzybowych. Są to produkty mające bardzo ograniczone zastosowanie, charakteryzujące się wąskim spektrum działania, często sprowadzającym się tylko do jednego gatunku. Ich stosowanie może być jedynie uzupełnieniem środków klasycznych (20, 37, 39). Wyróżnia się trzy rodzaje **bioherbicydów**: mykoherbicydy, alleloherbicydy i bioherbicydy bakteryjne.

Mykoherbicydy – produkowane na bazie grzybów chorobotwórczych, np. AAL-toksyna produkowana przez *Alternaria alternata* ssp. *lycopersici*. Jest ona stosowana w USA do odchwaszczania soi, bawełny, ryżu i kukurydzy. Zwalcza chwasty z gatunku obrazkowatych (*Lemna*) oraz takie rośliny, jak: bieleń dziedzierzawa (*Datura stramonium*), psianka czarna (*Solanum nigrum*), śluzownica (*Sida spinosa*), szarłat szorstki (*Amaranthus retroflexus*) i *Aeschynomene virginica*. Zwalczanie ostrożeń polnego (*Cirsium arvense*) przez grzyba *Puccinia punctiformis*. **Alleloherbicydy** – substancje pochodzenia naturalnego, zawierające allelopatyny roślinne. **Bioherbicydy bakteryjne** – infekowanie niepożądanych gatunków przez bakterie.

Metody fizyczne – wykorzystywanie zjawiska fotoblastyzmu, wysokiej temperatury, sprężonego powietrza, promieniowania podczerwonego lub promieni lasera (36).

Precyzyjne stosowanie herbicydów

Precyzyjna ochrona polega na wykorzystaniu zaawansowanych technik i systemów informatycznych pozwalających znacząco zminimalizować niepotrzebne zużycie środków ochrony roślin. W obrębie tego zagadnienia można wydzielić dwa rodzaje zadań:

1) punktową aplikację herbicydu na podstawie map rozmieszczenia chwastów na polu; wykorzystywana jest technika skanowania pola oraz system GPS do tworzenia map występowania zachwaszczenia na powierzchni pola oraz wprowadzania tych danych do pamięci komputera sterującego zabiegiem ochrony (12).

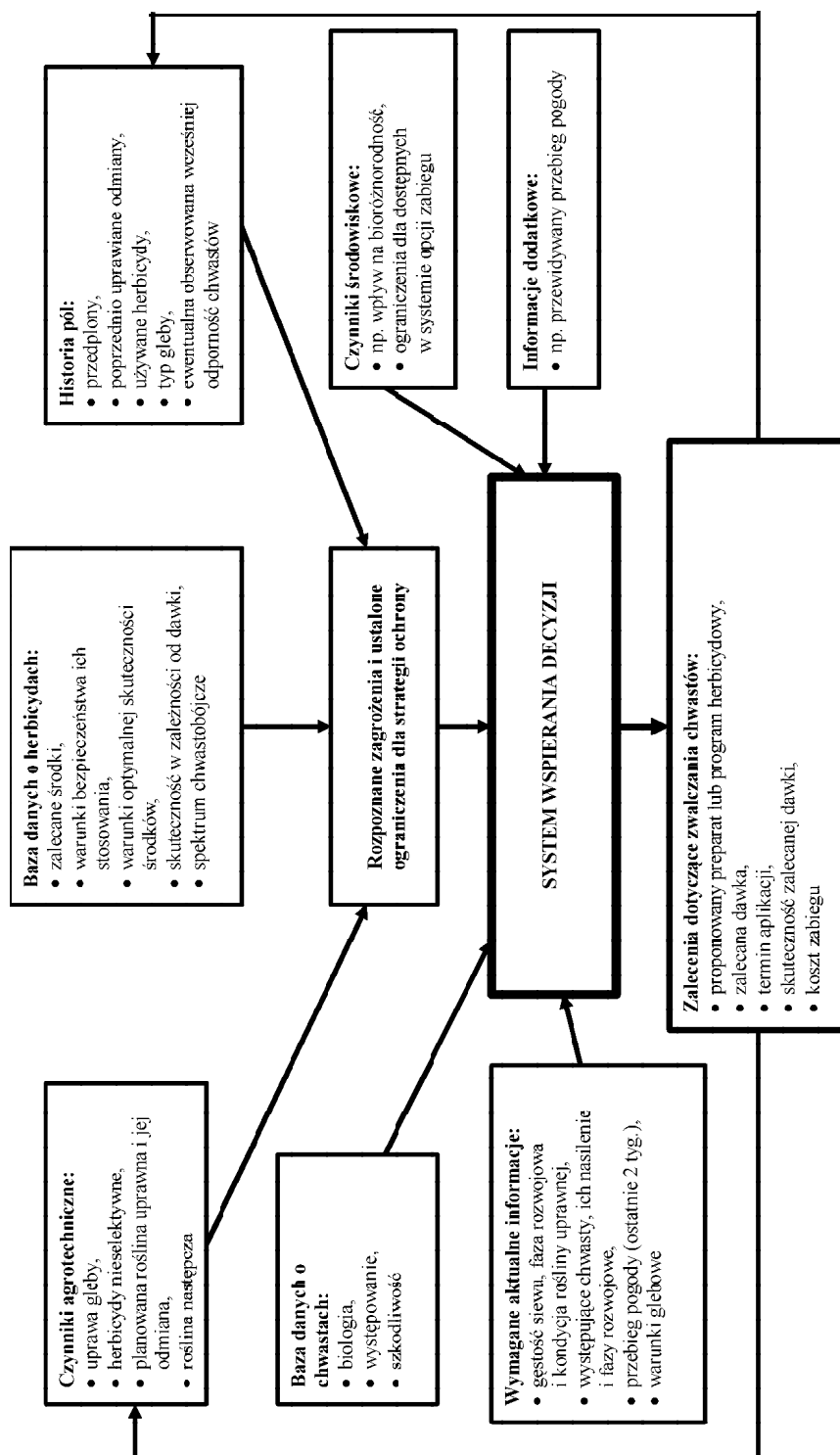
2) precyzyjny dobór herbicydów, ich dawek, terminów i sposobów aplikacji z wykorzystaniem komputerowych systemów wspomagania decyzji (ang. Decision Support Systems – DSS). Komputerowy program wspierania decyzji zawiera bazę danych o chwastach i herbicydach. Aby uzyskać dokładną poradę wymagane jest określenie wielu elementów mających wpływ na końcowy efekt zabiegu. Informacje potrzebne do wygenerowania porady oraz istotę działania takiego systemu przedstawiono na rysunku 3. W celu zapewnienia dobrego funkcjonowania systemu konieczne jest zintegrowanie wszystkich jego elementów i przeprowadzenie pełnej walidacji w warunkach polowych (18).

Ważne jest, aby system wspierania decyzji umożliwiał uzyskanie odpowiedzi na dwa podstawowe pytania, a mianowicie:

- czy istnieje uzasadniona potrzeba ochrony, poprzez porównanie kosztów zwalczania oraz potencjalnych strat w plonie w przypadku zaniechania zwalczania?
- w jaki sposób osiągnąć oczekiwany poziom zwalczania chwastów, czyli jakie środki zastosować i w jakich dawkach?

Ponadto system musi spełniać kilka zasadniczych przesłanek, tj.:

- gwarantować pełną selektywność użytych środków dla rośliny uprawnej, a poprzez to zachowanie wysokiego poziomu plonowania,
- zapewniać uzyskiwanie produktów roślinnych odpowiedniej jakości,
- ograniczać rozwój i rozprzestrzenianie się chwastów,



Rys. 3. Przykładowy schemat elementów składowych systemu wspomagania decyzji

Źródło: Clarke, 2002 (6) i modyfikacja własna.

- zapobiegać problemom działania następczego,
- optymalizować dawki środków oraz koszt wykonania zabiegu.

Ograniczenie negatywnego wpływu ochrony na jakość plonu

Z badań amerykańskich wynika, że codziennie w pożywieniu pobierane jest 1500 mg naturalnych związków o charakterze środków ochrony roślin, a tylko 0,09 mg związków syntetycznych (16 666 razy mniej). Wśród związków naturalnych można wyróżnić 5-10 tys. różnych substancji (3).

Na przykład badania prowadzone w Zakładzie Herbolologii i Technik Uprawy Roli IUNG-PIB we Wrocławiu pokazują, że wykrywane pozostałości substancji aktywnych herbicydów były znacznie niższe (od 7 do 66 razy) od dopuszczalnych przez normy prawne. Oznacza to, że prawidłowo stosowane herbicydy, nawet w pełnych zalecanych dawkach, nie stanowią zagrożenia dla konsumenta ani środowiska naturalnego. Ponadto prawidłowo stosowane herbicydy służące do odchwaszczania zbóż nie stanowią zagrożenia dla upraw następczych (11).

Dlatego na pytanie: „czy powinno się radykalnie ograniczyć lub zaprzestać ochrony roślin?” odpowiedź musi być negatywna, ponieważ spowoduje to znaczący spadek plonowania oraz pogorszenie jakości ziemiopłodów. Należy zatem stosować środki bardziej racjonalnie, rozwijać nowe systemy i sposoby aplikacji, opierając się na najnowszych wynikach badań naukowych. Dlatego w przyszłości należy oczekiwać wycofania herbicydów starszej generacji, które długo zalegają w glebie i roślinie i pojawienia się środków bezpieczniejszych dla człowieka, o bardzo niskiej toksyczności.

Ochrona roślin w rolnictwie ekologicznym

Podstawowym dokumentem regulującym zasady funkcjonowania rolnictwa ekologicznego jest Rozporządzenie Rady nr 834/2007 z dnia 28 czerwca 2007 r. (31) w sprawie produkcji ekologicznej i znakowania produktów ekologicznych, którego przepisy obowiązują wszystkie kraje UE. W związku z przystąpieniem Polski do Unii Europejskiej uchwalona została ustawa z dnia 25 czerwca 2009 r. (34) o rolnictwie ekologicznym, która określa zadania i właściwości organów i jednostek organizacyjnych w zakresie tego systemu rolnictwa.

Na świecie w 2006 roku powierzchnia upraw ekologicznych przekroczyła 31 mln ha, z tego około 25% przypadało na kraje Unii Europejskiej. Przeciętnie w krajach Unii gospodarstwa ekologiczne zajmują 3,8% użytków rolnych, najwięcej w Austrii (14,2%), we Włoszech (8,4%), Finlandii (6,5%), Szwecji (6,3%) i Czechach (6%). W Polsce ten odsetek wynosi jedynie około 1%, lecz na przestrzeni ostatnich lat obserwuje się dynamiczny wzrost liczby gospodarstw ekologicznych. W 2008 roku było w kraju 8 685 gospodarstw ekologicznych o powierzchni 178,7 tys. ha (30).

Zwalczanie chwastów w gospodarstwach ekologicznych sprowadza się do wykorzystania metod niechemicznych, takich jak:

- **metody agrotechniczne** – zabiegi uprawowe późniewne i przedwiewne, dobór gatunków roślin oraz ich odmian o dużej sile konkurencyjnej, zmianowa-

nie roślin, czysty materiał siewny, odpowiednie zagęszczenie łanu rośliny uprawnej, międzyplony i mulczowanie;

- **metody mechaniczne** – zabiegi pielęgnacyjne z wykorzystaniem odpowiednich maszyn i narzędzi;
- **metody biologiczne i fizyczne** (omówione powyżej).

Monitoring i zwalczanie nowych gatunków chwastów inwazyjnych

W dobie powszechnej globalizacji znacznie wzrosło zagrożenie przenikaniem agrofagów na obszary, na których dotychczas nie występowały. Problem dotyczy nie tylko chorób i szkodników, ale również chwastów. Zjawisko rozprzestrzeniania się nowych, obcych gatunków miało również miejsce w przeszłości, lecz przebiegało bardzo powoli. Obce gatunki zazwyczaj szybko kolonizowały nowe siedliska, wypierając z nich gatunki rodzime. Zjawisko to może prowadzić do zachwiania równowagi w siedliskach i być zagrożeniem dla bioróżnorodności (38).

Cechy charakterystyczne gatunków inwazyjnych:

- bardzo wysoki współczynnik reprodukcji w ciągu sezonu wegetacyjnego,
- bardzo duża tolerancja na warunki siedliskowe i klimatyczne,
- proste i skuteczne mechanizmy rozprzestrzeniania się, np. za pomocą wiatru, wody lub zwierząt,
- bardzo szybki wzrost, pozwalający zagłuszyć i wypierać wolniej rosnące rośliny innych gatunków,
- niepohamowane rozprzestrzenianie w przypadku braku ograniczeń naturalnych.

Obce gatunki roślin w Polsce, które można zaliczyć do inwazyjnych, to m.in.: barszcz Sosnowskiego, barszcz Mantegazziego, rdestowiec ostrokończysty, rdestowiec sachaliński, nawłóć kanadyjska, nawłóć późna, niecierpek drobnokwiatowy, niecierpek gruczołowaty (9) oraz ambrozja bylicolistna, zaśláz pospolity i wyczyniec polny.

Podsumowanie

1. W najbliższej przyszłości ochrona roślin uprawnych przed chwastami będzie się opierać na coraz bezpieczniejszych dla konsumenta i środowiska systemach aplikacji środków, które będą jedynie uzupełnieniem całego wachlarza innych metod.

2. Rozwój badań naukowych spowoduje wykorzystywanie na szerszą skalę biotechnologii, alternatywnych w stosunku do chemicznych metod zwalczania chwastów oraz szerokiego wykorzystania technik informatycznych i satelitarnych do precyzyjnego stosowania herbicydów.

3. Bardzo ważnym zagadnieniem będzie ciągle ograniczanie niepożądanego wpływu środków chwastobójczych na jakość plonu (bezpieczniejsze środki, niższe dawki, nowe systemy aplikacji).

4. Doskonalona będzie ochrona roślin w rolnictwie ekologicznym (niechemiczne zwalczanie chwastów, bardziej konkurencyjne odmiany lub posiadające wysoki potencjał allelopatyczny).

5. Pomimo pozornie niewielkiego znaczenia rozpracowane zostaną również problemy dotyczące monitoringu i zwalczania nowych gatunków inwazyjnych, ponieważ zniesienie granic celnych i łatwość podróżowania sprzyjać będzie niekontrolowanemu ich rozprzestrzenianiu się.

Literatura

1. Adamczewski K., Stachewski S.: Dobra praktyka ochrony roślin w zwalczaniu chwastów. W: Mat. Konf. nt. Dobre praktyki w produkcji rolniczej. IUNG Puławy, 1998, I, 5-13.
2. Aftalion F.: A history of the international industry. University of Pennsylvania Press., 1991, pp. 440.
3. Ames B. N., Profet M., Swirsky Gold L.: Dietary pesticides (99.99% all natural). Proc. Nad. Acad. Sci. USA, 1990, **87**: 7777-7781.
4. Aspelin A. L.: Pesticide usage in the United States: Trends During the 20th Century. Center for Integrated Pest Management, North Carolina State University, Raleigh, 2003, pp. 213.
5. 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.
6. Clarke J.: Developing decision support system to improve weed management. In: Weed Management Handbook. Blackwell Sci., 2002, 311-322.
7. Coble H. D.: Weed management tools and their impact on the agro-ecosystem. Proc. 2nd International Weed Control Congress, Copenhagen, Denmark, 1996, 1143-1146.
8. Czaplinski E., Podgórska B.: Dyrektywa 91/414 Unii Europejskiej dotycząca wprowadzenia do obrotu środków ochrony roślin a prawodawstwo Polskie. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 1998, **38(1)**: 292-297.
9. Dajdok Z., Śliwiński M.: Rośliny inwazyjne Dolnego Śląska. Polski Klub Ekologiczny, Okręg Dolnośląski, Wrocław, 2007, ss. 42.
10. Dąbrowski Z. T.: Znaczenie partnerskich powiązań przy opracowywaniu i wdrażaniu integrowanych programów ochrony roślin. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 1999, **39(1)**: 190-202.
11. Domaradzki K., Sadowski J.: Możliwość zmniejszenia obciążenia dla środowiska naturalnego poprzez stosowanie herbicydów w ograniczonych dawkach. Pam. Puł., 2002, **130**: 99-114.
12. Doruchowski G.: Elementy rolnictwa precyzyjnego w ochronie roślin. Inż. Rol., 2005, **6**: 131-139.
13. 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.
14. Facts and Figures. Agriculture in Denmark. 2001. Danish Agricultural Council, 2002, 1-32.
15. Gauvrit C.: Optimisation of herbicide use in France. The BCPC Conference – Weeds, 1991, **3**: 1191-1199.
16. Hall J. C.: Weed control: presence and future – the North American view. J. Plant Dis. Prot., Sp. Issue, 2004, **19**: 3-18.
17. Jensen J. E.: Weed control: presence and future – the Danish view. J. Plant Dis. Prot., Sp. Issue, 2004, **19**: 19-26.
18. Jensen K. F., Nielsen P. R.: PC Plant protection – a decision support system for Danish agriculture the weed module. Pam. Puł., 2000, **120**: 185-193.
19. Klingman G. C., Ashton F. M., Noordhoff L. J.: Weed science: principles and practices. A Wiley – Interscience Publication. John Wiley & Sons, USA, 1982, pp. 449.
20. Landell-Mills J., Longman D., Murray D. D.: Commercial prospects for biological and biotechnological weed, plant disease and pest control. The BCPC Conference – Weeds, 1989, **3**: 1005-1012.

21. Lee H. C.: Non-chemical weed control in cereals. The BCPC Conference – Weeds, 1995, **3**: 1161-1170.
22. Lipa J. J.: Obecne i przyszłe miejsce biologicznej i innych niechemicznych metod ochrony roślin. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2000, **40(1)**: 62-70.
23. Lipa J. J., Bartkowski J.: Dobra Praktyka Ochrony Roślin – rekomendacje EPPO. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 1996, **36(1)**: 81-87.
24. Michel C., Koch-Achelpohler V.: Rolnictwo zrównoważone potrzebuje ochrony roślin. European Crop Prot. Ass., Brussels, 2002, 1-5.
25. Olszak R., Pruszyński S., Lipa J. J., Dąbrowski Z. T.: Rozwój koncepcji i strategii wykorzystania metod oraz środków ochrony roślin. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2000, **40(1)**: 40-50.
26. Praczyk T., Skrzypczak G.: Herbicydy. PWRiL Poznań, 2004, ss. 274.
27. Proven M. J., Courtney A., Picton J., Davies D. H. K., Whiting A. J.: Cost-effectiveness of weed control in cereals – system based on thresholds and reduced rates. The BCPC Conference – Weeds, 1991, **3**: 1201-1208.
28. Rola H.: Zjawisko konkurencji wśród roślin i jej skutki na przykładzie wybranych gatunków chwastów występujących w pszenicy ozimej. Wyd. IUNG Puławy, 1982, R (162): 1-63.
29. Rola J.: Ekologiczno-ekonomiczne podstawy chemicznej walki z chwastami na polach uprawnych. Mat. XXXI Sesji Nauk. IOR, 1991, **1**: 110-124.
30. Rolnictwo ekologiczne w Polsce. Raport 2007–2008. Inspekcja Jakości Handlowej Artykułów Rolno-Spożywczych. http://www.ijhar-s.gov.pl/download/091006_130931_83_raport-www.pdf
31. Rozporządzenie Rady nr 834/2007 z dnia 28 czerwca 2007 r. w sprawie produkcji ekologicznej i znakowania produktów ekologicznych (Dz. U. L. 189 z 20.07.2007 r., s. 1 z późn. zm).
32. Thonke K. E.: Political and practical approaches in Scandinavia to reduce herbicide inputs. Brighton Crop Protection Conference – Weeds, 1991, **3**: 1183-1190.
33. Twardowski T., Michalska J. (red.): KOD: Korzyści – Oczekiwania – Dylematy biotechnologii. Wyd. EDYTOR, Poznań, 2001, ss. 271.
34. Ustawa z dnia 25 czerwca 2009 r. o rolnictwie ekologicznym (Dz. U. Nr 116, poz. 975).
35. Ustawa z dnia 20 kwietnia 2004 r. o rolnictwie ekologicznym (Dz. U. Nr 93, poz. 698).
36. Vincent C., Panneton B., Fleurat-Lessard F.: Physical control methods in plant protection. Springer, Berlin. Inra Editions, 2001, pp. 329.
37. Watson A. K.: Current advances in bioherbicide research. The BCPC Conference – Weeds, 1989, **3**: 987-996.
38. Weber E., Gut D.: Assessing the risk of potentially invasive plant species in central Europe. J. Nature Conserv., 2004, **12**: 171-179.
39. Weston V. C. M.: The commercial realization of biological herbicides. The BCPC Conference – Weeds, 1999, **1**: 281-288.
40. Werner B., De Mol F., Gerowitt B.: Schadensprognosen und Bekämpfungsempfehlungen für Unkräuter in Raps und Getreide mit CeBrUs. J. Plant Dis. Prot., Sp. Issue, 2004, **19**: 981-988.
41. Whiting A. J., Davies D. H. K., Brown H., Whytock G.: The field use of reduced doses of broad-leaved weed herbicides in cereals. The BCPC Conference – Weeds, 1991, **3**: 1209-1216.
42. Zwenger P.: Integrated weed management in developed nations. Proc. 2nd International Weed Control Congress, Copenhagen, Denmark, 1996, 933-942.

Adres do korespondencji:

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

Henryka Rola, Józef Rola, Krzysztof Domaradzki, Hanna Gołębiowska

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

STRATEGIA REGULACJI ZACHWASZCZENIA W AGROCENOZACH*

Wstęp

Chwasty segetalne towarzyszą człowiekowi odkąd tylko zaczął uprawiać glebę i produkować pożywienie. Są one zawsze niepożądanym elementem agrocenoz, ponieważ konkurują z rośliną uprawną o podstawowe składniki pokarmowe, wodę i światło. Zwracał na to uwagę już ks. Krzysztof Kluk w swoim dziele „O rolnictwie, zbożach, łąkach, chmielnikach, winnicach i roślinach gospodarskich” w 1786 roku (Wyd. Ossolineum, Wrocław, 1954).

Historycznie patrząc, zainteresowanie biologów, botaników i rolników roślinnością segetalną w pierwszej połowie ubiegłego stulecia było niewielkie i fragmentaryczne. Autorami pierwszych prac o tematyce dotyczącej chwastów w literaturze polskiej byli Chmielewski (2) i Czyrznicówna (5). Nauka o biologii i ekologii chwastów zaczyna się rozwijać dopiero pod koniec lat pięćdziesiątych dzięki badaniom Czerwicz-Filipiszynowej (4), Świętochowskiego i Tołpy (44), Świętochowskiego (45, 46), Demianowiczowej (6), Mowszowicza (22), Roli (35, 36) oraz Roli i in. (37-39, 41).

Obecnie, w dobie intensywnych przemian agrarnych, zarówno nienowoczesne, wadliwe metody regulacji zachwaszczenia w uprawach polowych, jak i uproszczenia w agrotechnice oraz błędy w zmianowaniu roślin powodują istotne zróżnicowania w zbiorowiskach segetalnych.

Szersze, usystematyzowane badania nad poznaniem ilościowego i jakościowego składu zbiorowisk segetalnych oraz przestrzennego rozmieszczenia gatunków w uprawach roślin rolniczych w odniesieniu do warunków glebowo-fizjograficznych Polski prowadzone są od 38 lat. Jest to możliwe dzięki ścisłej współpracy herbologów oraz fitosocjologów z Uniwersytetów Przyrodniczych i Instytutów Branżowych Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi skupionych w zespole do badań tzw. rejonizacji chwastów pod kierunkiem Roli (37). Prace te zaowocowały opublikowaniem do 2000 roku w sumie 451 pozycji dotyczących rozmieszczenia, ekologii i biologii chwastów w Polsce (20). Prezentowane w nich rezultaty badań mogą stanowić ekologiczną podstawę ustalenia odpowiedniej strategii ochrony upraw rolniczych przed dominującymi w nich

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

gatunkami chwastów, stanowiącymi zagrożenie dla agrosystemów. Opracowywane metody regulacji zachwaszczenia uwzględniają tzw. progi szkodliwości ważniejszych taksonów występujących w uprawach zbóż i kukurydzy (26, 27, 33). Przyjmuje się przy tym, że sporadyczny udział wielu gatunków chwastów w zbiorowiskach segetalnych nie stanowi większego zagrożenia dla łąnów i nie wpływa znacząco na ich plonowanie. Dowodem tego są liczne doświadczenia ze stosowaniem zmniejszonych dawek herbicydów w zbożach czy kukurydzy, w których stwierdzono, że na niektórych obiektach pozostaje 5-15% niezniszczonych chwastów, nie mających istotnego wpływu na plon ziarna (8, 10, 11).

Na obecnym etapie badań herbologicznych należy uaktywnić te działania, których celem będzie ustalenie występowania w łąnie rośliny uprawnej minimalnej liczby egzemplarzy poszczególnych gatunków chwastów bez ujemnego oddziaływania na jej plonowanie, co przyczyni się do zachowania bioróżnorodności agrocenoz (41).

Właściwa strategia stosowania metod zapobiegających nadmiernemu zachwaszczeniu agrocenoz (upraw) powinna uwzględniać:

1. Stosowanie programów decyzyjnych w ochronie upraw rolniczych przed chwastami na podstawie znajomości stopnia zagrożenia i progów szkodliwości poszczególnych gatunków chwastów oraz całych zbiorowisk dla roślin uprawnych.
2. Rozpoznanie zasięgów występowania na terenie Polski chwastów uodpornionych na herbicydy oraz doskonalenie metod ich identyfikacji.
3. Przestrzeganie kompromisu pomiędzy zabiegiem herbicydowym a zachowaniem bioróżnorodności agrocenoz, poprzez dobór dawek herbicydów zapewniających obecność w zbiorowisku segetalnym minimalnej liczby taksonów zdolnych do reprodukcji gatunku.
4. Ograniczenie kosztów regulacji zachwaszczenia oraz zmniejszenie ryzyka zanieczyszczenia środowiska poprzez stosowanie herbicydów w niższych od zalecanych dawkach.
5. Wytypowanie środków bezpiecznych dla jakości ziemiopłodów, szczególnie zbóż, kukurydzy, rzepaku i buraka.
6. Rozszerzenie zakresu stosowania adiuwantów jako środków podnoszących aktywność biologiczną herbicydów.
7. Wykorzystanie herbicydów do zapewnienia sprawności produkcyjnej terenów czasowo wyłączonych z rolniczego użytkowania, a przeznaczonych na zalesienie lub produkcję roślin przydatnych dla celów energetycznych.
8. Stosowanie nowoczesnej aparatury do aplikacji herbicydów.

Celem pracy było przedstawienie możliwości wykorzystania dotychczasowych osiągnięć herbologii w przyszłościowej strategii stosowania metod regulacji zachwaszczenia agrocenoz z zachowaniem zasad dobrej praktyki rolniczej oraz ochrony środowiska.

Metodyka badań

Opracowanie zawiera wybrane wyniki z wieloletnich badań prowadzonych w latach 1970–2006 przez pracowników Zakładu Ekologii i Zwalczania Chwastów (obecnie Zakładu Herbologii i Technik Uprawy Roli) IUNG-PIB we Wrocławiu. Doświadczenia polowe zlokalizowano w gospodarstwach na różnych typach gleb. Prowadzono je zgodnie z metodyką obowiązującą w herbologii. Rezultaty badań zawarto w ponad 50 publikacjach (42), z których część podano w spisie literatury. W przedstawionym materiale zaakcentowano wybrane zagadnienia, które uzasadniają podjęcie właściwej strategii regulacji zachwaszczenia w agrocenozach w najbliższej przyszłości.

Wyniki badań

Stan zachwaszczenia upraw rolniczych w Polsce

W efekcie 38-letnich badań fitosocjologicznych zespołu ds. rejonizacji chwastów nad występowaniem roślinności segetalnej zgromadzono ponad 120 tysięcy analiz zachwaszczenia pól uprawnych na terenie całej Polski (37, 39). Wytypowano 22 gatunki chwastów powszechnie występujących w zbożach, kukurydzy, rzepaku, ziemniaku, buraku i roślinach strączkowych, określając w jakim stopniu stanowią one zagrożenie dla wymienionych upraw (tab. 1).

Na podstawie wieloletnich obserwacji stwierdzono, że w grupie gatunków jednoliściennych miotła zbożowa (*Apera spica-venti*) występuje na 80-100% plantacji zbóż ozimych i rzepaku, szczególnie w makroregionach Polski centralnej i na 60-80% pól tych upraw w pozostałej części kraju. Perz właściwy (*Agropyron repens*) jest także gatunkiem pospolitym, gdyż występuje we wszystkich uprawach na 80-100% obserwowanych pól. Wśród gatunków dwuliściennych do pospolitych należą: gwiazdnica pospolita (*Stellaria media*), fiołek polny (*Viola arvensis*), rumian polny (*Anthemis arvensis*) i rdest powojowy (*Polygonum convolvulus*), występujące średnio na 40-60% pól roślin zbożowych oraz komosa biała (*Chenopodium album*), która oparowała w 100% uprawy okopowe i kukurydzę w całej Polsce. Groźnymi gatunkami są także przytulia czepna (*Galium aparine*) dla zbóż i rzepaku oraz szarłat szorstki (*Amaranthus retroflexus*) dla kukurydzy i buraka. Stan zachwaszczenia upraw polowych tymi taksonami charakteryzuje się dość dużą stabilnością (29).

Jak wykazują badania nad dynamiką zbiorowisk chwastów w agrocenozach zmiany jakościowe zachwaszczenia mogą występować, ale proces ten odbywa się na przestrzeni kilku, a nawet kilkudziesięciu lat. Częściej zachodzą zmiany ilościowe, które można obserwować nawet w ciągu jednego sezonu wegetacyjnego. Odbywają się one pod wpływem określonej agrotechniki lub przebiegu pogody. Również wieloletnie stosowanie herbicydów przyczynia się do zmian ilościowych w składzie gatunkowym zbiorowisk chwastów. Można to wykazać na przykładzie upraw zbożowych (tab. 2). W latach pięćdziesiątych ubiegłego stulecia gatunki zaliczane do dominujących, jak: gorczyca polna (*Sinapis arvensis*), ostrożeń polny (*Cirsium arvense*), cha-

Tabela 1

Stan zachwaszczenia upraw rolniczych w Polsce w latach 1978–2000

Gatunki chwastów	Makroregion							
	płn.	płn.- -wsch.	śro- d- kowy	środk.- -wsch.	środk.- -zach.	płd.	płd.- -wsch.	płd.- -zach.
Miotła zbożowa (<i>Apera spica-venti</i>)	4	4	5	5	5	4	4	4
Owies głuchy (<i>Avena fatua</i>)	4	4	1	2	1	1	4	4
Perz właściwy (<i>Agropyron repens</i>)	5	4	1	4	1	1	1	1
Wyczyniec polny (<i>Alopecurus myosuroides</i>)	1	-	-	-	+	-	-	+
Chwastnica jednostronna (<i>Echinochloa crus-galli</i>)	1	2	1	4	1	2	2	4
Włośnica zielona (<i>Setaria viridis</i>)	1	2	2	4	2	1	2	2
Maruna bezwonna (<i>Tripleurospermum inodorum</i>)	4	1	1	2	1	1	1	4
Rumian polny (<i>Anthemis arvensis</i>)	2	4	4	1	1	4	1	1
Komosa biała (<i>Chenopodium album</i>)	5	5	5	5	4	4	4	5
Złocień polny (<i>Chrysanthemum segetum</i>)	1	+	+	+	+	+	+	+
Skrzyp polny (<i>Equisetum arvense</i>)	1	1	1	1	1	2	1	1
Poziewnik szorstki (<i>Galeopsis tetrahit</i>)	1	2	1	1	1	2	1	1
Przytulia czepna (<i>Galium aparine</i>)	2	2	2	1	2	1	1	2
Jasnota różowa (<i>Lamium amplexicaule</i>)	1	1	1	1	1	1	1	1
Jasnota purpurowa (<i>Lamium purpureum</i>)	1	1	1	1	1	1	1	2
Rdest powojowy (<i>Polygonum convolvulus</i>)	4	4	4	1	4	1	1	1
Rdest plamisty (<i>Polygonum persicaria</i>)	1	2	2	2	1	2	2	1
Gwiazdnica pospolita (<i>Stellaria media</i>)	1	4	1	1	4	4	4	-
Fiołek polny (<i>Viola arvensis</i>)	4	4	4	1	4	1	4	4

Objaśnienia: odsetek pól, na których zanotowano występowanie określonego gatunku chwastu:

+ – lokalnie; 1 – do 20%; 2 – 21-40%; 3 – 41-60%; 4 – 61-80%; 5 – 81-100%.

Źródło: Rola J., Rola H., 2000 (40).

Tabela 2

Zmiany stanu zachwaszczenia agrocenoz zbóż na przestrzeni lat 1950–2000

Gatunki chwastów	Lata obserwacji					
	1950	1960	1970	1980	1990	2000
Gorczyca polna (<i>Sinapis arvensis</i>)	XXX	XXX	XX	XX	XX	X
Ostrożeń polny (<i>Cirsium arvense</i>)	XXX	XXX	XX	XX	X	X
Komosa biała (<i>Chenopodium album</i>)	XXX	XXX	X	X	X	X
Chaber bławatek (<i>Centaurea cyanus</i>)	XXX	XXX	XX	XX	X	X
Mak polny (<i>Papaver rhoeas</i>)	XXX	XXX	XX	XX	XX	X
Rumianowate (<i>Anthemideae</i>)	XX	XX	XXX	XXX	XXX	XXX
Przytulia czepna (<i>Galium aparine</i>)	X	XX	XXX	XXX	XXX	XXX
Gwiazdnica pospolita (<i>Stellaria media</i>)	X	XX	XXX	XXX	XXX	XXX
Miotła zbożowa (<i>Apera spica-venti</i>)	X	XX	XXX	XXX	XXX	XXX
Owies głuchy (<i>Avena fatua</i>)	X	XX	XXX	XXX	XXX	X

Objaśnienia: nasilenie występowanie określonego gatunku chwastu: X – małe; XX – średnie; XXX – duże.

Źródło: Rola H. i Rola J., 2002 (32).

ber bławatek (*Centaurea cyanus*) i mak polny (*Papaver rhoeas*) obecnie występują lokalnie, a ich miejsce zajęły: przytulia czepna (*Galium aparine*), rumianowate (*Anthemideae*), gwiazdnica pospolita (*Stellaria media*) i miotła zbożowa (*Apera spica-venti*); (32). W ostatnich latach obserwuje się coraz częściej ekspansję na pola zbóż wyczyńca polnego (*Alopecurus myosuroides*) – gatunku spotykanego do niedawna tylko na polach zachodniej Europy. Natomiast miotła zbożowa (*Apera spica-venti*) i chaber bławatek (*Centaurea cyanus*) w zbożach wykazują odporność nabytą na herbicydy sulfonilomocznikowe (30, 31). Aktualnie problemem staje się również występowanie w zasiewach kukurydzy i buraka szarłatu szorstkiego (*Amaranthus retroflexus*), komosy białej (*Chenopodium album*) i chwastnicy jednostronnej (*Echinochloa crus-galli*), chwastów uodpornionych na stosowane dotychczas herbicydy triazynowe (28, 32, 34, 36).

Wyznacznikiem stanu i stopnia zachwaszczenia upraw polowych w Polsce może być forma gospodarowania (38). Na podstawie prowadzonych w ostatnich latach badań nad rozmieszczeniem chwastów segetalnych na terenie kraju gospodarstwa rolne pod względem zachwaszczenia i konieczności stosowania herbicydów można zaszerzować do 3 grup (tab. 3):

- **pierwszą** stanowi 25% gospodarstw o bardzo dobrym poziomie agrotechniki i o małym stopniu zachwaszczenia przez 10-15 gatunków niestanowiących zagrożenia dla plonów; herbicydy stosuje się w nich sporadycznie;

Tabela 3

Stan zachwaszczenia upraw polowych w Polsce w latach 1995–2000

Stan zachwaszczenia	Odsetek gospodarstw (%)	Liczba występujących gatunków chwastów (szt.)
Mały	25	10-15
Średni	25	10-15
Duży	50	30-70

Źródło: Rola J. i Rola H., 2001 (29).

- **druga** obejmuje też 25% gospodarstw, w których poziom agrotechniki jest dobry, pola o średnim stopniu zachwaszczenia przez 10-15 gatunków, a herbicydy są zabiegiem uzupełniającym;
- **trzecia** grupa to 50% gospodarstw o wadliwej agrotechnice, w których z powodu niedostatecznego wyposażenia w narzędzia uprawowe i maszyny przeważają pola o bardzo dużym zachwaszczeniu i bogatym składzie florystycznym chwastów. Występuje na nich 30-70 gatunków, wśród których szczególnie zagrożenie stanowią taksony wieloletnie, takie jak perz właściwy (*Agropyron repens*), ostrożeń polny (*Cirsium arvense*), powój polny (*Convolvulus arvensis*) oraz inne trudne do zniszczenia chwasty.

Gospodarstwa te zmuszone są do intensywnego stosowania herbicydów, lecz z przyczyn ekonomicznych często tylko tych najtańszych. Niestety, takie preparaty ograniczają wprawdzie w dużym zakresie stopień zachwaszczenia łąn, ale mogą być nie w pełni skuteczne w eliminowaniu gatunków najbardziej konkurencyjnych dla rośliny uprawnej, takich jak np. przytulia czepna (*Galium aparine*), miotła zbożowa (*Apera spica-venti*), gwiazdnica pospolita (*Stellaria media*) lub rumianowate (*Anthemideae*).

W strategii regulacji zachwaszczenia agrocenoz niezbędna jest wiedza o tzw. proguch szkodliwości chwastów dla roślin uprawnych. Dla przykładu, niektóre gatunki chwastów występując w zbożach w niskim nasileniu, powodują obniżenie ich plonowania od 1% (5 roślin miotły zbożowej – *Apera spica-venti* – na 1 m²) do 5% (1 roślina ostrożenia polnego – *Cirsium arvense* – na 1 m²), co wyrażone ekwiwalentem produktu stanowi odpowiednio 45 kg i 225 kg ziarna pszenicy na 1 ha, przy wydajności 4,5 t · ha⁻¹ (tab. 4). Zatem zastosowanie herbicydu do niszczenia miotły zbożowej będzie ekonomicznie uzasadnione wtedy, gdy gatunek ten wystąpi w łąnie w liczbie ponad 10 roślin na 1 m².

Ustalone doświadczalnie progi szkodliwości, wyrażone liczbą roślin na 1 m², dla kilku wybranych gatunków chwastów występujących w pszenicy ozimej przedstawiają się następująco (33):

miotła zbożowa (<i>Apera spica-venti</i>)	5-10 szt./m ²
rumianowate (<i>Anthemideae</i>)	2-5 szt./m ²
przytulia czepna (<i>Galium aparine</i>)	2-5 szt./m ²
chaber bławatek (<i>Centaurea cyanus</i>)	1-5 szt./m ²

Tabela 4

Wpływ chwastów na plonowanie pszenicy ozimej (średnio z lat 1973–1976)

Gatunki chwastów	Liczba roślin na 1 m ²	Obniżenie plonu*		Gatunki chwastów	Liczba roślin na 1 m ²	Obniżenie plonu*	
		%	kg · ha ⁻¹			%	kg · ha ⁻¹
Miotła zbożowa	5	1	45	Chaber bławatek	5	6	270
<i>Apera spica-venti</i>	10	6	270	<i>Centaurea cyanus</i>	10	15	675
	25	16	720		25	24	1080
	50	27	1215		50	30	1350
Owies głuchy	5	1	45	Ostrożeń polny	1	5	225
<i>Avena fatua</i>	10	2	90	<i>Cirsium arvense</i>	5	19	855
	25	8	360		10	28	1260
	50	11	495		15	36	1620
Rumianowate	2	3	135	Przytulica czepna	2	4	180
<i>Anthemideae</i>	10	8	360	<i>Galium aparine</i>	10	12	540
	25	16	720		25	22	990
	50	24	1080		50	32	1440

* średni plon ziarna pszenicy ozimej – 4,5 t · ha⁻¹

Źródło: Rola H., 1982 (26).

ostrożeń polny (*Cirsium arvense*)1-2 szt./m²przetacznik polny (*Veronica arvensis*)10-25 szt./m².

Burak cukrowy i kukurydza, w przeciwieństwie do zbóż, należą do roślin nietolerujących zachwaszczenia. Dlatego z tych upraw chwasty powinno się całkowicie usuwać, a nie regulować ich występowania. O wielkości plonów w tym przypadku decyduje nie liczba chwastów występująca na jednostce powierzchni, a czas ich konkurencyjnego oddziaływania na roślinę uprawną – zwany krytycznym okresem konkurencji. W badaniach Roli (27) dla szarlatu szorstkiego (*Amaranthus retroflexus*) i komosy białej (*Chenopodium album*) występujących w kukurydzy okres, w którym gatunki te nie wyrządzają większych szkód ekonomicznych wynosi zaledwie 10-14 dni od ich wschodów. Pozostawione przez cały okres wegetacji wyrządzają ogromne straty w plonach tej rośliny (tab. 5).

Regulacja zachwaszczenia w uprawach polowych

Na początku ostatniej dekady XX w. nastąpiła wyraźna zmiana poglądów dotyczących ochrony upraw przed chwastami. Efektem tego było pojawienie się koncepcji regulacji zachwaszczenia (19, 24, 38, 47, 48), która wyparła pojęcia „walki z chwastami” lub „zwalczania chwastów”. Nowe spojrzenie na problem eliminacji zagrożenia ze strony chwastów polega na racjonalnym ograniczaniu ich konkurencji przez regulację występowania w łanie dowolnie wybraną metodą, w tym również odpowiednio dobranymi herbicydami, w taki sposób, aby osłabić kondycję chwastów, zaburzyć ich kwitnienie i owocowanie oraz ograniczyć liczebność gatunków szkodliwych do poziomu niezagrażającego stabilnemu plonowaniu rośliny uprawnej (38). Tak więc przez regulację zachwaszczenia należy rozumieć integrację efektywnych i bezpiecznych dla środowiska metod usuwania zbędnej roślinności segetalnej do stanu poniżej eko-

Tabela 5

Wpływ chwastów na plon ziarna kukurydzy (średnio z lat 1982–1986)

Gatunki chwastów	Liczba roślin na 1 m ²	Obniżenie plonu (%)	Strata plonu (kg · ha ⁻¹) dla poziomu plonowania:	
			5 t · ha ⁻¹	8 t · ha ⁻¹
Szarłat szorstki <i>Amaranthus retroflexus</i>	2	7	350	560
	10	20	1000	1600
	20	32	1600	2560
Komosa biała <i>Chenopodium album</i>	2	5	250	400
	15	30	1500	2400
	50	65	3250	5200
Chwastnica jednostr. <i>Echinochloa crus-galli</i>	2	3	150	240
	10	5	250	400
	50	46	2300	3280

Źródło: Rola H., 1986 (27).

onomicznego progu szkodliwości poszczególnych gatunków w danej roślinie uprawnej. Wartości te, wynikające ze strat w plonach spowodowanych istniejącym stanem (stopniem) zachwaszczenia na jednostce powierzchni łąnu, pozwalają na ustalenie opłacalności wybranej metody regulacji zachwaszczenia (24, 26, 33).

Podstawą przewartościowania poglądów dotyczących ochrony roślin było powstanie koncepcji rolnictwa zrównoważonego, propagującej stosowanie środków ochrony roślin – w tym również i herbicydów – w niższych dawkach, w sposób bardziej racjonalny i bezpieczny dla konsumenta i środowiska. Ponadto rolnictwo zrównoważone postuluje ochronę zdolności ekosystemów do wytwarzania pełnowartościowych produktów bez ich degradacji, a także gospodarowanie umożliwiające wykorzystanie potencjału zasobów naturalnych środowiska do odnawiania się oraz ograniczanie do koniecznego minimum stosowania środków ochrony roślin i nawozów (17, 21, 25).

Rozumowanie takie znalazło odzwierciedlenie w prawodawstwie Unii Europejskiej. Dyrektywa Rady z dnia 15 lipca 1991 roku nr 91/414/EWG zawiera w swej preambule stwierdzenie wykazujące, że środki ochrony roślin dopuszczone do użycia muszą być bezpieczne w stosowaniu oraz nie mogą stwarzać zagrożenia dla zdrowia ludzi i zwierząt. Stosowaniu tych środków powinna przyświecać zasada o nadrzędności ochrony zdrowia ludzi i zwierząt oraz środowiska przed osiąganiem korzyści wynikających z tytułu wzrostu poziomu produkcji (3).

Chemiczne metody regulacji zachwaszczenia upraw polowych

Wprowadzone przez Świętochowskiego (46) 50 lat temu do polskiego rolnictwa takie metody zwalczania chwastów, jak mechaniczna uprawa, klasyczny płodozmian, racjonalne zmianowanie roślin, w naszej rzeczywistości są coraz rzadziej stosowane. Obecnie o wyborze sposobu regulacji zachwaszczenia decydują najczęściej uwarunkowania organizacyjno-ekonomiczne gospodarstwa, z preferencją systemów integrowanych (38). Ten sposób ograniczania konkurencji chwastów w roślinach uprawnych stawia także na pierwszym miejscu poprawną agrotechnikę, a stosowanie herbicy-

dów jest możliwe, ale w zależności od potrzeb. Wszelkie istniejące tendencje stosowania bezorkowego systemu uprawy są powodem wzrostu zachwaszczenia pola gatunkami wieloletnimi, takimi jak np. perz właściwy (*Agropyron repens*), ostrożeń polny (*Cirsium arvense*) i mlecz polny (*Sonchus arvensis*), co wymaga koniecznej interwencji herbicydowej. Zatem niezależnie od wybranego systemu uprawowego użycie herbicydów staje się konieczne, ale w różnym zakresie. Można przyjąć, że niewielkiego udziału metod chemicznych wymaga prawidłowo wykonana pełna uprawa i pielęgnacja mechaniczna, średniego uprawa uproszczona i maksymalnego stosowania herbicydów – system bezorkowy (38).

Doświadczalnie udowodniono, że właściwie dobrane herbicydy zapewniają ograniczenie zachwaszczenia, nie stanowią zagrożenia dla środowiska i są w pełni selektywne dla chronionej rośliny. Zastosowane w warunkach ekonomicznie uzasadnionych zmniejszają koszty na pielęgnację i zbiór roślin, a tym samym podnoszą efektywność integrowanych metod ich ochrony (32).

Przykładowo, eliminowanie chwastów z plantacji kukurydzy lub buraka cukrowego powinno być przeprowadzone w sposób kompleksowy, oparty na odchwaszczaniu przedplonu, wykonaniu pełnego zespołu upraw późniejszych, wczesnej orce przedzimowej, wczesnym wykonaniu uprawy przedsiewnej, mechanicznym pielęgnowaniu zasiewów oraz użyciu herbicydów. Postępowanie takie spowoduje, że w roślinie następczej nasilenie chwastów będzie znacznie mniejsze niż w przypadku, gdyby pominięto te elementy uprawy. Środki chemiczne do zwalczania chwastów należy traktować jako uzupełnienie prawidłowo wykonanych zabiegów agrotechnicznych

Na podstawie doświadczeń prowadzonych przez Zakład Ekologii i Zwalczania Chwastów IUNG we Wrocławiu opracowano i wdrożono do szerokiej praktyki rolniczej kilka programów zwalczania chwastów w kukurydzy i buraku przy użyciu herbicydów, w zależności od stanu zachwaszczenia pola. Niektóre z nich przedstawiono w tabelach 6 i 7. Mogą one być modyfikowane, jeżeli na plantacji wystąpią inne uciążliwe gatunki chwastów.

Optymalizacja chemicznej regulacji zachwaszczenia agrocenoz

W Zakładzie Ekologii i Zwalczania Chwastów, a obecnie Herbologii i Technik Uprawy Roli Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowego Instytutu Badawczego od roku 1996 kontynuowane są badania nad możliwością obniżenia dawek herbicydów w zbożach, a także w systemach chemicznego odchwaszczania buraka cukrowego i kukurydzy oraz doboru odpowiednich komponentów mieszanin herbicydowych wraz z oceną ekonomicznych aspektów tych działań.

Idea ograniczania zużycia herbicydów wynika z tendencji minimalizowania niekorzystnego wpływu herbicydów na środowisko i konsumenta, a także – co chyba najważniejsze dla rolnika – zmniejszenia nakładów ponoszonych na ochronę plantacji przed chwastami. Dawki środków zalecane przez producentów zapewniają wysoką skuteczność zabiegu w stosunku do większości gatunków chwastów, lecz nie uwzględniają ich zróżnicowanej wrażliwości. Dlatego w przypadku niektórych gatunków herbi-

Tabela 6

System regulacji zachwaszczenia plantacji kukurydzy w zależności od występowania dominujących gatunków chwastów

Stan zachwaszczenia	Herbicydy po wschodach chwastów w fazie 3-4 liści kukurydzy
System I Gatunki 1-liścienne, głównie: chwastnica jednostronna (<i>Echinochloa crus-galli</i>) i perz właściwy (<i>Agropyron repens</i>) oraz szarłat szorstki (<i>Amaranthus retroflexus</i>), tobołki polne (<i>Thlaspi arvense</i>), jasnota (<i>Lamium</i> spp.), fiołek polny (<i>Viola arvensis</i>), rumianowate (<i>Anthemideae</i>)	Titus 25 WG + Trend 90 EC ($60 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1} + 1\%$) lub Milagro 040 SC ($1,5 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$)
System II Chwasty jak w systemie I, a ponadto występuje komosa biała (<i>Chenopodium album</i>)	Milagro 040 SC ($1,5 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$) + Callisto 100 SC ($1,5 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$)
System III Chwasty jak w systemie I, a ponadto występuje przytulia czepna (<i>Galium aparine</i>)	Titus 25 WG + Trend 90 EC ($60 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1} + 1\%$) + Banvel 480 SL ($0,5 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$)

Źródło: badania własne autorów (14, 15, 16).

cyd stosowany jest w pewnym nadmiarze niż wynikałoby to z faktycznej potrzeby. Niemniej jednak ograniczając wielkość dawki herbicydów, należy również brać pod uwagę pozostałe czynniki mające wpływ na skuteczność środka, takie jak: skład gatunkowy zbiorowiska chwastów, ich fazy rozwojowe, warunki pogodowe w trakcie zabiegu, możliwość terminowego wykonania opryskiwania, odpowiedni dobór herbicydów do mieszanin oraz dodatek adiuwanta.

Wykonane badania dowodzą, że stosowanie herbicydów w obniżonych dawkach w zbożach zapewnia osiągnięcie wymaganej skuteczności chwastobójczej bez negatywnego wpływu na ich plonowanie (tab. 8).

Podobne efekty skutecznego zniszczenia chwastów i otrzymania optymalnych plonów można uzyskać, stosując zmniejszone od zalecanych dawki herbicydów w kukurydzy, co potwierdzają wyniki doświadczeń przedstawione w tabeli 9.

W badaniach nad przydatnością obniżonych dawek herbicydów w buraku uwzględnia się stosowanie mieszanin zawierających w swym podstawowym składzie takie środki, jak: Betanal Progress 274 OF i Safari 50 WG oraz adiuwant Trend 90 EC, które uzupełniane są dodatkami środków Goltix 70 WP, Flirt 460 SC, Venzar 80 WP lub Lontrel 300 SL. Herbicydy te w doświadczeniach stosowano w dawkach obniżonych o 50% i 66% w stosunku do zalecanych. Adiuwant stosowano w dawce pełnej, czyli 0,1% (100 ml/100 l wody). Rezultaty przeprowadzonych badań (tab. 10) pozwalają stwierdzić, że z ekonomicznego punktu widzenia stosowanie mieszanin herbicydowych, z uwzględnieniem obniżonych ich dawek, jest w pełni uzasadnione, ponieważ zwiększony koszt odchwaszczania w porównaniu z jednorazową aplikacją herbicydu w pełnej dawce był całkowicie rekompensowany wyższym plonem buraka.

Tabela 7

Systemy regulacji zachwaszczenia plantacji buraka cukrowego w zależności od występujących dominujących gatunków chwastów

Stan zachwaszczenia	Herbicydy i termin wykonania zabiegu		
	po siewie (opcjonalnie)	po wschodach buraka w fazie liścieni chwastów, następne zabiegi po 7-12 dniach z chwilą pojawienia się nowych wschodów chwastów	liczba zabiegów
<u>System I</u> komosa biała (<i>Chenopodium album</i>), gorczyca polna (<i>Sinapis arvensis</i>), gwiazdnica pospolita (<i>Stellaria media</i>), tobolki polne (<i>Thlaspi arvense</i>), tasznik pospolity (<i>Capsella bursa-pastoris</i>), mak polny (<i>Papaver rhoeas</i>), jasnota (<i>Lamium</i> sp.), rdest (<i>Polygonum</i> sp.), maruna bezwonna (<i>Matricaria inodora</i>), dymnica pospolita (<i>Fumaria officinalis</i>), fiołek polny (<i>Viola arvensis</i>), przetacznik (<i>Veronica</i> sp.)	Pyramin 65 WP (3-6 kg/ha) lub Goltix 70 WG (4-5 kg/ha) lub Venzar 80 WP (1-1,5 kg/ha)	Betanal 160 EC (2 l/ha) lub Expander 400 SC (2-3 l/ha) lub Betanal Elite 247 OF (1 l/ha)	1
<u>System II</u> chwasty jak w systemie I + przytulia czepna (<i>Galium aparine</i>)	Pyramin 65 WP (3-6 kg/ha) lub Pyramin Turbo 520 SC (4-5 l/ha) lub Nortron 200 EC (3 l/ha)	Betanal Progress AM 180 EC (1,5-2 l/ha) + Nortron 200 EC (2,5 l/ha) lub Safari 50 WG (30 g/ha) + Betanal Progress AM 180 EC (1,5 l/ha)	3-4
<u>System III</u> chwasty jak w systemie I + szarłat szorstki (<i>Amaranthus retroflexus</i>)	Goltix 70 WG (4-5 kg/ha) lub Pyramin 65 WP (3-6 kg/ha) lub Pyramin Turbo 520 SC (4-5 l/ha)	Betanal Progress 247 OF (1,3 + 1,6 l/ha) lub Safari 50 WG (30 g/ha) + Betanal 160 EC (1,5 l/ha) lub Betanal Progress AM 180 EC (1,5 l/ha)	3-4
<u>System IV</u> chwasty jak w systemie I + samosiewy rzepaku	Pyramin 65 WP (3 kg/ha) lub Goltix 70 WG (3 kg/ha)	Betanal 160 EC (1,5-2 l/ha) + Goltix 70 WP (1,5-2 kg/ha) lub Expander 400 SC (2-3 kg/ha) + Goltix 70 WP (1,5-2 kg/ha) lub Safari 50 WG (30 g/ha) + Betanal 160 EC (1,5 l/ha)	3-4
<u>System V</u> chwasty jak w systemie I + przytulia czepna (<i>Galium aparine</i>), szarłat szorstki (<i>Amaranthus retroflexus</i>) i + samosiewy rzepaku	Pyramin Turbo 520 SC (4-5 l/ha) + Nortron 200 EC (5 l/ha) lub Goltix 70 WG (4 kg/ha) + Nortron 200 EC (5 l/ha) lub Flirt 460 SC (3 l/ha)	Betanal Progress AM 180 EC (1,5-2 l/ha) + Goltix 70 WP (1,5-2 kg/ha) lub Safari 50 WG (30 g/ha) + Betanal Progress AM 180 EC (1,5 l/ha) lub Betanal Quattro 380 SE (1,5-2 l/ha)	3-4

cd. tab. 7

Stan zachwaszczenia	Herbicyd i termin wykonania zabiegu		
	po siewie (opcjonalnie)	po wschodach buraka w fazie liścieni chwastów, następne zabiegi po 7-12 dniach z chwilą pojawienia się nowych wschodów chwastów	liczba zabiegów
Ograniczanie wtórnego zachwaszczenia plantacji	-	Betanal Progress 274 OF + Goltix 70 WG (1 l + 1 kg/ha) lub Betanal Progress 274 OF + Safari 50 WG (1 l + 30 g/ha) lub Betanal Progress 274 OF + Metron 900 SC (1 l + 1 l/ha)	4

Źródło: Domaradzki K., 2004 (9).

Tabela 8

Wpływ zmniejszonych dawek herbicydu na regulację zachwaszczenia i plon ziarna pszenicy ozimej
(średnio z lat 2003–2005)

Herbicyd	Dawka (l · ha ⁻¹)	Zniszczenie chwastów (%)		Plon (t · ha ⁻¹)
		miotła zbożowa (<i>Apera spica-venti</i>)	dwuliścienne	
Obiekt kontrolny	-	137 szt. · m ⁻²	111 szt. · m ⁻²	3,39
Quartz Super 550 SC	2,0	97	88	5,32
Quartz Super 550 SC	1,5	94	87	5,21
Quartz Super 550 SC	1,0	91	81	5,03
			NIR (0,05)	0,353

Objaśnienia: Quartz Super 550 SC = diflufenicam 50 g/l + izoproturon 500 g/l

Źródło: Domaradzki K., 2006 (8).

Stosowanie herbicydów w aspekcie zjawiska uodparniania się chwastów

Wieloletnia aplikacja środków o takim samym mechanizmie działania powoduje selekcję biotypów odpornych na daną substancję aktywną (18). Pierwsze doniesienia naukowe dotyczące odporności chwastów w uprawach rolniczych w Polsce pochodzą z połowy lat osiemdziesiątych XX w., gdy stwierdzono odporność na herbicydy triazynewe niektórych gatunków chwastów w sadach (13) oraz szarłatu (*Amaranthus retroflexus*), komosy białej (*Chenopodium album*) i chwastnicy jednostronnej (*Echinochloa crus-galli*) w kukurydzy i buraku (34, 36). Prace prowadzone przez Rolę i Marczewską (30) w uprawach zbożowych wskazują na problem odporności miotły zbożowej (*Apera spica-venti*) i chabry bławatka (*Centaurea cyanus*) na chlorsulfuron na kilku polach w okolicach Wrocławia. Kontynuowane przez Rolę i wsp. (31) badania wykazują jednak, że biotypy odporne w zbożach, kukurydzy i buraku można skutecznie eliminować, aplikując środki o innych mechanizmach działania oraz stosując rotację herbicydów. Przykładem mogą być wyniki doświadczeń przedstawione w tabelach 11-13.

Tabela 9

Wpływ zmniejszonych dawek herbicydów na regulację zachwaszczenia i plon kukurydzy (średnio z lat 2004–2006)

Obiekt	Dawka (l · ha ⁻¹)	Termin stosowania (faza)	Zniszczenie chwastów (%)							Plon ziarna (t · ha ⁻¹)	MTZ (g)	
			ECHCG	SETVI	CHEAL	AMARE	THLAR	VIOAR	AETCY			SOLNI
Kontrola	-	-	*27	*19	*22	*11	*9	*8	*6	*4	42,7	281,3
Callisto 100 SC	1/1 dawki	BBCH = 12	85	86	100	100	100	100	90	100	109,6	300,5
	2/3 dawki		81	77	100	100	100	85	90	90	101,1	301,2
	1/2 dawki		78	74	100	92	100	80	88	87	95,6	301,6
Milagro 040 SC	1/1 dawki	BBCH = 12	96	97	92	100	100	100	96	88	100,5	301,2
	2/3 dawki		90	88	84	93	92	93	96	90	96,5	300,4
	1/2 dawki		88	86	78	88	87	86	85	86	91,1	300,1
Titus 25 WG + Trend 90 EC	1/1 dawki	BBCH = 12	93	90	90	100	100	90	93	98	102,3	301,2
	2/3 dawki		92	90	87	85	100	85	88	87	97,1	302,1
	1/2 dawki		90	88	76	82	87	78	87	70	91,0	302,4
			NIR, LSD _(0,05)							1,032		

* dla kontroli podano liczbę chwastów w szt. · m²
 ECHCG – *Echinochloa crus-galli*, SETVI – *Setaria viridis*, CHEAL – *Chenopodium album*, AMARE – *Amaranthus retroflexus*, THLAR – *Thlaspi arvense*, VIOAR – *Viola arvensis*, AETCY – *Aethusa cynapium*, SOLNI – *Solanum nigrum*
 Źródło: Gołębiowska H., 2008 (15).

Tabela 10

Efekty zastosowania obniżonych dawek herbicydów w systemach chemicznego odchwaszczania buraka cukrowego (średnio z lat 2003–2005)

System herbicydowy	Dawka na 1 ha	Liczba zabiegów	Plon korzeni ($t \cdot ha^{-1}$)	Zniszczenie chwastów (%)	Przyrost plonu ($t \cdot ha^{-1}$)
Betanal Progress 274 OF + Goltix 70 WG + Safari 50 WG + Trend 90 EC	0,5 l + 0,5 kg + 15 g + 0,1%	4	83,1	96	6,2
	0,33 l + 0,33 kg + 10 g + 0,1%	4	79,0	94	2,1
Betanal Progres 274 OF + Flirt 460 SC + Safari 50 WG + Trend 90 EC	0,5 l + 1 l + 15 g + 0,1%	4	85,4	97	8,5
	0,33 l + 0,5 l + 10 g + 0,1%	4	80,4	95	3,5
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	4,8
	0,33 l + 66 g + 10 g + 0,1%	4	79,7	95	2,8
Betanal Progres 274 OF + Lontrel 300 SL + Safari 50 WG + Trend 90 EC	0,5 l + 0,1 l + 15 g + 0,1%	4	85,2	97	8,3
	0,33 l + 0,05 l + 10 g + 0,1%	4	83,3	94	6,4
Betanal Progress 274 OF	1 l	4	76,9	92	0
	1 l	3	72,0	91	-4,9

Źródło: Domaradzki K., 2006 (8).

Tabela 11

Możliwość ograniczenia występowania w zasiewach pszenicy ozimej chwastów uodpornionych na herbicydy

Gatunki chwastów	Odporne na:	Wrażliwe na:
Odporne: miotła zbożowa (<i>Apera spica-venti</i>) chaber bławatek (<i>Centaurea cyanus</i>) Nieoznaczone z predyspozycją do uodpornienia: fiołek polny (<i>Viola arvensis</i>) gwiazdnica pospolita (<i>Stellaria media</i>) przytulia czepna (<i>Galium aparine</i>) złocień polny (<i>Chrysanthemum segetum</i>)	chlorsulfuron	diflufenikan izoproturon linuron 2,4-D* MCPA* dicamba* floramsulam chlopyralid metosulam

* tylko dla gatunków dwuliściennych

Źródło: Rola i Marczeńska, 2002 (31).

Tabela 12

Możliwość ograniczenia występowania w zasiewach kukurydzy chwastów uodpornionych na herbicydy triazynowe

Gatunki chwastów	Odporne na:	Wrażliwe na:
Odporne: szarłat szorstki (<i>Amaranthus retroflexus</i>) komosa biała (<i>Chenopodium album</i>) miotła zbożowa (<i>Echinochloa crus-galli</i>) psianka czarna (<i>Solanum nigrum</i>) wilczomlecz obrotny (<i>Euphorbia helioscopia</i>) palusznik krwawy (<i>Digitaria sanguinalis</i>) Nieoznaczone z predyspozycją do uodpornienia: rdest (<i>Polygonum</i> ssp.) włośnica zielona (<i>Setaria viridis</i>) starzec zwyczajny (<i>Senecio vulgaris</i>)	atrazine simazine cyanazine	nicosulfuron rimsulfuron 2,4-D* MCPA* dicamba* foramsulfuron jodosulfuron acetochlor florasulam isoxaflutol mesotrione

* tylko dla gatunków dwuliściennych

Źródło: Rola i Marczevska, 2002 (31).

Tabela 13

Możliwość ograniczenia występowania w buraku cukrowym chwastów uodpornionych na herbicydy triazynowe

Gatunki chwastów	Odporne na:	Wrażliwe na:
Odporne: szarłat szorstki (<i>Amaranthus retroflexus</i>) komosa biała (<i>Chenopodium album</i>) rdest powojowy (<i>Polygonum convolvulus</i>) rdest plamisty (<i>Polygonum persicaria</i>) jasnota (<i>Lamium</i> ssp.) gorczyca polna (<i>Sinapis arvensis</i>) Nieoznaczone z predyspozycją do uodpornienia: rdest powojowy (<i>Polygonum convolvulus</i>) psianka czarna (<i>Solanum nigrum</i>) przytulia czepna (<i>Galium aparine</i>) blekot pospolity (<i>Aethusa cynapium</i>)	chlorydazone lenacil metamitrone	phenmedipham + desmedipham + ethofumesate clopyralid triflusalifuron

Źródło: Rola i Marczevska, 2002 (31).

Inne metody regulacji zachwaszczenia w uprawach rolniczych

Zarówno w nauce, jak i w praktyce rolniczej stale obserwuje się dążenie do alternatywnych sposobów ochrony roślin przed chwastami. Akcentuje się potrzebę wykorzystania do tego celu metod biologicznych i fizycznych, lecz jak dotąd bez większych efektów dla praktyki.

Należy podkreślić, że integrowane zwalczanie chwastów w swej istocie sprowadza się do regulacji zachwaszczenia, sterowania populacjami chwastów i ograniczania ich liczebności poniżej progów ekonomicznej szkodliwości (49). Dlatego zabieg herbicydowy musi być traktowany jako uzupełnienie innych metod redukcji zachwasz-

czenia, 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 (26).

Zgodnie z wytycznymi 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 (12). Do działań tych należą:

- metody mechaniczne – z użyciem zabiegów uprawowych późniejszych, przed-siewnych i pielęgnacyjnych;
- metody agrotechniczne – z wykorzystaniem zmianowania, doboru roślin o dużej sile konkurencyjnej, użycia czystego materiału siewnego, właściwej normy wysiewu, stosowania międzyplonów i mulczowania;
- metody biologiczne – z wykorzystaniem naturalnych patogenów, bioherbicydów lub herbicydów zawierających naturalne składniki.

Metody biologiczne są jeszcze na etapie badań, a szersze w tym względzie wykorzystanie wrogów naturalnych roślin segetalnych – głównie grzybów, zwierząt roślinnożernych, owadów, nicieni, roztoczy – nie jest jeszcze dopracowane. Najbardziej znanym przykładem biologicznej regulacji zachwaszczenia są próby niszczenia ostrożeń polnego (*Cirsium arvense*) przez grzyba *Puccinia obtegens* w Kanadzie lub w USA niszczenie cibory jadalnej (*Cyperus esculentus*) w kukurydzy za pomocą grzyba *Puccinia canaliculata* (1). Największym zainteresowaniem cieszą się badania nad przydatnością mykoherbicydów, które mogą być wykorzystane do niszczenia siewek chwastów w roślinach uprawnych, co umożliwia zintegrowanie tej metody z innymi metodami regulacji zachwaszczenia (1). Mykoherbicydy zawierają chorobotwórcze organizmy grzybowe o zwiększonej wirulencji w stosunku do chwastów uzyskanej na drodze inżynierii genetycznej. Znane są również alleloherbicydy (43) zaliczane do agrochemikaliów pochodzenia naturalnego, zawierające allelopatyny pozyskane z roślin wyższych (np. glufosynat).

Metody fizyczne – z wykorzystaniem fotoblastyzmu, czyli zjawiska ograniczającego kiełkowanie nasion chwastów w wyniku zabiegów uprawowych wykonywanych w zacieleniu, jak np. orka wykonywana nocą. Z prac prowadzonych przez IUNG wynika, że pod wpływem zabiegów uprawowych wykonywanych w zacieleniu uzyskuje się krótkotrwale ograniczenie zachwaszczenia (o 30-40%), lecz nie eliminuje to konieczności zastosowania herbicydów czy też innych skutecznych metod zwalczania chwastów. W krajach skandynawskich lansowana jest także metoda termiczna polegająca na wypalaniu chwastów w międzyrzędziach roślin (np. warzywnych) płomieniem uzyskanym ze spalania propanu lub gorącą parą wodną. Można również wymienić próby wykorzystania energii elektrycznej lub techniki laserowej do niszczenia chwastów, które nie znajdują jak dotąd praktycznego zastosowania (7).

Najnowsze strategie i wyzwania dla nauki w ochronie upraw rolniczych przed chwastami

W rolnictwie wraz z rozwojem cywilizacyjnym pojawiają się nowe problemy i tendencje. Oczywiście trudno jest bezbłędnie przewidywać jakie trendy czy zagrożenia będą miały decydujące znaczenie, lecz wydaje się, że w przyszłości ochrony roślin ważne będą poniżej przedstawione zagadnienia.

- **Wykorzystanie biotechnologii.** Zdobycze inżynierii genetycznej pozwalają na modyfikowanie genomu roślinnego. Modyfikacjom poddawane są głównie rośliny mające duże znaczenie gospodarcze. Celem zmiany genomu jest nadanie im pożądanych przez człowieka cech, np. wytworzenie odporności na herbicydy nieselektywne, jak glifosat lub glufosinat. W przyszłości można oczekiwać, że dodane geny spowodują, iż roślina sama wytworzy „czynnik” do walki z konkretnym agrofagiem, np. allelopatyny przeciw chwastom, czy przeciwciała chroniące przed chorobami.

- **Precyzyjne stosowanie środków ochrony roślin.** Rozwój precyzyjnych metod umożliwi punktową aplikację środków ochrony roślin na podstawie rozmieszczenia patogena na polu. W tej dziedzinie wykorzystana zostanie technika skanowania pola oraz system GPS, które umożliwią tworzenie map występowania agrofaga na powierzchni pola. Po automatycznym wprowadzeniu danych do pamięci komputera będzie on precyzyjnie sterował zabiegiem ochrony. Inną metodą będzie precyzyjny dobór środków ochrony, ich dawek, terminów stosowania i sposobów aplikacji z wykorzystaniem komputerowych systemów wspomagania decyzji (ang. Decision Support Systems – DSS).

- **Rozwój alternatywnych metod zwalczania.** Dotyczyć to będzie zwłaszcza sposobów biologicznych i fizycznych, wykorzystujących zjawisko fotoblastyzmu, wysoką temperaturę, sprężone powietrze, promieniowanie podczerwone lub promień lasera.

- **Wyeliminowanie negatywnego wpływu herbicydów na jakość ziemiopłodów.** Aktualnie prowadzone badania przez Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli IUNG-PIB we Wrocławiu, jak również wcześniejsze od 1966 roku wykonywane w Zakładzie Ekologii i Zwalczania Chwastów wykazują, że wykrywane pozostałości substancji aktywnych herbicydów były znacznie niższe (od 7 do 66 razy) od dopuszczalnych przez normy WHO. Ponadto, jak wynika z dotychczasowych badań, prawidłowo stosowane herbicydy w zlecanych dawkach do odchwaszczania zbóż nie stanowią zagrożenia dla konsumenta, środowiska naturalnego i roślin następnych.

Dlatego na pytanie: „czy powinno się radykalnie ograniczyć lub zaprzestać chemicznej ochrony roślin?” odpowiedź musi być negatywna, ponieważ spowoduje to znaczącą obniżkę plonów i pogorszenie ich jakości. Należy zatem stosować środki bardziej racjonalnie, rozwijać nowe systemy i sposoby aplikacji, opierając się na najnowszych wynikach badań naukowych.

- **Skuteczna ochrona roślin w rolnictwie ekologicznym.** Zwalczanie chwastów w rolnictwie ekologicznym będzie polegało na wykorzystywaniu metod agrotechnicznych, takich jak: zabiegi uprawowe późnoliczne i przedsiewne, dobór gatunków

roślin i odmian o dużej sile konkurencyjnej, zmianowanie roślin, czysty materiał siewny, odpowiednie zagęszczenie łanu rośliny uprawnej, międzyplony i mulczowanie, zabiegi pielęgnacyjne z wykorzystaniem odpowiednich maszyn i narzędzi oraz metod biologicznych i fizycznych. Bardzo istotne będzie dokładne określenie zachodzących interakcji pomiędzy chronioną rośliną a agrofagiem oraz zastosowanymi czynnikami ochrony roślin.

• **Monitoring i zwalczanie nowych gatunków inwazyjnych.** W dobie powszechnej globalizacji rolnictwa znacznie wzrosło zagrożenie przenikaniem agrofagów na obszary, na których dotychczas nie występowały. Problem dotyczy nie tylko chorób i szkodników, ale również chwastów. Ważne zatem będzie śledzenie pojawiania się nowych gatunków i niezwłoczne opracowywanie skutecznych metod ich zwalczania, zanim poczynią nieodwracalne szkody gospodarcze.

Podsumowanie

W nowoczesnym rolnictwie opartym na zasadach dobrej praktyki rolniczej chemiczne metody regulacji zachwaszczenia roślin wpisują się w cały kompleks działań prowadzących do utrzymania łanu w stanie czystym. Poprzez umiejętne zastosowanie herbicydu zmniejsza się nakłady na zabiegi pielęgnacyjne, a tym samym następuje zwiększenie opłacalności produkcji. Pomimo ogromnego postępu, jaki dokonał się w dziedzinie herbologii w ostatnich latach XX wieku wiedza o metodach ograniczania konkurencji chwastów w uprawach rolniczych jest jeszcze ciągle rozwijana.

Używane obecnie oraz tworzone w przyszłości systemy regulacji zachwaszczenia muszą uwzględniać wszelkie uwarunkowania ekologiczne, a jednocześnie prowadzić do ograniczenia występowania najbardziej agresywnych gatunków chwastów dominujących, chroniąc te, które nie stanowią zagrożenia dla rośliny uprawnej. W efekcie końcowym pozwoli to na zachowanie różnorodności biologicznej chwastów w agrocenozach.

Celowi temu służyć może rozwijanie takich kierunków badań, jak:

- poznanie stopnia zagrożenia i progów szkodliwości gatunków chwastów oraz całych zbiorowisk segetalnych dla chronionej rośliny uprawnej, co jest niezbędne do opracowania programów decyzyjnych ochrony upraw rolniczych przed chwastami. Przykładem takiego działania może być model wprowadzony do praktyki przez Duński Instytut Nauk Rolniczych (10, 49). Uwzględnia on zarówno osiągnięcia nauki o chwastach, jak również wiedzę ekspertów i oferuje system rozpoznania i zwalczania 75 gatunków chwastów w 11 roślinach uprawnych;
- stosowanie herbicydów w niższych od zalecanych dawkach dla zbóż i innych roślin uprawnych, aby oprócz ograniczenia kosztów regulacji zachwaszczenia można było zmniejszyć ryzyko zanieczyszczenia środowiska oraz obniżyć dopuszczalne poziomy pozostałości substancji aktywnych w produktach spożywczych oraz, co nie mniej ważne, zachować bioróżnorodność agrocenozy

(40). Dotychczasowe badania w tym zakresie mające wartość zarówno poznawczą, jak i praktyczną powinny być kontynuowane;

- rozpoznanie zasięgów występowania na terenie Polski chwastów odpornych na herbicydy w uprawach rolniczych oraz doskonalenie metod ich identyfikacji i zwalczania. Na podstawie dotychczasowych badań ustalono występowanie w Polsce zaledwie 12 biotypów odpornych na atrazynę, a także dwóch biotypów chabry bławatka (*Centaurea cyanus*) i miotły zbożowej (*Apera spica-venti*) odpornych na chlorosulfuron w zbożach (30). Oznacza to, że problem odporności chwastów na herbicydy może być w Polsce w najbliższych latach bardzo istotny i że badania nad tym zjawiskiem powinny być prowadzone na szeroką skalę. Zagadnienie to powinno być jednym z elementów strategii regulacji zachwaszczenia w agrocenozach.

W najbliższej przyszłości ochrona roślin opierać się będzie na coraz bezpieczniejszych dla środowiska systemach aplikacji środków stanowiących jedynie uzupełnienie całego wachlarza innych metod. Bardzo ważnym zagadnieniem jest ciągle ograniczanie niepożądanego wpływu środków ochrony na jakość plonu, a szczególnie produktów przeznaczonych do bezpośredniego spożycia przez ludzi i zwierzęta.

Rozwój badań naukowych spowoduje wykorzystanie na szerszą skalę biotechnologii, alternatywnych metod zwalczania oraz szerokiego wykorzystania technik informatycznych i satelitarnych do precyzyjnego stosowania środków ochrony roślin. Doskonalona powinna być także ochrona roślin w rolnictwie ekologicznym, a szczególnie zwalczanie chwastów „bez chemii” oraz uprawa odmian odpornych na szkodniki i choroby grzybowe lub posiadających wysoki potencjał allelopatyczny. Powinien być rozpracowany również problem monitoringu i zwalczania nowych gatunków inwazyjnych.

Literatura

1. Adamczewski K., Woźnica Z.: Nowe możliwości zwalczania chwastów. Mat. XXXI Sesji Nauk. IOR, cz. I, 1991, 98-109.
2. Chmielewski Z.: O chwastach w ziarnie zbóż Galicji. Roczn. Nauk Rol. Leśn. 1914, **7(1)**: 135-176.
3. Zaplicki E., Podgórska B.: Dyrektywa 91/414 Unii Europejskiej dotycząca wprowadzenia do obrotu środków ochrony roślin a prawodawstwo Polskie. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 1998, **38(1)**: 292-297.
4. Czerwicz-Filipiszynowa M.: Chwasty upraw rolnych jako wskaźniki gleby. PTPN, 1948, ss. 128.
5. Czyrnicówna M.: Studia nad chwastami okolic Warszawy. Roczn. Nauk Rol. Leśn., 1929, **21(3)**: 405-445.
6. Demianowiczowa Z.: Zbiorowiska chwastów zbożowych Lubelszczyzny i ich ekologia. Ann. UMCS, 1974, E, **7(3)**: 21-46.
7. Dobrzański A., Adamczewski K.: Przyszłościowe spojrzenie na metody ochrony przed chwastami na progu XXI wieku. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2001, **41(1)**: 58-68.
8. Domaradzki K.: Efektywność regulacji zachwaszczenia zbóż w aspekcie ograniczania dawek herbicydów oraz wybranych czynników. Monografie i Rozprawy Naukowe, IUNG Puławy, 2006, **17**: 1-111.

9. Domaradzki K.: Problemy w zwalczaniu chwastów na plantacji buraka cukrowego. Por. Plant. Bur. Cukr., 2004, **3**: 15-18.
10. Domaradzki K., Rola H.: Efektywność stosowania niższych dawek herbicydów w zbożach. Pam. Puł., 2000, **120(1)**: 53-64.
11. 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.
12. 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.
13. Gawroński S.W.: Inheritance of resistance to triazine herbicides by *Echinochloa crus-galli* L. Proc 5th International Congress Society for the Advancement of Breeding Research in Asia and Oceania. Bangkok, Thailand, 1985, 797-801.
14. Gołębiowska H., Rola H.: Efficacy of selected chemical weed control systems in maize. J. Plant Diseases and Prot., Sonderheft, 2006, Sp. Issue **20**: 837-843.
15. Gołębiowska H.: The problems of weed management by herbicide systems applied in maize. J. Plant Prot. Res., 2008, **48(1)**: 596-604.
16. Gołębiowska H.: Wpływ sposobu aplikacji herbicydów na poziom zachwaszczenia wtórnego w kukurydzy. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2006, **46**: 265-268.
17. Grabński J., Mazurek J.: Agrotechnika zbóż w warunkach rolnictwa zrównoważonego (wybrane zagadnienia). Pam. Puł., 2000, **120(1)**: 149-153.
18. Gressel J., Segal L.A.: Herbicide resistance in plants. John Wiley & Sons, NY, USA, 1982, 325-334.
19. Gauvrit C.: Optimisation of herbicide use in France. The BCPC Conference – Weeds, 1991, **3**: 1191-1199.
20. Latowski K., Jackowski B.: Rozmieszczenie, ekologia i biologia chwastów segetalnych. Bibliografia polskich prac za lata 1996–2000. Wyd. Nauk. Bogucki, Poznań, 2001.
21. Michna W.: Jakość surowców rolnych i żywności jako ważny składnik oceny zrównoważonego rozwoju rolnictwa. Pam. Puł., 2000, **120(2)**: 317-323.
22. Mowszowicz J.: Krajowe chwasty polne i ogrodowe. PWRiL Warszawa, 1955.
23. Powles S.B.: Herbicide resistance in weedy plant species: from evaluation to management. Proc. 13th EWRs Symposium, Bari, Włochy, 2005, 199-200.
24. Proven M.J., Courtney A., Picton J., Davies D.H.K., Whiting A.J.: Cost-effectiveness of weed control in cereals – system based on thresholds and reduced rates. The BCPC Conference – Weeds, 1991, **3**: 1201-1208.
25. Pruszyński S., Wolny S.: Dobra praktyka w ochronie roślin. Mat. Konf. „Dobre praktyki w produkcji rolniczej”. IUNG Puławy, 1998, **I**: 255-263.
26. Rola H.: Zjawisko konkurencji wśród roślin uprawnych i jej skutki na przykładzie wybranych gatunków chwastów występujących w pszenicy ozimej. Rozpr. hab. IUNG Puławy, 1982, **R(162)**: 1-64.
27. Rola H.: Zależność wysokości plonów kukurydzy od okresu występowania w łanie *Echinochloa crus-galli* i *Amaranthus retroflexus*. Pam. Puł., 1986, **87**: 155-170.
28. Rola H.: Badania nad występowaniem chwastów odpornych na triazyny na Dolnym Śląsku. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 1999, **39(1)**: 372-378.
29. Rola H., Rola J.: Pozytywne i negatywne aspekty stosowania herbicydów w uprawach rolniczych w Polsce w latach 1950–2000. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2001, **41(1)**: 47-57.
30. Rola H.: Produkcyjne i ekologiczne aspekty ochrony roślin przed chwastami. Pam. Puł., 2002, **130**: 635-646.
31. Rola H., Marczevska K.: Biotypy chwastów odporne na chlorosulfuron w rejonie Wrocławia. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2002, **42(2)**: 575-577.
32. Rola H., Rola J.: Progi szkodliwości chwastów w programach decyzyjnych ochrony roślin. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2002, **42(1)**: 332-339.

33. R o l a H., R o l a J.: Teoria i praktyka uodparniania się chwastów segetalnych na herbicydy stosowane w Polsce. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2002, **43(1)**: 375-382.
34. R o l a H., R o l a J., K u c h a r s k i M., M a r c z e w s k a K.: Zabezpieczenie roślin uprawnych przed chwastami odpornymi na herbicydy. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2004, **44(1)**: 339-346.
35. R o l a J.: Badania nad dynamiką zbiorowisk chwastów segetalnych w płodozmianie. Roczn. Nauk Rol., 1962, A, **85**: 515-553.
36. R o l a J.: Zjawisko uodparniania się niektórych gatunków chwastów na herbicydy. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1988, **349**: 153-159.
37. R o l a J., R o l a H.: 20 lat zespołowych badań nad rejonizacją chwastów segetalnych w Polsce. Mat. XX Konf. Nauk. „Ginące i zagrożone gatunki flory segetalnej”. Uniwersytet Łódzki, 1996, 35-37.
38. R o l a J., R o l a H.: Strategia postępu w herbologii. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 1997, **37(1)**: 66-71.
39. R o l a J., R o l a H.: Zachwaszczenie wtórne roślin okopowych na Dolnym Śląsku. Mat. XXI Krajowej Konf. Nauk. z cyklu „Rejonizacja chwastów segetalnych w Polsce”. IUNG Puławy, 1997, **K(13)**: 7-14.
40. R o l a J., R o l a H.: Dorobek polskich placówek naukowych w zakresie ekologii chwastów, rejestracji ich rozmieszczenia i oceny szkodliwości. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2000, **40(1)**: 93-100.
41. R o l a J., R o l a H., D o m a r a d z k i K.: Przyrodnicza optymalizacja zbiorowisk chwastów w agrocenozach. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2009, **49(1)**: 1102-1111.
42. S a d o w s k i J., K u c h a r s k i M.: Bibliografia prac Zakładu Ekologii i Zwalczania Chwastów we Wrocławiu. IUNG Puławy, 2006.
43. S o b ó t k a W.: Alleloherbicydy wczoraj i dziś. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 1997, **37(1)**: 50-58.
44. Ś w i ę t o c h o w s k i B., T o ł p a S.: Chwasty. PWRiL Warszawa, 1950.
45. Ś w i ę t o c h o w s k i B.: Problem chwastów segetalnych i ich zwalczanie w świetle nauk biologicznych i rolniczych. Zesz. Nauk. WSR Wrocław, 1958, **14**: 5-7.
46. Ś w i ę t o c h o w s k i B.: Ogólna uprawa roślin. PWRiL Warszawa, 1969; 619, 622, 626, 668.
47. T h o n k e K. E.: Political and practical approaches in Scandinavia to reduce herbicide inputs. Brighton Crop Protection Conference – Weeds, 1991, **3**: 1183-1190.
48. W h i t i n g A. J., D a v i e s D. H. K., B r o w n H., W h y t o c k G.: The field use of reduced doses of broad-leaved weed herbicides in cereals. The BCPC Conference – Weeds, 1991, **3**: 1209-1216.
49. Z w e r g e r P.: Integrated weed management in developed nations. Proc. 2nd International Weed Control Congress, Copenhagen, Denmark, 1996, 933-942.

Adres do korespondencji:

prof. dr hab. Henryka Rola
IUNG-PIB

Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli
ul. Orzechowa 61
50-540 Wrocław
tel.: (71) 363-87-07
e-mail: h.rola@iung.wroclaw.pl

Renata Kieloch

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

PRZYRODNICZE I AGROTECHNICZNE UWARUNKOWANIA SKUTECZNOŚCI ZABIEGÓW CHWASTOBÓJCZYCH*

Wstęp

Wielkość i jakość uzyskiwanych plonów zależy między innymi od sposobu ochrony zasiewów przed konkurencją ze strony chwastów. Z tego powodu stosowanie herbicydów jest obecnie nieodzownym elementem agrotechniki pozwalającym na utrzymanie pól uprawnych w stanie wolnym od chwastów. Krajowy rynek oferuje szeroki asortyment środków do zwalczania chwastów w uprawach rolniczych, warzywniczych i sadowniczych, cechujących się różnym mechanizmem działania i spektrum zwalczanych gatunków chwastów.

O skuteczności zabiegu chwastobójczego decyduje przede wszystkim odpowiedni do stanu zachwaszczenia dobór herbicydu oraz ściśle przestrzeganie zaleceń producenta zawartych w instrukcji jego stosowania. Praktyka rolnicza oraz badania naukowe wskazują, że ten sam herbicyd może wykazywać zróżnicowaną skuteczność. Wynika to z faktu, że działanie tych środków jest zależne od szeregu naturalnych i sztucznych czynników siedliska. W związku z powyższym podejmowanie decyzji o wykonaniu zabiegu chwastobójczego powinno opierać się na szczegółowej wiedzy uwzględniającej wpływ wielu czynników na skuteczność działania danego środka.

Czynniki klimatyczno-glebowe

Do najważniejszych czynników klimatyczno-glebowych kształtujących efektywność działania herbicydów należą: temperatura i wilgotność powietrza, wilgotność gleby, intensywność światła oraz opady deszczu. Podejmując decyzję o wykonaniu zabiegu należy brać pod uwagę stan aktualny oraz prognozę pogody (np. występowanie suszy, przewidywane spadki temperatury lub opady deszczu), co pozwoli uniknąć znacznego obniżenia skuteczności herbicydu i w związku z tym nieopłacalności jego stosowania.

Badania w zakresie wpływu poszczególnych czynników klimatycznych na działanie herbicydów prowadzone są głównie w warunkach laboratoryjnych (komory klimatyczne). Mają one charakter modelowy i kontrolowany, trudno więc przenieść ich

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

rezultaty na warunki polowe ze względu na interakcje czynników oraz ich dobowe i okresowe wahania. Niemniej jednak stanowią cenną informację pomocną przy podejmowaniu decyzji odnośnie zastosowania danego środka.

Temperatura powietrza

Temperatura powietrza w największym stopniu wpływa na skuteczność działania herbicydów. Z reguły im wyższa temperatura, tym lepsze jest ich działanie. W wyższej temperaturze wzrasta tempo procesów metabolicznych w roślinie, co powoduje wzrost pobierania, przemieszczania i rozkładu środka (20, 25-27). Wzrost temperatury jednak tylko do pewnego momentu poprawia efektywność działania herbicydów. W zbyt wysokiej temperaturze następuje szybsze parowanie cieczy roboczej herbicydów z powierzchni liści, co w konsekwencji prowadzi do ograniczenia ilości substancji aktywnej wnikażącej do wnętrza chwastów i obniżenia skuteczności preparatu. Ponadto wzrasta ryzyko fitotoksycznego działania na roślinę uprawną (22). Większość dostępnych na krajowym rynku herbicydów wykazuje wysoką skuteczność w dość szerokim przedziale temperatur (10-25°C). Badania z zakresu tej tematyki wykazały, że wpływ temperatury powietrza na skuteczność herbicydów może być zróżnicowany. W tabeli 1 przedstawiono dane odnośnie niszczenia maku polnego (*Papaver rhoeas*) przez dwa herbicydy stosowane w różnych warunkach termicznych. Aminopielik D 450 SL zawiera jako substancje czynne 2,4-D i dikambę – obydwie z grupy regulatorów wzrostu, a Mustang 306 SE oprócz 2,4-D posiada w swoim składzie dodatkowo związek z grupy pochodnych sulfonylomocznika – florasulam. Oba środki z bardzo dobrym rezultatem zwalczały ten gatunek chwastu w wyższym zakresie temperatur (16,5 i 25°C). Po obniżeniu temperatury do 8°C efektywność działania obu środków znacznie zmalała, przy czym szczególnie duże obniżenie skuteczności wystąpiło po aplikacji środka Aminopielik D 450 SL. Herbicyd Attribut 70 WG stosowany do zwalczania gatunków jednoliściennych osiągnął wysoką skuteczność w wyższej temperaturze, natomiast w warunkach chłodniejszych wykazał tylko średnią skuteczność.

Tabela 1

Wpływ temperatury powietrza na skuteczność działania herbicydów

Gatunki chwastów	Herbicyd	Dawka	Skuteczność działania w temperaturze (%)		
			25/16°C*	16,5/8°C	8/2°C
Mak polny <i>Papaver rhoeas</i>	Aminopielik D 450 SL	3 l · ha ⁻¹	96	87	34
	Mustang 306 SE	0,6 l · ha ⁻¹	93	93	70
Miotła zbożowa <i>Apera spica-venti</i>	Attribut 70 WG	60 g · ha ⁻¹	95	88	76
Wyczyniec polny <i>Alopecurus myosuroides</i>	Attribut 70 WG	60 g · ha ⁻¹	91	87	69

* zakres temperatury powietrza
Źródło: badania własne.

Wilgotność powietrza

Rośliny rosnące w warunkach niskiej wilgotności powietrza wytwarzają grubszą kutikulę, która stanowi barierę dla pobierania herbicydów, co w końcowym rezultacie prowadzi do ograniczenia ich działania. Dla skuteczności zabiegu duże znaczenie posiada także wilgotność powietrza w momencie wykonywania oprysku roślin. Gdy w czasie opryskiwania powietrze jest wilgotne ciecz użytkowa wolniej paruje z powierzchni liści i więcej substancji aktywnej herbicydu może wnikać do wnętrza roślin (4). Liczne badania dowiodły, że wraz z obniżeniem wilgotności powietrza maleje efektywność działania herbicydów. Negatywny wpływ niskiej wilgotności powietrza stwierdzono w przypadku następujących herbicydów: fenmedifamu, chloridazonu, etofumesatu, metsulfuronu, fluroxypyru, glifosatu, glufosinatu (21, 22).

Wilgotność gleby

Niedostateczne uwilgotnienie gleby prowadzi do niekorzystnych zmian w morfologii roślin utrudniających pobieranie i przemieszczanie herbicydu. Długotrwały deficyt wody powoduje zwiększenie grubości i gęstości kutykuli, wzrost omszenia powierzchni liści oraz zamknięcie aparatów szparkowych. Obniżenie turgoru w wyniku suszy jest przyczyną zrolowania blaszek liściowych, co prowadzi do zmniejszenia absorpcji herbicydów (24). W większości przypadków skuteczność herbicydów została zredukowana w warunkach stresu wodnego. Stosowane nalistnie środki chwastobójcze, jak np. glifosat i sulfosulfuron działały znacznie gorzej przy niskim uwilgotnieniu gleby (1, 26). Wilgotność gleby posiada szczególnie duże znaczenie w przypadku herbicydów stosowanych doglebowo, np. zawierających cyjanazynę lub izoproturon. W przypadku tych dwóch substancji to cyjanazyna posiada większą tendencję do lepszego działania w warunkach niedostatecznego uwilgotnienia gleby (3).

Opady deszczu

Opady występujące przed zabiegiem herbicydowym mogą zwiększać wrażliwość chwastów na herbicydy. Krople deszczu uszkadzają powierzchnię liści poprzez erozję wosku, prowadząc do zwiększenia zdolności pobierania i zatrzymywania herbicydu. Istnieją różnice pomiędzy gatunkami roślin we wrażliwości na uszkodzenia mechaniczne spowodowane przez krople deszczu. Różnice te wynikają z odmiennej budowy anatomicznej (np. omszenie liści, gęstość wosku).

Ważną rolę odgrywają opady deszczu występujące w krótkim okresie po zastosowaniu herbicydów. Duże znaczenie w tym przypadku posiadają takie parametry, jak: intensywność opadów deszczu, wielkość kropeł i czas trwania opadów. Obfity deszcz tuż po wykonaniu zabiegu może znacznie zredukować skuteczność działania herbicydów, powodując zmycie cieczy użytkowej z powierzchni liści. Efekt ten zależy także od właściwości fizycznych i chemicznych herbicydu, jego formy użytkowej i dawki oraz długości czasu jaki upłynął od zastosowania herbicydu do wystąpienia opadów (17). Ostatni z wymienionych czynników posiada kluczowe znaczenie z tego względu, że dla skuteczności herbicydów ważny jest krytyczny czas pomiędzy aplikacją herbicydu a wystąpieniem opadów deszczu pozwalający na pobranie przez roślinę takiej

ilości środka, która byłaby dla niej śmiertelna. Herbicydy różnią się wymaganiami co do długości okresu wolnego od opadów deszczu. Środki rozpuszczalne w wodzie (np. środki zawierające glifosat i glufosinat) wymagają dłuższego okresu bez opadów w porównaniu z tymi, które są rozpuszczalne w tłuszczach (np. 2,4-D).

Na podstawie badań dokonano klasyfikacji herbicydów na trzy grupy pod względem ich wymagań, co do długości okresu bez opadów (18):

- herbicydy wymagające co najmniej 2 godzin pomiędzy zabiegiem a wystąpieniem opadów deszczu (np. mekoprop, fenoxaprop-etyl, fluazifop-butyl),
- herbicydy wymagające 2-6 godzin pomiędzy zabiegiem a wystąpieniem opadów deszczu (np. chlorosulfuron, metsulfuron, triasulfuron, tribenuron, fenmedifam),
- herbicydy wymagające więcej niż 6 godzin pomiędzy zabiegiem a wystąpieniem opadów deszczu (np. bentazon, difenzokwat, glifosat, glufosinat).

Stan uwilgotnienia roślin

Stan uwilgotnienia roślin ma znaczenie w przypadku aplikacji herbicydów stosowanych nalistnie. Istnieje niewiele prac dotyczących wpływu rosy na skuteczność działania herbicydów. Generalnie nie zaleca się opryskiwać roślin, gdy są wilgotne. W warunkach występowania rosy istnieje zwiększone ryzyko ich fitotoksycznego oddziaływania na roślinę uprawną (8). Rezultaty nielicznych badań w tym zakresie dają sprzeczne opinie. Według niektórych autorów występowanie rosy w momencie stosowania herbicydu przyczynia się do poprawy jego działania ze względu na zwiększone uwodnienie kutyki i tym samym zwiększoną jej przepuszczalność (4, 18). W badaniach dotyczących glifosatu, w przypadku opryskiwania roślin wilgotnych występował spadek skuteczności spowodowany prawdopodobnie obniżeniem stężenia herbicydu w cieczy roboczej (30). W doświadczeniach prowadzonych przez Zakład Herbológii i Technik Uprawy Roli skuteczność środka Betanal AM 11 160 EC nie zależała od stanu uwilgotnienia opryskiwanych roślin (tab. 2).

Tabela 2

Wpływ stanu uwilgotnienia roślin na skuteczność herbicydu Betanal AM 11 160 EC

Gatunki chwastów	Herbicyd	Dawka (l · ha ⁻¹)	Zniszczenie chwastów (%)	
			rośliny suche	rośliny mokre
Szarłat szorstki <i>Amaranthus retroflexus</i>	Betanal AM 11 160 EC	6	95	95
Komosa biała <i>Chenopodium album</i>	Betanal AM 11 160 EC	6	98	99

Źródło: badania własne.

Natężenie światła

Natężenie światła jest szczególnie istotnym czynnikiem w okresie przed wykonywaniem zabiegów herbicydowych. Rośliny rosnące w warunkach dostatecznego nasłonecznienia posiadają cieńszą kutikulę, bardziej podatną na penetrację herbicydów. Ponadto ich blaszki liściowe charakteryzują się większą powierzchnią w porównaniu z roślinami, które rosną w warunkach mniejszej intensywności światła (31). Światło wpływa pozytywnie na transport substancji aktywnej herbicydu w roślinie bezpośrednio – poprzez wzrost otwarcia aparatów szparkowych oraz pośrednio – poprzez zwiększenie intensywności fotosyntezy. Glifosat wykazał wzrost efektywności działania w stosunku do perzu właściwego (*Elymus repens*), gdy był zastosowany w warunkach większego natężenia światła. Podobną zależność stwierdzono w przypadku metoxuronu w zwalczaniu stokłosa płonnej (*Bromus sterilis*); (2, 5). Ocena działania środka Starane 250 EC w badaniach własnych nie wykazała różnic w jego skuteczności w zależności od natężenia światła w niszczeniu gwiazdnicy pospolitej (*Stellaria media*) i rumianu polego (*Anthemis arvensis*); (tab. 3).

Tabela 3

Wpływ natężenia światła na skuteczność działania herbicydu Starane 250 EC

Gatunki chwastów	Herbicyd	Dawka (l · ha ⁻¹)	Zniszczenie chwastów (%)	
			250 μmol · m ⁻² s ⁻¹	400 μmol · m ⁻² s ⁻¹
Rumian polny <i>Anthemis arvensis</i>	Starane 250 EC	0,8	71	72
Gwiazdnica pospolita <i>Stellaria media</i>	Starane 250 EC	0,8	98	96

Źródło: badania własne.

Czynniki agrotechniczne

Parametry techniczne zabiegu

Odpowiedni dobór parametrów technicznych zabiegu wpływa na dokładność pokrycia opryskiwanych roślin cieczą użytkową, a tym samym na ilość zatrzymanego i pobranego przez nie środka. Szczególnie ważnymi czynnikami są wielkość kropeł i ich równomierny rozkład na opryskiwanej powierzchni. Cechy te zależą głównie od typu zastosowanych dysz opryskiwacza. Wielkość kropeł można także regulować poprzez zmianę ciśnienia roboczego opryskiwacza przy zachowaniu tej samej dyszy. Drobniejsze krople zapewniają dokładniejsze pokrycie roślin, co przyczynia się do poprawy skuteczności działania herbicydu. Z drugiej strony tego rodzaju krople są bardziej podatne na znoszenie przez wiatr. Efekt znoszenia rozpylanej cieczy może być zniwelowany przez zastosowanie specjalnych dysz – eżektorowych lub antyznoszeniowych (14, 16). Prace dotyczące tej tematyki dowiodły, że na ogół skuteczność herbicydu wzrasta, gdy do sporządzenia cieczy użytkowej stosuje się mniejszą ilość wody. Gdy wzrasta ilość wody użytej do opryskania roślin, następuje spadek retencji

cieczy użytkowej na liściach i tym samym mniej substancji aktywnej wnika do wnętrza roślin (15, 30).

Dawka herbicydu

Dobór dawki herbicydu ma istotne znaczenie nie tylko dla skuteczności jego działania, ale także dla stanu środowiska naturalnego. W trosce o środowisko naturalne dąży się do ograniczania ilości chemikaliów wnoszonych na pola uprawne w czasie zabiegów agrotechnicznych. Stosowanie herbicydu w dawce niższej niż zaleca producent jest uzależnione od kompleksu czynników, które wpływają na efektywność jego działania; bywa, że jest mniej skuteczna od dawki podstawowej (tab. 4); (6). Z tego względu obniżanie dawki środka nie zawsze jest uzasadnione i wymaga uprzedniego przeprowadzenia kompleksowych badań uwzględniających możliwie dużą liczbę czynników determinujących jego skuteczność. Działanie herbicydu aplikowanego w dawce obniżonej bardziej zależy od czynników klimatycznych, fazy rozwojowej chwastów, stopnia zachwaszczenia w porównaniu z dawką zalecaną (7).

Tabela 4

Wpływ obniżenia dawki herbicydu na skuteczność jego działania

Herbicyd	Dawka	Zniszczenie chwastów (%)
Starane 250 EC	dawka podstawowa	90
	50% dawki podstawowej	85
Duplosan DP 600 SL	dawka podstawowa	93
	70% dawki podstawowej	87
Chwastox Trio 540 SL	dawka podstawowa	95
	70% dawki podstawowej	89
Aminopielik D 450 SL	dawka podstawowa	93
	67% dawki podstawowej	89

Źródło: Domaradzki, 2006.

Odmiana i gęstość siewu rośliny uprawnej

Na stopień zachwaszczenia zasiewów wpływa wybór odmiany rośliny uprawnej charakteryzującej się zdolnościami konkurencyjnymi wobec chwastów. Właściwość ta związana jest z tempem wschodów i terminem dojrzewania roślin, a także niektórymi cechami morfologicznymi, jak np. wysokość roślin, zdolność krzewienia (9). W tabeli 5 przedstawiono skuteczność działania czterech herbicydów stosowanych w zasiewach pszenicy ozimej (odmiany Kobra i Tonacja) przy dwóch różnych gęstościach (200 – siew rzadki i 400 szt. · m⁻² – siew standardowy). Wszystkie z wymienionych środków wykazały wysoką skuteczność niezależnie od odmiany i gęstości siewu.

Gęstość siewu wpływa na stopień opanowania upraw przez chwasty, co z kolei jest jednym z głównych czynników determinujących skuteczność działania herbicydów. W warunkach rzadszego siewu następuje wzrost zachwaszczenia, co może też być przyczyną obniżenia skuteczności środków chwastobójczych. Natomiast większe

Tabela 5

Skuteczność działania herbicydów w zależności od odmiany i gęstości siewu pszenicy ozimej

Herbicyd	Odmiana	Gęstość siewu (szt. · m ⁻²)	Zniszczenie chwastów (%)
Maraton 375 SC	Kobra	400	94
		200	91
	Tonacja	400	97
		200	96
Alister 162 OD	Kobra	400	98
		200	96
	Tonacja	400	97
		200	99
Aminopielik D 450 SL	Kobra	400	95
		200	92
	Tonacja	400	92
		200	93
Chwastox Trio 540 SL	Kobra	400	96
		200	92
	Tonacja	400	95
		200	96

Źródła: badania własne.

zagęszczenie roślin ogranicza dostęp cieczy roboczej herbicydu do opryskiwanych chwastów i w konsekwencji przyczynia się do zmniejszenia pobierania środka i redukcji jego efektywności (11, 23).

Sposób aplikacji herbicydu

Niektóre herbicydy zaleca się stosować łącznie z adiuwantami. Taka forma aplikacji poprawia skuteczność działania herbicydu, poszerza spektrum zwalczanych gatunków, umożliwia obniżenie dawki środka oraz zapobiega obniżce efektywności działania pod wpływem niekorzystnych warunków pogodowych. Głównym zadaniem adiuwantów jest wzrost retencji i absorpcji środków, poprzez np. zmniejszenie napięcia powierzchniowego kropeł cieczy użytkowej, zwiększenie przyczepności, wzrost rozpuszczalności herbicydu, lepsze uwodnienie kutykuli, poprawę właściwości fizykochemicznych cieczy użytkowej (15, 19, 28). Środki te powodują zachowanie wysokiej skuteczności herbicydów, zwłaszcza gdy warunki pogodowe nie sprzyjają ich działaniu. W tabeli 6 przedstawiono skuteczność działania herbicydu Granstar 75 WG stosowanego samodzielnie i w mieszaninie z adiuwantem Trend 90 EC w warunkach różnej wilgotności powietrza. Efektywność tego środka została znacznie zredukowana, gdy wilgotność powietrza była niska (50%), jednak dodatek adiuwanta Trend 90 EC spowodował poprawę działania.

Dodatek adiuwanta pozwala na obniżenie dawki herbicydu z jednoczesnym zachowaniem wysokiej skuteczności chwastobójczej. Środek Apyros 75 WG aplikowany w zredukowanej dawce łącznie z adiuwantem Olstick 90 EC wykazał skuteczność

Tabela 6

Wpływ adiuwanta Trend 90 EC na skuteczność herbicydu Granstar 75 WG stosowanego w zróżnicowanych warunkach wilgotności powietrza

Herbicydy i ich mieszaniny z adiuwantami	Dawka	Zniszczenie chwastów (%)	
		50% RH*	75% RH
Granstar 75 WG	20 g · ha ⁻¹	64	98
Granstar 75 WG + Trend 90 EC	20 g · ha ⁻¹ + 0,05%	93	98

* wilgotność względna powietrza (ang. relative humidity)

Źródło: Kieloch, 2006 (13).

podobną do tej, jaką osiągnięto w wyniku jego samodzielnej aplikacji, lecz w dawce zalecanej. Podobne rezultaty uzyskano po zastosowaniu herbicydu Callisto 100 SC w kombinacji z adiuwantem Atpolan 80 EC. Natomiast środek Harmony Extra 75 WG stosowany łącznie z adiuwantem Olstick 90 EC w dawce obniżonej okazał się bardziej skuteczny niż aplikowany w dawce zalecanej, lecz bez adiuwanta (tab. 7).

Tabela 7

Wpływ adiuwantów na skuteczność herbicydów stosowanych w dawkach zredukowanych

Herbicydy i adiuwanty	Dawka	Zniszczenie chwastów (%)
Apyros 75 WG	zredukowana	81
Apyros 75 WG	zalecana	89
Apyros 75 WG + Olstick 90 EC	zredukowana + 1 l · ha ⁻¹	87
Harmony Extra 75 WG	zredukowana	60
Harmony Extra 75 WG	zalecana	68
Harmony Extra 75 WG + Olstick 90 EC	zredukowana + 1 l · ha ⁻¹	83
Callisto 100 SC	zredukowana	77
Callisto 100 SC	zalecana	86
Callisto 100 SC + Atpolan 80 EC	zredukowana + 1,5 l · ha ⁻¹	87

Źródło: Idziak i Woźnica, 2008 (10), Praczyk i in., 2008 (29).

Podsumowanie

Prezentowane wyniki badań stanowią niewielki fragment prac prowadzonych w obrębie tej tematyki przez placówki naukowe w kraju i na świecie. Dowodzą one, że działanie herbicydów może być kształtowane przez czynniki środowiskowe i agrotechniczne. Prawidłowy dobór herbicydu, metod jego aplikacji oraz parametrów technicznych zabiegu powinien być dostosowany nie tylko do stanu zachwaszczenia, ale także do fazy rozwojowej rośliny oraz warunków klimatyczno-glebowych w miejscu jej uprawy. Badania w tej dziedzinie są niezbędne do ustalania optymalnych dawek herbicydów w celu ograniczania zachwaszczenia do poziomu niezagrażającego roślinie uprawnej i w jak najmniejszym stopniu obciążającego środowisko naturalne.

Literatura

1. Adkins S. W., Tanpipat S., Swarbrick J. T., Boersma M.: The influence of soil moisture content on glyphosate efficacy for the control of annual grasses in fallow land. *Weed Res.*, 1998, **38**: 119-127.
2. Blair A. M., Richardson W. G., West T. M.: The influence of metoxuron activity on *Bromus sterilis* L. *Weed Res.*, 1983, **23**: 259-265.
3. Blair A. M., Casleley J. C.: The influence of soil moisture at spraying on the activity of herbicides on *Bromus sterilis* growing in pots in a controlled environment and in the field. BCPC Monograph, 1994, **59**: 227-232.
4. Casleley J. C.: Variations in foliar pesticide performance attributable to humidity, dew and rain effects. *Aspect Appl. Biology*, 1989, **21**: 215-224.
5. Coupland D.: Influence of light, temperature and humidity on the translocation and activity of glyphosate in *Elymus repens* (*Agropyron repens*). *Weed Res.*, 1983, **23**: 347-355.
6. Domaradzki K.: Efektywność regulacji zachwaszczenia zbóż w aspekcie ograniczania dawek herbicydów oraz wybranych czynników agroekologicznych. Monografie i Rozprawy Naukowe, IUNG-PIB Puławy, 2006, **17**.
7. Domaradzki K., Kieloch R.: Działanie różnych dawek herbicydów z grupy regulatorów wzrostu i pochodnych sulfonilomocznika na *Galium aparine* i *Stellaria media* w zależności od ich fazy rozwojowej. *Ann. UMCS*, 2008, **62(2)**: 1-8.
8. Fausey J. C., Renner K. A.: Environmental effects on CGA-248757 and flumiclorac efficacy/soybean tolerance. *Weed Sci.*, 2001, **49(5)**: 668-674.
9. Felcyn-Szewczyk B., Duer I.: Konkurencyjność kilku odmian pszenicy ozimej uprawianej w systemie ekologicznym w stosunku do chwastów. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2005, **45(1)**: 126-133.
10. Idzik R., Woźnica Z.: Wpływ adiuwantów na skuteczność chwastobójczą oraz selektywność herbicydu mezotrion stosowanego w uprawie kukurydzy. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2008, **48(1)**: 268-271.
11. Kapeluszy J.: Zachwaszczenie łąki zbóż jarych w warunkach zróżnicowanej gęstości siewu i oszczędnego stosowania herbicydów. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2002, **42(2)**: 483-485.
12. Kieloch R., Domaradzki K.: The influence of weeds growth stage and climate conditions on optimising dose of herbicides. *J. Plant Prot. Res.*, 2003, **43(3)**: 233-239.
13. Kieloch R.: Wpływ adiuwantów na skuteczność tribenuronu metylu stosowanego w różnych warunkach temperatury i wilgotności względnej powietrza. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2006, **46(2)**: 240-246.
14. Kierzek R., Adamczewski K.: Effect of spray application factors on tribenuron-methyl performance in control of *Sinapis alba* L. and *Chenopodium album* L. Proceedings of EWRS 12-th Symposium, 24-27 June 2002, Wageningen, The Netherlands, 2002, pp. 96-97.
15. Kierzek R., Ratajkiewicz H.: Wpływ adiuwantów i parametrów opryskiwania na retencję cieczy na liściach w wybranych roślinach jednoliściennych. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2004, **44(2)**: 828-831.
16. Kierzek R., Wachowiak M.: Zwalczanie chwastów jedno- i dwuliściennych przez łączne stosowanie herbicydów oraz różnych parametrów opryskiwania. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2005, **45(2)**: 790-793.
17. Kudsk P.: Herbicide rainfastness on indoor and outdoor pot-grown plants. *Aspect Appl. Biology*, 1989, **21**: 133-134.
18. Kudsk P., Kristensen J. L.: Effect of environmental factors on herbicide performance. Proceedings of The First International Weed Control Congress, Melbourne, 17 Feb 1992, pp. 173-185.
19. Kudsk P.: Optimising herbicide dose: a straightforward approach to reduce the risk of side effect of herbicides. *Environmentalist*, 2008, **28**: 49-55.

20. Kumaratilake A. R., Preston C. H.: Low temperature reduces glufosinate activity and translocation in wild radish (*Raphanus raphanistrum*). *Weed Sci.*, 2005, **53**: 10-16.
21. Mathiassen S. K., Kudsk P., Kristensen J. L.: Efficacy of broadleaf herbicides at three natural climates. *Proceedings Brighton Crop Protection Conference – Weeds*, 1995, 683-688.
22. Mathiassen S. K., Kudsk P.: Influence of climate scenarios on herbicide performance. *Proceedings 2-nd International Weed Control Congress*, 1996, 905-910.
23. Michalski T., Bartos M.: Wpływ gęstości siewu na zachwaszczenie zbóż jarych. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2002, **42(2)**: 564-567.
24. Morrison R. G., Lownds N. K., Steerling T. M.: Picloram uptake, translocation and efficacy in relation to water status of Russian knapweed (*Acroptilon repens*). *Weed Sci.*, 1995, **43**: 34-39.
25. 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, **47**: 37-40.
26. Olson B. L. S., Al-Khatib K., Stahlman P., Isakson P. J.: Efficacy and metabolism of MON 37500 in *Triticum aestivum* and weedy grass species as affected by temperature and soil moisture. *Weed Sci.*, 2000, **48**: 541-548.
27. Olson B. L. S., Al-Khatib K., Stahlman P., Isakson P. J.: Efficacy and metabolism of MON 37500 in *Triticum aestivum* and weedy grass species as affected by temperature and soil moisture. *Weed Sci.*, 2000, **48**: 541-548.
28. Praczyk T.: Rozwój badań i zastosowań adiuwantów w Polsce. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2001, **41**: 110-113.
29. Praczyk T., Bączkowska E., Balcer G., Kulczyński J., Dorna J.: Nowy adiuwant wspomagający aktywność niektórych herbicydów i fungicydów. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2008, **48(2)**: 647-652.
30. Roman E. S., Vargas L., Ribeiro M. C. F.: Influence of dew and spray volume on the efficacy of glyphosate for *Brachiaria plantaginea* burndown. *Planta Daninha*, 2004, **22(3)**: 479-482.
31. Xie H. S., Quick W. A., Hsiao A. I.: Spring cereal response to imazamethabenz and fenoxaprop-p-ethyl as influenced by environment. *Weed Techn.*, 1994, **8**: 713-716.

Adres do korespondencji:

mgr Renata Kieloch
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli
IUNG - PIB
ul. Orzechowa 61
50-540 Wrocław
tel.: (071) 363-87-07
e-mail: r.kieloch@iung.wroclaw.pl

Katarzyna Marczevska-Kolasa, Renata Kieloch

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

MOŻLIWOŚCI ŁĄCZNEGO STOSOWANIA BIOREGULATORÓW I HERBICYDÓW W ZBOŻACH*

Wstęp

W intensywniej technologii produkcji zbóż podejmowane są działania mające na celu zmniejszenie liczby wykonywanych zabiegów ochrony roślin poprzez łączne stosowanie agrochemikaliów z różnych grup (4, 11).

W zasiewach zbóż wyleganie może stanowić poważny problem dla praktyki rolniczej. Jest to związane z trwałym pochyleniem się łanu, co powoduje zmniejszenie natężenia fotosyntezy, zakłócenia w pobieraniu składników pokarmowych i wody z gleby, a w efekcie końcowym obniżenie wielkości i jakości plonu ziarna. Czynniki sprzyjającymi temu zjawisku są: wysoki poziom nawożenia azotem, deficyt potasu, gęsty siew, duża wilgotność gleby, silny wiatr, intensywne opady, porażenie przez choroby podstawy źdźbła.

Wyleganiu można zapobiec poprzez działania profilaktyczne, czyli stosowanie optymalnej agrotechniki oraz dobór odmian odpornych na wyleganie. Skutecznym sposobem zapobiegania temu zjawisku jest również stosowanie syntetycznych regulatorów wzrostu z grupy retardantów. Są to związki chemiczne regulujące gospodarkę hormonalną roślin. Ich działanie polega przede wszystkim na hamowaniu wzrostu elongacyjnego źdźbeł poprzez blokowanie syntezy giberelin (3, 13). Stosowanie syntetycznych regulatorów wzrostu może być czynnikiem plonochronnym, gdyż wpływają one korzystnie na syntezę chlorofilu oraz stymulują wzrost korzeni i rozkrzewianie się zbóż (14). Nie wszystkie regulatory dostępne na polskim rynku działają jednak tak samo. Środki zawierające chlorek chloromekwatu (CCC), takie jak np.: Antywylegacz Płynny 675 SL i 725 SL, Belcotel 720 SL, CCC Stefes 720 SL, Cycotel 750 SL, Stabilan 750 SL i Regulator 620 SL wpływają na produkcję hormonów wzrostowych w roślinie, skracając dolne międzywęzła. Z tego względu zabiegi tymi środkami należy rozpocząć już od fazy uwalniania się pierwszego kolanka od węzła krzewienia. Chlorek chloromekwatu wnika do opryskiwanych roślin głównie przez liście, ale także przez korzenie i następnie przemieszczany jest do stożków wzrostu. Tempo przemieszcza-

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

nia CCC w roślinie jest w dużym stopniu uzależnione od warunków pogodowych w czasie zabiegu, zwłaszcza temperatury. Nie powinna ona być niższa niż 10°C, a im jest wyższa, tym działanie preparatu jest skuteczniejsze (14). Środki zawierające etefon również wpływają na gospodarkę hormonalną roślin. W roślinie rozkłada się on na substancje hamujące aktywność hormonów wzrostu. Jego działanie jest zupełnie odmienne niż CCC. Substancja ta powoduje skrócenie i usztywnienie głównie wyższych międzywęźli. Preparaty zawierające etefon (Cerone 480 SL i Retar 480 SL) działają najlepiej, gdy uwolni się trzecie kolanko, czyli w okresie wydłużania się źdźbła (15).

Inną grupę bioregulatorów stanowią środki zawierające trineksapak etylowy (Moddus 250 EC). Są to regulatory wzrostu nowej generacji. Substancja ta pobierana jest głównie przez liście i źdźbła zbóż. Następnie przenoszona jest do tkanek merystematycznych, zapobiegając nadmiernemu wydłużaniu się międzywęźli. Najsilniejszemu skróceniu ulegają międzywęźla rosnące najintensywniej w czasie zastosowania preparatu. Oprócz hamowania syntezy giberelin i ograniczenia wzrostu substancja ta wpływa na wzrost średnicy źdźbła, krzewistość produkcyjną i przyrost masy korzeni, a przez to na zwiększenie odporności na suszę (7). Bioregulatory zawierające trineksapak etylowy najlepiej stosować w temperaturze 10-15°C, kiedy łan jest suchy i aktywnie rośnie. Środki zalecane obecnie przeciw wyleganiu zbóż oraz dawki i terminy ich stosowania przedstawiono w tabeli 1.

Innym ważnym zagrożeniem dla zbóż są chwasty. Ich szkodliwe działanie na roślinę uprawną jest zjawiskiem złożonym i zależnym od wielu czynników. Silna konkurencja chwastów o podstawowe czynniki niezbędne do prawidłowego wzrostu i rozwoju rośliny uprawnej wymusza konieczność jej ochrony. Jedną z metod zwalczania chwastów jest stosowanie herbicydów. Na skuteczność ich działania wpływa cały kompleks wzajemnie współdziałających czynników, które decydują o zatrzymaniu substancji aktywnej herbicydu na powierzchni chwastów, absorpcji jej do komórek roślinnych, dotarciu do miejsca działania oraz o funkcjonowaniu w tym miejscu. Jednym z czynników, który decyduje o skuteczności chwastobójczej herbicydu jest termin jego stosowania. Chwasty roczne, a także wieloletnie, wschodzące z nasion wykazują na ogół największą wrażliwość na środki chemiczne w stanie ich początkowego wzrostu, czyli liścieni i pierwszych liści. Niektóre herbicydy zwalczają także chwasty starsze, np. herbicyd Mustang 306 SE skutecznie niszczy przytulię czepną nawet zaawansowaną w rozwoju.

Optymalny termin stosowania większości herbicydów dolistnych powinien przypaść na okres największej wrażliwości chwastów na daną substancję aktywną. W zależności od właściwości i sposobu pobierania substancji aktywnej optymalna faza rozwojowa chwastów dwuliściennych to okres od kiełkowania nasion do wytworzenia 3-4 liści właściwych, a chwastów jednoliściennych – do początku krzewienia (tab. 2).

Wysokie nakłady na produkcję zbóż, w tym na ochronę chemiczną, skłaniają do poszukiwania nowych rozwiązań, które pozwolą zmniejszyć koszty i jednocześnie w pełni zabezpieczyć stabilność plonowania roślin. Alternatywą może być łączne sto-

Tabela 1

Wykaz bioregulatorów stosowanych w zbożach

Nazwa środka	Dawka na ha	Termin stosowania
Pszenica ozima		
Antywylegacz Płynny 675 SL	2,0 l*	stosować w fazie BBCH 30-31
Antywylegacz Płynny 725 SL	1,7-2,3 l*	* można stosować w dawkach dzielonych
Agriuard Chlormequat 750 SL	1,2-1,8; 1,8-2,0 l	I zabieg – wg zaleceń od 1/3 do 2/3 dawki
Belcotel 720 SL	1,2-1,8; 1,8-2,2 l*	II zabieg – 5-8 dni po pierwszym
CCC Stefes 720 SL	1,2-1,8; 1,8-2,2 l*	tam, gdzie podano dwa zakresy dawek niższą
CCC 720 SL	1,2-1,8 l; 1,8-2,2 l*	należy stosować w odmianach mniej podat-
Cycotel 750 SL	1,2-1,7; 1,7-2,1 l	nych na wyleganie, a wyższe w odmianach
Stabilan 750 SL	1,2-1,8; 1,8-2,2 l	skłonnych do wylegania
Adjust SL	1-1,8 l	od fazy krzewienia do końca liścia flagowego
Manipulator SL	1-1,8 l	środek można stosować w dawkach dzielonych
Cerone 480 SL	0,75 l	I zabieg – w terminie zalecanym, w dawce 1 l/ha
Retar 480 SL	0,75 l	II zabieg – 5-8 dni po I zabiegu, w dawce 0,8 l/ha
Moddus 250 EC	0,4 l	od 1. kolanka do początku liścia flagowego
Modena 250 EC	0,4 l	(BBCH 31-37)
Moddus 250 EC +	0,3 l + 1,0 l	od pełni krzewienia do całkowicie rozwi-
Antywylegacz Płynny 675 SL	0,3 l + 1,0 l	niętego liścia flagowego (BBCH 26-39)
Modena 250 EC +	0,3 l + 1,0 l	I zabieg wykonać w momencie strzelania
Antywylegacz Płynny 675 SL	0,3 l + 1,0 l	w źdźbło (BBCH 29-30) w dawce 0,3 l/ha
		II zabieg początek liścia flagowego (BBCH 37) w dawce 0,3 l/ha
Pszenica jara		
Antywylegacz Płynny 675 SL	1,5 l	od momentu strzelania w źdźbło do 2. kolanka
Antywylegacz Płynny 725 SL	1,7-2,3 l	(BBCH 30-32)
Agriuard Chlormequat 750 SL	1,2 l	
Belcotel 720 SL	0,9-1,2 l	początek strzelania w źdźbło do 1. kolanka
CCC Stefes 720 SL	0,9-1,2 l*	(BBCH 30-31)
CCC 720 SL	0,9-1,2 l*	* można stosować w dawkach dzielonych
Stabilan 750 SL	0,9-1,2 l	I zabieg – wg zaleceń od 1/3 do 2/3 dawki
Cerone 480 SL	0,75 l	II zabieg – 5-8 dni po pierwszym
		od 1. kolanka do początku liści flagowego
		(BBCH 31-37)

cd. tab. 1

Jęczmień ozimy		
Cerone 480 SL	1,5 l	od 2. kolanka do otwarcia się pochwy liścio- wej liścia flagowego (BBCH 32-47)
Retar 480 SL	1,5 l	od 2. kolanka do pierwszych ości (BBCH 32- 49)
Moddus 250 EC	0,6 l	od 1. kolanka do całkowicie rozwiniętego liś- cia flagowego (BBCH 31-39)
Modena 250 EC	0,6 l	
Jęczmień jary		
Adjust SL	1-1,25 l	w fazie 2-4 liści (BBCH 12-14)
Manipulator SL	1-1,25 l	
Regulator 620 SL	1,0-1,25 l	
Cerone 480 SL	0,75 l	od 2. kolanka do otwarcia się pochwy liścio- wej liścia flagowego (BBCH 32-47)
Modena 250 EC	0,4 l	od 1. do 2. kolanka
Pszenżyto ozime		
Adjust SL	1,25-1,5 l	od fazy krzewienia do pierwszego kolanka
Manipulator SL	1,25-1,5 l	
Cerone 480 SL	1,0 l	od 1. kolanka do początku liścia flagowego (BBCH 31-37)
Regulator 620 SL	1,25-1,5 l	od końca krzewienia do 1. kolanka (BBCH 29-31)
Modena 250 EC	0,6 l	od fazy 1. do 2. kolanka
Żyto ozime		
Antywylegacz Płynny 675 SL Antywylegacz Płynny 725 SL Belcotel 720 SL CCC Stefes 720 SL Cycotel 750 SL Stabilan 750 SL	2,0 l* 1,7-2,3 l* 1,2-1,8; 1,8-2,2 l* 1,2-1,8; 1,8-2,2 l* 1,2-1,7; 1,7-2,1 l 1,2-1,8; 1,8-2,2 l	stosować w fazie BBCH 30-31 * można stosować w dawkach dzielonych I zabieg – wg zaleceń od 1/3 do 2/3 dawki II zabieg – 5-8 dni po pierwszym tam, gdzie podano dwa zakresy dawek niższą należy stosować w odmianach mniej podat- nych na wyleganie, a wyższe w odmianach skłonnych do wylegania
Adjust SL	1,25-1,5 l	od fazy krzewienia do pierwszego kolanka
Manipulator SL	1,25-1,5 l	
Cerone 480 SL	1,0 l	od 1. kolanka do pojawienia się pierwszych ości (BBCH 31-50)
Moddus 250 EC	0,3 l	od pełni krzewienia do rozwiniętego liścia flagowego (BBCH 26-39)
Modena 250 EC	0,3 l	od 1. kolanka do liścia flagowego
Owies		
Agriuard Chlormequat 750 SL	1,5 l	od 1. do 5. kolanka
Moddus 250 EC	0,4 l	od 1. do 2. kolanka
Modena 250 EC	0,4 l	od 1. do 2. kolanka
Antywylegacz Płynny 675 SL	1,5-2,0 l	od 1. do 4. kolanka
Stabilan 750 SL	1,0-1,25 l	od 1. do 5. kolanka

Źródło: opracowanie własne na podstawie Zaleceń Ochrony Roślin na lata 2008/2009 IOR w Poznaniu (15), po korekcie zgodnej z wykazem zarejestrowanych bioregulatorów na stronie Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi (www.bip.minrol.gov.pl)

Tabela 2

Optymalne fazy rozwojowe chwastów dla skutecznego działania herbicydów

Rodzaj herbicydu	Faza rozwojowa chwastów
Preparaty stosowane doglebowo	kiełkowanie
Preparaty stosowane dolistnie	od fazy liścieni do 3-4 liści
Graminicydy	tylko chwasty jednoliścienne: jednoroczne – od fazy 2-3 liści do początku krzewienia wieloletnie – faza 4-8 liści
Preparaty nieselektywne	od fazy liścieni

Źródła: Praczyk i Skrzypczak, 2004 (12).

sowanie regulatorów wzrostu z innymi środkami ochrony roślin, np. z herbicydami. W literaturze niewiele jest informacji na ten temat. W Polsce badaniami nad łącznym stosowaniem herbicydów z bioregulatorami zajmują się Instytut Ochrony Roślin - PIB w Poznaniu oraz Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - PIB, Zakład Herbo-logii i Technik Uprawy Roli we Wrocławiu.

Omówienie wyników

W celu opracowania zaleceń dotyczących możliwości łącznego stosowania herbicydów i bioregulatorów prowadzone są badania uwzględniające różne kombinacje tych środków, jak np. dobór preparatów, ich dawek i terminów stosowania. Podstawowym założeniem w tego rodzaju badaniach jest taki dobór herbicydów i retardantów, aby osiągnąć zadowalającą skuteczność zarówno pod względem zniszczenia chwastów, jak i zapobiegania wyleganiu zbóż. Ponadto zabiegi z użyciem tych mieszanin powinny charakteryzować się selektywnością w stosunku do rośliny uprawnej. Prowadzone do tej pory prace zmierzają w dwóch kierunkach. Badania nad łącznym stosowaniem bioregulatorów z herbicydami dotyczą określenia wpływu tych mieszanin na kondycję rośliny uprawnej, jej plonowanie oraz ograniczenie wysokości roślin i wylegania. Drugi kierunek badań ma na celu określenie wpływu mieszanin herbicydów z bioregulatorami na ograniczenie zachwaszczenia plantacji i plonowanie rośliny uprawnej.

Wpływ mieszanin bioregulatorów i herbicydów na roślinę uprawną

Z przeprowadzonych badań wynika, że pewne mieszaniny herbicydów z bioregulatorami nie powodowały uszkodzeń zbóż. Połączenie Antywylegacza Płynnego 675 SL z herbicydami: Puma Universal 069 EW, Kantor 050SC, Huzar 05 WG, Attribut 70 WG i Mustang 306 SE nie powodowało fitotoksycznego działania na pszenicę ozimą (6, 8-10). Stwierdzono istotne skrócenie źdźbeł pszenicy ozimej po aplikacji mieszaniny herbicydu Huzar 05 WG z Antywylegaczem Płynnym 675 SL w porównaniu z kombinacją, gdzie środki te stosowano oddzielnie (9). Ponadto zaobserwowano 2–3-krotnie mniejszą podatność źdźbeł na wyleganie w kombinacji, w której zastoso-

wano herbicyd Attribut 70 WG łącznie z badanym bioregulatorem, w porównaniu z obiektami, na których aplikowano je oddzielnie. Sposób zastosowania herbicydów z Antywylegaczem Płynnym 675 SL (zabieg łączny i oddzielny) nie miał istotnego wpływu na wielkość plonu ziarna pszenicy ozimej odmiany Korweta (tab. 3).

Tabela 3

Wpływ łącznego stosowania Antywylegacza Płynnego 675 SL (CCC) z herbicydami Attribut 70 WG (propoksylkarbazon sodowy) i Huzar 05 WG (jodosulfuron) na wysokość roślin, wyleganie i plonowanie pszenicy ozimej

Obiekt	Dawka na ha	Termin zabiegu (BBCH)*	Wysokość roślin (cm)		Wyleganie (%)		Plon ziarna (kg · m ⁻²)	
			2003	2004	2003	2004	2003	2004
Kontrola	-	-	66,7	92,5	0	59,1	0,53	0,64
Attribut 70 WG + Antywylegacz Pł. 675 SL	60 g + 1,0 l	31	56,5	84,7	0	5,0	0,53	0,80
Attribut 70 WG/ Antywylegacz Pł. 675 SL	60 g + 1,0 l	29/31	57,5	85,8	0	18,8	0,53	0,78
Huzar 05 WG + Antywylegacz Pł. 675 SL	200 g + 1,0 l	31	54,8	83,9	0	0	0,52	0,78
Huzar 05 WG/ Antywylegacz Pł. 675 SL	200 g + 1,0 l	29/31	57,6	87,9	0	5,3	0,47	0,75
Antywylegacz Pł. 675 SL	1,0 l	31	58,4	84,9	0	0	0,48	0,77

* BBCH 29 – koniec krzewienia

BBCH 31 – pierwsze kolanko pszenicy ozimej

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Miziniaka i Praczyka, 2006 (9).

Wpływ mieszanin herbicydów z bioregulatorami na chwasty i roślinę uprawną

Drugim istotnym aspektem w badaniach nad łącznym stosowaniem herbicydów z bioregulatorami jest skuteczność tych mieszanin w niszczeniu chwastów. W badaniach Miziniaka i Praczyka (10) oceniano skuteczność mieszaniny herbicydu Puma Universal 069 EW z bioregulatorem Antywylegacz Płynny 675 SL w niszczeniu miotły zbożowej (*Apera spica-venti*) oraz wpływ tych środków na wzrost i plonowanie pszenicy ozimej. Herbicyd Puma Universal 069 EW (fenoksaprop-P-etylowy) jest środkiem stosowanym do zwalczania gatunków jednoliściennych, który niszczy chwasty nawet w bardziej zaawansowanej fazie rozwojowej. Można go stosować do końca krzewienia chwastów. Zabiegi wykonano w fazie krzewienia i pierwszego kolanka pszenicy ozimej. Z danych przedstawionych w tabeli 4 wynika, że skuteczność działania badanych środków uzależniona była od sposobu ich stosowania oraz zróżnicowanych warunków atmosferycznych, które wystąpiły w poszczególnych latach badań. Łączne stosowanie herbicydu z bioregulatorem nie wpłynęło ujemnie na poziom zniszczenia miotły zbożowej w obydwu latach badań. Ponadto spełniły one swoją rolę w redukcji wysokości roślin i ograniczaniu wylegania. Mieszanina badanych środków spowodowała silniejsze skrócenie roślin pszenicy, niż gdy stosowano je oddzielnie.

Tabela 4

Wpływ łącznego stosowania herbicydu Puma Universal 069 EW (fenoksaprop-P-etylowy) z Antywylegaczem Płynnym 675 SL (CCC) na zniszczenie miotły zbożowej (APESV) oraz na wysokość roślin, wylęganie i plon pszenicy ozimej

Obiekt	Termin zabiegu (BBCH)*	Zniszczenie APESV (%)		Wysokość pszenicy (cm)		Wylęganie roślin (%)		Plon ziarna ($t \cdot ha^{-1}$)	
		2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005
Kontrola	-	-	-	92,5	92,5	59,1	40,0	6,43	6,33
Puma Universal 069 EW + Antywylegacz Płynny 675 SL	31	100	98,2	82,4	75,4	0	0	8,40	7,09
Puma Universal 069 EW/ Antywylegacz Płynny 675 SL	29/31	100	83,9	84,9	81,3	1,8	7,5	7,22	6,92
Puma Universal 069 EW	31	100	100	90,2	87,2	2,5	12,5	8,03	7,33

* BBCH 29 – koniec krzewienia

BBCH 31 – pierwsze kolanko pszenicy ozimej

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Miziniaka i Praczyka, 2007 (10).

W Zakładzie Herbologii i Technik Uprawy Roli IUNG-PIB we Wrocławiu prowadzono również badania nad oceną środków Grodyl 75 WG (amidosulfuron) i Starane 250 EC (fluroksypyr) w mieszaninie z bioregulatorem Antywylegacz Płynny 675 SL. Herbicydy te skutecznie niszczą chwasty dwuliścienne, a przytulię czepną (*Galium aparine*) zwalczają nawet w bardzo zaawansowanych stadiach rozwoju. Zabiegi wykonano w fazie pierwszego i drugiego kolanka pszenicy ozimej, aplikując herbicydy w mieszaninie z Antywylegaczem Płynnym 675 SL oraz osobno. Herbicyd Starane 250 EC stosowany w dawce zalecanej skutecznie zniszczył przytulię czepną, niezależnie od sposobu aplikacji (razem z bioregulatorem czy osobno); (tab. 5). Nieco słabsze działanie chwastobójcze wykazywał drugi z badanych wariantów. Mieszanina herbicydu Grodyl 75 WG z Antywylegaczem Płynnym 675 SL słabiej niszczyła przytulię niż preparaty te zastosowane oddzielnie. Mieszaniny herbicydów z bioregulatorem nie wpłynęły fitotoksycznie na pszenicę ozimą. Zastosowanie bioregulatora z herbicydem Starane 250 EC (niezależnie od sposobu aplikacji) spowodowało silniejsze skrócenie źdźbła niż drugi badany wariant. Oba herbicydy w mieszaninie z Antywylegaczem Płynnym 675 SL przyczyniły się do wzrostu plonu pszenicy ozimej w porównaniu z plonem uzyskanym na obiekcie kontrolnym.

Można także spotkać doniesienia na temat badań prowadzonych nad skutecznością łącznej aplikacji florasulamu (Kantor 050 SC, Mustang 306 SE) z bioregulatorami z różnych grup (6, 8). Florasulam jest substancją, którą można stosować dość późno, nawet do fazy 2-3 kolanka pszenicy ozimej. W badaniach K r a w c z y k a (6) testowano skuteczność mieszaniny herbicydu Kantor 050 SC z retardantem Moddus 250 EC (trineksapak etylu) i Antywylegaczem Płynnym 675 SL (CCC). Środki stosowano w fazie pierwszego kolanka pszenicy ozimej (BBCH 31). Badano skuteczność mieszanin w niszczeniu chwastów oraz oceniano ich wpływ na pszenicę ozimą. Na plantacji dominowały takie gatunki chwastów, jak: maruna bezwonna (*Matricaria*

Tabela 5

Wpływ łącznego stosowania herbicydów Starane 250 EC (fluroksypyr) i Grodyl 75 WG (amidosulfuron) z Antywylegaczem Płynnym 675 SL (CCC) na zniszczenie przytuli czepnej (GALAP) oraz wysokość roślin i plon pszenicy ozimej

Obiekt	Dawka na ha	Termin zabiegu (BBCH)*	Zniszczenie GALAP (%)	Wysokość pszenicy (cm)	Plon ziarna (t · ha ⁻¹)
Kontrola	-	-	-	89,6	6,9
Starane 250 EC + Antywylegacz Płynny 675 SL	0,8 l + 2,0 l	31	93,7	81,9	7,7
Starane 250 EC/Antywylegacz Płynny 675 SL	0,8 l/2,0 l	31/32	96,7	82,6	7,8
Grodyl 75 WG + Antywylegacz Płynny 675 SL	40 g + 2,0 l	31	79,7	85,1	7,7
Grodyl 75 WG/Antywylegacz Płynny 675 SL	40 g/2,0 l	31/32	87,3	84,4	7,7

*BBCH 31 – pierwsze kolanko

BBCH 32 – drugie kolanko pszenicy ozimej

Źródło: badania własne (dane niepublikowane).

inodora), tobołki polne (*Thlaspi arvense*), fiołek polny (*Viola arvensis*), tasznik pospolity (*Capsella bursa-pastoris*), gwiazdnica pospolita (*Stellaria media*) i przytulia czepna (*Galium aparine*). Łączne zastosowanie herbicydu Kantor 050 SC z bioregulatorami nie wpływało na skuteczność badanego herbicydu (tab. 6). Efekt chwastobójczy kształtował się na wysokim poziomie po aplikacji każdej z badanych mieszanin.

Ponadto żadna z tych mieszanin nie wykazywała fitotoksycznego działania w stosunku do pszenicy ozimej. Pod względem ograniczania wysokości roślin najbardziej skuteczna okazała się mieszanina Kantor 050 SC + Moddus 250 EC + Antywylegacz Płynny 375 SL, a najmniej Kantor 050 SC + Moddus 250 EC. Stosowanie tych mieszanin wpłynęło korzystnie na masę tysiąca ziaren i plonowanie pszenicy ozimej (tab. 7).

Łączna aplikacja florasulamu z bioregulatorami była również oceniana w badaniach prowadzonych przez Marczevska-Kolasa i Kieloch (8). Zastosowano herbicyd Mustang 306 SE w mieszaninach z bioregulatorami: Antywylegacz Płynny 675 SL (CCC) oraz Cerone 480 SL (etefon), w dawkach zalecanych. Testowany herbicyd oprócz florasulamu zawiera także 2,4-D. Zabiegi wykonano w dwóch terminach: pod koniec krzewienia i w fazie pierwszego kolanka pszenicy ozimej. Na plantacji przeważały takie gatunki chwastów, jak: fiołek polny (*Viola arvensis*), gwiazdnica pospolita (*Stellaria media*) i przytulia czepna (*Galium aparine*). Herbicyd Mustang 306 SE stosowany w mieszaninie z Antywylegaczem Płynnym 675 SL oraz w mieszaninie z Cerone 480 SL skutecznie zniszczył: rumian polny (*Anthemis arvensis*), tasznik pospolity (*Capsella bursa-pastoris*), stulicę psią (*Descurainia sophia*) i gwiazdnicę pospolitą (*Stellaria media*), niezależnie od terminu stosowania (tab. 8). Jedynie w przypadku przytuli czepnej stopień zniszczenia uzależniony był od terminu wykonania zabiegu. Przy wcześniejszej aplikacji mieszaniny w śred-

Tabela 6

Skuteczność herbicydu Kantor 050 SC (florasulam) stosowanego łącznie z bioregulatorami w niszczeniu chwastów dwuliściennych w pszenicy ozimej

Obiekt	Dawka na ha	Termin zabiegu (BBCH)*	Zniszczenie chwastów (%)**					
			THLAR	MATIN	CAPBP	GALAP	STEME	VIOAR
Kontrola (szt. · m ⁻²)	-	-	7	46	15	11	18	149
Kantor 050 SC	0,1 l	31	99	98	100	100	100	45
Kantor 050 SC + Antywylegacz Płynny 675 SL	0,5 l + 2,0 l	31	96	93	100	100	100	35
Kantor 050 SC + Moddus 250 EC	2,5 l + 0,6 l	31	98	96	100	100	100	33
Kantor 050 SC + Moddus 250 EC + Antywylegacz Płynny 675 SL	2,5 l + 0,3 l + 1,0 l	31	98	97	100	100	100	38

* BBCH 31 – pierwsze kolanko pszenicy ozimej

** THLAR – tobołki polne

MATIN – maruna bezwonna

CAPBP – tasznik pospolity

GALAP – przytulia czepna

STEME – gwiazdnica pospolita

VIOAR – fiołek polny

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Krawczyka, 2006 (6).

Tabela 7

Wpływ łącznego stosowania herbicydu Kantor 050 SC z regulatorami wzrostu na pszenicę ozimą

Obiekt	Dawka na ha	Termin zabiegu (BBCH)*	Wysokość roślin (cm)	Plon ziarna (t · ha ⁻¹)		MTZ (g)	
			2004	2005	2004	2004	2005
Kontrola	-	-	87,8	6,3	7,0	42,6	34,8
Kantor 050 SC	0,1 l	31	86,6	6,2	8,3	45,9	34,1
Kantor 050 SC + Antywylegacz Płynny 675 SL	0,5 l + 2,0 l	31	78,6	5,8	9,2	43,4	34,1
Kantor 050 SC + Moddus 250 EC	2,5 l + 0,6 l	31	83,7	5,0	9,0	45,6	32,7
Kantor 050 SC + Moddus 250 EC + Antywylegacz Płynny 675 SL	2,5 l + 0,3 l + 1,0 l	31	75,0	4,9	8,9	43,0	34,9

* BBCH 31 – pierwsze kolanko pszenicy ozimej

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Krawczyka, 2006 (6).

Tabela 8

Skuteczność herbicydu Mustang 306 SE (florasulam+2,4-D) stosowanego łącznie z bioregulatorami w niszczeniu chwastów dwuliściennych w pszenicy ozimej

Obiekt	Dawka na ha	Termin zabiegu (BBCH)*	Zniszczenie chwastów (%)**					
			ANTAR	STEME	CAPBP	DESSO	GALAP	VIOAR
Kontrola (szt. · m ⁻²)	-	-	6	12	7	9	20	17
Mustang 306 SE + Antywylegacz Pł. 675 SL	0,6 l + 2,0 l	29	96	88	95	97	83	55
Mustang 306 SE + Cerone 480 SL	0,6 l + 0,75 l	29	95	94	95	97	85	52
Mustang 306 SE + Antywylegacz Pł. 675 SL	0,6 l + 2,0 l	31	90	86	89	97	65	42
Mustang 306 SE + Cerone 480 SL	0,6 l + 0,75 l	31	89	88	92	98	78	48

* BBCH 29 – koniec krzewienia

BBCH 31 – pierwsze kolanko pszenicy ozimej

** ANTAR – rumian polny

STEME – gwiazdnica pospolita

CAPBP – tasznik pospolity

DESSO – stulicha psia

GALAP – przytulia czepna

VIOAR – fiołek polny

Źródło: Marczevska-Kolasa i Kieloch, 2009 (8).

nim stopniu ograniczyły wzrost tego gatunku. W późniejszym terminie (w fazie pierwszego kolanka pszenicy ozimej) skuteczność badanych środków była mniejsza.

Zastosowane mieszaniny nie powodowały uszkodzenia pszenicy ozimej. Łączna aplikacja herbicydu Mustang 306 SE z regulatorami wzrostu spowodowała istotne skrócenie źdźbła pszenicy w porównaniu z wysokością roślin na obiekcie kontrolnym (bez preparatów). Badane mieszaniny pozytywnie wpłynęły na poziom plonowania i masę tysiąca ziaren pszenicy ozimej (tab. 9).

Badania nad możliwością łącznego stosowania herbicydów i bioregulatorów nie ograniczają się tylko do zastosowania tych środków w uprawie pszenicy ozimej. Głowacki (2) prowadził takie badania również w jęczmieniu ozimym. Testowano w nich łączną aplikację herbicydu Rokituron D 470 SC z bioregulatorami: Antywylegacz Płynny 675 SL (CCC) i Moddus 250 EC (trineksapak etylu). Środek Rokituron D 470 SC jest mieszaniną trzech substancji aktywnych: dikamba i 2,4-D należą do grupy regulatorów wzrostu, a izoproturon jest pochodną fenylomocznika. Można go stosować do końca krzewienia zbóż, jednak w tym doświadczeniu zabiegi przeprowadzono w fazie pierwszego kolanka jęczmienia ozimego. Herbicyd aplikowano w dawce o połowę niższej od zalecanej. Badane mieszaniny wykazały dużą skuteczność w zwalczaniu chwastów jedno- i dwuliściennych (tab. 10). Zastosowanie retardantów Moddus 250 EC i Antywylegacz Płynny 675 SL łącznie z herbicydem Rokituron D 470 SC w dawce obniżonej (2,0 l · ha⁻¹) poprawiło jego skuteczność chwastobójczą. Badane mieszaniny nie wykazywały fitotoksycznego działania na jęczmień

Tabela 9

Wpływ łącznego stosowania herbicydu Mustang 306 SE z bioregulatorami na pszenicę ozimą

Obiekt	Dawka na ha	Termin zabiegu (BBCH)*	Wysokość roślin (cm)			Plon ziarna ($t \cdot ha^{-1}$)			MTZ (g)		
			2006	2007	2008	2006	2007	2008	2006	2007	2008
Kontrola	-	-	80,2	98,6	92,4	6,71	8,41	6,10	45,4	40,0	39,1
Mustang 306 SE + Antywyłegacz Pł. 675 SL	0,6 l + 2,0 l	29	73,8	95,2	85,7	7,81	9,84	8,36	48,5	43,9	42,1
Mustang 306 SE + Cerone 480 SL	0,6 l + 0,75 l	29	72,8	95,8	89,3	7,46	9,56	8,54	50,2	42,8	42,9
Mustang 306 SE + Antywyłegacz Pł. 675 SL	0,6 l + 2,0 l	31	72,9	95,3	87,2	7,21	9,24	8,18	49,5	43,1	42,5
Mustang 306 SE + Cerone 480 SL	0,6 l + 0,75 l	31	71,8	92,6	90,0	7,85	9,41	8,34	50,0	43,6	43,4

* BBCH 29 – koniec krzewienia

BBCH 31 – pierwsze kolanko pszenicy ozimej

Źródło: Marczevska-Kolasa i Kieloch, 2009 (8).

Tabela 10

Skuteczność herbicydu Rokituron D 470 SC stosowanego łącznie z bioregulatorami w niszczeniu chwastów w jęczmieniu ozimym

Obiekt	Dawka kg, l/ha	Termin zabiegu (BBCH)*	Zniszczenie chwastów (%)**					
			APESV	ANTAR	STEME	CAPBP	DESSO	MATIN
Kontrola (szt. $\cdot m^{-2}$)	-	-	18	22	27	5	8	50
Rokituron D 470 SC	2,0	31	95	87	70	84	100	78
Rokituron D 470 SC + Antywyłegacz Pł. 675 SL	2,0 + 2,0	31	99	90	85	100	100	92
Rokituron D 470 SC + Moddus 250 EC	2,0 + 0,6	31	99	91	86	100	100	91
Rokituron D 470 SC + Moddus 250 EC + Antywyłegacz Pł. 675 SL	2,0 + 0,3 + 1,0	31	97	90	85	100	100	89

* BBCH 31 – pierwsze kolanko jęczmienia ozimego

** APESV – miotła zbożowa

ANTAR – rumian polny

STEME – gwiazdnica pospolita

CAPBP – tasznik pospolity

DESSO – stulicha psia

MATIN – maruna bezwonna

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Głowackiego, 2006 (2).

ozimy. Mieszanina herbicydu z retardantem Moddus 250 EC w istotny sposób zmniejszyła wysokość źdźbeł jęczmienia.

Oprócz ograniczania wysokości roślin bioregulatory pobudzają także intensywność procesów syntezy barwnika chlorofilowego w liściach (14). Głowacki (2) podaje, że zawartość chlorofilu w liściach jęczmienia ozimego była uzależniona od zastosowania bioregulatora Moddus 250 EC. Mieszanina herbicydu Rokituron D 470 SC z tym właśnie retardantem spowodowała istotny wzrost zawartości barwnika chlorofilowego w roślinach jęczmienia, w porównaniu z jęczmieniem, na który tego preparatu nie zastosowano (tab. 11). Podobne rezultaty uzyskano również w badaniach z pszenicą ozimą (5).

Tabela 11

Wpływ łącznego stosowania preparatu Rokituron D 470 SC z retardantami na zawartość chlorofilu, wysokość roślin i plon jęczmienia ozimego

Obiekt	Dawka (kg, l/ha)	Termin zabiegu (BBCH)*	Zawartość chlorofilu	Wysokość roślin (cm)	Plon ziarna (t · ha ⁻¹)	MTZ (g)
Kontrola	-	-	525	91,1	6,13	47,6
Rokituron D 470 SC	2,0	31	525	89,7	6,75	54,0
Rokituron D 470 SC + Antywylegacz Pl. 675 SL	2,0 + 2,0	31	535	88,2	7,47	53,4
Rokituron D 470 SC + Moddus 250 EC	2,0 + 0,6	31	566	73,9	7,32	53,6
Rokituron D 470 SC + Moddus 250 EC + Antywylegacz Pl. 675 SL	2,0 + 0,3 + 1,0	31	559	78,7	7,32	52,6

* BBCH 31 – pierwsze kolanko jęczmienia ozimego

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Głowackiego, 2006 (2).

Podsumowanie

Intensywny rozwój technologii produkcji zbóż oraz wzrastająca konkurencja na rynkach Unii Europejskiej skłaniają do poszukiwania nowych rozwiązań mających na celu obniżenie kosztów i jednocześnie zabezpieczenie stabilności plonu. Należy poszukiwać takich metod ochrony roślin, które będą skuteczne, bezpieczne dla środowiska i opłacalne pod względem ekonomicznym (1). W związku z tym prowadzone są badania nad nowymi, korzystnymi połączeniami preparatów z różnych grup agrochemikaliów. Opisane w pracy przykłady łącznego stosowania różnych herbicydów z bioregulatorami w uprawie zbóż są dowodem na to, że mieszaniny tych środków spełniają podstawowe oczekiwania, czyli brak fitotoksycznego działania na roślinę uprawną, dobrą skuteczność w niszczeniu chwastów oraz zapobieganie wyleganiu zbóż i mają pozytywny wpływ na plon rośliny uprawnej i jego strukturę. Celowe jest zatem kontynuowanie badań, które pozwolą uzyskać pełniejszy obraz możliwości łącznej aplikacji różnych herbicydów i bioregulatorów, a także dobór odpowiednich dawek i terminów ich stosowania w poszczególnych roślinach uprawnych.

Literatura

1. Głazek M., Mrówczyński M.: Łączne stosowanie agrochemikaliów w nowoczesnej technologii produkcji zbóż. *Pam. Puł.*, 1999, **114**: 119-126.
2. Głowacki G.: Ocena łącznego stosowania herbicydu Rokituron D 470 SC z retardantami i adiuwantami w jęczmieniu ozimym. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2006, **46(2)**: 205-209.
3. Grzyś E., Grocholski J., Demczuk A., Sacała E., Kulczycki G.: Wpływ regulatorów wzrostu na długość źdźbła, aktywność reduktazy azotanowej i zawartość chlorofilu w liściach wybranych odmian pszenicy ozimej. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2007, **47(3)**: 113-116.
4. Juszczak M., Głazek M., Mrówczyński M.: Opłacalność łącznego stosowania agrochemikaliów w zbożach. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 1999, **39**: 587-590.
5. Kierzek R., Głowacki G.: Łączne stosowanie regulatorów wzrostu Moddus 250 EC i Antywylegacz Płynny 675 SL w pszenicy ozimej. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2004, **44(2)**: 823-827.
6. Krawczyk R.: Badania nad efektywnością łącznego stosowania florasulamu z regulatorami wzrostu roślin w zwalczaniu chwastów w pszenicy ozimej. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2006, **46(2)**: 200-204.
7. Kulczycki G., Sowiński J., Grocholski J.: Reakcja odmian pszenicy ozimej na stosowane regulatory wzrostu. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2006, **46(2)**: 246-248.
8. Marczevska-Kolasa K., Kieloch R.: Ocena skuteczności herbicydu florasulam + 2,4-D stosowanego łącznie z bioregulatorami w pszenicy ozimej. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2009, **49(2)**: 819-822.
9. Miziniak W., Praczyk T.: Wpływ łącznego stosowania jodosulfuronu metylowego i propoksykarbazonu sodowego z retardantami na wzrost i plonowanie pszenicy ozimej. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2006, **46(2)**: 295-299.
10. Miziniak W., Praczyk T.: Wpływ łącznego stosowania fenoksapro-p-etylowego z retardantami na wzrost i plonowanie pszenicy ozimej oraz zwalczanie miotły zbożowej (*Apera spica-venti*). *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2007, **47(3)**: 210-215.
11. Pietryga J., Drzewiecki S.: Integracja zabiegów chemicznych w pszenicy ozimej poprzez łączne stosowanie herbicydu z regulatorem wzrostu, fungicydem i adiuwantami. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2000, **40(2)**: 667-671.
12. Praczyk T., Skrzypczak G.: Herbicydy. *PWRiL Poznań*, 2004, 179-182.
13. Rademacher W.: Growth retardants: effects on gibberelin biosynthesis and other metabolic pathways. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Molec. Biol.*, 2000, **51**: 501-531.
14. Stacheccki S., Praczyk T.: Biologiczna aktywność chlorku chloromekwatu (CCC) stosowanego z adiuwantami w pszenicy ozimej. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2004, **44(1)**: 414-422.
15. Sułek A.: Niższe zboże, dłuższy kłos. *Wiad. Rol.*, 2006, **5**: 6.
16. Zalecenia Ochrony Roślin na lata 2008/2009. *IOR Poznań*, 2008.

Adres do korespondencji:

dr Katarzyna Marczevska-Kolasa
IUNG-PIB
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli
Orzechowa 61
50-540 Wrocław
tel.: (71) 363-87-07
e-mail: k.marczevska@iung.wroclaw.pl

Hanna Gołębiowska

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

MOŻLIWOŚCI KONTROLI ZACHWASZCZENIA KUKURYDZY W INTEGROWANYM SYSTEMIE GOSPODAROWANIA*

Wstęp

Wprowadzanie nowoczesnych technologii produkcji kukurydzy uwzględniających nowe rozwiązania w zakresie uprawy roli i nawożenia z jednej strony przyczyniają się do poprawy wskaźników produkcji rolniczej, z drugiej zaś stwarzają pośrednio dogodne warunki dla rozwoju i wegetacji chwastów segetalnych. Zmiany technologii uprawy kukurydzy – uproszczenia uprawowe, duże wysycenie płodozmianów zbożami oraz uprawa w monokulturze – istotnie wpływają na różnicowanie się składu ilościowego i jakościowego flory segetalnej na każdym typie gleb (12). Zbiorowiska te są więc układami niestabilnymi, łatwo ulegającymi przekształceniom florystycznym i wymagającymi ciągłych lustracji. Znajomość faktycznego zagrożenia upraw kukurydzy przez chwasty może dać możliwość regulacji ich stanu zachwaszczenia metodami integrowanymi i realizacji najważniejszego celu rozwoju rolnictwa zrównoważonego – ograniczenia stosowania chemicznych środków ochrony roślin do niezbędnego minimum (26). Skutkiem tego było podjęcie intensywnych badań nad możliwością precyzyjnego stosowania środków ochrony w obniżonych dawkach i w zróżnicowanych warunkach glebowo-uprawowych w celu optymalnej regulacji zachwaszczenia.

Zachwaszczenie upraw kukurydzy

Największą bioróżnorodność flory segetalnej i zarazem najmniej liczną notuje się w warunkach płużnej uprawy roli pod kukurydzą z zastosowaniem właściwego płodozmianu w porównaniu ze stwierdzoną w systemach uproszczonych i w siewie bezpośrednim (11). Wieloletnie obserwacje stanu zachwaszczenia na plantacjach kukurydzy w rejonie Dolnego Śląska pozwoliły opracować listę gatunków jedno- i dwuliściennych z dużą liczebnością chwastnicy jednostronnej i komosy białej. Często w mniejszym nasileniu występowały fiołek polny, rdest powojowaty, przytulia czepna i gatunki rumianowate. Na wszystkich typach gleb notowano pojawienie się psianki

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

czarnej, gatunku ciepłolubnego i późno wschodzącego, którego udział w zasiewach stale wzrasta. Nasilenie występowania pospolitych chwastów zmniejsza się na przestrzeni lat, co potwierdzają też wyniki badań z rejonu Niemiec, klimatycznie i glebowo zbliżonym do Dolnego Śląska i o podobnym stanie zachwaszczenia (10, 19). W okresie ostatnich 40-50 lat występowanie dominujących gatunków na tym obszarze zmniejszyło się o 20-40%, natomiast lista gatunków segetalnych jest nadal liczna i stale ulega przekształceniom (13). Również na terenie Francji pod wpływem różnych modyfikacji uprawowych i blisko trzydziestoletniego stosowania herbicydów triazynowych oraz powolnego wprowadzania nowych systemów ochrony kukurydzy nadal w zbiorowiskach tych panuje duża bioróżnorodność i obserwuje się ich liczne przekształcenia (8).

Obserwacje zachwaszczenia kukurydzy prowadzone w rejonie Dolnego Śląska w latach 2006–2008 pozwoliły scharakteryzować zbiorowiska chwastów na dwóch typach gleb o zróżnicowanej uprawie roli (tab. 1). Zbiorowiska chwastów występujące w kukurydzy w warunkach płużnej uprawy na czarnych ziemiach z zachowaniem

Tabela 1

Stan zachwaszczenia upraw kukurydzy zlokalizowanych na Dolnym Śląsku na dwóch typach gleb

Gatunki chwastów	Liczba chwastów (szt. · m ⁻²)	
	czarne ziemie	gleby brunatne
Chwastnica jednostronna (<i>Echinochloa crus-galli</i>)	27	69
Włośnica zielona (<i>Setaria viridis</i>)	14	23
Komosa biała (<i>Chenopodium album</i>)	17	24
Szarłat szorstki (<i>Amaranthus retroflexus</i>)	11	4
Psianka czarna (<i>Solanum nigrum</i>)	6	3
Blekot pospolity (<i>Aethusa cynapium</i>)	6	-
Tobołki polne (<i>Thlapsi arvense</i>)	4	3
Jasnota purpurowa (<i>Lamium purpureum</i>)	2	1
Rumian polny (<i>Anthemis arvensis</i>)	2	6
Rdest powojowaty (<i>Polygonum convolvulus</i>)	1	2
Przetacznik perski (<i>Veronica persica</i>)	1	3
Bylica pospolita (<i>Artemisia vulgaris</i>)	-	3
Wilczomlecz obrotowy (<i>Euphorbia helioscopia</i>)	1	1
Lulek czarny (<i>Hyoscyamus niger</i>)	2	-
Rdest ptasi (<i>Polygonum aviculare</i>)	1	1
Przytulia czepna (<i>Galium aparine</i>)	1	5
Poziewnik szorstki (<i>Galeopsis tetrahit</i>)	-	1
Jasnota różowa (<i>Lamium amplexicaule</i>)	1	1
Gwiazdnica pospolita (<i>Stellaria media</i>)	1	3
Dymnica pospolita (<i>Fumaria officinalis</i>)	1	5
Fiolek polny (<i>Viola arvensis</i>)	2	7
Wyka kosmata (<i>Vicia villosa</i>)	1	-
Bodiszek drobny (<i>Geranium pusillum</i>)	1	2
Bniec biały (<i>Melandrium album</i>)	1	-
Kurzyśląd polny (<i>Anagallis arvensis</i>)	1	-
Rdest plamisty (<i>Polygonum persicaria</i>)	1	-

Źródło: IUNG-PIB Wrocław (2006–2008), badania własne.

wymaganej agrotechniki charakteryzowały się dużą bioróżnorodnością gatunkową o niskim nasileniu chwastów, wśród których najliczniej pojawiały się: chwastnica (*Echinochloa crus-galli*), komosa biała (*Chenopodium album*), szarłat szorstki (*Amaranthus retroflexus*). W zależności od warunków pogodowych w różnych liczebnościach notowano obecność gatunków ciepłolubnych późno wschodzących, takich jak: blekot pospolity (*Aethusa cynapium*), włosnica zielona (*Setaria viridis*), psianka czarna (*Solanum nigrum*), lulek czarny (*Hyoscyamus niger*) oraz sporadycznie wiele innych taksonów. Natomiast na glebach brunatnych w uproszczonej uprawie roli notowano przeważnie obecność chwastnicy jednostronnej (*E. crus-galli*), włosnicy zielonej (*Setaria viridis*), komosy białej (*Ch. album*), rumianu polnego (*Anthemis arvensis*), fiołka polnego (*Viola arvensis*), przytulii czepnej (*Galium aparine*) oraz bylicy pospolitej (*Artemisia vulgaris*), ekspansywnego wieloletniego gatunku i niewiele gatunków rzadko lub sporadycznie im towarzyszących. Pełną listę florystyczną zbiorowisk czarnych ziem i gleb brunatnych podano w tabeli 1.

Integrowane metody ograniczania zachwaszczenia w rolnictwie zrównoważonym

We współczesnym rolnictwie najczęściej wyróżnia się konwencjonalny i integrowany system gospodarowania, w zależności od stopnia zaangażowania przemysłowych środków produkcji, głównie nawozów mineralnych i środków ochrony roślin (17, 18). Istotnym elementem agrotechniki różnicującym porównywane systemy produkcji jest sposób ograniczania zachwaszczenia, ważnego czynnika siedliska obniżającego plony roślin uprawnych (18, 30). W rolnictwie konwencjonalnym regulacja zachwaszczenia bazuje na stosowaniu rekomendowanych dawek odpowiednio dobranych herbicydów, często też stosowanych niezależnie od faktycznych potrzeb lub stopnia zagrożenia ze strony chwastów. W rolnictwie integrowanym środki produkcji są stosowane w umiarkowanych ilościach, wspomagają one całokształt poczynań agrotechnicznych rolnika i są efektywnie wykorzystywane (14, 27). Podstawą tego systemu jest dobrze skonstruowany płodozmian oraz prawidłowa agrotechnika uzupełniona chemicznymi środkami ochrony roślin, w tym herbicydami, precyzyjnie dopasowanymi do stanu i stopnia zachwaszczenia kukurydzy (6, 23, 25).

Krytyczne okresy usuwania chwastów

Warunkiem niezbędnym do efektywniejszego wykorzystania środków produkcji jest precyzyjne ustalenie ich dawek i terminów aplikacji wynikających ze znajomości krytycznych okresów usuwania chwastów i ustalenia dla nich progów szkodliwości. Wyznaczanie tych okresów stanowi element strategii integrowanych programów zwalczania chwastów, w których wykorzystuje się zdolności konkurencyjne roślin uprawnych (1, 4, 24).

Kukurydza spośród wszystkich roślin zbożowych jest najbardziej podatna na konkurencję ze strony chwastów. Z badań prowadzonych przez V i l l a s a n a i in. (29)

nad ustaleniem terminu, kiedy chwasty pozostawione w łanie kukurydzy stanowią największą konkurencję wynika, że kukurydza bezwzględnie wymaga stanowiska wolnego od chwastów przez okres 25-30 dni od wschodów. W tym czasie siła konkurencji chwastów jest największa, a straty w plonach na skutek ich nieusunięcia wynosiły 73% w stosunku do wydajności osiągniętej na obiekcie niezachwaszczonym.

W gospodarstwach o integrowanym sposobie produkcji decyzję o usuwaniu gatunków segetalnych powinno się podejmować na podstawie obserwacji tempa ich kiełkowania i przyrostów biomasy. Początek i koniec krytycznego okresu konkurencji chwastów wyznacza obniżenie plonu kolb o 5%. Ustalenie tego optymalnego terminu umożliwia użycie herbicydów na chwasty wschodzące późno, takie jak: komosa biała, zaśláz pospolity i ambrozja bylicolistna, bez ryzyka uszkodzenia kukurydzy i zarazem bezpiecznych dla roślin następczych (2).

W latach 2004–2005 w Zakładzie Ekologii i Zwalczania Chwastów we Wrocławiu w warunkach doświadczenia mikropoletkowego były prowadzone badania nad ustaleniem tolerowanego okresu konkurencji trzech gatunków chwastów – chwastnicy jednostronnej, szarlatu szorstkiego i komosy białej – w zasiewach kukurydzy oraz określenie ich oddziaływania na plonowanie w zależności od nasilenia i okresu pozostawiania w łanie. W przypadku małej ich liczebności, tj. 25 szt. · m⁻², pozostawienie chwastów w zasiewach do fazy 7 liści kukurydzy wyznaczyło tolerowany okres ich obecności w łanie, w którym możliwe jest powstrzymanie ich konkurencyjnego oddziaływania i uzyskanie plonu na podobnym poziomie, jak na obiekcie wolnym od chwastów. Dłuższe utrzymywanie zachwaszczenia na danym stanowisku miało coraz bardziej niekorzystny wpływ na dalszą wegetację i prowadziło do istotnego spadku plonu ziarna (tab. 2). Natomiast przy większym nasileniu zachwaszczenia, sięgającym 50 szt. · m⁻², jedynie utrzymywanie chwastów w zasiewach do fazy 2-3 liści kukurydzy było przez nią tolerowane, dalsza ich obecność w zasiewach prowadziła do znacznego zahamowania wzrostu roślin oraz do istotnego obniżenia plonowania i masy tysiąca ziaren (tab. 2).

Precyzyjne stosowanie herbicydów i optymalizacja ich dawek

Zasady dobrej praktyki rolniczej opracowane przez Europejską i Śródziemnomorską Organizację Ochrony Roślin (7) rekomendują stosowanie środków ochrony roślin w sposób bezpieczny, ze szczególnym uwzględnieniem zdrowia ludzi, bezpieczeństwa dla środowiska, użycia minimalnych dawek pozwalających skutecznie ograniczać liczebność patogenów, w tym chwastów, do poziomu niezagrażającego stabilnemu plonowaniu roślin, bez potrzeby całkowitej ich eliminacji. Zgodnie z tymi zasadami metody regulacji zachwaszczenia powinny łączyć stosowanie herbicydów z szeregiem zabiegów alternatywnych, wchodzących w skład ochrony integrowanej (1, 31):

- metoda mechaniczna – polegająca na stwarzaniu chwastom warunków sprzyjających szybkiemu i możliwie najliczniejszemu skielkowaniu, a następnie zniszczeniu ich po wschodach (przed siewem rośliny uprawnej) zabiegami uprawowo-pielęgnacyjnymi;

Tabela 2

Wpływ terminu usuwania chwastnicy jednostronnej, szarłat polnego i komosy białej na wysokość roślin oraz plon ziarna kukurydzy

Lp.	Terminy usuwania chwastów wg faz rozwojowych kukurydzy	Niski poziom zachwaszczenia 25 szt. · m ⁻²		Wysoki poziom zachwaszczenia 50 szt. · m ⁻²	
		wysokość roślin (cm)	plon ziarna (t · ha ⁻¹)	wysokość roślin cm	plon ziarna (t · ha ⁻¹)
1.	Kontrola wolna od chwastów	285	10,9	283	10,8
2.	Kontrola z pełnym zachwaszczeniem aż do zbioru	215	5,5	218	3,7
3.	I – BBCH 10	289	10,9	286	10,7
4.	II – BBCH 13	285	11,0	270	9,5
5.	III – BBCH 15	280	10,9	264	9,2
6.	IV – BBCH 17	271	9,5	235	8,4
7.	V – BBCH 30	230	8,3	230	7,3
8.	VI – BBCH 34-36	228	7,1	222	6,6
NTR (0,05)		12,7	1,1	10,4	1,3
					4,3

Źródło: IUNG-PIB Wrocław (2004–2005), badania własne.

- metoda agrotechniczna – obejmująca prawidłowe zmianowanie roślin, racjonalne nawożenie naturalne, organiczne i mineralne dostarczające roślinie uprawnej niezbędnych składników pokarmowych, terminowo i precyzyjnie wykonane siewy gwarantujące dobre zagęszczenie roślin w łanie oraz prawidłowo przeprowadzone zbiory;
- metoda profilaktyczna – obejmująca wszelkie działania ułatwiające roślinom uprawnym skuteczną konkurencję z chwastami poprzez wybór gatunków i odmian dostosowanych do warunków klimatyczno-glebowych, używanie wysoko kwalifikowanego materiału siewnego wolnego od chwastów i wysiew na odpowiednią głębokość, nawożenie zgodne z wymaganiami pokarmowymi roślin, ochrona roślin uprawnych przed chorobami i szkodnikami, wykaszanie chwastów wokół pól uprawnych na nieużytkach i rowach celem niedopuszczenia do wydawania przez nie nasion;
- metoda fizyczna – wykorzystująca wszelkiego rodzaju zabiegi termiczne, które polegają na wypalaniu chwastów przy użyciu paliw płynnych, gazów lub działaniu światła słonecznego na powierzchnię gleby przykrytej folią; na etapie badań są próby niszczenia chwastów z wykorzystaniem techniki laserowej i prądu elektrycznego, pary wodnej lub promieniowania mikrofalowego;
- metoda biologiczna – polega na wykorzystaniu w walce z chwastami ich wrogów naturalnych – chorobotwórczych mikroorganizmów oraz roślinożernych owadów, bioherbicydów lub herbicydów zawierających naturalne składniki.

Ustalenie i zatwierdzenie obniżonej dawki środka ochrony roślin musi być przeprowadzone na podstawie badań, które potwierdzają, że aplikowana dawka zapewni osiągnięcie zadowalającego efektu chwastobójczego (20, 21). Wyznaczanie efektywnych dawek minimalnych jest przedkładane w odpowiednich aktach prawnych w powiązaniu z Dyrektywą 91/414/EWG, co funkcjonuje z powodzeniem w Niemczech (22). Badania prowadzone z użyciem dawek minimalnych zgodnie z procedurami EPPO PP 1/225 (minimalne efektywne dawki) potwierdziły celowość stosowania dawek minimalnych środków ochrony roślin (13). W kukurydzy, gdzie zastosowano obniżone do 75% dawki isoxaflutolu na takie gatunki chwastów, jak: chwastnica jednostronna, przytulia czepna, gwiazdnica pospolita, fiolek polny i przetacznik perski uzyskano skuteczność na poziomie 87-100% ich zniszczenia (16, 28). Często wprowadzanie dawek minimalnych jest ograniczane warunkami pogodowymi oraz kulturą agrarną, dlatego o użyciu tych dawek zawsze decyduje efekt końcowy, czyli wielkość uzyskanego plonu.

W latach 2005–2008 w Zakładzie Herbologii i Technik Uprawy Roli IUNG-PIB we Wrocławiu prowadzono obserwacje bioróżnorodności zachwaszczenia w warunkach doświadczeń polowych na dwóch glebach z uwzględnieniem zróżnicowanych sposobów uprawy roli (9). Doświadczenia zakładane na czarnych ziemiach różniły się systemem uprawy roli od zakładanych na glebach brunatnych; w pierwszym przypadku stosowano płużny system uprawy, a w drugim bezpłużny, zaś w obu w pełnym zakresie wykonywano zabiegi pielęgnacyjne i nawożenie, wynikające z aktualnych

potrzeb rośliny uprawnej i odpowiadające aktualnym zaleceniom agrotechnicznym. W badaniach oceniano przydatność chwastobójczą herbicydów Milagro 040 SC i Titus 25 WG stosowanych w pełnych i obniżonych o 1/3 i 1/2 dawkach, a ich skuteczność chwastobójczą porównywano z działaniem mieszaniny herbicydu Titus 25 WG z dodatkiem adjuwanta (Trend 90 EC) łącznie z herbicydem Banvel 480 SL aplikowanych w pełnych dawkach i w tej samej fazie rozwojowej kukurydzy (tab. 3 i 4). Otrzymane wyniki wykazały istotny wpływ warunków uprawy roślin na możliwość stosowania herbicydów w dawkach obniżonych. Na czarnych ziemiach zbiorowisko chwastów charakteryzowało się większą bioróżnorodnością gatunkową w porównaniu ze zbiorowiskiem na glebach brunatnych, a poszczególne gatunki pojawiały się mniej licznie. Zarówno gatunki jedno-, jak i dwuliścienne z najlepszym skutkiem zwalczał Milagro 040 SC w pełnych dawkach oraz w dawkach obniżonych (1/3 i 1/2 dawki). Jedynie komosa biała występująca w liczbie 22 szt. · m⁻² niszczone była na poziomie 82 i 77% po zastosowaniu dawek obniżonych odpowiednio o 1/3 i 1/2 (tab. 3). Zniszczenie chwastów oraz plony ziarna uzyskane na obiektach z użyciem pełnej dawki, jak i obniżonej o 1/3 były porównywalne z efektami uzyskanymi przy jednorazowo zastosowanej mieszaninie środków ochrony roślin. Zbiorowisko gatunków jednoliściennych, jak i wszystkich dwuliściennych występujących na glebach brunatnych najskuteczniej kontrolowano przy użyciu mieszaniny preparatów. Natomiast samodzielnie stosowane herbicydy w dawkach pełnych i zredukowanych nie były skuteczne w niszczeniu takich gatunków chwastów, jak: komosa biała i bylica pospolita po zastosowaniu Milagro 040 SC i Titus 25 WG oraz dodatkowo przytulii czepnej, bodziszka drobnego i fiołka polnego po użyciu herbicydu Titus 25 WG (tab. 4)

Wyniki uzyskane w doświadczeniach prowadzonych na różnych typach gleb świadczą o możliwości skutecznej regulacji zachwaszczenia poprzez stosowanie dawek minimalnych niezbędnych do ograniczenia flory segetalnej. Dają również podstawę do rozszerzenia badań nad obniżaniem dawek herbicydów na plantacjach o małym nasileniu zachwaszczenia, na co wskazują również wyniki innych prac (5). Możliwe jest także stosowanie herbicydów metodą dawek dzielonych lub precyzyjnie dobranymi do stanu zachwaszczenia mieszaninami herbicydów (1).

Integrowane zwalczanie chwastów sprowadza się do wyznaczania tolerowanych przez roślinę uprawną okresów konkurencji chwastów, sterowania populacjami chwastów i ograniczania ich liczebności do poziomu niegrożącego obniżeniem oczekiwanego plonu (32). W najbliższej przyszłości w integrowanych systemach produkcji roślinnej środki ochrony roślin pozostaną nieodzowną ich częścią i wydaje się, że największe możliwości skutecznego niszczenia lub regulowania zachwaszczenia będzie można osiągnąć poprzez użycie ich jako mieszaniny kilku herbicydów lub łącząc je z insektycydami albo fungicydami, co potwierdzają wyniki badań innych autorów (15, 16).

Tabela 3

Skuteczność herbicydów stosowanych w dawkach obniżonych do regulacji zachwaszczenia kukurydzy gatunkami jedno- i dwuliściennymi występującymi na czarnych ziemiach

Obiekt	Dawka na 1 ha		Termin stosowania	Zniszczenie chwastów (%)**							Plon ziarna (t · ha ⁻¹)	
				ECHCG	SETVI	CHEAL	AMARE	THLAR	VIOAR	AETCY		SOLNI
Kontrola	-		-	*27	*19	*22	*11	*9	*8	*6	*3	4,27
Milagro 040 SC	1,5 l	1/1 dawki	BBCH 12	96	97	92	100	100	100	96	88	10,15
	1,0 l	2/3 dawki		90	88	82	93	92	93	96	90	10,08
	0,75 l	1/2 dawki		88	85	77	88	87	86	85	86	9,91
Titus 25 WG + Trend 90 EC	60 g + 1%	1/1 dawki	BBCH 12	93	90	87	100	100	90	93	98	10,23
	40 g + 1%	2/3 dawki		92	88	84	85	100	85	88	87	9,99
	30 g + 1%	1/2 dawki		86	85	73	82	87	78	87	70	9,10
Titus 25 WG + Trend 90 EC + Banvel 480 SL	60 g + 1% + 0,5 l pełna dawka		BBCH 12	87	83	100	90	100	83	82	100	10,11
NIR _(0,05)			1,032									

* dla kontroli podano liczbę chwastów w szt. · m²

** ECHCG – *Echinochloa crus-galli*

SETVI – *Setaria viridis*

CHEAL – *Chenopodium album*

AMARE – *Amaranthus retroflexus*

Źródło: IUNG-PIB Wrocław (2006–2008), badania własne.

THLAR – *Thlaspi arvense*

VIOAR – *Viola arvensis*

AETCY – *Aethusa cynapium*

SOLNI – *Solanum nigrum*

Tabela 4

Skuteczność herbicydów stosowanych w dawkach obniżonych do regulacji zachwaszczenia kukurydzy gatunkami jedno- i dwuliściennymi występującymi na glebach brunatnych

Obiekt	Dawka na 1 ha		Termin stosowania	Zniszczenie chwastów (%)**								Plon ziarna (t · ha ⁻¹)	
				ECHCG + SETSS	CHEAL	ANTAR	VIOAR	GALAP	FUMOF	GERPU	ARTVU		OTHER
Kontrola	-	-	-	*97	*14	*9	*7	*6	*5	*15	*3	*11	4,27
Milagro 040 SC	1,5 l	1/1 dawki	BBCH 12	96	90	82	100	84	100	96	85	98	10,05
	1,0 l	2/3 dawki		88	83	100	98	85	100	100	81	98	9,83
	0,75 l	1/2 dawki		83	68	100	93	82	93	96	76	93	9,65
	60 g + 1%	1/1 dawki		100	85	98	100	86	100	88	84	100	11,02
Titus 25 WG + Trend 90 EC	40 g + 1%	2/3 dawki	BBCH 12	92	78	90	84	80	100	80	80	95	9,41
	30 g + 1%	1/2 dawki		84	72	88	77	78	100	74	70	93	9,11
	60 g + 1% + 0,5 l	pełna dawka		82	95	86	85	82	88	93	87	100	11,12
NIR _(0,05)			0,987										

* dla kontroli podano liczbę chwastów w szt. · m⁻²

** ECHCG – *Echinochloa crus-galli*

SETSS – *Setaria* spp.

CHEAL – *Chenopodium album*

ANTAR – *Anthemis arvensis*

ARTVU – *Artemisia vulgaris*

Źródło: IUNG-PIB Wrocław (2006–2008), badania własne.

GALAP – *Galium aparine*

VIOAR – *Viola arvensis*

FUMOF – *Fumaria officinalis*

GERPU – *Geranium pusillum*

Podsumowanie

Strategicznym celem integracji w technologiach produkcji roślinnej jest ograniczanie stosowania nawozów mineralnych i chemicznych środków ochrony roślin do niezbędnego minimum. Stosowanie płodozmianów różniących się doбором roślin regenerujących oraz intensywne zmiany w agrotechnice upraw rolniczych (w tym kukurydzy) istotnie wpływają na różnorodność gatunkową chwastów i ich liczebność w zbiorowisku oraz mają wpływ na możliwość zastosowania do ich regulacji herbicydów w sposób precyzyjny, często w obniżonych dawkach.

Wyniki badań uzyskane w doświadczeniach prowadzonych na czarnych ziemiach w warunkach stosowania prawidłowego płodozmianu i płużnej uprawy roli pod kukurydzą oraz na glebach brunatnych z uproszczeniami uprawowymi świadczą o możliwości skutecznej regulacji zachwaszczenia poprzez stosowanie łącznie z adiuwantem minimalnych dawek herbicydów Milagro 040 SC oraz Titus 25 WG. Na czarnych ziemiach o wysokiej kulturze agrarnej po zastosowaniu Milagro 040 SC w dawce obniżonej nawet o połowę możliwe było uzyskanie skuteczności niszczenia chwastów oraz plonu ziarna na poziomie porównywalnym do osiągniętego przy stosowaniu mieszaniny herbicydów w pełnej dawce.

Znajomość aktualnego stanu zachwaszczenia plantacji kukurydzy, zmian wprowadzanych w uprawie roli oraz dopuszczalnych okresów pozostawienia chwastów w zasiewach (bez redukcji oczekiwanego plonu) stwarza możliwość stosowania herbicydów w dawkach obniżonych, precyzyjnie dostosowanych do stopnia pokrycia powierzchni chwastami.

Literatura

1. Adamczewski K., Dobrzański A.: Regulowanie zachwaszczenia w integrowanych programach uprawy roślin. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 1997, **37(1)**: 58-65.
2. Auškalnienė O.: The critical period of weed competition in spring barley and maize crops. Pikttoļiŗ konkurencijos kritinis periodas kukurūzŗ ir vasariniŗ mieŗiŗ agroceozese. Vagos, 2006, **71**: 7-12.
3. Christensen S.: Herbicide dose adjustment and crop weed competition. The BCPC Conference: Weeds, 1993, **13**: 1217-1222.
4. Dawson J. H.: The concept of period threshold. Proc. EWRS Symposium, Economic Weed Control, 1986, 327-355.
5. Domaradzki K.: Efektywność regulacji zachwaszczenia zbóż w aspekcie ograniczania dawek herbicydów oraz wybranych czynników agroekologicznych. Monografie i Rozprawy Naukowe, IUNG-PIB Puławy, 2006, **17**: 1-111.
6. Dzienia S., Romek B., Wrzesińska E.: Agroekologiczne podstawy produkcji roślinnej. AR Szczecin, 1999.
7. European and Mediterranean Plant Protection Organization. Bulletin 18, 1988, No. 135, 152, 181, 214, 250.
8. Fried G., Bombarde M., Delos M., Gasquez J., Reboud X.: Changes in arable field flora through the last 30 years in France. Evolution de la flore du maŗs: mauvaises herbes, ce qui a changŗ en 30 ans. Phytoma, 2005, **586**: 47-51.

9. Gołębiowska H., Kaus A.: Efektywność chemicznej regulacji zachwaszczenia w różnych systemach uprawy kukurydzy. *Acta Sci. Pol. Agric.*, 2009, **8(1)**: 3-16.
10. Gołębiowska H., Rola H., Gierczyk T.: Dynamika zachwaszczenia kukurydzy uprawianej w monokulturze na przestrzeni lat 1998–2003. *Progr. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2004, **44(1)**: 91-98.
11. Gołębiowska H.: Wpływ sposobu aplikacji herbicydów na poziom zachwaszczenia wtórnego w kukurydzy. *Progr. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2006, **46(2)**: 265-268.
12. Gołębiowska H.: The problems of weed management by herbicide systems applied in maize. *J. Plant Prot. Res.*, 2008, **48(1)**: 119-128.
13. Hurle K., Maier J., Amann A., Weishaar T., Mozer B., Pulcher-Hausling M.: Auswirkungen unterlassener Pflanzenschutz und Dungungsmassnahmen auf die Unkrautflora-Erste Ergebnisse aus einen mehrjahrig Versuchsprogramm. *Z. für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz – J. Plant Dis. Prot., Sonderheft*, 1988, **11**: 175-187.
14. Jordan I. V.: Long Ashton low input farming and environment (LA.LIFE). *Schweiz. Landw. For.*, 1990, **29(4)**: 389-391.
15. Kempenaar C., Groenevelt R. M. W., Uffing A. J. M., Van Der Veide, Wevers J.: New insights and developments in the MLHD concept of weed control. *Proceedings of the 12th EWRS Symposium*, Wageningen, The Netherlands, 2002, 216-217.
16. Ketel D. H., Lotz L. A. P.: A new research method for application of minimum lethal herbicide dose rate. *Proceedings of the 10th European Weed Research Society, Symposium*, Poznań, 1997, 150.
17. Kuś J.: Plonowanie roślin w systemie ekologicznym, integrowanym i konwencjonalnym. W: *Wybrane zagadnienia ekologiczne we współczesnym rolnictwie. Monografie*, 2005, **2**: 37-46.
18. Kuś J., Stalenga J.: Perspektywy rozwoju różnych systemów produkcji rolniczej w Polsce. *Biul. IHAR*, 2006, **242**: 15-19.
19. Merthens J., Schulte M., Hurle K.: Weed flora in maize: results of a monitoring in Germany. *Gesunde Pflanzen*, 2005, **57(8)**: 205-218.
20. Nolting H. G.: Wirkung mit minimierten Dosierungen (Grenzaufwadversuche)-4. Hinweis zum Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel- Z4. *Nachr. Deuts. Pflanzenschutzdienstes*, 2001, **53**: 286-287.
21. Pallut B.: Langzeitwirkungen reduzierter Herbizidanwendung und Stickstoffungung auf Populationsdynamik und Konkurrenz von Unkraut in Gettribe. *Zeit. Pflanzenkrank. Phlanzensch., Sonderheft*, 2002, **18**: 293-304.
22. Petersen J., Söchting H. P., Zwenger P., Hurle K.: Reduction des Herbizideinsatzes in Zuckerrüben auf das absolute notwendige Maß – die MLHD-Methode als möglicher Weg. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Phlanzenschutz J. Plant Dis. Prot., Sonderheft*, 2004, **19**: 959-967.
23. Rola H.: Regulacja zachwaszczenia upraw polowych w warunkach integrowanego rolnictwa. *Biul. Inf. IUNG*, 1999, **10**: 18-21.
24. Rola H.: Zależność wysokości plonów kukurydzy od okresu występowania w łanie *Echinochloa crus-galli* i *Amaranthus retroflexus*. *Pam. Puł.*, 1986, **87**: 155-170.
25. Rola J.: Ekologiczno-ekonomiczne podstawy chemicznej walki z chwastami na polach uprawnych. *Mat. XXXI Sesji Nauk. IOR*, 1991, **1**: 110-124.
26. Smith D. T., Sankula S.: Grower practices in weed management in several US crops. *Proceed. the 12th European Weed Res. Soc., Symposium*, Wageningen, The Netherlands, 2002, 98-99.
27. Vereijken P.: A methodic way to more sustainable farming systems. *Neth. J. Agric. Sci.*, 1992, **40**: 209-223.
28. Verschwele A., Zwenger P.: Auswertungem von Grenzaufwand-Versuchen in Bezug auf das notwendige Maß beim Herbizideinsatz. *J. Plant Dis. Prot., Sonderheft*, 2006, **10**: 675-682.

29. Villasana R., Rodriguez A. B., Perez D., Fernandez J., Uranga H.: Determination of critical period of competition between weeds and corn. *Memorias, Jardin Botanica Nacional, Ciudad Habana*, 2004, **28-30**: 142-144.
30. Wesołowski M.: Stan i perspektywy badań nad systemami produkcji roślinnej w warunkach Lubelszczyzny. *Acta Agrophysica*, 2007, **10(3)**: 739-749.
31. Woźnica Z.: *Herbologia*. PWRiL Poznań, 2008, 1-430.
32. Zwerger P.: Integrated weed management in developed nations. *Proc. 2nd International Weed Control Congress, Copenhagen*, 1996, 933-942.

Adres do korespondencji:

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

Tomasz Snopczyński

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

CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH GATUNKÓW CHWASTÓW STANOWIĄCYCH ZAGROŻENIE DLA UPRAW KUKURYDZY*

Wprowadzenie

Na plantacjach kukurydzy warunki do wzrostu i rozwoju chwastów są bardzo korzystne. Spowodowane jest to uprawą tej rośliny w szerokiej rozstawie rzędów, niską obsadą (zazwyczaj 8-10 roślin na m²), opóźnieniami wschodów w warunkach chłodnej wiosny oraz początkowo powolnym jej wzrostem. Przyjmuje się, że od wschodów do początku zakrywania międzyrzędzi (faza 8-10 liści) łan kukurydzy powinien być wolny od chwastów (1). Zachwaszczenie wtórne pojawiające się w terminie późniejszym nie wywiera już tak dużego wpływu na plonowanie, jest jednak również niepożądane, ponieważ przyczynia się m.in. do wzbogacenia glebowego banku nasion chwastów.

Jednym z istotnych warunków, które umożliwiają podjęcie optymalnej strategii walki z chwastami jest poznanie ich biologii, ekologii oraz potencjalnej szkodliwości. Znajomość tych zagadnień pozwala zwiększać skuteczność zabiegów chwastobójczych, minimalizować straty plonu oraz ograniczać rozprzestrzenianie się chwastów.

Celem pracy było scharakteryzowanie chwastnicy jednostronnej, komosy białej, perzu właściwego i szarłatu szorstkiego, gatunków zajmujących czołową pozycję wśród agrofagów zagrażających uprawie kukurydzy.

Charakterystyka chwastów

Chwastnica jednostronna (*Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.), syn. *Panicum crus galli* L.

Opis morfologiczny

Silnie krzewiąca się jednoroczna trawa. Dorasta do ok. 100 cm wysokości. System korzeniowy wiązkowy, sięgający do głębokości 50 cm. Źdźbła wzniesione, lekko spłaszczone, w dolnych kolankach zgięte, często fioletowo-czerwono przebarwione.

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

Liście szerokie, z brzegu faliste, blaszka liściowa nieowłosiona. Brak uszek i jęczyczka. Kwiatostanem jest bardzo gęsta, wyprostowana wiecha o długości do 30 cm. Owoc to oplewiony, jednostronnie wypukły ziarniak o długości około 2,5 mm.

Biologia, ekologia i szkodliwość

Chwastnica jednostronna jest ciepłolubną trawą pochodzącą z południowo-wschodniej Azji. Zasięg występowania gatunku od 50° szerokości geograficznej północnej do 40° szerokości geograficznej południowej (7). Preferuje gleby próchniczne, żyzne, dobrze uwilgotnione, gliniaste i piaszczysto-gliniaste. Najczęściej zachwaszcza kukurydzę, rośliny okopowe, przemysłowe i warzywa (11, 29). Kwitnie od lipca do września. Ilość wytworzonych nasion może przekraczać 24 000 szt. z jednej rośliny (21). Średnia płodność na stanowiskach użytkowanych rolniczo to zazwyczaj kilkaset (200-1000) ziarniaków, które zachowują w glebie zdolność do kiełkowania przez około 3-7 lat (12, 13, 17, 29). Jedną z przyczyn zachwaszczenia plantacji chwastnicą jednostronną jest nawożenie obornikiem. Nasiona zachowują żywotność po przejściu przez przewód pokarmowy bydła, a część z nich jest zdolna do kiełkowania po miesięcznym przechowywaniu w oborniku składowanym w warunkach beztlenowych (19). Optymalna temperatura do kiełkowania chwastnicy jednostronnej wynosi 30-35°C, maksimum to 45°C, a minimum 10-15°C (2).

Chwast ten jest silnie konkurencyjny dla roślin uprawnych. Pobiera z gleby duże ilości makroskładników, zwłaszcza potasu (tab. 1). W doświadczeniu mikropoletkowym zrealizowanym w Zakładzie Ekologii i Zwalczania Chwastów IUNG chwastnica jednostronna zachwaszczając kukurydzę w nasileniu 50 szt. · m⁻², wytworzyła 10 t świeżej masy z ha i spowodowała straty zielonej masy kukurydzy sięgające 46% (tab. 2). Według R o l i i n. (29) ekonomiczny próg szkodliwości chwastnicy jednostronnej dla buraka i kukurydzy to 5 roślin na 1 m².

Tabela 1

Zawartość i ilość pobranych makroelementów w chwastach (roślina uprawna kukurydza)

Gatunek chwastu	Udział w ogólnej masie chwastów (%)	Sucha masa (kg · ha ⁻¹)	Zawartość makroelementów (% s.m.)			Pobranie składników (kg · ha ⁻¹)		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Chwastnica jednostronna	55,7	1226	2,01	0,58	5,89	25,45	7,34	74,56
Komosa biała	21,3	478	2,14	0,92	4,43	10,23	4,40	21,18
Szarłat szorstki	5,4	123	2,25	0,84	7,7	2,77	1,03	9,47

Źródło: Czuba R. i Wróbel S., 1983 (4).

Tabela 2

Wpływ chwastnicy jednostronnej na plonowanie kukurydzy

Liczba roślin chwastnicy na 1 m ²	Plon zielonej masy kukurydzy		Świeża masa chwastów (t · ha ⁻¹)
	t · ha ⁻¹	%	
0	17,3	100	-
50	9,4	54	10,0
100	9,2	53	13,0

Źródło: Rola H. i Rola J., 2002 (28).



Fot. 1. Kłos chwastnicy jednostronnej*

* Wszystkie fotografie zamieszczone w pracy zostały wykonane przez autora.

Komosa biała (*Chenopodium album* L.)**Opis morfologiczny**

Jednoroczna roślina dwuliścienna wytwarzająca silny korzeń palowy. Pęd rozgałęziony, kanciasty, zielono prążkowany o wysokości 0,2-3 m. Liście w środkowej i dolnej części pędu zazwyczaj jajowato-rombowate do lancetowatych, ząbkowane. Liście przykwiatostanowe lancetowate, całobrzegie. Kwiaty zebrane w kłosokształtne lub wiechowate kwiatostany. Owocem jest niewielki (średnica ok. 1,5 mm) spłaszczony orzeszek.

Biologia, ekologia i szkodliwość

Komosa biała jest jednym z najbardziej ekspansywnych oraz pospolitych chwastów segetalnych występujących w Polsce (18). Zasiedla różne typy gleb, a w szczególności zasobne w azot. Wyjątkowo bujnie rozwija się w uprawach roślin okopowych i kukurydzy (29).

Monitoring zachwaszczenia upraw polowych prowadzony w latach 1978–1989 na obszarze całej Polski wykazał, że gatunek ten stanowi bardzo duże zagrożenie dla kukurydzy. Odnotowano go wówczas na wszystkich badanych plantacjach (30).

Komosa biała kwitnie od lipca do października. Jest rośliną o wysokiej płodności, jeden osobnik może wytworzyć do kilkudziesięciu tysięcy diaspór (16). Średnia produktywność jest znacznie mniejsza i zawiera się zazwyczaj w przedziale od kilkuset sztuk (12) do kilku tysięcy nasion (16). R o l a i in. (29) płodność pojedynczej rośliny komosy oceniają na 200-10000 nasion zdolnych do zachowania żywotności przez 40 lat, jednak można natknąć się na doniesienia o nasionach kiełkujących nawet po 1700-letnim okresie spoczynku (14). Część diaspór, podobnie jak w przypadku chwastnicy jednostronnej, jest zdolna do kiełkowania po miesięcznym przechowywaniu w oborniku (warunki beztlenowe); (19).

W badaniach J u r s í k a i in. (10) nasiona komosy kiełkowały w szerokim przedziale temperatur od 5 do 33°C, a optimum wynosiło 18°C.

Komosa silnie wyczerpuje glebę z azotu i potasu (tab. 1). Występując na plantacji kukurydzy w nasileniu 50 szt. · m⁻² wytwarza 30 t świeżej masy z hektara, redukując plon zielonej masy kukurydzy o 67% (tab. 3). Przy zagęszczeniu 100 szt. · m⁻² strata plonu sięga 76%. Ekonomiczny próg szkodliwości dla kukurydzy oraz dla innych roślin uprawianych w szerokiej rozstawie (burak, ziemniak) ustalono na 2 szt. · m⁻² (29).

Tabela 3

Wpływ komosy białej na plonowanie kukurydzy

Liczba roślin komosy na 1 m ²	Plon zielonej masy kukurydzy		Świeża masa chwastów (t · ha ⁻¹)
	t · ha ⁻¹	%	
0	17,3	100	-
50	5,7	33	30,0
100	4,2	24	31,0

Źródło: Rola H. i Rola J., 2002 (28).



Fot. 2. Międzyrzędzie kukurydzy zdominowane przez komosę białą

Perz właściwy (*Elymus repens* (L.) P. Beauv.), syn. *Agropyron repens* L.

Opis morfologiczny

Trawa wieloletnia, rozłogowa, dorastająca do 150 cm. Liście wąskie, ciemnozielone. Języczek liściowy krótki, delikatnie ząbkowany. U nasady blaszki liściowej sierpowate uszka obejmujące żdźbło. Kłos krótki. Ziarniaki oplewione, dolna plewka zazwyczaj zaostrowana, zakończona ością. Rozmnaża się głównie wegetatywnie, za pośrednictwem rozłogów.

Biologia, ekologia i szkodliwość

Perz właściwy to pospolity chwast pól uprawnych, występujący na wszystkich rodzajach gleb, z wyjątkiem wysokich gleb torfowych (29). Jest zaliczany do najbardziej uciążliwych gatunków chwastów upraw rolniczych. W Polsce stanowi zagrożenie dla około 80% gruntów ornych. Za jego wysoką ekspansywność odpowiada zdolność do wytwarzania podziemnych rozłogów, pozwalająca na dynamiczne opanowanie plantacji (31). Pojedynczy egzemplarz perzu w trakcie sezonu może wytworzyć rozłogi o długości ok. 140 metrów, które dają początek ponad 200 pędom nadziemnym (23). Zarówno w rozłogach, jak i częściach nadziemnych gromadzone są znaczne ilości związków mineralnych (tab. 4). Kłęcza perzu wydzielają do środowiska substancje chemiczne o działaniu allelopatycznym zaburzające pobieranie składników pokarmowych, zwłaszcza azotu i potasu, przez kukurydzę (3).

R o l a i in. (29) przeciętną produktywność perzu szacują na 100-500 ziarniaków, które zachowują żywotność do 10 lat. W badaniach W i l l i a m s a i A t t w o d a (35) średnia liczba żywych nasion z jednego kłosa wynosiła 13 szt. Ziarniaki bardzo dobrze kiełkują z głębokości 5 cm (100% wschodów), a po umieszczeniu ich na głębokości 10 cm odsetek wschodów drastycznie maleje (4%); (34). Perz w naszych warunkach klimatycznych kwitnie od czerwca do września.

Perz właściwy występując w nasileniu 65, 390 i 745 pędów na m², powoduje redukcję plonu kukurydzy odpowiednio o 12, 16 i 37% (37). Progi szkodliwości dla roślin uprawnych mieszczą się w przedziale 10-60 pędów na m² (15).

Tabela 4

Ilość pobranych składników pokarmowych (kg · ha⁻¹) przez perz właściwy
(silnie zachwaszczane pole)

Części roślin perzu	Sucha masa (kg · ha ⁻¹)	Składniki mineralne					
		N		P ₂ O ₅		K ₂ O	
		% s.m.	kg · ha ⁻¹	% s.m.	kg · ha ⁻¹	% s.m.	kg · ha ⁻¹
Nadziemne	1244	0,87	49	0,34	32	1,09	69
Podziemne	4780	0,79		0,54		1,15	

Źródło: Woźnica Z., 2008 (36).



Fot. 3. Perz właściwy

Szarłat szorstki (*Amaranthus retroflexus* L.)

Opis morfologiczny

Jednoroczna roślina dwuliścienna, osiagająca w zależności od stanowiska od 10 do 80 cm. Łodyga wzniesiona, szorstko owłosiona, często czerwono nabiegła. Liście

w zarysie jajowate, podłużnie eliptyczne lub owalnorombowate. Kwiatostan gęsty, kłosokształtny. Owocem jest jednonasienna torebka z wieczkiem. Nasiona czarne, błyszczące, soczewkowato spłaszczone, w zarysie okrągłe, o średnicy około 1 mm.

Biologia, ekologia i szkodliwość

Szarłat szorstki jest gatunkiem pochodzącym z Ameryki Północnej. Do Polski został zawleczony na początku XX wieku. Po raz pierwszy zlokalizowano go w roku 1914 w okolicach Opola i Gdańska (5). Aktualnie występuje we wszystkich regionach kraju, zwłaszcza na glebach żyznych, bogatych w azot. Bardzo dobre warunki do rozwoju znajduje w roślinach uprawianych w szerokiej rozstawie rzędów.

Szarłat szorstki jest rośliną ciepłolubną, optimum do kiełkowania zawiera się w przedziale od 30 do 40°C, a minimum to 7°C (6). Kwitnie od lipca do października. Jest bardzo plenny, według P a w ł o w s k i e g o i in. (18) średnia płodność to 9254 nasion, a maksymalna 668529 nasion. R o l a i in. (29) oceniają przeciętną produktywność szarłatu na 1000-5000 nasion, a zdolność do zachowania żywotności w glebie na sięgającą 40 lat. Istotną rolę w ograniczaniu liczebności nasion odgrywa ptactwo roślinożerne, a zwłaszcza wróbel mazurek (*Passer montanus*); (20).

Jedną z przyczyn zachwaszczenia pól szarłatem jest nawożenie obornikiem. Jak zaobserwowali P i e c h o t a i D a c h (19) nasiona szarłatu umieszczone przez 1 miesiąc w oborniku (bez dostępu powietrza) nie tylko nie tracą, a wręcz zwiększają swą zdolność do kiełkowania.

Szarłat szorstki bardzo silnie konkuruje z kukurydzą o składniki pokarmowe (tab. 1). Występując w nasileniu 5 szt. · m⁻² może spowodować 8% straty ziarna. Wytworzona biomasa szarłatu na powierzchni 1 ha sięga wówczas prawie 14 ton (tab. 5). Ekonomicznym progiem szkodliwości szarłatu dla buraka cukrowego i kukurydzy jest występowanie 2 roślin na 1 m² (29).

W obrębie gatunku szarłat szorstki wyróżniamy 3 odmiany: *A. retroflexus* var. *pusillus* Cass., *A. retroflexus* var. *delilei* Thellung oraz *A. retroflexus* var. *maior* Moqu. Rozmieszczenie odmian nie jest jeszcze dokładnie poznane, jednak jak sugerują J e z i e r s k a - D o m a r a d z k a i K u Ź n i e w s k i (9) *A. retroflexus* var. *maior* i var. *delilei* występują na glebach żyznych, zaś *A. retroflexus* var. *pusillus* notowany jest na glebach średnio żyznych i ubogich.

Tabela 5

Wpływ szarłatu szorstkiego na plonowanie kukurydzy

Liczba roślin szarłatu na 1 m ²	Plon ziarna kukurydzy		Świeża masa szarłatu szorstkiego (t · ha ⁻¹)
	t · ha ⁻¹	%	
0	5,79	100	-
2	5,37	93	7,2
5	4,77	92	13,7
10	4,62	80	17,4
20	3,93	68	26,7

Źródło: Rola H. i Rola J., 2002 (28).



Fot. 4. Szarłat szorstki

Odchwaszczanie chemiczne

Obecnie najskuteczniejszą z dostępnych metod odchwaszczania kukurydzy jest metoda chemiczna, prowadzona przy użyciu środków chwastobójczych (1). H r u s z k a (8) porównując efektywność mechanicznych, biologicznych i chemicznych metod odchwaszczania, najlepsze wyniki osiągnęła przy użyciu herbicydów. Zastosowanie długo działających preparatów pozwala również zabezpieczyć plantację przed zachwaszczeniem wtórnym (32). Wiele z obecnie dostępnych herbicydów obejmuje zakresem działania omówione gatunki chwastów (tab. 6).

Stosowanie herbicydów może nieść za sobą również negatywne konsekwencje. Istnieje ryzyko fitotoksycznego oddziaływania środka na roślinę uprawną lub rośliny następce, nagromadzenia pozostałości substancji aktywnej w wodzie gruntowej, glebie i płodach rolnych, a także możliwość powstawania odporności u chwastów. Na terenie południowo-zachodniej Polski w badaniach prowadzonych w latach 1999–2001 stwierdzono odporność na atrazynę u szarlatu szorstkiego na 40% obserwowanych plantacji, komosy białej na 17% i chwastnicy jednostronnej na 3% (28). Powstawanie odporności jest efektem wieloletniego aplikowania herbicydów o tych samych mechanizmach działania, obniżania dawek środka, nieodpowiedniej fazy rozwojowej

chwastów w momencie zabiegu oraz niekorzystnego przebiegu warunków pogodowych lub środowiskowych dla prawidłowego działania herbicydu (25).

Tabela 6

Przykładowe herbicydy zalecane do zwalczania chwastnicy jednostronnej, komosy białej, szarłat szorstkiego i perzu właściwego

Herbicydy	Substancja aktywna	Chwastnica jednostronna	Komosa biała	Perz właściwy	Szarłat szorstki
Accent 75 WG Innovate 240 SC Milagro Extra 6 OD Nikos 040 SC	nikosulfuron	++	+	++	++
Maister 310 WG	foramsulfuron + jodosulfuron metrylosodowy	++	++	++	++
Titus 25 WG	rimsulfuron	++	+	++	++

+ chwast średnio wrażliwy

++ chwast wrażliwy

Źródło: opracowanie własne na podstawie www.bip.minrol.gov.pl

Podsumowanie

Ochrona plantacji kukurydzy przed szkodliwym oddziaływaniem agrofagów to jeden z kluczowych warunków decydujących o wielkości zebranego plonu. Szczególnie niekorzystny wpływ wywiera konkurencja ze strony chwastów, które są najważniejszą grupą agrofagów, najsilniej oddziałującą na plon kukurydzy i jego jakość. Szacuje się, że na plantacjach kukurydzy straty plonu jako efekt zachwaszczenia są większe od sumarycznych strat powodowanych przez choroby i szkodniki (1).

W krajowej literaturze naukowej oraz popularnonaukowej wśród chwastów stanowiących największe zagrożenie dla plantacji kukurydzy wymieniane są: chwastnica jednostronna, komosa biała, perz właściwy i szarłat szorstki (22, 24, 26, 27, 28, 33). Są to gatunki silnie konkurencyjne, charakteryzujące się dużymi zdolnościami reprodukcyjnymi, intensywnie wyczerpujące glebę ze składników pokarmowych. Występując w uprawie kukurydzy w dużym nasileniu, wytwarzają znaczne ilości biomasy i powodują istotne straty plonu.

Wśród metod ograniczania zachwaszczenia na czołowej pozycji pod względem skuteczności znajduje się metoda chemiczna. Odpowiednio dobrane herbicydy pozwalają wyeliminować chwasty obecne w łanie rośliny uprawnej oraz poprzez działanie odgłębowe uniemożliwić pojawienie się zachwaszczenia wtórnego. Niemniej jednak zaleca się stosować kompleksową ochronę plantacji przy użyciu wszystkich dostępnych metod zwalczania oraz zapobiegania pojawianiu się chwastów.

Literatura

1. Adamczewski K., Skrzypczak G., Lisowicz F., Bubniewicz P.: Aktualne problemy ochrony kukurydzy w Polsce. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1997, **450**: 63-78.
2. Arai M., Miyahara M.: Physiological and ecological studies on barnyard grass (*Echinochloa crus-galli* Beauv. var. *oryzicola* Ohwi): V. On the germination of the seed. Jpn. J. Crop Sci., 1963, **31**: 362-366.
3. Buchholtz K. P.: The influence of allelopathy on mineral nutrition. In: Biochemical interactions among plants. National Academy of Sciences, Washington, 1971, 86-89.
4. Czuba R., Wróbel S.: Ocena roli chwastów jako konkurentów w pobieraniu składników pokarmowych przez rośliny uprawne. Roczn. Glebozn., 1983, **34**: 175-184.
5. Frey A.: Rodzaj *Amaranthus* L. w Polsce. Fragm. Flor. Geobot., 1974, **20**: 143-201.
6. Gawroński S.: Biologia i odporność na herbicydy gatunków z rodzaju *Amaranthus*. Pam. Puł., 2002, **129**: 33-38.
7. Holm L. G., Plucknett D. L., Pancho J. V., Herberger J. P.: The world's worst weeds – distribution and biology. University Press of Hawaii, Honolulu, 1977, 1-609.
8. Hruszka M.: Efektywność proekologicznych i chemicznych sposobów regulacji zachwaszczenia w zasiewach kukurydzy pastewnej. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2003, **490**: 81-97.
9. Jezierska-Domaradzka A., Kuźniewski E.: Rodzaje *Chenopodium* L. i *Amaranthus* L. w zbiorowiskach segetalnych Dolnego Śląska. Pam. Puł., 2002, **129**: 103-111.
10. Jursik M., Soukup J., Venclová V., Holec J.: Seed dormancy and germination of Shaggy soldier (*Galinsoga ciliata* Blake.) and Common lambsquarter (*Chenopodium album* L.). Plant Soil Environ., 2003, **49**: 511-518.
11. Korniak T., Hołdyński C.: Występowanie chwastnicy jednostronnej (*Echinochloa crus-galli*) w północno-wschodniej Polsce. Pam. Puł., 2002, **129**: 69-74.
12. Kwiecińska E., Malicki L.: Plenność *Amaranthus retroflexus* L., *Chenopodium album* L. oraz *Echinochloa crus-galli* (L.) P.B. w różnych siedliskach. Pam. Puł., 2002, **129**: 169-174.
13. Malicki L., Kwiecińska E.: Plenność pospolitych gatunków chwastów polnych na rędzinie. Fragm. Agron., 1999, **3**: 97-110.
14. Odum S.: Germination of ancient seeds: floristical observations and experiments with archaeologically dated soil samples. Dan. Bot. Ark., 1965, **24**: 1-70.
15. Paradowski A.: Atlas chwastów. Plantpress, Kraków, 2009, 1-229.
16. Pawłowski F.: Płodność, wysokość i krzewienie się niektórych gatunków chwastów w łąkach roślin uprawnych na glebie lessowej. Ann. UMCS, E, 1966, **21**: 175-189.
17. Pawłowski F., Kapeluszny J., Kolas A., Lecyk Z.: Płodność chwastów na ścierniskach woj. lubelskiego. Ann. UMCS, E, 1970, **25**: 49-59.
18. Pawłowski F., Kapeluszny J., Kolas A., Lecyk Z.: Płodność chwastów w różnych siedliskach. Ann. UMCS, E, 1970, **25**: 61-75.
19. Piechota T., Dach J.: Zdolność kiełkowania diaspor chwastów przechowywanych w oborniku kompostowanym z napowietrzaniem i w warunkach składowania beztlenowego. Ann. UMCS, E, 2007, **62**: 177-184.
20. Pinowski J., Wójcik Z.: Produkcja chwastów na polach i stopień wyzerowania ich nasion przez wróble polne (*Passer montanus* L.). Ekologia Polska, 1968, B, **14**: 297-301.
21. Podstawka-Chmielewska E., Kwiatkowska J., Kosior M.: Plenność niektórych gatunków chwastów segetalnych w łące różnych roślin uprawnych na glebie lekkiej i ciężkiej. Ann. UMCS, E, 2000, **55**: 29-39.
22. Praczyk T.: Zalecenia w zakresie ochrony kukurydzy przed chwastami na rok 2007. Wieś Jutra, 2007, **3**: 17-18.
23. Raleigh S. M., Flanagan T. R., Veatch C.: Life history studies as related to weed control in the northeast. 4 - Quackgrass. Rhode Island Agric. Exp. Stn. Bull., 1962, **365**: 1-10.
24. Rola H.: Zależność wysokości plonów kukurydzy od okresu występowania w łące *Echinochloa crus-galli* i *Amaranthus retroflexus*. Pam. Puł., 1986, **87**: 155-170.

25. R o l a H.: Identyfikacja biotypów chwastów uodpornionych na herbicydy triazynowe metodą testu biologicznego. *Metodyka*. IUNG Puławy, 2001, **1**: 1-10.
26. R o l a H.: Próg ekonomiczny i biologiczny. *Rolnik Dzierżawca*, 2005, **4**: 90-93.
27. R o l a H., G o ł ę b i o w s k a H., R o l a J., K u k u ł a S.: The problem with *Amaranthus retroflexus* and *Chenopodium album* on the intensive cultivation of maize areas. *Proc. XI International Conference of Weed Biology*. Dijon, France, 2000, 555-561.
28. 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**: 11-24.
29. R o l a H., R o l a J., Z a l i w s k i A.: Rozmieszczenie chwastów segetalnych w uprawach rolniczych Polski. *IUNG*, Wrocław, 2001, 1-42.
30. R o l a H., R o l a J., Z a l i w s k i A.: Monitoring stanu i stopnia zachwaszczenia upraw rolniczych w Polsce. *Post. Ochr. Rośl.*, 1999, **39**: 289-297.
31. S e n d e k A.: *Elymus repens* (L.) Gould – biologia i nasilenie występowania w uprawach. W: *Mat. Kraj. Symp. „Elymus repens* (L.) Gould = *Agropyron repens* (L.) P.B. – występowanie zagrożenie i zwalczanie”. Bielsko-Biała, 29-30 września 1988 r., IUNG Puławy, 1988, 7-12.
32. S n o p c z y Ń s k i T., G o ł ę b i o w s k a H.: Ocena skuteczności chwastobójczej mieszanki mezotrion + terbutyloazyna + S-metolachlor w uprawie kukurydzy. *Post. Ochr. Rośl.*, 2008, **48**: 674-677.
33. S o b i s z Z.: Specyfika wtórnego zachwaszczenia kukurydzy i upraw warzywnych pojezierza krajeńskiego. W: *Mat. XXI Kraj. Konf. „Zachwaszczenie wtórne roślin okopowych i ściernisk”*, IUNG Puławy, 1997, 113-120.
34. W i l l i a m s E. D.: Germination of seeds and emergence of seedlings of *Agropyron repens* (L.) Beauv. *Weed Res.*, 1971, **11**: 171-181.
35. W i l l i a m s E. D., A t t w o o d P. J.: Seed production of *Agropyron repens* (L.) Beauv. in arable crops in England and Wales in 1969. *Weed Res.*, 1971, **11**: 22-30.
36. W o ź n i c a Z.: *Herbologia: podstawy biologii, ekologii i zwalczania chwastów*. PWRiL Poznań, 2008, ss. 430.
37. Y o u n g F. L., W y s e D. L., J o n e s R. J.: Quackgrass (*Agropyron repens*) interference on corn (*Zea mays*). *Weed Sci.*, 1984, **32**: 226-234.

Adres do korespondencji:

mgr Tomasz Snopczyński
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli
IUNG - PIB
ul. Orzechowa 61
50-540 Wrocław
tel.: (71) 363-87-07
e-mail: t.snopczynski@iung.wroclaw.pl

Mariusz Kucharski, Jerzy Sadowski

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

BADANIA POZOSTAŁOŚCI HERBICYDÓW W PŁODACH ROLNYCH NA PRZESTRZENI OSTATNIEGO DWUDZIESTOLECIA*

Wstęp

Zastosowane herbicydy, podobnie jak i inne środki ochrony roślin (ś.o.r.), pod działaniem czynników środowiska ulegają różnym procesom biologicznym i fizykochemicznym, w wyniku których następuje zanikanie substancji aktywnych związane z częściowym rozkładem związku. Poza rozkładem udział w procesie zanikania substancji aktywnej w glebie ma sorpcja, przemieszczanie w głębsze warstwy gleby (poniżej strefy korzeniowej, a nawet do wód gruntowych), pobieranie przez roślinę i przenoszenie przez wodę (5, 13, 26, 28). Dominacja poszczególnych procesów i ich szybkość zależą od rodzaju substancji, typu i aktywności biologicznej gleby oraz od warunków pogodowych. Natomiast od aktywnej ilości i szybkości zachodzących przemian zależy w efekcie końcowym poziom pozostałości poszczególnych substancji aktywnych i ich metabolitów w roślinie, wodzie i glebie. W zależności od okresu półroczu w glebie (DT_{50}) stosowane w praktyce rolniczej agrochemikalia można podzielić na: mało trwałe ($DT_{50} < 20$ dni), średnio trwałe ($DT_{50} = 20-90$ dni) i trwałe ($DT_{50} > 90$ dni); (10). Niezależnie od przynależności do grupy chemicznej dominujący wpływ na zanikanie herbicydów mają warunki pogodowe. W wyższych temperaturach i przy odpowiedniej wilgotności gleby rozkład jest szybszy, a tym samym mniejsze są pozostałości (2).

Badania wykazały, że niektóre substancje aktywne mogą przenikać do wód gruntowych. Proces ten uzależniony jest od stopnia rozpuszczalności i poziomu sorpcji. Przenikać mogą przede wszystkim te herbicydy, które są stosunkowo słabo wiązane przez glebę i charakteryzują się dłuższym okresem zalegania (14, 15).

Brak substancji czynnej w glebie nie zawsze oznacza, że została ona całkowicie rozłożona. Stosując technikę izotopową (znaczony węgiel ^{14}C) stwierdzono, że pewna część substancji aktywnych zostaje w glebie jako tzw. pozostałości związane, zwane nieekstrakcyjnymi (7). Ta część związku jest praktycznie niedostępna dla roślin. Pozostałości te (substancja aktywna i niektóre jej metabolity) mogą wiązać się z częścią ilastą lub próchniczną gleby.

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

Ocena zagrożenia dla zdrowia konsumentów oraz środowiska ma zasadnicze znaczenie przy podejmowaniu decyzji o dopuszczeniu (rejestracji) ś.o.r. do legalnego stosowania w krajowej praktyce rolniczej. Dla oceny takiego ryzyka niezbędne są m.in. informacje o poziomie pozostałości preparatu, jakie mogą wystąpić w żywności, paszach lub środowisku. Dane takie uzyskuje się z kontrolowanych doświadczeń na wydzielonych uprawach roślin z użyciem badanego środka, zgodnie z przewidywaną instrukcją stosowania. W doświadczeniach tych muszą być uwzględnione przede wszystkim warunki ekstremalne, sprzyjające wystąpieniu najwyższych możliwych stężeń pozostałości (3).

Równoległe z rozwojem nowoczesnych metod ochrony roślin konieczne jest prowadzenie badań nad wpływem agrochemikaliów na środowisko. Prace te z jednej strony mają za zadanie podnoszenie efektywności stosowania substancji chemicznych, z drugiej zaś stanowią element ochrony środowiska i jakościowej kontroli produktów rolnych. Związane jest to z koniecznością identyfikacji bezpośrednich i pośrednich zagrożeń, jakie dla człowieka i środowiska stwarzać mogą ś.o.r.

W jednostkach naukowych oprócz prac związanych z rejestracją nowych ś.o.r. wykonuje się 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); (11, 12, 29). Prowadzone są również systematyczne badania pozostałości substancji aktywnych ś.o.r. w żywności, paszach, wodach śródpolnych, ujęciach wody pitnej, jak również w glebie – tzw. monitoring, dostarczający najbardziej wyczerpujących, a zarazem wiarygodnych i reprezentatywnych danych o poziomach i rozmiarach występowania ewentualnych skażeń tą grupą środków chemicznych (8, 18).

W wielu krajach o zintensyfikowanym poziomie rolnictwa pojawiła się tendencja zmierzająca do racjonalnego ograniczenia stosowania środków ochrony roślin, a 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 zredukowaniu dawek oraz zmniejszeniu ilości zabiegów do niezbędnego minimum. W ślad za decyzjami rządowymi nadeszła pora na opracowanie konkretnych rozwiązań praktycznych. W wielu krajach rozpoczęto intensywne badania naukowe mające na celu wypracowanie, dla warunków lokalnych, właściwych metod umożliwiających zmniejszenie zużycia środków, z jednoczesnym zachowaniem pożądanej skuteczności działania (16).

Wyraz troski o zdrowie konsumenta i środowisko znalazł odzwierciedlenie w prawodawstwie Unii Europejskiej. Dyrektywa Rady z dnia 15 lipca 1991 roku nr 91/414/EWG (6) zawiera w swej preambule stwierdzenie mówiące, że ś.o.r. 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 osiągnięciem korzyści wynikających z tytułu wzrostu poziomu produkcji. Jednym ze sposobów dążenia do tego celu było powstanie koncepcji produkcji integrowanej, w której rolnik

prowadzi produkcję roślin z wykorzystaniem zrównoważonego postępu technicznego i biologicznego w uprawie, ochronie roślin i nawożeniu, zwracając szczególną uwagę na ochronę środowiska i zdrowie ludzi. Produkcja integrowana umożliwia uzyskanie płodów rolnych o najwyższej wartości biologicznej i odżywczej, bezpiecznych dla zdrowia człowieka (9).

Materiał do badań

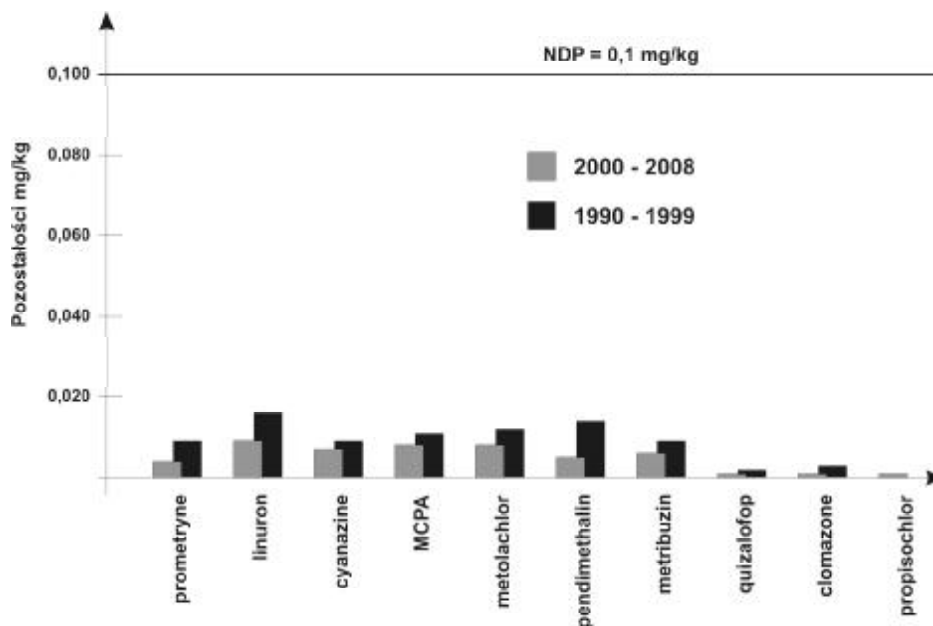
Badania pozostałości substancji aktywnych herbicydów prowadzono w latach 1990–2008. Materiał do analiz pochodził z plantacji buraka cukrowego, kukurydzy, rzepaku, ziemniaka i zbóż. Próbkę do analiz chemicznych pobierano z poletek doświadczalnych (badania rejestracyjne i statutowe), plantacji produkcyjnych należących do indywidualnych gospodarstw oraz obiektów podlegających badaniom interwencyjnym (sprawy uszkodzeń upraw, zlecane badania jakości i przydatności do spożycia produktów rolnych). Największą liczbę próbek materiału roślinnego pobrano z pól województw dolnośląskiego i opolskiego oraz południowej części obecnego województwa wielkopolskiego.

Próbki płodów rolnych do badań pozostałości fungicydów i insektycydów pobierane były z pól uprawnych, sadów, szklarni i tuneli foliowych metodą losową z terytorium całej Polski. Probki pobierali pracownicy inspekcji ochrony roślin i nasiennictwa. Probki materiału roślinnego pobierano w momencie zbioru uprawianej rośliny. Wstępnie przygotowane próbki (oczyszczone, rozdrobnione i wymieszane) przechowywano do momentu wykonania analiz chemicznych w zamkniętych pojemnikach z tworzywa, w temperaturze minus 20°C.

Pozostałości nierozłożonych substancji aktywnych herbicydów analizowano ilościowo i jakościowo, stosując technikę wysokosprawnej chromatografii cieczowej (HPLC) z detekcją UV, PDA i MS oraz chromatografii gazowej (GLC) z detekcją ECD, NPD i MS. Metody analityczne opracowano w Laboratorium Analiz Pozostałości Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowego Instytutu Badawczego w Puławach oraz Zakładzie Badań Pozostałości Instytutu Ochrony Roślin - Państwowego Instytutu Badawczego w Poznaniu.

Omówienie wyników

W latach 2000–2008 przeprowadzono analizę blisko 3 tysięcy próbek. W uprawie ziemniaka przebadano około 200 próbek bulw, w kukurydzy około 400, a w rzepaku ozimym około 250 próbek materiału roślinnego, oznaczając (łącznie dla tych roślin) pozostałości 25 substancji aktywnych herbicydów (rys. 1-3). Najwięcej analiz wykonano w próbkach pochodzących z plantacji buraka cukrowego (ok. 950) i zbóż (1050); oznaczenia wykonano dla 17 substancji aktywnych (rys. 4-5). O ewentualnym zagrożeniu lub skażeniu produktów rolnych możemy mówić dopiero wtedy, gdy oznaczone stężenia pozostałości substancji aktywnych herbicydów przekraczają lub są zbliżone

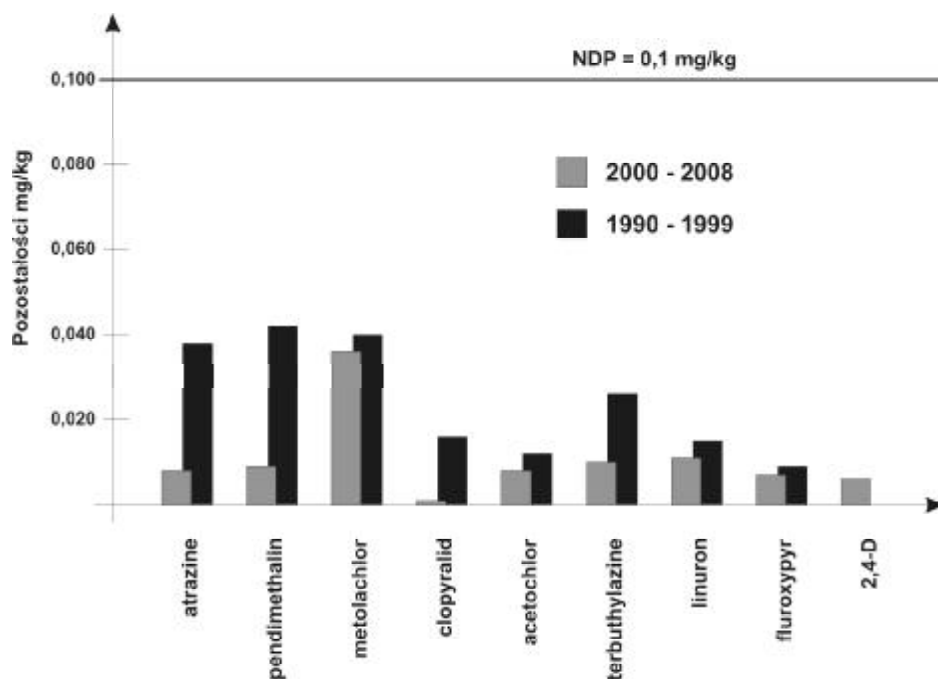


Rys. 1. Maksymalne pozostałości s.a. herbicydów w bulwach ziemniaka
Źródło: badania własne.

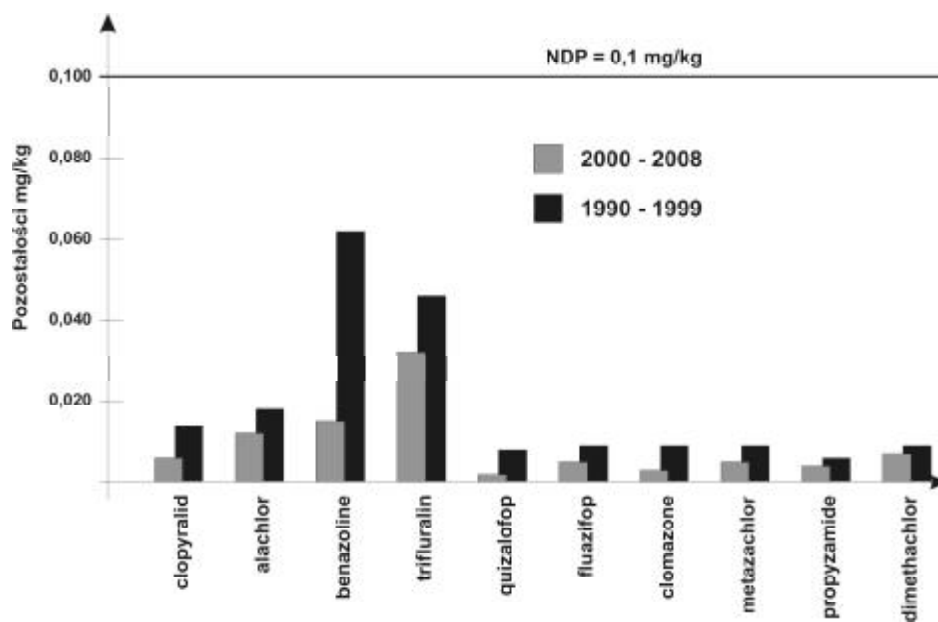
do wartości dopuszczalnych, określonych w normach. Do roku 2008 wykorzystywane były wartości najwyższych dopuszczalnych pozostałości (NDP) zamieszczone w rozporządzeniach Ministra Zdrowia (21). Obecnie wartości NDP zostały ujednolicone dla wszystkich państw Unii Europejskiej i zamieszczono je w załącznikach do rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady nr 396/2005 (24).

W opracowaniu przedstawiono jedynie maksymalne wykryte pozostałości substancji aktywnych w roślinach uprawnych, pomijając wyniki incydentalne pochodzące głównie z analiz związanych z nieprawidłowym stosowaniem herbicydów. Zdecydowana większość badanych próbek materiału roślinnego (ok. 70%) nie zawierała wykrywalnych pozostałości. W przypadku 20% badanych próbek wykryte pozostałości były niższe od maksymalnych prezentowanych w tabelach. Stężenia pozostałości badanych substancji aktywnych w tej grupie próbek były zwykle 100 i więcej razy niższe od dopuszczalnych. Jedynie około 8% badanych próbek to te, w których pozostałości osiągały wartości maksymalne, zbliżone do tych, które zaprezentowano w tabelach wynikowych (ok. 10-krotnie niższe od NDP). Zdarzały się również przypadki o charakterze incydentalnym, w których oznaczone pozostałości substancji aktywnych herbicydów przekraczały stężenia dopuszczalne (pochodzące głównie z analiz związanych z nieprawidłowym stosowaniem herbicydów). Odsetek takich próbek nie przekraczał 1-2%.

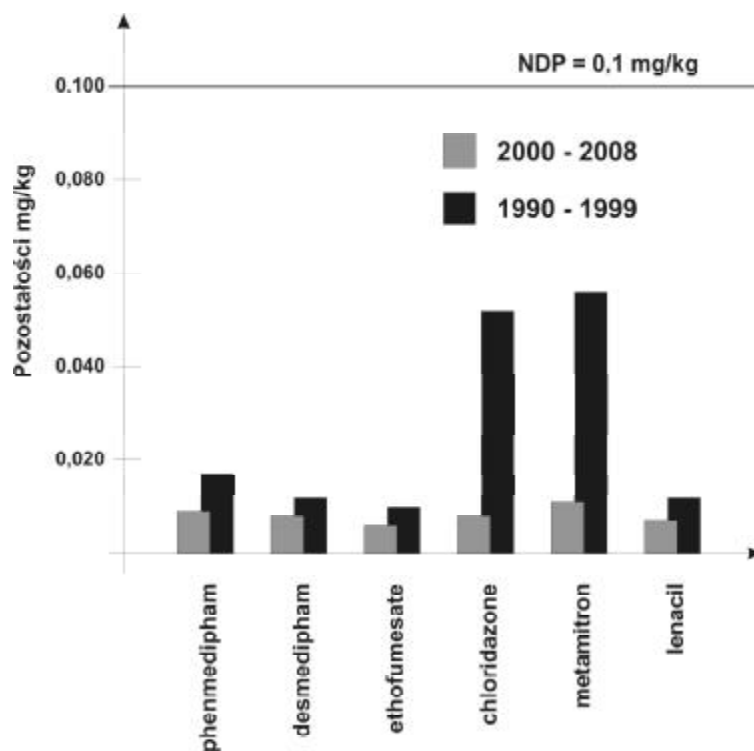
Na rysunkach zamieszczono również wyniki z badań wykonanych w latach 1990–1999 (17). Zestawiając obie serie danych można stwierdzić, że maksymalne pozostałości badanych substancji aktywnych herbicydów wykryte w latach 2000–2008



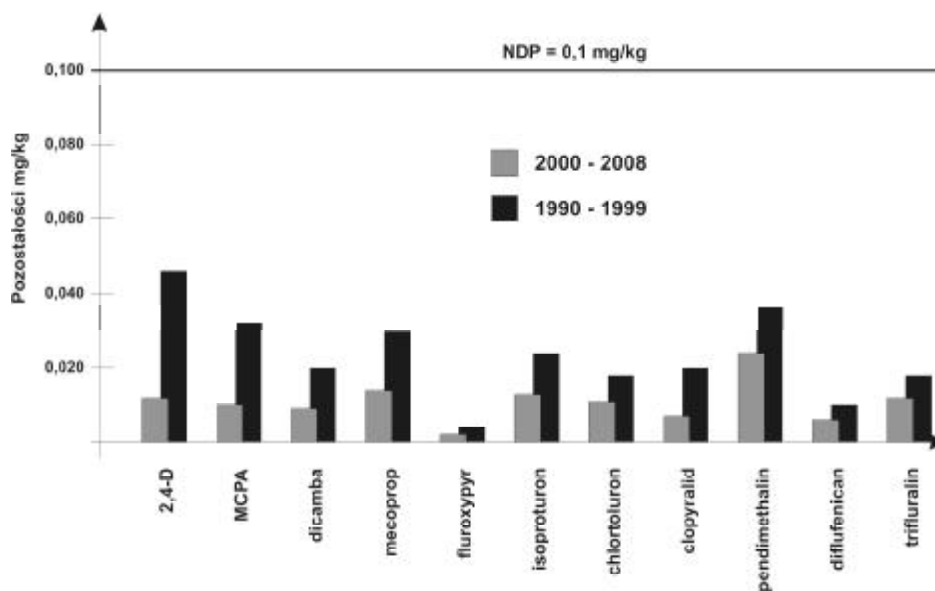
Rys. 2. Maksymalne pozostałości s.a. herbicydów w ziarnie kukurydzy
Źródło: badania własne



Rys. 3. Maksymalne pozostałości s.a. herbicydów w nasionach rzepaku ozimego
Źródło: badania własne.



Rys. 4. Maksymalne pozostałości s.a. herbicydów w korzeniach buraka cukrowego
Źródło: badania własne.



Rys. 5. Maksymalne pozostałości s.a. herbicydów w ziarnie zbóż
Źródło: badania własne.

były w większości przypadków niższe. Taki rezultat może świadczyć o tym, że realizowane są postulaty zawarte w dyrektywie 91/414 (6) i ustawie o ochronie roślin (30). W ostatnich latach wdrażano zasady rolnictwa zrównoważonego, m.in. redukowano dawki stosowanych herbicydów, wprowadzano nowe sposoby wykonywania zabiegów agrotechnicznych oraz kontrolę i atestację sprzętu służącego do oprysków. Podobnie jak w prezentowanych badaniach odsetek analizowanych prób roślinnych, w których nie wykryto pozostałości ś.o.r. kształtował się na poziomie 70%. Wskaźnik ten może być jednak nieodpowiedni do porównań ze względu na to, że w ostatnim dziesięcioleciu nastąpiło wiele zmian w analityce pozostałości substancji aktywnych, co umożliwiło obniżenie progu ich wykrywalności i mogło spowodować zmianę reakcji pomiędzy poszczególnymi grupami próbek. W badaniach z lat 1990–1999 wykrywane pozostałości ś.o.r. były wyższe. W omawianym przedziale (20-30% próbek) stężenia zanieczyszczeń herbicydowych były tylko 5-50 razy niższe od wartości NDP, a odsetek próbek, w których oznaczono pozostałości na poziomie i przekraczające NDP wynosił 2-5%.

Podobne badania prowadzone były dla innych roślin uprawy polowej, warzyw i owoców. Wyniki tych prac również potwierdzają obecność pozostałości ś.o.r., a udział procentowy poszczególnych grup próbek był zbliżony (1, 24). W Instytucie Ochrony Roślin - Państwowym Instytucie Badawczym w Poznaniu corocznie analizuje się średnio 1500 próbek owoców, warzyw spod osłon i upraw gruntowych, bulw ziemniaka oraz roślin z tuneli foliowych. Na podstawie wyników uzyskanych w ostatnim dziesięcioleciu można stwierdzić, że średnio w 67,6% (63,8-71,3%) próbek roślinnych nie wykryto pozostałości substancji aktywnych fungicydów i insektycydów, w 29,8% (26,7-34,0%) próbek oznaczono pozostałości, których stężenie było niższe od wartości dopuszczalnych, a przekroczenia wartości NDP wykryto w 2,6% (0,4-4,4%) próbek (8, 19).

W przypadku badań nad pozostałościami insektycydów i fungicydów obserwowany był również spadek wykrywanych zanieczyszczeń. W latach 1990–1999 podział na poszczególne grupy próbek był następujący: średnio w 57% próbek roślinnych nie wykryto pozostałości ś.o.r., około 38% próbek zawierało oznaczane pozostałości substancji aktywnych, a blisko 5% próbek zawierało pozostałości przekraczające wartości dopuszczalne (4).

Podsumowanie

Wyniki badań monitoringowych prowadzonych w ostatnich latach na plantacjach buraka cukrowego, kukurydzy, rzepaku i zbóż nie wykazały, aby w roślinach tych wystąpiło nagromadzenie pozostałości substancji aktywnych po zastosowaniu herbicydów w stężeniu przekraczającym wartości podane w normach. Przestrzeganie zaleceń producentów środków ochrony roślin, jak również zasad dobrej praktyki rolniczej znacząco ogranicza możliwości wystąpienia jakichkolwiek skażeń produktów roślinnych. Nie można jednak ustrzec się sporadycznych przypadków przekroczeń NDP.

Przypadki takie spowodowane są zwykle niewiedzą rolników, złym stanem sprzętu służącego do oprysków lub przemyślanym działaniem farmera, który celowo niszczy plantację, licząc na odszkodowanie (25). Do dnia 31 sierpnia 2008 roku w ocenie pozostałości ś.o.r. wykorzystywane były wartości najwyższych dopuszczalnych pozostałości (NDP) zamieszczone w rozporządzeniach Ministra Zdrowia (20-23). Obecnie poziomy NDP zostały ujednolicone i zamieszczone w załącznikach do rozporządzenia Nr 396/2005 Parlamentu Europejskiego i Rady (24).

Dalsze prowadzenie badań monitoringowych gleb, produktów roślinnych i wody są konieczne w celu wychwycenia bezpośrednich i pośrednich zagrożeń, jakie dla człowieka i środowiska stwarzać mogą środki ochrony roślin. Stanowią one również element ochrony środowiska i jakościowej kontroli produktów rolnych.

Literatura

1. Boobis A.R., Ossendorp B.C., Banasiak U., Hamey P.Y., Sebestyen I., Moretto A.: Cumulative risk assessment of pesticide residues in food. *Toxicol. Lett.*, 2008, **180(2)**: 137-140.
2. Burnside O.C., Schmidt E.L., Behrens R.: Dissipation of simazine from the soil. *Weeds*, 1961, **9**: 477-484.
3. Dąbrowski J., Nowacka A., Spieszalski W., Drożdżyński D., Walorczyk S., Martinek B., Gierschendorf Z.: Badanie pozostałości środków ochrony roślin dla potrzeb rejestracji preparatów w Polsce. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 1997, **37(2)**: 131-134.
4. Dąbrowski J., Nowacka A., Martinek B., Walorczyk S., Drożdżyński D., Schwarz K., Kudła M., Gierschendorf Z., Chmielewska E., Barylska E., Ziółkowski A., Giza I., Murawska M., Sztwiertnia U., Morzycka B., Sadło S., Rupar J., Langowska B., Michel M.: Obraz skażeń pozostałościami chemicznych środków ochrony roślin upraw rolniczych w Polsce w latach 1996–2000. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2001, **41(1)**: 95-109.
5. Drożdżyński D.: Residues and transfer of triazine herbicides in ground waters of intensively exploited arable land in Wielkopolska province of Poland. *J. Plant Prot. Res.*, 2006, **46(2)**: 145-151.
6. Dyrektywa nr 91/414/EWG z dn. 15 lipca 1991 dotycząca wprowadzania do obrotu środków ochrony roślin (Dz. Urz. L 230 z 19.08.1991: 1-32).
7. Füh r F.: Non-extractable pesticides residues in soil. In: *The 6th Intern. Congress of Pesticide Chemistry - IUPAC*, Ottawa, Canada, 1986, 86-95.
8. Gnusowski B., Nowacka A., Giza I., Sztwiertnia U., Łozowicka B., Kaczyński P., Szpyrka E., Rupar J., Rogozińska K., Kuźmenko A., Sadło S.: Kontrola pozostałości środków ochrony roślin w paszach pochodzenia roślinnego w roku 2006. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2007, **47(4)**: 38-41.
9. Gorz a ł a G.: Proces wdrażania urzędowego kontrolowanej integrowanej produkcji w Polsce. *Mat. VII Ogólnop. Konf. „Racjonalna technika ochrony roślin”*. IOR Poznań, 2007, 9-14.
10. Greenhalgh R.: Definition of persistence in pesticide chemistry. *Pure Anal. Appl. Chem.*, 1980, **52**: 2563-2566.
11. Jun C., Hua G., Hongmei Z., Lei J., Hong Y.: Effects of SOM, surfactant and pH on the sorption-desorption and mobility of prometryne in soils. *Chemosphere*, 2008, **70(11)**: 2127-2135.
12. Kaushik M., Neera S.: Effect of soil amendments on sorption and mobility of metribuzin in soil. *Chemosphere*, 2007, **66(4)**: 630-638.

13. Koskinen W. C., Calderon M. J., Rice P. J., Cornejo J.: Sorption-desorption of flucarbazone and propoxycarbazon and their benzenesulfonamide and triazolinone metabolites in two soils. *Pest. Manag. Sci.*, 2006, **62(7)**: 598-608.
14. Kostowska B., Sadowski J.: Przemieszczanie w profilu glebowym herbicydów stosowanych do odchwaszczania kukurydzy. *Mat. 32 Sesji Nauk. IOR*, 1992, **32(2)**: 164-167.
15. Kostowska B., Głabiszewski J., Kiepuł J.: Przemieszczanie się w glebie niektórych herbicydów stosowanych w ziemniakach, jęczmieniu jarym i kukurydzy w doświadczeniach lizymetrycznych. *Mat. 26 Sesji Nauk. IOR*, 1986, **26(2)**: 321-328.
16. Kucharski M.: Regulacja zachwaszczenia – stan aktualny i potrzeby. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2008, **48(1)**: 20-24.
17. Kucharski M., Sadowski J.: Pozostałości herbicydów w materiale roślinnym i glebie w Polsce na tle norm krajów Unii Europejskiej. *Pam. Puł.*, 2003, **132**: 253-261.
18. Kucharski M., Sadowski J.: Pozostałości substancji aktywnych herbicydów w ziarnie zbóż. *Pam. Puł.*, 2004, **135**: 129-135.
19. Nowacka A., Gnusowski B., Dąbrowski J., Walorczyk S., Drożdżyński D., Wójcik A., Barylska E., Ziółkowski A., Chmielewska E., Morzycka B., Giza I., Sztwiertnia U., Sadło S., Rupar J., Szpyrka E., Rogozińska K., Kuźmenko A.: Pozostałości środków ochrony roślin w płodach rolnych (rok 2004). *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2005, **45(1)**: 305-316.
20. Rozporządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 8 października 1993 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych pozostałości w środkach spożywczych środków chemicznych stosowanych przy uprawie, ochronie, przechowywaniu i transporcie roślin (Dz. U. 1993, nr 104, poz. 476 z późn. zm.).
21. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 19 grudnia 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych poziomów pozostałości środków chemicznych stosowanych przy uprawie, ochronie, przechowywaniu i przewożeniu roślin, które mogą znajdować się w środkach spożywczych lub na ich powierzchni bez szkody dla zdrowia i życia człowieka (Dz. U. 2003, nr 21, poz. 177 z późn. zm.).
22. 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. 2004, nr 85, poz. 801 z późn. zm.).
23. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 16 maja 2007 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych poziomów pozostałości pestycydów, które mogą znajdować się w środkach spożywczych lub na ich powierzchni (Dz. U. 2007, nr 119, poz. 817 z późn. zm.).
24. Rozporządzenie (WE) Nr 396/2005 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 lutego 2005 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych poziomów pozostałości pestycydów w żywności i paszy pochodzenia roślinnego i zwierzęcego oraz na ich powierzchni, zmieniające dyrektywę Rady 91/414/EWG (Dz. Urz. L 70, str. 1 z 16.03.2005 r. z późn. zm.).
25. Sadowski J., Kucharski M.: Skutki niewłaściwego, w tym celowego stosowania herbicydów. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2005, **45(1)**: 429-434.
26. Sadowski J., Kucharski M.: Herbicide residues of water in the water-collecting area of Widawa river. *Polish J. Environ. Stud.*, 2006, **15(5)**: 441-445.
27. Singh D. K., Singh G., Srivastava A., Sand N. K.: Harvest time residue of isoproturon in soil, wheat grain and straw. *Pant. J. Res.*, 2008, **6(1)**: 125-127.
28. Sekutowski T., Sadowski J., Kucharski M.: Dynamika rozkładu i przemieszczania się w glebie chlorosulfuronu. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2008, **48(4)**: 1250-1254.
29. Shobha S.: Terminal residues of imazethapyr in soybean grains, straw and soil. *Pest. Res. J.*, 2008, **20(1)**: 128-129.
30. Ustawa o ochronie roślin z dnia 18 grudnia 2003 (Dz. U. 2004, nr 11, poz. 94, z późn. zm.).

Adres do korespondencji:

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

Tomasz Sekutowski, Henryka Rola

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

GLEBOWY BANK NASION JAKO NIEWYCZERPALNE ŹRÓDŁO DIASPOR CHWASTÓW*

Wstęp

Nasiona stanowią najlepszą formę przetrwania i rozprzestrzeniania się roślin. Ich właściwości są determinowane przez dwa czynniki: genetyczny i środowiskowy (24). Większość taksonów roślin występujących na gruntach rolnych to gatunki jednoroczne, rozmnażające się tylko generatywnie (za pomocą owoców lub nasion). Na drodze ewolucji przystosowały się one najlepiej do otaczającego je środowiska. Siedlisko miało decydujący wpływ na wytworzenie się specyficznych cech morfologicznych i anatomicznych, dzięki którym diaspory mogą być rozsiewane i przemieszczane na większe odległości (1, 13, 18).

Zdecydowana większość gatunków chwastów występujących w łąkach roślin uprawnych rozprzestrzenia się za pomocą wiatru, wody, zwierząt i człowieka. Proces taki nosi nazwę allochorii. Wśród allochorów rozróżniamy: anemochory (rozsiewane przez wiatr), hydrochory (rozsiewane za pomocą wody), zoochory (rozsiewane przez zwierzęta) i antropochory (rozsiewane przez człowieka w sposób zamierzony lub przypadkowy); (1, 24).

Z reguły większość nasion chwastów po opuszczeniu rośliny matecznej trafia na powierzchnię gleby, a następnie dzięki różnym czynnikom zewnętrznym (zwierzęta, działalność człowieka – zabiegi agrotechniczne itp.) jest przemieszczana w głąb profilu glebowego. Dlatego za celowe wydaje się użycie stwierdzenia, że podstawowym źródłem zachwaszczenia plantacji roślin rolniczych są diaspory znajdujące się na lub (i) w glebie (7, 12, 14, 31).

Glebowy bank nasion

Harper (25) w 1954 roku podał definicję glebowego banku diaspor, określając go jako zapas nasion występujących w profilu glebowym oraz na jego powierzchni. Chwasty pojawiające się na polach są wynikiem występowania w agrofitycenozie

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

tw. „bezpiecznego siedliska”, w ramach którego funkcjonuje glebowy bank nasion (1, 7). Oceniając łan rośliny uprawnej pod względem zachwaszczenia, należy zdawać sobie sprawę z tego, że na pełną charakterystykę taksonów występujących na plantacji składają się dwa czynniki: zbiorowisko chwastów w łanie rośliny uprawnej oraz ich diaspyry tworzące glebowy bank nasion. To właśnie glebowy bank diaspor zapewnia ciągłość występowania poszczególnych gatunków chwastów w danym siedlisku, pomimo stosowania przez człowieka zabiegów mających na celu ograniczenie ich dalszego wzrostu, rozwoju i występowania (37, 39, 40).

W zależności od typu spoczynku nasion oraz ich energii i zdolności kiełkowania (kiełkujące w okresie dłuższym niż 1 rok od momentu ich rozsiania oraz w czasie krótszym niż 1 rok) często bank nasion określa się jako „trwały” (ang. persistent) lub „przejściowy” (ang. transient); (7). W literaturze można spotkać jeszcze inne określenia dotyczące glebowego banku nasion, a mianowicie: „aktywny” (ang. activity) i „spoczynkowy” (ang. dormancy). Bank nasion określany jako „aktywny” tworzą nasiona, które są zdolne do kiełkowania w danym sezonie wegetacyjnym (najczęściej na wiosnę). Natomiast „spoczynkowy” bank diaspor tworzą nasiona, które nie kiełkują w danym sezonie wegetacyjnym (25).

Thompson i Grime (58) w 1979 roku przyjmując za kryterium czas przebywania nasion w glebie, zaproponowali 4 typy banków nasion:

- I – bank przejściowy występujący w okresie letnim;
- II – bank przejściowy występujący w okresie zimowym;
- III – bank, w którym znaczna część nasion kiełkuje zaraz po wysianiu i tylko niewielki odsetek tych nasion zostaje przemieszczony w głąb profilu glebowego;
- IV – bank, który charakteryzuje się tym, że tylko kilka procent diaspor kiełkuje zaraz po opadnięciu na glebę, natomiast pozostałe nasiona nie kiełkują, tworząc trwały bank glebowy.

Typy I i II zawierają nasiona krótkotrwale, których okres żywotności jest krótszy niż 1 rok. Natomiast typy III i IV są bankami trwałymi, złożonymi z nasion mogących przetrwać znacznie dłużej niż 1 rok. W obrębie trwałego banku nasion wyróżnia się 3 jego rodzaje związane z trzema funkcjonalnymi typami spoczynku nasion. Pierwszy rodzaj spoczynku określany jest mianem „disturbance-broken” (przerwany wskutek nagłych zmian zachodzących w środowisku). Drugi rodzaj spoczynku to „risk-spreading” (rozkładający ryzyko śmierci nasion w czasie). Natomiast trzeci rodzaj to „weather-dependent” (uzależniony od warunków klimatycznych). Jak widać spoczynek nasion determinuje strategię rozprzestrzeniania nasion w jednostce czasu i przestrzeni. Stwarza on również taksonom możliwość przystosowania się do zmiennych warunków środowiska (4, 7, 19, 21, 47).

Basikin i Basikin (5) wyróżniają 5 typów spoczynku:

- **fizjologiczny** – związany z fizjologicznym mechanizmem hamującym kiełkowanie zarodka. Zahamowanie kiełkowania zarodka wiąże się z obecnością lub brakiem odpowiednich fitohormonów. Ten rodzaj spoczynku determinuje tworzenie się glebowego banku nasion w klimacie umiarkowanym.

- **fizyczny** – związany z nieprzepuszczalną dla wody i gazów okrywą owocowo-nasienną. Ma on szczególne znaczenie dla glebowego banku nasion w klimacie umiarkowanym.
- **kombinowany** – jego przyczyną jest tworzenie się nieprzepuszczalnej okrywy nasiennej oraz fizjologiczny mechanizm wstrzymujący kiełkowanie zarodka.
- **morfologiczny** – spowodowany opóźnionym rozwojem zarodka, natomiast zakończenie rozwoju zarodka odbywa się dopiero po rozsianiu nasion. Ten typ spoczynku jest spotykany u roślin klimatu tropikalnego.
- **morfofizjologiczny** – spowodowany niecałkowitym wykształceniem się zarodka oraz procesami fizjologicznymi wstrzymującymi kiełkowanie zarodka wewnątrz łupiny okrywowo-nasiennej. Ten typ spoczynku jest spotykany u roślin terenów leśnych.

Liczba diaspor danego gatunku znajdująca się w glebie jest ściśle związana z jego plennością, którą warunkują czynniki genetyczne i siedliskowe (28).

Metody oceny wielkości glebowego banku nasion

Głównym problemem w ocenie wielkości glebowego banku nasion jest nierównomierne rozmieszczenie przestrzenne nasion w profilu glebowym. Trudności w ocenie liczby nasion wynikają z ich ilościowej zmienności w sezonie, cyklicznych wewnętrznych przekształceń pomiędzy różnymi frakcjami spoczynkowymi oraz ze zmiennych warunków kiełkowania nasion. W literaturze można spotkać wiele opracowań poświęconych problemom metodycznym w ilościowej ocenie glebowego banku nasion (2, 3, 11, 18, 59). Najczęściej jednak wielkość banku nasion określa się przez liczenie wszystkich nasion znajdujących się w danej objętości gleby lub poprzez liczenie nasion kiełkujących (siewek).

Pierwsza z metod (ang. direct seed extraction), nazwana metodą Pawłowskiego, pozwala na określenie całkowitej liczby nasion znajdujących się w profilu glebowym (20, 33). Wadą tej metody jest jej pracochłonność oraz trudności związane z separacją nasion od frakcji mechanicznych gleby. Metoda ta wymaga również dodatkowych testów na żywotność pozyskanych nasion. Natomiast jej zaletą jest możliwość określenia całej puli owoców i nasion chwastów znajdujących się w glebie zarówno żywych, jak i martwych (9, 22, 23).

Druga z metod, nazywana metodą kiełkowania (ang. greenhouse method), polega na ilościowym oznaczeniu kiełkujących siewek nasion (11, 23). Zaletą tej analizy jest jej znikoma pracochłonność w porównaniu z metodą Pawłowskiego. Dodatkowo nie wymaga testów na żywotność nasion. Natomiast jej wadą jest brak możliwości oszacowania wszystkich diaspor zarówno tych martwych, jak i tych, które wykiełkowały, ale z różnych przyczyn zamarły. Metoda ta jest obciążona dużym błędem, który nie pozwala na dokładne oszacowanie liczby żywych nasion pozostających w glebowym banku nasion. Aby zminimalizować ten błąd i pobudzić pozostałe diaspy do kiełkowania bardzo często stosuje się następujące czynności: mieszanie mechaniczne gleby

połączone z napowietrzaniem i skaryfikacją, stratyfikację lub wprowadzenie do gleby lotnych inhibitorów kiełkowania, odpowiedników naturalnych fitohormonów roślinnych. Najczęściej jako chemicznego stymulatora używa się kwasu giberelinowego, który pobudza wzrost zarodka w początkowej fazie kiełkowania diaspor (24).

Zasobność i rozmieszczenie nasion chwastów w glebie

Na zasobność glebowego banku nasion oraz na rozmieszczenie diaspor w profilu glebowym mają wpływ różne czynniki. Najważniejsze z nich to: typ gleby, zabiegi agrotechniczne, nawożenie mineralne i organiczne oraz obecność substancji allelochemicznych. Bogactwo gatunkowe glebowego banku nasion gleb ornych zależy głównie od typu gleby (52, 53). Badania Pawłowski (33) wskazują, że najwięcej diaspor na 1 m² warstwy ornej znajdowało się w glebach piaskowych, następnie w madach, nieco mniej w glebach lessowych i czarnoziemach, a najmniej w rędzinach (tab. 1).

Tabela 1

Liczba nasion i gatunków chwastów w powierzchniowej warstwie uprawnej gleby (0-20 cm) na 1 m² w rejonie Lublina

Gleby	Liczba nasion			Liczba gatunków		
	krótkotrwałe	wieloletnie	razem	krótkotrwałe	wieloletnie	razem
Piaskowe	42693	597	43292	38	7	45
Mady	29354	320	29674	48	7	55
Lessowe	21512	332	21844	52	8	60
Czarnoziemy	21128	504	21632	41	4	45
Rędziny	18740	1184	19888	59	11	70

Źródło: Pawłowski, 1963 (33).

Podobnie w badaniach własnych, przeprowadzonych na trzech typach gleb: płowej, madzie rzecznej średniej i czarnej ziemi, stwierdzono znaczące różnice w liczbie nasion chwastów występujących na jednostce powierzchni. Największą liczbę nasion chwastów stwierdzono w próbkach pobranych z gleby płowej, mniej z mady rzecznej średniej, a najmniej w czarnej ziemi (tab. 2).

Tabela 2

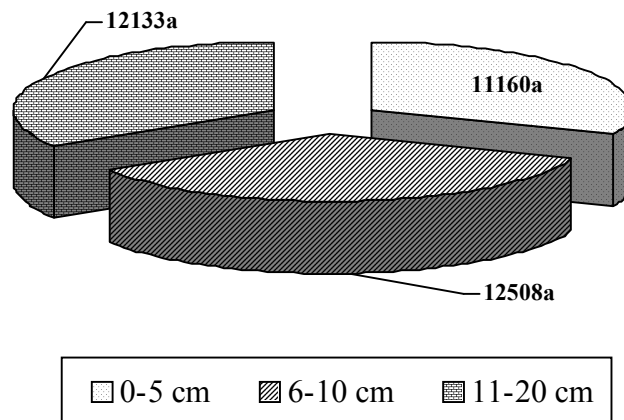
Liczba nasion gatunków chwastów w warstwie 0-20 cm pobranych z gleby płowej, mady rzecznej średniej oraz czarnej ziemi (szt. · m⁻²)

Typ gleby	Gatunki jednoliścienne	Gatunki dwuliścienne	Suma gatunków
Płowa	4339	38031	42370
Mada rzeczna średnia	3933	27009	30936
Czarna ziemia	7921	19936	27857

Źródło: Sekutowski, 2009 (42).

Pionowe rozmieszczenie nasion chwastów w glebie zależy głównie od wykonywanych zabiegów agrotechnicznych (26, 55, 56). W miejscach, gdzie profil glebowy nie został naruszony przez żadne narzędzia uprawowe (siew bezpośredni w nieuprawioną glebę) zdecydowana większość nasion znajduje się w warstwie 0-5 cm, a ich liczba gwałtownie maleje wraz z głębokością (55). Natomiast tam, gdzie stosuje się uprawę bezorkową (uproszczoną) zdecydowana większość nasion znajduje się w warstwie gleby 0-15 cm. W warunkach uprawy uproszczonej nowa populacja nasion chwastów nie jest przemieszczana z głębszych warstw gleby na powierzchnię, jak to ma miejsce w przypadku uprawy tradycyjnej (orkowej). Dlatego wynikiem stosowania uproszczeń w uprawie roli jest wzrost liczby nasion w wierzchniej warstwie gleby, co w konsekwencji prowadzi do zwiększenia populacji chwastów w łanie rośliny uprawnej (7, 32, 60). Natomiast w tradycyjnym (orkowym) systemie uprawy roli w wyniku wykonywanych zabiegów uprawowych nasiona chwastów są praktycznie rozmieszczone równomiernie w całej wierzchniej warstwie gleby do głębokości 25 cm (17, 54, 57).

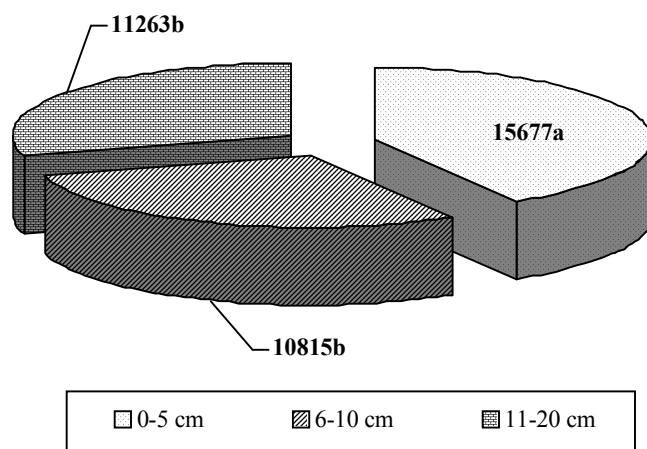
Również w badaniach własnych stwierdzono wpływ różnych sposobów uprawy roli na liczbę oraz rozmieszczenie nasion chwastów. Najwięcej nasion chwastów obserwowano w warunkach uprawy zerowej i uproszczonej w próbkach gleby pobranych z warstwy 0-5 cm, natomiast przy stosowaniu tradycyjnego systemu uprawy roli rozmieszczenie nasion było praktycznie równomierne w całej badanej warstwie gleby (rys. 1-3).



Rys. 1. Liczba diaspor chwastów na 1 m² i ich rozmieszczenie w profilu glebowym w warunkach uprawy tradycyjnej

* liczby oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie

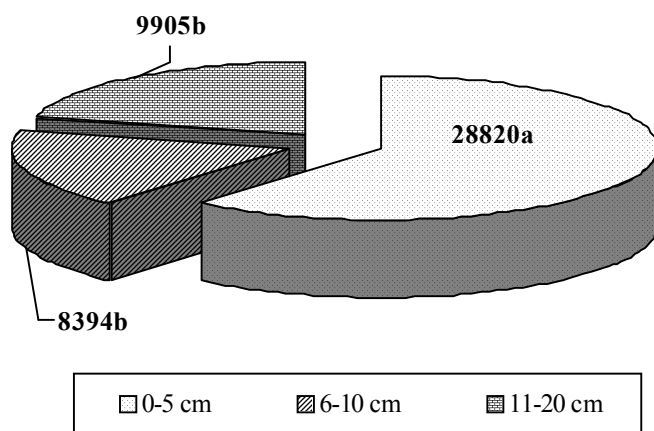
Źródło: Sekutowski, 2009 (43).



Rys. 2. Liczba diaspor chwastów 1 m² i ich rozmieszczenie w profilu glebowym w warunkach uprawy uproszczonej

* liczby oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie

Źródło: Sekutowski, 2009 (43).



Rys. 3. Liczba diaspor chwastów na 1 m² i ich rozmieszczenie w profilu glebowym w warunkach uprawy zerowej

* liczby oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie

Źródło: Sekutowski, 2009 (43).

Na zasobność glebowego banku nasion chwastów oraz późniejsze zachwaszczenie ładu rośliny uprawnej mają również wpływ stosowane technologie produkcji. Poprawnie ułożony płodozmian, który umożliwia następującym po sobie roślinom uprawnym prawidłowy wzrost i rozwój może ograniczać występowanie różnych grup biolo-

gicznych chwastów, charakterystycznych dla danej rośliny uprawnej (10). Natomiast stosowanie uproszczeń w zmianowaniu roślin może stwarzać ryzyko wzrostu zapasu diaspor chwastów w glebowym banku nasion. Uproszczenia uprawowe powodują nagromadzenie się świeżych nasion w wierzchniej warstwie gleby (do 15 cm), a nasiona pozostające głębiej nie tracą swojej zdolności kiełkowania i mogą w sprzyjających warunkach (uprawa orkowa) stanowić nowe źródło zachwaszczenia plantacji (6, 55). W przypadku monokultur obserwuje się tworzenie wyspecjalizowanych zbiorowisk chwastów, charakterystycznych dla danej grupy roślin. Bardzo często dochodzi wtedy do kompensacji niektórych gatunków chwastów. Przykładem mogą być monokultury zbożowe, w których (w zależności od zasobności gleby) bardzo często spotyka się kompensację następujących taksonów: miotły zbożowej (*Apera spica-venti*), a ostatnio również wyczyńca polnego (*Alopecurus myosuroides*), przytulii czepnej (*Galium aparine*) i chabry bławatka (*Centaurea cyanus*). W monokulturach kukurydzy spotyka się kompensację chwastnicy jednostronnej (*Echinochloa crus-galli*), komosy białej (*Chenopodium album*) i szarlatu szorstkiego (*Amaranthus retroflexus*); (16, 36, 50).

Stosowanie herbicydów może w znacznym stopniu przyczynić się do ograniczenia zawartości diaspor chwastów w glebie. Jak podaje M e n g e s (30), aby glebowy bank nasion pozostał na stałym poziomie to skuteczność stosowanych herbicydów musi być na poziomie 99,9%. Zdecydowana większość herbicydów uważana jest za bardzo skuteczne. Eliminują one gatunki chwastów segetalnych nawet w 98%. Większość herbicydów jest mniej lub bardziej selektywna dla poszczególnych taksonów chwastów. Dlatego ich stosowanie powoduje znaczne zmiany w składzie florystycznym agrofitycenozy. Bardzo często prowadzi to do powstawania zjawiska określanego mianem „kompensacji herbicydowej” oraz do pojawienia się osobników uodpornionych (38, 41). Według R o b e r t s’a (35) długotrwałe aplikowanie herbicydów może spowodować zmiany ilościowe w glebowym banku nasion, ale nie powoduje całkowitej eliminacji poszczególnych taksonów. Podobnego zdania są autorzy niniejszej pracy, którzy obserwowali wyraźne działanie chlorosulfuronu w warstwie ornej gleby, polegające na ograniczaniu liczby nasion chwastów niezależnie od przyjętego systemu uprawy roli (tab. 3 i 4).

Chwasty na glebach zasobnych w składniki pokarmowe wytwarzają zdecydowanie więcej diaspor niż na glebach mniej żyznych. W literaturze często spotyka się stwierdzenie, że intensywne nawożenie (zwłaszcza azotem) może prowadzić do szybszego wyczerpywania się zapasów diaspor w glebowym banku nasion. Nawozy azotowe zawierające azotany i azotyny w połączeniu z innymi czynnikami pobudzającymi, takimi jak: promieniowanie słoneczne, zmienny czynnik termiczny lub lotne inhibitory kiełkowania, mogą stymulować kiełkowanie diaspor (6, 49). Według badań S z y m o n y (51) oraz J o r n s g a r d’a i in. (27) duże stężenia azotanów w glebie wpływa hamująco na kiełkowanie diaspor, powodując znaczne zmniejszenie liczby chwastów w łanie rośliny uprawnej. Również stosowanie nawozów naturalnych, w szczególności obornika, oraz osadów ściekowych może być źródłem dostarczania diaspor do

Tabela 3

Skład gatunkowy i liczebność diaspor chwastów na 1 m² gleby w warunkach uprawy tradycyjnej
(3-letnia monokultura pszenicy ozimej)

Lp.	Gatunek chwastu	Warstwa gleby (cm)							
		0-5		6-15		16-25		Σ_{0-25}	
		K	G	K	G	K	G	K	G
Jednoliścienne (j)									
1.	Chwastnica jednostronna (<i>Apera spica-venti</i>)	1146	867	1563	1171	1040	708	3749	2746
$\Sigma_{(j)}$		1146	867	1563	1171	1040	708		
Dwuliścienne (d)									
2.	Rumian polny (<i>Anthemis arvensis</i>)	1250	1042	1458	1040	1251	954	3959	3036
3.	Fiołek polny (<i>Viola arvensis</i>)	3038	1875	3567	2396	3021	2291	9626	6562
4.	Komosa biała (<i>Chenopodium album</i>)	1979	417	1562	1041	1146	833	4687	2291
5.	Mak polny (<i>Papaver rhoeas</i>)	1042	313	2021	208	625	208	3688	729
6.	Jasnota purpurowa (<i>Lamium purpureum</i>)	104	74	97	209	105	107	306	390
7.	Bniec biały (<i>Melandrium album</i>)	208	101	312	329	207	208	727	638
8.	Chaber bławatek (<i>Centaurea cyanus</i>)	921	417	2019	521	729	625	3669	1563
9.	Przetacznik perski (<i>Veronica persica</i>)	–	–	107	–	–	–	107	–
10.	Rzepak (<i>Brassica napus</i>)	101	–	89	–	94	–	284	–
11.	Przetacznik bluszczykowy (<i>Veronica hederifolia</i>)	–	–	–	–	114	103	114	103
12.	Farbownik polny (<i>Lycopsis arvensis</i>)	–	–	–	–	104	100	104	100
13.	Bodziszek drobny (<i>Geranium pusillum</i>)	–	–	–	–	102	93	102	93
14.	Żółtlica drobnokwiatowa (<i>Galinsoga parviflora</i>)	101	–	–	–	87	–	188	–
$\Sigma_{(d)}$		8744	4239	11231	5744	7585	5522	27561	15505
$\Sigma_{(j)} + \Sigma_{(d)}$		9890	5106	12794	6915	8625	6230	31310	18251

K – kontrola, G – Glean 75 WG, $\Sigma_{(j)}$ – suma gatunków jednoliściennych

$\Sigma_{(d)}$ – suma gatunków dwuliściennych

Źródło: Sekutowski i Rola, 2008 (44).

glebowego banku nasion, co w konsekwencji może doprowadzić do wzrostu zachwaszczenia plantacji (1).

Czynnikiem stymulującym bądź hamującym kiełkowanie nasion chwastów jest zjawisko allelopatii. Zjawisko to spotykane jest we wszystkich ekosystemach, natomiast szczególnie widoczne jest w agrofitycenozach. Al d r i c h (1) za R i c e (34) definiuje allelopatię jako bezpośrednie lub pośrednie szkodliwe oddziaływanie jednej rośliny na drugą poprzez wytwarzanie związków chemicznych. Natomiast Z i m d a h l (61)

Tabela 4

Skład gatunkowy i liczebność diaspor chwastów na 1 m² gleby w warunkach uprawy uproszczonej (3-letnia monokultura pszenicy ozimej)

Lp.	Gatunek chwastu	Warstwa gleby (cm)							
		0-5		6-15		16-25		Σ_{0-25}	
		K*	G	K	G	K	G	K	G
Jednoliścienne (j)									
1.	Chwastnica jednostronna (<i>Apera spica-venti</i>)	3021	1771	2292	1354	825	658	6138	3783
$\Sigma_{(j)}$		3021	1771	2292	1354	825	658		
Dwuliścienne (d)									
2.	Rumian polny (<i>Anthemis arvensis</i>)	1354	729	1355	625	942	629	3651	1983
3.	Fiołek polny (<i>Viola arvensis</i>)	4813	2146	5125	3229	1833	975	11771	5350
4.	Komosa biała (<i>Chenopodium album</i>)	625	65	1875	75	1992	145	4492	285
5.	Mak polny (<i>Papaver rhoeas</i>)	729	208	1250	313	729	125	2708	646
6.	Jasnota purpurowa (<i>Lamium purpureum</i>)	625	26	521	–	417	–	1563	26
7.	Bniec biały (<i>Melandrium album</i>)	313	521	833	311	104	98	1250	930
8.	Chaber bławatek (<i>Centaurea cyanus</i>)	3979	1875	2292	833	938	729	7209	3437
9.	Przetacznik perski (<i>Veronica persica</i>)	104	–	102	–	–	–	206	–
10.	Bodziszek drobny (<i>Geranium pusillum</i>)	313	–	208	–	101	–	622	–
11.	Gwiazdnica pospolita (<i>Stellaria media</i>)	104	74	114	–	–	–	218	74
$\Sigma_{(d)}$		12959	5674	14675	5386	7056	2701	33690	13731
$\Sigma_{(j)} + \Sigma_{(d)}$		15980	7445	16967	6740	7881	3359	39828	17514

* objaśnienia jak w tab. 3.

Źródło: Sekutowski i Rola, 2008 (44).

określa allelopatię jako wpływ (dodatni lub ujemny) jednej rośliny na wzrost i rozwój innej poprzez wydzielanie chemicznych substancji zarówno przez żywe, jak i martwe tkanki. Dzięki odkryciu allelopatii możliwe stało się wyjaśnienie niektórych zjawisk występujących w agroflocenie, takich jak: sukcesja, dominacja, kompensacja, wzajemne oddziaływanie roślin na siebie lub „zmęczenie gleby” (1, 8). Związki allelopacyjne wydzielane przez chwasty do środowiska glebowego wpływają negatywnie na rośliny uprawne (1). Z punktu widzenia praktycznego dla rolników znacznie ważniejsze jest jednak oddziaływanie odwrotne, czyli wpływ (dodatni lub ujemny) rośliny uprawnej na różne gatunki chwastów (15, 34). Według Stupnickiej - Rodzyńskiej (48) allelochemiczne związki wydzielane przez żyto powodują redukcję wschodów niektórych gatunków chwastów.

W badaniach własnych podjęto próbę określenia wpływu dwóch stężeń wodnych wyciągów ze świeżej masy części nadziemnych, korzeni oraz gleby okółoryzosferowej rocznych oraz dwuletnich roślin mozgi trzcinowatej (*Phalaris arundinacea*) na zdolność kiełkowania gorczycy białej (*Sinapis alba*). Używano do tego celu zmodyfikowanego mikrobiotestu – Phytotoxkit. Najsilniejszy efekt inhibicyjny na zdolność kiełkowania gorczycy białej stwierdzono dla wyciągu sporządzonego z liści mozgi trzcinowatej (tab. 5). Potencjał allelopatyczny wyciągów wodnych otrzymanych z korzeni oraz z gleby okółoryzosferowej był istotnie mniejszy. Stężenie wyciągu sporządzonego z korzeni oraz z gleby okółoryzosferowej mozgi (*Phalaris arundinacea*) w mniejszym stopniu różnicowało zdolność kiełkowania gorczycy niż wiek roślin mozgi. Silniejszą redukcję zdolności kiełkowania obserwowano po aplikacji wyciągu sporządzonego z rocznych roślin mozgi trzcinowatej (gleba, korzenie).

Badania naukowe powinny bardziej koncentrować się na wykorzystaniu zjawiska allelopatii w walce z chwastami (46). Wykorzystując do tego celu biotechnologię w połączeniu z inżynierią genetyczną możliwe będzie „stworzenie” odmian roślin uprawnych produkujących „naturalne herbicydy” (1, 61). Z punktu widzenia ekonomii praktyczniejsze będzie „wyprodukowanie” roślin, które będą posiadały kompleksowe zdolności do samoobrony poprzez wytwarzanie odpowiednich biocydów wykorzystujących naturalne substancje chemiczne (np. alkaloidy, fitoaleksyny) syntetyzowane przez zmienioną biotechnologicznie roślinę (29).

Tabela 5

Wpływ wyciągu wodnego z mozgi trzcinowatej (*Phalaris arundinacea*) na zdolność kiełkowania nasion gorczycy białej (*Sinapis alba*)

Obiekt	Wiek rośliny*	Poziom stężenia wyciągu wodnego**	Zdolność kiełkowania gorczycy białej*** (%)
Gleba spod mozgi	I	K	98a
		1	87b
		2	80c
	II	1	88b
		2	85bc
Korzenie mozgi	I	K	98a
		1	86b
		2	80c
	II	1	87b
		2	85bc
Liście mozgi	I	K	98a
		1	88b
		2	68d
	II	1	78c
		2	64d

* I – jednoroczna, II – dwuletnia,

** K – kontrola (woda), 1 – poziom stężenia niższy, 2 – poziom stężenia wyższy

*** liczby oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie

Źródło: Sekutowski i Bortniak, 2009 (45).

Podsumowanie

Na pełną charakterystykę zachwaszczenia plantacji składają się dwa czynniki – zbiorowisko chwastów występujące w łanie rośliny uprawnej i nasiona chwastów w glebie, tworzące glebowy bank nasion. Większość nasion chwastów po opuszczeniu rośliny matecznej trafia na powierzchnię gleby lub w wyniku działania różnych czynników zewnętrznych może być przemieszczana w głąb profilu glebowego. Nasiona, które nie są w stanie wykiełkować zaraz po opuszczeniu rośliny matecznej powiększają istniejący bank nasion.

Glebowy bank nasion chwastów reprezentuje zarówno zbiorowiska przeszłe, teraźniejsze, jak i przyszłe. Bogactwo gatunkowe i liczba nasion chwastów w glebach ornych zależą od typu gleby i jej właściwości fizykochemicznych, czynników klimatycznych, a także od działalności człowieka.

Długowieczność nasion związana jest z ich zdolnością do zapadania w spoczynek (diapauzę), który dzielimy na fizjologiczny, fizyczny, kombinowany, morfologiczny i morfofizjologiczny. Zapadanie i wychodzenie ze spoczynku zachodzi cyklicznie i obejmuje okres kilku, a nawet kilkunastu lat. Nasiona znajdujące się w glebie zapewniają ciągłość występowania poszczególnych gatunków chwastów w danym siedlisku, pomimo stosowania przez człowieka bardzo wielu zabiegów ograniczających ich dalszy wzrost, rozwój i występowanie. Redukowanie wielkości glebowego banku nasion chwastów może odbywać się poprzez hamowanie dopływu nowych diaspor, jak również w wyniku ograniczania zachwaszczenia łanu rośliny uprawnej. Obecnie najsukuteczniejszą metodą ograniczającą wielkość glebowego banku nasion jest łączne stosowanie różnych zabiegów agrotechnicznych z odpowiednio dobranymi herbicydami.

Literatura

1. Aldrich R. J.: *Ekologia chwastów w roślinach uprawnych. Podstawy zwalczania chwastów*. Wyd. Towarzystwo Chemii i Inżynierii Ekologicznej, Opole, 1997, ss. 461.
2. Ambrosio L., Dorado J., Del Monte J. P.: Assessment of the ample size to estimate the weed seedbank in soil. *Weed Res.*, 1997, **37**: 129-137.
3. Ambrosio L., Iglesias L., Marin C., Del Monte J. P.: Evaluation of sampling methods and assessment of the sample size to estimate the weed seedbank in soil, taking into account spatial variability. *Weed Res.*, 2004, **44**: 224-236.
4. Baskin J. M., Baskin C. C.: The annual dormancy cycle in buried weed seeds: a continuum. *Bioscience*, 1985, **25**: 492-498.
5. Baskin J. M., Baskin C. C.: Physiology of dormancy and germination in relation to seed bank ecology. *Ecology of soil seed banks*. Ed. M. A. Leck, W. T. Parker, R. L. Simpson. London, Academic Press, 1989, 53-66.
6. Benecch-Arnold R. L., Sanchez R. A., Forcella F., Kruk B. C., Ghersa C. M.: Environmental control of dormancy in weed seed banks in soil. *Field Crops Res.*, 2000, **67**: 105-122.
7. Bochenek A.: Ekofizjologiczne uwarunkowania dynamiki glebowego banku nasion chwastów. *Post. Nauk Rol.*, 1998, **6**: 83-100.
8. Bochenek A.: Wpływ czynników biotycznych i zabiegów uprawowych na glebowy bank nasion chwastów. *Post. Nauk Rol.*, 2000, **2**: 19-29.

9. Buhler D. D., Maxwell B. D.: Seed separation and enumeration from soil using K_2CO_3 – centrifugation and image analysis. *Weed Sci.*, 1993, **41**: 298-302.
10. Buhler D. D., Kohler K. A., Thompson R. L.: Weed seed bank dynamics during a five-year crop rotation. *Weed Techn.*, 2001, **15**: 170-176.
11. Cardina J., Sparrow D. H.: A comparison of methods to predict weed seedling populations from the soil seedbank. *Weed Sci.*, 1996, **44**: 46-51.
12. Cavers P. B., Benoit D. L.: Seed banks in arable land. *Ecology of soil seed banks*. Ed. Leck M. A., Parker W. T., Simpson R. L. London, Academic Press, 1989, 309-328.
13. Cavers P. B.: Seed banks: memory in soil. *Can. J. Soil Sci.*, 1995, **75**: 11-13.
14. Davis A. S., Renner K. A., Gross K. L.: Weed seedbank and community shifts in a long-term cropping systems experiment. *Weed Sci.*, 2005, **53**: 296-306.
15. Duer I.: Potencjał allelopatyczny biomasy niektórych gatunków chwastów w stosunku do siewek pszenicy ozimej (*Triticum aestivum* var. *vulgare*). *Fragm. Agron.*, 1996, **2**: 6-56.
16. Domaradzki K., Rola H.: Wpływ długoletniej uprawy roślin zbożowych na dynamikę zachwaszczenia pola. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2002, **42(1)**: 228-233.
17. Dyer W. E.: Exploiting weed seed dormancy and germination requirements through agronomic practices. *Weed Sci.*, 1995, **43**: 498-503.
18. Falińska K., Jankowska-Błaszczuk M., Szidłowska J.: Bank nasion w glebie a dynamika roślinności. *Wiad. Bot.*, 1994, **38(1/2)**: 35-46.
19. Fenner M.: The induction of the parent environment on seed germeability. *Seed Sci. Res.*, 1991, **1**: 75-84.
20. Forcella F., Eradat-Oskoui K., Wagner S. W.: Application of weed seedbank ecology to low-input crop management. *Ecol. Appl.*, 1993, **3(1)**: 74-83.
21. Grubb P. J.: The uncoupling of disturbance and requirement, two kinds of seed bank and persistence of plant populations at the regional and local scales. *Ann. Zool. Fenn.*, 1988, **25**: 23-36.
22. Gross K. L., Renner K. A.: A new method for estimating seed numbers in the soil. *Weed Sci.*, 1989, **37**: 836-839.
23. Gross K. L.: A comparison of methods for estimating seed numbers in the soil. *Journal Ecol.*, 1990, **78**: 1079-1093.
24. Grzesiuk S., Kulka K.: Fizjologia i biochemia nasion. PWRiL Warszawa, 1981, ss. 606.
25. Harper J. L.: Population biology of plants. New York, Academic Press, 1977, pp. 892.
26. Hoffman M. L., Owen M. D. K., Buhler D. D.: Effects of crop and weed management on density and vertical distribution of weed seeds in soil. *Agron. J.*, 1998, **90**: 793-799.
27. Jørgensen B., Rasmussen K., Hill J., Christiansen J. L.: Influence of nitrogen on competition between cereals and their natural weed populations. *Weed Res.*, 1996, **36**: 461-470.
28. Kwiecińska E., Malicki L.: Plenność *Amaranthus retroflexus* L., *Chenopodium album* L. oraz *Echinochloa crus-galli* L. w różnych siedliskach. *Pam. Puł.*, 2002, **129**: 169-174.
29. Malepszy S.: Biotechnologia roślin. PWN Warszawa, 2001, ss. 608.
30. Menges R. M.: Tweed seed population dynamic during six years of tweed management systems in crop rotations on irrigated soil. *Weed Sci.*, 1987, **35**: 328-332.
31. Moonen A. C., Barberi P.: Size and composition of the weed seedbank after 7 years of different cover-crop-maize management systems. *Weed Res.*, 2004, **44**: 163-177.
32. Opic J.: Wpływ głębokości orki i siewu bezpośredniego na liczbę nasion chwastów w glebie. *Rocz. Nauk Rol.*, 1996, **112(1-2)**: 113-121.
33. Pawłowski F.: Liczebność i skład gatunkowy nasion chwastów w ważniejszych glebach województwa lubelskiego. *Ann. UMCS, E*, 1963, **18(8)**: 125-154.
34. Rice E. L.: Allelopathy – an update. *Bot. Rev.*, 1979, **45**: 15-109.
35. Roberts H. A.: Seed banks in soils. *Adv. Appl. Biol.*, 1981, **6**: 1-55.
36. Rola J.: Przyczyny i skutki zjawisk kompensacji chwastów w roślinach uprawnych. *Biul. IOR Poznań*, 1969, **44**: 409-424.
37. Rola J., Rola H.: Strategia postępu w herbologii. *Prog. Plant Prot./ Post. Ochr. Rośl.*, 1997, **37(1)**: 66-71.

38. R o l a H., R o l a J.: Badania nad występowaniem chwastów odpornych na triazyny na Dolnym Śląsku. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 1999, **39(1)**: 372-378.
39. R o l a H., R o l a J.: Pozytywne i negatywne aspekty stosowania herbicydów w uprawach rolniczych w Polsce w latach 1950–2000. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2001, **41(1)**: 47-57.
40. R o l a H.: Ekologiczne i produkcyjne aspekty ochrony roślin przed chwastami. Pam. Puł., 2002, **130**: 635-645.
41. R o l a H., M a r c z e w s k a K.: Biotypy chwastów odporne na chlorosulfuron w rejonie Wrocławia. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2002, **42(2)**: 575-577.
42. S e k u t o w s k i T.: Typ gleby a zasobność banku nasion. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2009, **49(3)**: 1379-1382.
43. S e k u t o w s k i T.: Wpływ systemów uprawy na liczbę i występowanie nasion chwastów w glebie. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2009, **543**: 175-180.
44. S e k u t o w s k i T., R o l a H.: Wpływ chlorosulfuronu i uproszczeń w uprawie roli na zapas diaspor chwastów w glebie. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2008, **48(2)**: 660-664.
45. S e k u t o w s k i T., B o r t n i a k M.: Wykorzystanie mikrobiotestu Phytotoxkit w wykrywaniu potencjału allelopatycznego mozgi trzcinowatej (*Phalaris arundinacea*). J. Res. Appl. Agric. Eng., 2009, **54(4)**: 88-93.
46. S o b ó t k a W.: Alleloherbicydy wczoraj i dziś. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 1997, **37(1)**: 50-58.
47. S y m o n i d e s E.: Bank nasion jako element strategii reprodukcji terofitów. Wiad. Ekol., 1989, **2**: 107-144.
48. S t u p n i c k a - R o d z y n k i e w i c z E.: Zjawiska allelopatii między niektórymi roślinami uprawnymi i chwastami. Acta Agraria, 1970, **10(2)**: 75-106.
49. S t e v e n s o n F. C., J o h n s t o n A. M., B r a n d t S. A., T o w n l e y - S m i t h L.: An assessment of reduced herbicide and fertilizer inputs on cereal grain yield and weed growth. Am. J. Alter. Agric., 2000, **15(2)**: 60-67.
50. S z u l c P., M e n z e l L., D u b a s A.: Wpływ uproszczeń w uprawie roli na stan zachwaszczenia kukurydzy uprawianej w monokulturze. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2005, **45(2)**: 1137-1140.
51. S z y m o n a J.: Zachwaszczenie ładu pszenicy ozimej w różnych warunkach deszczowania i nawożenia azotem. Fragm. Agron., 1992, **2**: 69-74.
52. W e s o ł o w s k i M.: Zapas nasion chwastów w niektórych glebach południowo-wschodniej i środkowej Polski. Cz. I. Gleby bielcowe. Ann. UMCS, 1982, E, **37(2)**: 9-22.
53. W e s o ł o w s k i M.: Zawartość nasion chwastów w ważniejszych glebach makroregionu południowo-wschodniej i środkowej Polski. Rocz. Nauk Rol., 1984, A, **106(1)**: 169-183.
54. W r z e s i ń s k a E., D z i e n i a S., W e r e s z c z a k a J.: Wpływ systemów uprawy roli na ilość i rozmieszczenie nasion chwastów w glebie. Acta. Sci. Pol. Agric., 2003, **2(1)**: 169-175.
55. W i t k o w s k i F.: Wpływ wieloletnich uproszczeń uprawy roli na liczbę i rozmieszczenie nasion chwastów w glebie. Post. Nauk Rol., 1998, **1**: 31-40.
56. Y e n i s h J. P., D o l l J. D., B u h l e r D. D.: Effects of tillage on vertical distribution and viability of weed seed in soil. Weed Sci., 1992, **40**: 429-433.
57. V a n a s s e A., L e r o u x G. D.: Floristic diversity, size, and vertical distribution of the weed seedbank in ridge and conventional tillage systems. Weed Sci., 2000, **48**: 454-460.
58. T h o m p s o n K., G r i m e J. P.: Seasonal variation in the seed banks of herbaceous species in ten contrasting habitats. J. Ecol., 1979, **67**: 893-921.
59. T h o m p s o n K.: Small – scale heterogeneity in the seed banks of an acidic grassland. J. Ecol., 1986, **74**: 733-738.
60. Z a w i e j a J., K o r d a s L.: Wpływ uproszczeń w uprawie roli i siewu bezpośredniego na zapas diaspor chwastów w glebie. Acta. Sci. Pol. Agric., 2003, **2(2)**: 163-170.
61. Z i m d a h l R. C.: Fundamentals of weed science. New York, Academic Press, 1999, pp. 556.

Adres do korespondencji:

dr Tomasz Sekutowski
IUNG-PIB
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli
ul. Orzechowa 61
50-540 Wrocław
tel.: (71) 363-87-07 w. 124
e-mail: t.sekutowski@iung.wroclaw.pl

Jerzy Sadowski, Marek Badowski, Mariusz Kucharski

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

PRZYDATNOŚĆ HERBICYDÓW DO REGULACJI ZACHWASZCZENIA NA TRWAŁYCH UŻYTKACH ZIELONYCH*

Wstęp

Ponad 20% użytków rolnych w Polsce stanowią trwałe użytki zielone. Wykorzystywane jako łąki kośne i pastwiska lub w systemie przemiennym kośno-pastwiskowym stanowią cenne źródło pasz objętościowych dla zwierząt gospodarskich. Zbiorowiska trawiaste na tych terenach nie mogą być zastąpione nawet przez najcenniejsze gatunki roślin z innych rodzin. W produkcji wartościowych pasz objętościowych trawy mogą dawać najwyższe plony masy nadziemnej o bogatym składzie chemicznym zarówno pod względem zawartości składników organicznych, jak i mineralnych (4). Łatwość produkcji pasz na zbiorowiskach trawiastych, wysoka opłacalność nakładów ponoszonych na nawożenie i nawadnianie przyczyniają się do ich powszechnego wykorzystania, zwłaszcza dla pastwiskowego żywienia zwierząt.

Potencjał produkcyjny trwałych użytków zielonych znacznie przekracza uzyskiwane z nich plony. Nasze łąki mogłyby dostarczać znacznie więcej i w dodatku dużo lepszej paszy objętościowej, jednak według bieżących obserwacji ponad połowa łąk i pastwisk to użytki zdegradowane i wymagające odnowienia, a około 30% z nich to użytki niskoprodukcyjne o dużym stopniu degradacji, na których dochodzi do masowego przepadania cennych gatunków traw i motylkowatych oraz powiększania się powierzchni niepokrytych roślinnością, na które wchodzi konkurencyjne chwasty. Te niekorzystne procesy przyczyniają się do zmniejszania plonów zielonej masy i pogarszania jej wartości pokarmowej. Głównymi przyczynami degradacji użytków zielonych są:

- brak lub niewłaściwe nawożenie mineralne,
- zaniechanie zbiegów pielęgnacyjnych,
- niewłaściwe zastosowanie płynnych nawozów organicznych (gnojowicy),
- okresowe zalewy i powiązany z nimi niedobór tlenu w glebie,
- długotrwałe okresy suszy hamujące wzrost płytko korzeniących się traw,
- zbyt późne koszenie i wiosennego odrostu,

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

- wieloletnie jednostronne użytkowanie kośne lub pastwiskowe.

Wszystkie wyżej wymienione powody degradacji sprzyjają pojawianiu się na użytkach zielonych chwastów i zwiększaniu zajmowanej przez nie powierzchni w runi. Do szczególnie uciążliwych chwastów dwuliściennych występujących na łąkach i pastwiskach należą: mniszek lekarski (*Taraxacum officinale*), szczaw (szczaw zwyczajny – *Rumex acetosa*, szczaw polny – *R. acetosella*, szczaw kędzierzawy – *R. crispus*, szczaw tępolistny – *R. obtusifolius*), pokrzywa zwyczajna (*Urtica dioica*), krwawnik pospolity (*Achillea millefolium*), ostrożeń polny (*Cirsium arvense*) i inne (1). Wymienione gatunki charakteryzują się z reguły dobrze rozwiniętym oraz często głęboko sięgającym systemem korzeniowym (5). Chwasty te, trudne do wyeliminowania metodą mechaniczną, można z powodzeniem zwalczać za pomocą niektórych herbicydów (2). Jednak jak dotąd brakuje szerszych opracowań z tego zakresu.

Wpływ na odrastanie uciążliwych chwastów dwuliściennych na trwałych użytkach zielonych mają takie czynniki, jak:

- rodzaj pielęgnacji (mechaniczna, mechaniczno-chemiczna)
- stopień zachwaszczenia użytków zielonych chwastami dwuliściennymi,
- optymalny dobór herbicydów (dawki preparatów, termin stosowania).

W powiązaniu z tymi czynnikami dużej wagi nabiera obecnie zagadnienie kontroli poziomu pozostałości herbicydów stosowanych do niszczenia chwastów w roślinach uprawnych.

Podjęte badania miały na celu określenie skuteczności zwalczania uciążliwych chwastów dwuliściennych na użytkach zielonych metodą mechaniczną (koszenie) oraz metodą mechaniczno-chemiczną (koszenie w połączeniu z zabiegami herbicydowymi). Ważnym aspektem badań było określenie właściwej dawki herbicydu w zależności od danego gatunku chwastu, jego fazy rozwojowej oraz terminu zastosowania preparatów, a także określenie w roślinach pozostałości stosowanych herbicydów.

Metodyka badań

Badania realizowano w latach 2004–2006 w Zakładzie Ekologii i Zwalczania Chwastów IUNG-PIB we Wrocławiu. Doświadczenia prowadzono na polach produkcyjnych, na terenie woj. dolnośląskiego. Jedną serię doświadczeń przeprowadzono na trwałym użytku zielonym zlokalizowanym na mniej zasobnych glebach brunatnych, zaliczanych do IV kompleksu przydatności rolniczej, w miejscowości Mojęcice. Drugą serię doświadczeń prowadzono na zasobnych czarnych ziemiach wrocławskich w Osobowicach.

Zabiegi herbicydowe wykonywano w dwóch terminach: wiosennym i letnim. Ogółem przeprowadzono 12 doświadczeń (po 6 w Mojęcicach i w Osobowicach). Wszystkie doświadczenia były założone metodą losowanych bloków, w trzech powtórzeniach, na poletkach o powierzchni 25 m². Badaniami objęto 4 herbicydy, których charakterystykę przedstawiono w tabeli 1.

Herbicydy aplikowano za pomocą opryskiwacza poletkowego ze stałym ciśnieniem roboczym wynoszącym 0,25 MPa i wydatkiem cieczy użytkowej wynoszącym

Tabela 1

Charakterystyka herbicydów stosowanych w badaniach własnych

Lp.	Herbicyd	Substancja aktywna	Zawartość substancji aktywnej w preparacie	Dawki preparatu stosowane w doświadczeniach
1.	Fernando 225 EC	chlorypyralid fluroksypyr trichlopyr	50 g · l ⁻¹ 75 g · l ⁻¹ 100 g · l ⁻¹	2-4 g · ha ⁻¹
2.	Starane 250 EC	fluroksypyr	250 g · l ⁻¹	1,2 g · ha ⁻¹
3.	Chwastox Extra 300 SL	MCPA	300 g · l ⁻¹	4,5 g · ha ⁻¹
4.	Glean 75 WG	chlorosulfuron	75%	20 g · ha ⁻¹
5.	Aminopielik D 450 SL	2,4-D dikamba	417,5 g · l ⁻¹ 32,5 g · l ⁻¹	3 g · ha ⁻¹

Źródło: opracowanie własne.

250 l · ha⁻¹. Na obiektach kontrolnych wykonywano zabiegi wykaszania roślin. Przed zabiegami herbicydowymi określano stopień pokrycia gleby chwastami metodą szacunkową (agrofitosocjologiczną w %).

Po upływie 7, 14 i 28 dni od zabiegu wykonywano analizy bonitacyjne fitotoksyczności herbicydów dla roślin uprawnych (traw) w skali 9°, gdzie 1 – brak reakcji na herbicyd, 9 – całkowite zniszczenie rośliny uprawnej. Skuteczność działania herbicydów określano na podstawie stopnia zniszczenia poszczególnych gatunków chwastów (%), które oceniano metodą szacunkową po upływie 7, 14, 28 i 56 dni od zabiegów.

W trawach i wybranych gatunkach chwastów przeprowadzono badania poziomu pozostałości takich substancji aktywnych, jak: chlorypyralid, 2,4-D, dikamba, fluroksypyr i MCPA. Próby do analiz pozostałości herbicydów pobierano głównie w czasie pierwszego pokosu (około miesiąca po aplikacji herbicydów). Pozostałości oznaczano metodą chromatografii gazowej (3, 6-8).

Charakterystyki metod analitycznych podano w tabeli 2.

Tabela 2

Charakterystyki metod analitycznych oznaczania pozostałości substancji aktywnych

Substancja aktywna	Nazwa chemiczna	Wykrywalność (ng)	Oznaczalność (mg · kg ⁻¹)
Chlorypyralid	kw. 3,6-dichloropirydyno-2-karboksylowy	0,01	0,002
2,4-D	kw. 2,4-dichlorofenoksyoctowy	0,01	0,002
Dikamba	kw. 3,6-dichloro-2-metoksybenzoesowy	0,01	0,002
Fluroksypyr	kw. 4-amino-3,5-dichloro-6-fluoro-2-pirydyloksyoctowy	0,10	0,002
MCPA	kw. 2-metylo-4-chlorofenoksy octowy	0,80	0,010

Źródło: opracowanie własne.

Zasada oznaczania pozostałości metodami analitycznymi wyżej wymienionych substancji aktywnych polega na ekstrakcji materiału roślinnego acetonitrylem w środowisku kwaśnym, reekstrakcji dichlorometanem z wykorzystaniem zmiany pH, odparowaniu ekstraktu i derywatyzacji do formy estru (butylowy, metylowy lub chloroetylowy). Otrzymane estry oczyszczano metodą chromatografii kolumnowej lub techniki SPE. Frakcję zawierającą pozostałości oznaczano na chromatografie gazowym.

Wyniki badań

Ocena stanu zachwaszczenia i skuteczności zwalczania chwastów

Prowadzone w pierwszym etapie badań obserwacje zachwaszczenia na trwałych użytkach zielonych wskazywały jednoznacznie na duży udział w zbiorowiskach traw uprawnych niepożądanych gatunków dwuliściennych należących do uporczywych wieloletnich chwastów, trudnych do wyeliminowania ze składu zbiorowisk użytków zielonych metodami konwencjonalnymi, takimi jak np. zabiegi wykaszania roślin.

Do typowych dwuliściennych gatunków chwastów występujących na użytkach zielonych w miejscowości Mojęcice (w rejonie gleb słabych zaliczanych do IV i V kompleksu przydatności rolniczej) należały: mniszek lekarski (*Taraxacum officinale*), krwawnik pospolity (*Achillea millefolium*), babka zwyczajna (*Plantago mayor*), babka średnia (*P. media*) i babka lancetowata (*P. lanceolata*), ostrożeń polny (*Cirsium arvense*), szczaw zwyczajny (*Rumex acetosa*), marchew zwyczajna (*Daucus carota*); (tab. 3). Natomiast na znacznie zasobniejszych czarnych ziemiach wrocławskich w dzielnicy Wrocławia Osobowice zachwaszczenie użytków zielonych miało odmienny charakter, gdyż na tym terenie powszechnie występującymi gatunkami chwastów dwuliściennych były: mniszek lekarski (*Taraxacum officinale*), szczaw kędzierzawy (*Rumex crispus*), pokrzywa zwyczajna (*Urtica dioica*), szczwół plamisty (*Conium maculatum*) i ostrożeń polny (*Cirsium arvense*).

Zabiegi pielęgnacyjne wykaszania roślin, które prowadzono na obiektach kontrolnych nie dawały w rezultacie prawie żadnego widocznego efektu skutecznego zniszczenia chwastów wieloletnich (mniszek lekarski, krwawnik pospolity, szczaw kędzierzawy, pokrzywa zwyczajna, babka zwyczajna, babka średnia i babka lancetowata, ostrożeń polny, szczaw zwyczajny, marchew zwyczajna). Po okresowym usunięciu zielonych nadziemnych części tych chwastów w krótkim okresie po skoszeniu szybko odrastały i ponownie zagłuszyły rośliny uprawne. Częste koszenie osłabia rośliny uprawne w wyniku czego szlachetne gatunki traw wypierane są ze zbiorowiska przez znacznie bardziej konkurencyjne gatunki chwastów dwuliściennych (2).

Podstawowe problemy występujące na trwałych użytkach zielonych związane są z trudnością mechanicznego zwalczania chwastów należących do wieloletnich gatunków dwuliściennych, zwykle głęboko korzeniących się. Powoduje to konieczność poszukiwania skutecznych herbicydów do zwalczania tej grupy chwastów. Podstawowe różnice w skuteczności zwalczania chwastów zależały od rodzaju użytego herbicydu, również zastosowana dawka preparatu miała wpływ na skuteczność niszczenia

Tabela 3

Średni stopień pokrycia gleby przez rośliny uprawne i chwasty* (%)

Mojęcice – termin wiosenny (2004)									
GR	ALOPR	DACGL	POAPR	TAROF	RANAR	ACHMI	TRFRE	CIRAR	PLAMA
77-79	33-42	2-3	55-62	53-57	4-9	6-11	5-7	1-2	1-3

Mojęcice – termin letni (2004)										
GR	ALOPR	DACGL	POAPR	TAROF	ACHMI	TRFRE	PLAMA	RANAR	CIRAR	DAUCA
76-78	37-42	2-3	55-56	33-37	6-17	6-9	2-5	1-2	1-1	1

Osobowice – termin wiosenny (2004)									
GR	ALOPR	DACGL	POAPR	TAROF	RUMCR	URTDI	CIRAR	COIMA	ACHMI
80-82	8-22	10-22	65-73	40-45	3-5	12-15	3-5	3-4	2-3

Osobowice – termin letni (2004)									
GR	ALOPR	DACGL	POAPR	TAROF	RUMCR	URTDI	CIRAR	COIMA	ACHMI
78-79	10-16	14-20	63-69	30-35	5-8	21-25	4-7	6-7	3-5

Osobowice – termin wiosenny (2005)								
GR	TAROF	URTDI	CIRAR	RANAR	RUMCR	GALAP	COIMA	
79-83	18-21	15-21	8-9	5-6	4-6	4-5	2-3	

Osobowice – termin letni (2005)							
GR	TAROF	URTDI	CIRAR	RANAR	RUMCR	GALAP	COIMA
76-78	25-28	22-24	5-7	3-4	6-8	5-6	6-7

* GR – trawy

ACHMI – *Achillea millefolium*ALOPR – *Alopecurus pratensis*CIRAR – *Cirsium arvense*COIMA – *Conium maculatum*DACGL – *Dactylis glomerata*DAUCA – *Daucus carota*GALAP – *Galium aparine*POAPR – *Poa pratensis*PLAMA – *Plantago major*RANAR – *Ranunculus arvensis*RUMCR – *Rumex crispus*TAROF – *Taraxacum officinale*TRFRE – *Trifolium repens*URTDI – *Urtica dioica*

Źródło: opracowanie własne.

zachwaszczenia, co widać na przykładzie preparatu Fernando 225 EC stosowanego w dawkach 2, 3 i 4 l · ha⁻¹. Wyniki badań przedstawiono w tabelach 4-8.

Zwalczanie chwastów

Mniszek lekarski (*Taraxacum officinale*) jako jeden z najpospolitszych gatunków chwastów użytków zielonych był skutecznie zwalczany przez herbicydy Fernando 225 EC w dawkach 2, 3 i 4 kg · ha⁻¹ oraz Starane 250 EC w dawce 1,2 kg · ha⁻¹

(tab. 4). Natomiast Aminopielik D 450 SL w dawce $3 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ dobrze zwalczał ten gatunek chwastu w okresie do 4 tygodni po aplikacji. Mniejszą skuteczność wykazał herbicyd Chwastox Extra 300 SL w dawce $4,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, a Glean 75 WG w dawce $20 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$ okazał się nieskuteczny w zwalczaniu tego gatunku chwastu.

Tabela 4

Skuteczność zwalczania mniszka lekarskiego (*Taraxacum officinale*); (średnie z lat 2004–2006)

Herbicyd	Dawka na 1 ha	Stopień zniszczenia chwastów (%)			
		liczba dni po zabiegu			
		7	14	28	56
Kontrola (pielęgnacja mechaniczna)	-	100	80	20	0
Fernando 225 EC	2 l	50	68	86	99
Fernando 225 EC	3 l	56	72	90	100
Fernando 225 EC	4 l	62	78	96	100
Starane 250 EC	1,2 l	45	71	85	85
Chwastox Extra 300 SL	4,5 l	31	52	61	60
Glean 75 WG	20 g	20	25	45	53
Aminopielik D 450 SL	3 l	42	65	85	78

Źródło: badania własne.

Szczaw kędzierzawy (*Rumex crispus*) to gatunek, który zasiedla wilgotne i zasobne łąki; powoduje duże straty przez zajmowanie dużych powierzchni, szczególnie przy masowym występowaniu. W doświadczeniach występował w miejscowości Osobowice i był bardzo dobrze zwalczany przez herbicyd Fernando 225 EC w dawkach 2, 3 i $4 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$, natomiast Starane 250 EC w dawce $1,2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ działał na ten gatunek tylko trochę słabiej od Fernando 225 EC zastosowanego w dawce $2 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ (tab. 5). Herbicydy Aminopielik D 450 SL w dawce $3 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$, Chwastox Extra 300 SL w dawce $4,5 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ oraz Glean 75 WG w dawce $20 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$ wykazały się średnią skutecznością, osiągając 70-75% zniszczenia szczawiu kędzierzawego.

Tabela 5

Skuteczność zwalczania szczawiu kędzierzawego (*Rumex crispus*); (średnie z lat 2004–2006)

Herbicyd	Dawka na 1 ha	Stopień zniszczenia chwastów (%)			
		liczba dni po zabiegu			
		7	14	28	56
Kontrola (pielęgnacja mechaniczna)	-	100	90	45	0
Fernando 225 EC	2 l	50	62	98	95
Fernando 225 EC	3 l	63	73	100	100
Fernando 225 EC	4 l	71	82	100	100
Starane 250 EC	1,2 l	55	62	86	88
Chwastox Extra 300 SL	4,5 l	45	55	75	70
Glean 75 WG	20 g	20	28	68	75
Aminopielik D 450 SL	3 l	50	58	78	75

Źródło: badania własne.

Ostrożeń polny (*Cirsium arvense*) jest gatunkiem bardzo pospolitym na polach uprawnych, jak i zaniedbanych użytkach zielonych, bardzo trudnym do skutecznego wytopienia i mało wrażliwym na mechaniczne metody zwalczania (5). Wysoką skuteczność zwalczania tego gatunku osiągnięto jedynie po zastosowaniu herbicydu Fernando 225 EC w dawce $4 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ (tab. 6). Dobre działanie na ostrożnia polnego obserwowano również na obiektach, gdzie stosowano Fernando 225 EC w dawce $3 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ i Aminopielik D 450 SL w dawce $3 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$. Chwastox Extra 300 SL w dawce $4,5 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ działał na ten gatunek ze średnią skutecznością, natomiast Starane 250 EC w dawce $1,2 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ i Glean 75 WG w dawce $20 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$ okazały się nieskuteczne.

Tabela 6

Skuteczność zwalczania ostrożnia polnego (*Cirsium arvense*); (średnie z lat 2004–2006)

Herbicyd	Dawka na 1 ha	Stopień zniszczenia chwastów (%)			
		liczba dni po zabiegu			
		7	14	28	56
Kontrola (pielęgnacja mechaniczna)	-	100	95	45	0
Fernando 225 EC	2 l	42	61	72	70
Fernando 225 EC	3 l	59	72	88	83
Fernando 225 EC	4 l	70	78	95	91
Starane 250 EC	1,2 l	35	43	48	45
Chwastox Extra 300 SL	4,5 l	35	50	67	75
Glean 75 WG	20 g	25	37	55	50
Aminopielik D 450 SL	3 l	40	52	72	80

Źródło: badania własne.

Krwawnik pospolity (*Achillea millefolium*) jest gatunkiem występującym powszechnie na zaniedbanych terenach zielonych, użytkach porolnych, odłogach itp. (5). W prowadzonych badaniach dużą skuteczność zwalczania krwawnika pospolitego osiągnięto po zastosowaniu herbicydu Fernando 225 EC w dawkach 3 i $4 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ (tab. 7). Znacznie słabiej (70% zniszczenia) działał Fernando 225 EC w dawce $2 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ i Aminopielik D 450 SL w dawce $3 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$. Pozostałe preparaty, takie jak Starane 250 EC w dawce $1,2 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$, Chwastox Extra 300 SL w dawce $4,5 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ i Glean 75 WG w dawce $20 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$ były nieskuteczne, gdyż uzyskano tylko 45-63% zniszczenia tego gatunku chwastu.

Pokrzywa zwyczajna (*Urtica dioica*) jest gatunkiem występującym powszechnie na terenach podmokłych, wilgotnych łąkach, zaniedbanych nieużytkach itp. (5). Badane herbicydy skutecznie zwalczały ten gatunek, szczególnie Fernando 225 EC w dawkach 2, 3 i $4 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$, który całkowicie ją eliminował (tab. 8). Dobrze działały również herbicydy Starane 250 EC w dawce $1,2 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ i Aminopielik D 450 SL w dawce $3 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$, które niszczyły ten gatunek w 85-87%. Natomiast nieskuteczne okazały się herbicydy Glean 75 WG w dawce $20 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$ i Chwastox Extra 300 SL w dawce $4,5 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$, które zwalczały pokrzywę zwyczajną tylko w 43-54%.

Tabela 7

Skuteczność zwalczania krwawnika pospolitego (*Achillea millefolium*); (średnie z lat 2004–2006)

Herbicyd	Dawka na 1 ha	Stopień zniszczenia chwastów (%)			
		liczba dni po zabiegu			
		7	14	28	56
Kontrola (pielęgnacja mechaniczna)	-	100	80	30	0
Fernando 225 EC	2 l	40	45	60	72
Fernando 225 EC	3 l	40	47	65	85
Fernando 225 EC	4 l	45	52	78	98
Starane 250 EC	1,2 l	35	40	55	45
Chwastox Extra 300 SL	4,5 l	35	42	45	50
Glean 75 WG	20 g	28	35	52	63
Aminopielik D 450 SL	3 l	27	38	57	70

Źródło: badania własne.

Tabela 8

Skuteczność zwalczania pokrzywy zwyczajnej (*Urtica dioica*); (średnie z lat 2004–2006)

Herbicyd	Dawka na 1 ha	Stopień zniszczenia chwastów (%)			
		liczba dni po zabiegu			
		7	14	28	56
Kontrola (pielęgnacja mechaniczna)	-	100	80	25	0
Fernando 225 EC	2 l	78	85	98	100
Fernando 225 EC	3 l	82	91	100	100
Fernando 225 EC	4 l	87	94	100	100
Starane 250 EC	1,2 l	40	50	81	85
Chwastox Extra 300 SL	4,5 l	30	42	50	43
Glean 75 WG	20 g	10	28	45	54
Aminopielik D 450 SL	3 l	38	51	76	87

Źródło: badania własne.

Pozostałości substancji aktywnych w materiale roślinnym

Wyniki oznaczeń pozostałości przedstawiono w tabelach 9-14. W trawach z pierwszego pokosu pozostałości fluoksypiry zawierały się w przedziale 0,002-0,022 mg · kg⁻¹. Poziom pozostałości zależał w głównej mierze od dawki herbicydu (tab. 9). Wyższe pozostałości stwierdzono w przypadku stosowania dawki 4 l · ha⁻¹ Fernando 225 EC i preparatu Starane 250 EC. W obydwu przypadkach dawka fluoksypiry wynosiła 300 g · ha⁻¹. Maksymalne pozostałości chlopypyalidu sięgały wartości 0,020 mg · kg⁻¹. Pozostałości 2,4-D zawierały się w przedziale od wielkości niewykrywalnych do 0,016 mg · kg⁻¹. Na podobnym poziomie określano pozostałości dikamby, które wykryto jedynie w roku 2005 (maksymalnie sięgały wartości 0,012 mg · kg⁻¹). Tego samego rzędu były pozostałości MCPA. Maksymalne wykryte w trawach pozo-

Tabela 9

Pozostałości substancji aktywnych w trawach (lata 2003–2006)

Herbicyd	Dawka (l · ha ⁻¹)	Pozostałości (mg · kg ⁻¹)			
		2003	2004	2005	2006
		fluroksypyr			
Fernando 225 EC	2	0,016	0,008	0,002	NW*
Fernando 225 EC	4	0,020	0,020	0,022	0,004
Starane 250 EC	1,2	0,016	NW	0,010	0,004
		chlopyralid			
Fernando 225 EC	2	0,016	NW	0,002	0,014
Fernando 225 EC	4	0,020	0,020	0,012	0,016
		2,4-D			
Aminopielik D 450 SL	3	0,016	0,008	0,002	NW
		dikamba			
Aminopielik D 450 SL	3	NW	NW	0,012	NW
		MCPA			
Chwastoks Extra 300	4,5	0,01	NW	0,02	NW

* NW – nie wykryto

Źródło: badania własne.

stałości tej substancji to 0,020 mg · kg⁻¹. Nie stwierdzono większych różnic w wielkości pozostałości w poszczególnych latach prowadzenia badań, jak też w zależności od warunków siedliska (lokalizacji doświadczenia polowego).

Specyfiką użytków zielonych jest to, że w skład plonu wchodzi wszystkie rośliny, jakie rosną w momencie zbioru. Należą do nich również te chwasty, które pozostały lub odrosły po zabiegu herbicydowym. Z tego względu przeprowadzono oznaczenia pozostałości substancji aktywnych stosowanych herbicydów w wybranych chwastach. W literaturze można spotkać nieliczne doniesienia na temat pozostałości herbicydów w chwastach (3). Pozostałości wszystkich oznaczanych substancji aktywnych wykryto we wszystkich badanych gatunkach chwastów (tab. 10-14). Poziom pozostałości fluroksypiry wahał się w granicach 0,018-0,408 mg · kg⁻¹. W zdecydowanej większości przypadków pozostałości w chwastach były znacznie większe niż w trawie. Podobnie jak w przypadku trawy wielkość pozostałości wzrastała wraz z dawką herbicydu. Odnotowano również zróżnicowanie poziomu pozostałości w zależności od gatunku chwastu. Spośród przebadanych gatunków najniższe pozostałości (0,028-0,130 mg · kg⁻¹) tej substancji wykryto w mniszku pospolitym. Największe pozostałości oznaczano w szczawiu kędzierzawym (0,320-0,408 mg · kg⁻¹).

Pozostałości chlorypyralidu zawierały się w przedziale od 0,006 mg · kg⁻¹ w krwawniku pospolitym do 0,200 mg · kg⁻¹ w szczawiu kędzierzawym (tab. 11). Natomiast 2,4-D wykrywano w chwastach w granicach od 0,026 mg · kg⁻¹ w mniszku pospolitym do 0,220 mg · kg⁻¹ w szczawiu kędzierzawym (tab. 12). Najwyższy poziom pozostałości dikamby wykryto w ostrożeńiu polnym i sięgały one poziomu 0,190 mg · kg⁻¹ (tab. 13). Najmniejsze pozostałości tej substancji stwierdzono w jaskrze polnym (0,008 mg · kg⁻¹). Pozostałości MCPA wahały się w granicach od 0,020 mg · kg⁻¹ w jaskrze

Tabela 10

Pozostałości fluroksypiry w chwastach (lata 2004–2006)

Herbicyd	Dawka (l · ha ⁻¹)	Pozostałości (mg · kg ⁻¹)				
		gatunek chwastu*				
		1	2	3	4	5
2004						
Fernando 225 EC	2	0,086	0,028	0,046	0,132	0,320
Fernando 225 EC	4	0,090	0,076	0,102	0,220	0,360
Starane 250 EC	1,2	0,088	0,088	0,172	0,320	0,408
2006						
Fernando 225 EC	2	0,058	0,052	0,066	0,030	0,290
Fernando 225 EC	4	0,130	0,128	0,142	0,080	0,336
Starane 250 EC	1.2	0,168	0,130	0,108	0,240	0,380

* 1 – jaskier polny (*Ranunculus arvensis*), 2 – mniszek pospolity (*Taraxacum officinale*), 3 – krwawnik pospolity (*Achillea millefolium*), 4 – ostrożeń polny (*Cirsium arvense*), 5 – szczaw kędzierzawy (*Rumex crispus* L.)

Źródło: badania własne.

Tabela 11

Pozostałości chlopypirylidu w chwastach zastosowanego w formie herbicydu Fernando 225 EC

Lata	Dawka herbicydu (l · ha ⁻¹)	Pozostałości (mg · kg ⁻¹)				
		gatunek chwastu*				
		1	2	3	4	5
2004	2	0,100	0,040	0,006	0,068	0,060
	4	0,140	0,068	0,012	0,190	0,140
2006	2	0,074	0,020	0,020	0,162	0,086
	4	0,100	0,056	0,022	0,180	0,200

* oznaczenia jak w tab. 10

Źródło: badania własne.

Tabela 12

Pozostałości 2,4-D w chwastach zastosowanego w formie herbicydu Aminopielik D 450 SL

Lata	Dawka herbicydu (l · ha ⁻¹)	Pozostałości (mg · kg ⁻¹)				
		gatunek chwastu*				
		1	2	3	4	5
2004	3	0,060	NW**	0,006	0,164	0,180
2006	3	0,106	0,026	0,040	0,180	0,220

* oznaczenia jak w tab. 10

** NW – nie wykryto

Źródło: badania własne.

Tabela 13

Pozostałości dikamby w chwastach zastosowanej w formie herbicydu Aminopielik D 450 SL

Lata	Dawka herbicydu ($l \cdot ha^{-1}$)	Pozostałości ($mg \cdot kg^{-1}$)				
		gatunek chwastu*				
		1	2	3	4	5
2004	3	NW**	NW	0,096	0,190	0,036
2006	3	0,008	0,014	0,100	0,156	0,008

* oznaczenia jak w tab. 10

** NW – nie wykryto

Źródło: badania własne.

polnym do $0,140 mg \cdot kg^{-1}$ w szczawiu kędzierzawym i $0,160$ w ostrożeńniku polnym (tab. 14).

Znaczne zróżnicowanie wielkości pozostałości w poszczególnych gatunkach chwastów należy tłumaczyć zróżnicowanym stopniem ich wrażliwości na stosowane substancje aktywne. W znacznym uproszczeniu wrażliwość poszczególnych gatunków związana jest ze zdolnością do pobierania substancji aktywnej herbicydu i możliwością jej detoksykacji. W przypadku gatunków mniej wrażliwych na daną substancję aktywną roślina może tolerować znacznie wyższe stężenia (9). W próbkach traw i chwastów pobranych wrywkowo w czasie drugiego pokosu (60 i więcej dni od aplikacji herbicydów) pozostałości nie stwierdzono.

Wielkość pozostałości i duże ich zróżnicowanie w zależności od gatunku wskazują na konieczność zwrócenia uwagi na ten problem, zwłaszcza w przypadkach silnego zachwaszczenia takimi gatunkami, jak np. szczaw kędzierzawy lub jaskier polny.

Reasumując należy stwierdzić, że przeprowadzone w przeciągu czterech sezonów wegetacyjnych badania i uzyskane w nich wyniki pozwalają na ocenę skuteczności regulacji zachwaszczenia na trwałych użytkach zielonych poprzez stosowanie herbicydów oraz poziomu pozostałości substancji aktywnych herbicydów stosowanych do odchwaszczania.

Tabela 14

Pozostałości MCPA w chwastach zastosowanego w formie herbicydu Chwastoks Extra 300

Lata	Dawka herbicydu ($l \cdot ha^{-1}$)	Pozostałości ($mg \cdot kg^{-1}$)				
		gatunek chwastu*				
		1	2	3	4	5
2004	4,5	NW**	0,080	0,140	0,170	0,100
2006	4,5	0,020	0,060	0,080	0,160	0,140

* oznaczenia jak w tab. 10

** NW – nie wykryto

Źródło: badania własne.

Wnioski

1. Duże zagrożenie dla zaniedbanych użytków zielonych stanowią powszechnie występujące gatunki dwuliścienne, takie jak: mniszek lekarski (*Taraxacum officinale*), szczaw kędzierzawy (*Rumex crispus*), pokrzywa zwyczajna (*Urtica dioica*), ostrożeń polny (*Cirsium arvense*) i krwawnik pospolity (*Achillea millefolium*).

2. Mechaniczna metoda wykaszania chwastów była całkowicie nieskuteczna, a bardzo efektywna okazała się metoda chemiczna.

3. Stosowane w doświadczeniach herbicydy były w pełni selektywne dla traw, takich jak: wyczyniec łąkowy (*Alopecurus pratensis*), kupkówka pospolita (*Dactylis glomerata*) i wiechlina łąkowa (*Poa pratensis*).

4. Skuteczność zwalczania uciążliwych chwastów na użytkach zielonych jest w głównej mierze uzależniona od rodzaju herbicydu i jego dawki, a termin zabiegu powinien być dobrany w zależności od fazy rozwojowej chwastów.

5. Najskuteczniej zwalczał chwasty herbicyd Fernando 225 EC w dawce $4 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$, który całkowicie eliminował ze zbiorowiska łąkowego mniszka lekarskiego (*Taraxacum officinale*), szczaw kędzierzawy (*Rumex crispus*) i pokrzywę zwyczajną (*Urtica dioica*), a krwawnik pospolity (*Achillea millefolium*) niszczył w 98%, zaś ostrożeń polny (*Cirsium arvense*) zwalczał w 91%.

6. Fernando 225 EC w dawce $3 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ słabiej działał na krwawnik pospolity (*Achillea millefolium*) i ostrożeń polny (*Cirsium arvense*), natomiast Fernando 225 EC stosowany w dawce $2 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ bardzo dobrze (95-100%) zwalczał mniszek lekarski (*Taraxacum officinale*), szczaw kędzierzawy (*Rumex crispus*) i pokrzywę zwyczajną (*Urtica dioica*), ale słabiej działał na pozostałe gatunki.

7. Starane 250 EC stosowany w dawce $1,2 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ dobrze zwalczał mniszek lekarski (*Taraxacum officinale*), szczaw kędzierzawy (*Rumex crispus*) i pokrzywę zwyczajną (*Urtica dioica*); (85-88% zniszczenia), natomiast okazał się całkowicie nieskuteczny na krwawnik pospolity (*Achillea millefolium*) i ostrożeń polny (*Cirsium arvense*).

8. Chwastox 300 SL w dawce $4,5 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ i Glean 75 WG w dawce $20 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ znacznie słabiej niszczyły większość występujących chwastów.

9. Aminopielik D 450 SL dobrze zwalczał (80-87% zniszczenia) ostrożeń polny (*Cirsium arvense*) i pokrzywę zwyczajną (*Urtica dioica*); (70-80%), a średnio działał na mniszka lekarskiego (*Taraxacum officinale*), szczaw kędzierzawy (*Rumex crispus*) i krwawnik pospolity (*Achillea millefolium*).

10. Poziom pozostałości substancji aktywnych w trawach z pierwszego pokosu osiągał maksymalnie wartość $2 \cdot 10^{-2} \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Taki poziom pozostałości nie stwarza zagrożenia dla użytkowania traw na paszę.

11. W trawach z drugiego pokosu nie stwierdzono pozostałości stosowanych substancji aktywnych.

12. W chwastach, zwłaszcza pobranych w czasie pierwszego pokosu, pozostałości były znacznie większe i sięgały wartości $4 \cdot 10^{-1} \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

13. Wielkość i duże zróżnicowanie pozostałości substancji aktywnych w zależności od gatunku chwastu wskazują na konieczność zwrócenia uwagi na problem zagrożenia nimi w przypadkach silnego zachwaszczenia takimi gatunkami, jak szczaw kędzierzawy lub jaskier polny.

Literatura

1. B a d o w s k i M.: Utrzymanie trwałych użytków zielonych, łąk kośnych i pastwisk w stanie wolnym od uciążliwych chwastów dwuliściennych za pomocą herbicydów. Wyd. IUNG Puławy, Mat. szkol. 84/02, 2002, 255-264.
2. B a d o w s k i M., R o l a H.: Ocena przydatności herbicydu Fernando 225 EC do zwalczania *Rumex crispus* i *Urtica dioica* na użytkach zielonych. Progr. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2003, **43(2)**.
3. B a d o w s k i M., S a d o w s k i J.: Poziom pozostałości 2,4-D w roślinach trwałych użytków zielonych. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2008, **48(4)**: 1185-1189.
4. F a l k o w s k i M. i in.: Trawy uprawne i dziko rosnące. PWRiL Warszawa, 1974.
5. M o w s z o w i c z J.: Krajowe chwasty polne i ogrodowe. PWRiL Warszawa, 1986.
6. Polska Norma – PN-R-04109: Materiał roślinny i gleba. Oznaczanie pozostałości herbicydów. Substancja aktywna – chlopyralid. Wyd. Norm., Warszawa, 1994.
7. Polska Norma – PN-R-04111: Materiał roślinny i gleba. Oznaczanie pozostałości herbicydów. Substancja aktywna – pochodne fenoksykwasów. Wyd. Norm., Warszawa, 1994.
8. Polska Norma – PN-R-04102: Materiał roślinny i gleba. Oznaczanie pozostałości herbicydów. Substancja aktywna – fluoksypyr. Wyd. Norm., Warszawa, 1994.
9. W o ź n i c a Z.: Herbologia. PWRiL Warszawa, 2008.

Adres do korespondencji:

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

Stefan Pruszyński, Danuta Sosnowska

*Instytut Ochrony Roślin - Państwowy Instytut Badawczy
w Poznaniu*

OCHRONA BIORÓŻNORODNOŚCI W USTAWODAWSTWIE, NAUCE I PRAKTYCE OCHRONY ROŚLIN

Wstęp

Od początku swej działalności rolniczej poprzez wypalanie lasów i zakładanie pól uprawnych człowiek ingerował w środowisko naturalne, doprowadzając w nim do zasadniczych i często nieodwracalnych zmian. Z drugiej strony rolnictwo miało i obecnie posiada możliwości takiego ukierunkowania działań, aby zapobiegać lub ograniczać ujemny wpływ swej działalności na różne elementy środowiska.

W Polsce w rolniczym użytkowaniu znajduje się około 60% terytorium kraju, co jeszcze bardziej podkreśla znaczenie działań w rolnictwie dla zachowania bogactwa środowiska i tym samym bioróżnorodności. Zaznaczyć tu należy, że struktura rolnictwa polskiego, duża liczba gospodarstw, poprzedzielane miedzami pola o niewielkiej powierzchni, zachowane zadrzewienia i ciekły wodne stawiają nasz kraj w znacznie lepszej sytuacji w porównaniu z bardzo ubogim środowiskiem państw o rozwiniętym i intensywnym rolnictwie.

W raporcie „Stan środowiska w Polsce” (10) oraz w opracowaniu „Agenda 21 w Polsce” (17) kraj nasz został bardzo wysoko oceniony pod względem stanu oraz zachowania bioróżnorodności. Polska zaliczana jest do grupy krajów europejskich o największym wskaźniku różnorodności biologicznej (17). Walory przyrodnicze Polski uważane są za bardzo wysokie, a cenne pod względem przyrodniczym i krajobrazowym ekosystemy charakteryzuje wysoki poziom bioróżnorodności. Powierzchnia obszarów chronionych o zróżnicowanym statusie obejmującym ponad 1/4 kraju stawiają Polskę na jednym z pierwszych miejsc w Europie (10).

Ważna z punktu widzenia ochrony bioróżnorodności jest struktura rolnictwa polskiego i funkcjonowanie dużej liczby małych gospodarstw o bogatym środowisku rolniczym, chociaż z drugiej strony według prof. W. P o c t y (6) to rozdrobnienie gospodarstw nie przyczynia się do zrównoważonego rozwoju i tym samym do zachowania bioróżnorodności, ponieważ większość z nich nie opiera produkcji na zasadach dobrej praktyki rolniczej i dobrej praktyki ochrony roślin.

W zachowaniu bioróżnorodności w Polsce ważną funkcję pełnią unijne programy pomocowe obejmujące m.in. ochronę zagrożonych gatunków ptaków i siedlisk przyrodniczych, rolnictwo zrównoważone, rolnictwo ekologiczne, ekstensywne trwałe użytki zielone, a także ochronę gleb, wód oraz zachowanie zagrożonych zasobów genetycznych roślin i zwierząt w rolnictwie. Działania te ujęte w programie rolnośrodowiskowym realizowanym w ramach Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2007–2013 obejmują swoim zasięgiem teren całego kraju, przyczyniając się do znacznego ograniczenia środowiskowych skutków działalności rolniczej.

Spośród wielu działań produkcyjnych w rolnictwie wyjątkowo negatywny wpływ na środowisko przypisywany jest ochronie roślin, a więc zabiegom, które mają zapobiec stratom w plonach roślin uprawnych powodowanym przez choroby, szkodniki i chwasty. Ochrona upraw oparta na stosowaniu chemicznych środków ochrony roślin wprowadza do środowiska tysiące ton obcych substancji aktywnych, które mogą oddziaływać nie tylko na organizmy szkodliwe, ale także na wiele innych elementów środowiska. W tej sytuacji zrozumiałe jest podejmowanie wielokierunkowych wysiłków legislacyjnych, badawczych i upowszechnieniowych w celu ograniczania do minimum, aż do całkowitego wyeliminowania ewentualnych niekorzystnych następstw stosowania chemicznych środków ochrony roślin dla człowieka i środowiska.

Celem opracowania było przedstawienie problemów bioróżnorodności w ustawodawstwie, nauce i praktyce ochrony roślin.

Bioróżnorodność w świetle ustawodawstwa

Pierwszym polskim aktem prawnym o podstawowym znaczeniu dla ograniczania ujemnych skutków stosowania chemicznych środków ochrony roślin była uchwała Rady Ministrów nr 64/70 z dnia 18 maja 1970 roku w sprawie organizacji badań w zakresie toksykologii i bezpiecznego stosowania pestycydów oraz kontrola ich pozostałości w żywności i środowisku życia człowieka (7). Na podstawie tej uchwały wycofano w Polsce najbardziej toksyczne i długo zalegające w środowisku środki oraz wprowadzono ogólnokrajowy monitoring pozostałości środków ochrony roślin. Natomiast obecne podejście do ochrony roślin najlepiej charakteryzuje cytat z preambuły Dyrektywy 91/414 Unii Europejskiej ustalającej zasady dopuszczania środków ochrony roślin do stosowania w krajach unijnych – „Ochrona zdrowia ludzi, zwierząt i środowiska ma pierwszeństwo przed poprawą poziomu produkcji rolniczej”.

Podstawowym aktem prawnym obowiązującym w Polsce i regulującym działania w zakresie ochrony roślin jest ustawa o ochronie roślin z dnia 18 grudnia 2003 r. (26) oraz towarzyszące jej rozporządzenia, a także niektóre rozporządzenia Ministra Zdrowia (ustawa z dnia 18 grudnia 2003 r.).

W art. 1 ustawy czytamy, że „Ustawa reguluje sprawy zapobiegania zagrożeniom dla zdrowia człowieka, zwierząt oraz środowiska, które mogą powstawać w wyniku obrotu i stosowania środków ochrony roślin”.

Do bardzo ważnych należy zaliczyć ustalenia dotyczące rejestracji, a więc dopuszczenia środków ochrony roślin do obrotu i stosowania. Zawarte są one w kilku artykułach:

„Art. 37.1. Do obrotu mogą być dopuszczone tylko te środki ochrony roślin, które przy prawidłowym stosowaniu, zgodnie z ich przeznaczeniem, nie stanowią zagrożenia dla zdrowia człowieka, zwierząt lub środowiska (...).

Art. 38. 1. Zezwolenie na dopuszczenie środka ochrony roślin do obrotu wydaje się jeżeli:

e) jest stosowany zgodnie z przeznaczeniem:

- nie wykazuje zagrożenia dla zdrowia człowieka, zwierząt lub środowiska, a w szczególności wód powierzchniowych, podskórnych i wody przeznaczonej do picia, przy uwzględnieniu jego zachowania i rozkładu w środowisku;
- nie wykazuje niepożądanego działania na organizmy, które nie są zwalczane (...).

Wszystkie opakowania środków ochrony roślin muszą być zaopatrzone w aktualną etykietę – instrukcję stosowania (art. 67), w której obok standardowych wiadomości dotyczących zakresu stosowania, dawek, karencji i prewencji, zawarte są często uwagi ważne dla ochrony entomofauny pożytecznej, m.in.:

- na plantacjach kwitnących roślin, a także w bliskim ich sąsiedztwie zabieg wykonać przed wieczorem, po zakończeniu dziennego lotu pszczół;
- nie stosować na roślinach pokrytych spadzią;
- środek jest nieszkodliwy dla biedronek, złotooków oraz drapieżnych roztoczy i można go zalecać w Programach Integrowanej Ochrony Roślin;
- środek stosowany w zalecanych dawkach i z uwzględnieniem obowiązującej prewencji dla pszczół nie stwarza dla nich zagrożenia również na roślinach pokrytych spadzią.

Ważne znaczenie dla bezpieczeństwa zabiegów ochrony roślin mają zapisy dotyczące obowiązkowego szkolenia wykonawców zabiegów (art. 66 i 74) oraz obowiązku przeglądu opryskiwaczy (art. 76).

Należy stwierdzić, że ustawa w sposób jednoznaczny ukierunkowuje rozwój ochrony roślin w Polsce. W art. 68 czytamy:

- „1. Można stosować wyłącznie środki ochrony roślin dopuszczone do obrotu oraz zgodnie z etykietą–instrukcją stosowania, ściśle z podanymi w niej zaleceniami oraz w taki sposób, aby nie dopuścić do zagrożenia zdrowia człowieka, zwierząt lub środowiska.
2. Zabiegi środkami ochrony roślin wykonuje się z uwzględnieniem stosowania w pierwszej kolejności metod biologicznych, agrotechnicznych, hodowlanych lub integrowanej ochrony roślin.”

Natomiast art. 5 wprowadza urzędowo potwierdzoną integrowaną technologię produkcji:

- „Producent prowadzący produkcję roślin z zastosowaniem integrowanej ochrony roślin oraz wykorzystujący w sposób zrównoważony postęp techniczny

i biologiczny w uprawie, ochronie roślin i nawożeniu, zwracający szczególną uwagę na ochronę środowiska i zdrowie ludzi, zwaną dalej „integrowaną produkcją”, może ubiegać się o poświadczenie jej stosowania.

- Poświadczeniem stosowania integrowanej produkcji jest certyfikat wydawany przez wojewódzkiego inspektora, właściwego ze względu na miejsce prowadzenia upraw, na wniosek producenta roślin.”

Oddzielnym aktem prawnym uregulowane są zasady prowadzenia w naszym kraju rolnictwa ekologicznego (25).

Należy wymienić tu jeszcze dwa opracowane i opublikowane wydawnictwa, jakkolwiek nie posiadają one mocy aktów prawnych, tj. Kodeks Dobrej Praktyki Rolniczej (5) i Dobra Praktyka Ochrony Roślin (20). Upowszechnienie w praktyce zasad i zaleceń zawartych w tych opracowaniach ma podstawowe znaczenie dla prawidłowej organizacji i przebiegu technologii produkcji rolniczej, a może przede wszystkim dla ograniczenia, aż do zupełnego wyeliminowania ewentualnego niekorzystnego wpływu produkcji rolniczej i ochrony roślin na środowisko, a tym samym na bioróżnorodność.

Bioróżnorodność a badania naukowe w zakresie ochrony roślin

Nauka na długo przed przyjęciem Konwencji ONZ o ochronie różnorodności biologicznej (Rio de Janeiro, 1992) podjęła intensywne badania nad ograniczaniem ubocznych skutków stosowania zabiegów ochrony roślin dla człowieka, zwierząt i środowiska rolniczego. Działania te były konsekwencją bardzo ostrej krytyki masowego stosowania chemicznych środków ochrony roślin i zagrożeń jakie mogą one stanowić dla człowieka i środowiska.

W roku 1959 opublikowana została w USA praca przedstawiająca koncepcję integrowanej ochrony roślin (23). Fakt ten stał się przełomem w ochronie roślin i rozpoczął nową erę w podejściu do ochrony upraw rolniczych. Integracja w swym ogólnym założeniu wprowadzała zasadę wykorzystania w ochronie wszystkich dostępnych metod i ograniczenia stosowania chemicznych środków ochrony roślin. Rozbudowana do koncepcji sterowania populacjami agrofagów (11, 13) integracja stała się podstawowym kierunkiem rozwoju ochrony roślin na całym świecie, a w następnych latach również technologii produkcji rolniczej. Przyjęcie integracji doprowadziło do rozwoju badań nad ochroną entomofauny pożytecznej, a więc wrogów naturalnych agrofagów i zapylaczy oraz wpływem chemicznych środków ochrony roślin na różne elementy środowiska rolniczego (18).

W Polsce badania takie już w połowie lat 60. ubiegłego wieku podjął w Zakładzie Doświadczalnym IOR w Winnej Górze prof. dr Władysław Węgorek (27). Wykazały one, że przy prawidłowym i zgodnym z przepisami stosowaniem chemicznych środków ochrony roślin ich wpływ na entomofaunę pożyteczną i inne badane organizmy był ograniczony i najczęściej sprowadzał się do okresowego obniżenia liczebności badanych gatunków. Rozpoczęte przez prof. W. Węgorka badania kontynuowane są do chwili obecnej, a wraz ze zmianą asortymentu stosowanych środków oraz poprawą techniki ich stosowania następuje ograniczenie ich wpływu na gatunki

pożyteczne (9, 12, 21). W wielu przypadkach nie stwierdzono różnic pomiędzy liczebnością badanych gatunków pożytecznych na polach chronionych i nieobjętych zabiegami.

Zbieżne wyniki uzyskał również P a ł o s z (16) w badaniach nad liczebnością biegaczowatych (*Carabidae*), a S z w e j d a (24) stwierdził, że w ciągu ostatnich lat nie nastąpiły pod wpływem zabiegów ochrony roślin widoczne zmiany w składzie gatunkowym i liczebności gatunków pożytecznych. Szerzej stan obecny i przyszłość wzajemnych relacji ochrony roślin i ochrony środowiska omówili O l s z a k i in. (14).

Przedstawiając wyniki badań nad wpływem zabiegów ochrony roślin na różne elementy środowiska należy zwrócić uwagę na daleko idącą zbieżność celów. Doświadczenia zakładane pod kątem oceny wpływu tych zabiegów na środowisko stanowią jednocześnie bardzo ważny przyczynek do badań nad ochroną bioróżnorodności. Można zatem mówić, że obecny kierunek rozwoju ochrony roślin zakłada ochronę bioróżnorodności. Taka sama zbieżność celów występuje w podejmowanych obecnie badaniach i działaniach praktycznych zmierzających do wzbogacenia środowiska rolniczego o tzw. użytki ekologiczne, a więc miejsca umożliwiające rozwój, dostarczanie pokarmu oraz schronienie wielu gatunkom pożytecznym (4). Pozostawianie miedz, zadrzewień śródpolnych i oczek wodnych korzystnie wpływa na zwiększenie liczebności gatunków pożytecznych i tym samym na ograniczenie konieczności stosowania zabiegów chemicznymi środkami ochrony roślin, a jednocześnie jest ważnym działaniem w kierunku ochrony bioróżnorodności.

Podobnym przykładem są zadrzewienia śródpolne. Zakładane jeszcze w XIX wieku przez gen. D. Chłapowskiego w okolicach Turwi miały zapobiegać erozji wietrznej i wysuszeniu gleby. Obecnie zadrzewienia te są oceniane również pod kątem ich wpływu na występowanie gatunków pożytecznych i szkodników oraz wpływu na bioróżnorodność (1). Ważne jest, iż staraniem głównie pracowników Instytutu Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN zadrzewienia te są nie tylko odtwarzane, ale zakładane są także nowe w wielu rejonach kraju.

Oceniając ukierunkowanie badań naukowych w zakresie przyszłej ochrony upraw rolniczych należy uznać, że zawierają one w sobie wiele elementów pokrywających się z zadaniami z zakresu ochrony bioróżnorodności, a ochrona roślin uprawnych nie powinna być traktowana jako zagrożenie dla bioróżnorodności. Potrzebą jest natomiast zwiększenie dofinansowania badań dotyczących integrowanej ochrony roślin, oceny znaczenia środowiska rolniczego w pojawianiu się i nasileniu agrofagów oraz wpływu użytków ekologicznych, co pozwoli na równoległe eliminowanie ewentualnych zagrożeń ze strony ochrony roślin dla bioróżnorodności.

Kształtowanie bioróżnorodności w praktyce ochrony roślin

Największym osiągnięciem praktyki ochrony roślin jest będąca głównie efektem badań i wdrożeń przemysłu fitofarmaceutycznego zmiana, praktycznie całkowita, doboru środków ochrony roślin. W miejsce substancji aktywnych, stanowiących często zagrożenie dla człowieka i środowiska, zostały opracowane i dopuszczone do stosowania

wania nowe związki charakteryzujące się niską lub brakiem toksyczności dla organizmów niebędących przedmiotem zwalczania. Jeżeli do tego dodamy bardzo ostre kryteria dopuszczania środków ochrony roślin do obrotu i stosowania oraz wyniki kończącego się przeglądu wszystkich substancji aktywnych stosowanych na terenie Unii Europejskiej, to obecny asortyment środków ochrony roślin daje możliwość pogodzenia potrzeby ochrony upraw z ochroną środowiska rolniczego.

Olbrzymi postęp nastąpił także w technice ochrony roślin. Nowoczesne, wyposażone w programy komputerowe i zestawy różnych rozpylaczy opryskiwacze dają możliwość bardzo precyzyjnego wykonania zabiegów bez zagrożenia dla upraw sąsiednich i ich wykonawcy. Zrozumiałe jest, że prawidłowe wykorzystanie omówionych wyżej osiągnięć możliwe jest tylko w przypadku odpowiedniego przygotowania zawodowego i odpowiedzialności wykonującego zabiegi.

W mniejszej niż tego można było oczekiwać liczbie gospodarstw prowadzona jest w praktyce w naszym kraju produkcja ekologiczna i oparta na zasadach integrowanej technologii. Zamieszczone w tabeli 1 dane wskazują, że produkcja realizowana według tych systemów nie przekracza w Polsce 2% ogółu użytkowanych gruntów rolnych, a w integrowanej technologii produkcji obserwuje się nawet zmniejszanie zainteresowania producentów. Może to wynikać z niskich dopłat oraz braku rynku dla artykułów pochodzących z integrowanej produkcji.

Tabela 1

Zakres stosowania różnych systemów produkcji w Polsce w 2007 roku

Systemy produkcji	Liczba gospodarstw	Areal (ha)
Rolnictwo ekologiczne	11 887*	285 878
Integrowana produkcja	1 174	7 479
Razem	13 061	293 357

* w tej liczbie 5159 gospodarstw w trakcie przestawiania oraz 9226 mieszanych
Źródło: Gorzała, 2009 (8), Stan..., 2008 (22).

Niezależnie od aktualnej sytuacji należy przewidywać rozwój obydwu tych systemów gospodarowania, tym bardziej że dyrektywa dotycząca zrównoważonego stosowania pestycydów nakłada na kraje członkowskie Unii Europejskiej obowiązek stworzenia podstaw naukowych i wdrożenia integrowanej ochrony roślin w terminie do 31 grudnia 2014 roku. Należy tu pamiętać, że wdrożenie i upowszechnienie integrowanej ochrony roślin i integrowanych technologii produkcji będzie wymagało odpowiednich działań administracyjnych i udziału w tym procesie wielu grup zawodowych (2, 3).

Bardzo ważny dla prawidłowości stosowania zabiegów ochrony roślin, a tym samym dla ochrony bioróżnorodności, jest nadzorowany przez Państwową Inspekcję Ochrony Roślin i Nasiennictwa, zgodny z omówioną wcześniej ustawą o ochronie roślin, obowiązkowy przegląd techniczny opryskiwaczy oraz szkolenie osób wykonujących zabiegi ochroniarskie.

Podsumowanie

Oceniając stan ochrony roślin w Polsce i wpływ stosowanych w praktyce zabiegów na zachowanie bioróżnorodności, należy podkreślić, że ostatnie dziesięciolecia przyniosły znaczne zmiany na korzyść. Polskie ustawodawstwo w zakresie ochrony roślin odpowiada wymogom światowym i nakłada obowiązek na użytkowników takiego wykonywania zabiegów, aby nie wywierały one ubocznego niekorzystnego wpływu na organizmy niezwalczane (19). W praktyce ochrony roślin obecność Państwowej Inspekcji Ochrony Roślin i Nasiennictwa, która sprawuje nadzór nad prawidłowością prowadzenia ochrony upraw w naszym kraju, znacznie zwiększa obowiązek przestrzegania zapisów prawnych, a tym samym wpływa na poprawę skuteczności i bezpieczeństwa zabiegów. Inspekcja odpowiada także za prowadzenie szkoleń dla wykonawców zabiegów; tu nasuwa się pilny wniosek o poszerzenie tych szkoleń o podstawy integracji i ekologicznych zasad ochrony roślin. Dopiero odpowiedni poziom przygotowania zawodowego producentów i wykonawców zabiegów daje gwarancję wykorzystania przekazywanych przez naukę zaleceń (15).

Wyrażnego wsparcia wymaga polska nauka. Posiadamy obecnie dużą grupę dobrze przygotowanych pracowników naukowych oraz na dobrym poziomie utrzymane i wyposażone stanowiska pracy. Badania środowiskowe, a takie należy prowadzić, mając na uwadze bioróżnorodność, wymagają jednak zaangażowania dużych zespołów badawczych i to na przestrzeni wielu lat. Należy zabezpieczyć finansowo możliwość prowadzenia takich badań.

Biorąc pod uwagę fakt, że rolnictwo zawsze będzie w pewnym stopniu oddziaływać na bioróżnorodność, niezależnie od technologii produkcji i stosowanych metod ochrony, za najważniejsze należy uznać takie działania, jak:

- na terenach, gdzie następowała likwidacja zadrzewień, oczek wodnych, miedz i innych użytków o charakterze ekologicznym dążyć do przywrócenia wcześniejszego stanu poprzez wprowadzanie wielogatunkowych zadrzewień i zakrzewień, ochronę gleb przed erozją, powrót do różnorodności siedlisk, a także zachowanie lokalnych tradycyjnych odmian roślin uprawnych i ras zwierząt gospodarskich;
- na terenie całego kraju, szczególnie w miejscach o znacznych walorach środowiskowych, przewidywać rozwój rolnictwa ekologicznego;
- przyspieszenie wprowadzania i upowszechniania rolnictwa integrowanego;
- zmiana programów nauczania i prowadzenie szerokich szkoleń mających na celu podniesienie poziomu wiedzy ekologicznej w społeczeństwie, a szczególnie wśród ludzi prowadzących gospodarstwa rolne;
- upowszechnianie zasad Dobrej Praktyki Rolniczej i Dobrej Praktyki Ochrony Roślin, szczególnie w grupie gospodarstw małoobszarowych;
- stworzenie warunków i dążenie do szerszego wykorzystania środków ochrony roślin pochodzenia naturalnego, biopreparatów i innych charakteryzujących się brakiem lub niską szkodliwością dla człowieka;

- rozwój badań naukowych wspierających bezpieczny dla środowiska, człowieka i zwierząt gospodarskich rozwój produkcji rolniczej;
- wykształcenie kadry doradców rolniczych, przygotowanych do wdrażania rolnictwa ekologicznego, integrowanego oraz realizowania programów ekologicznych oraz zachowujących bioróżnorodność;

Zachowanie bioróżnorodności jest nadrzędnym celem działań wynikających nie tylko z obowiązku realizacji postanowień międzynarodowych, ale także, a może przede wszystkim, ze zrozumienia, że jest to jedyna droga do zachowania bezpieczeństwa funkcjonowania życia na ziemi. Jest to też obowiązek spoczywający na wszystkich grupach społecznych i zawodowych. Odpowiedzialność rolnictwa wynika natomiast z gospodarowania na powierzchni ok. 160 tys. km² oraz potrzeby dostarczania dobrej jakościowo i wystarczającej ilości żywności. Pogodzenie tych uwarunkowań jest tym, czego od rolnictwa oczekuje się i tym, do czego rolnictwo powinno dążyć.

Literatura

1. Bałaży S., Karg J.: Wpływ struktury krajobrazu na występowanie agrofagów i ich antagonistów w uprawach rolniczych. *Mat. 49 Sesji Nauk. IOR-PIB. Streszczenia*. Poznań, 2009, 43-44.
2. Dąbrowski Z. T.: Znaczenie partnerskich powiązań przy opracowywaniu i wdrażaniu integrowanych programów ochrony roślin. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 1999, **39(1)**: 190-200.
3. Dąbrowski Z. T.: Doradztwo w zakresie integrowanej produkcji. Kreatywne metody w szkoleniach producentów. *Zag. Doradz. Rol.*, 2006, **2**: 5-16.
4. Dąbrowski Z. T.: Cele i znaczenie infrastruktury ekologicznej dla proekologicznej ochrony roślin. *Mat. 49 Sesji Nauk. IOR-PIB. Streszczenia*. Poznań, 2009, 41-42.
5. Duer S., Fotyma M., Madej A.: Kodeks Dobrej Praktyki Rolniczej. MRiRW, Warszawa, 2002, ss. 93.
6. Felińska M.: Powrót centralnego sterowania. *Rol. Dzierż.*, 2009, **4**: 7-10.
7. Głogowski K.: Zadania Instytutu Ochrony Roślin w świetle Uchwały Rady Ministrów Nr 64/70 z dnia 18 maja 1970 r. w sprawie organizacji badań w zakresie toksykologii i bezpiecznego stosowania pestycydów oraz kontrola ich pozostałości w żywności i środowisku życia człowieka. *Biul. IOR*, 1971, **50**: 455-461.
8. Gorzala G.: Integrowana produkcja w Polsce certyfikowana przez Państwową Inspekcję Ochrony Roślin i Nasiennictwa. *Mat. 49 Sesji Nauk. IOR-PIB. Streszczenia*. Poznań, 2009, 118-119.
9. Grabarkiewicz A.: Wpływ ochrony chemicznej niektórych roślin uprawnych na entomofaunę pożyteczną. *Prog. Plant. Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2005, **45(1)**: 167-175.
10. Kamiński Z. (red.): Stan środowiska w Polsce. Raport Państwowej Inspekcji Ochrony Środowiska. *Bibl. Monit. Środ.*, Warszawa, 1998, ss. 174.
11. Lipa J. J.: Integrowanie metod zwalczania i sterowanie populacjami agrofagów w nowoczesnych programach ochrony roślin. *Mat. XXIV Sesji Nauk. IOR. Poznań, cz. I*, 1984, 31-48.
12. Nijak K.: Wpływ zabiegów ochrony roślin na stan pożytecznej entomofauny naziemnej. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2006, **46(2)**: 69-73.
13. Olszak R. W., Pruszyński S., Lipa J. J., Dąbrowski Z. T.: Rozwój koncepcji strategii wykorzystania metod oraz środków ochrony roślin. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2000, **40(1)**: 40-50.
14. Olszak R. W., Pruszyński S., Nawrot J.: Chemiczna ochrona roślin a ochrona środowiska - stan obecny i przyszłość. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2003, **43(1)**: 304-310.

15. Olszak R. W.: Rola drapieżnych i pasożytniczych stawonogów w regulacji liczebności szkodników sadów. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2005, **45(1)**: 325-335.
16. Pałosz T.: Ocena wpływu czynników agroklimatycznych na liczebność biegaczowatych (*Carabidae*) w agrocenozach metodą korelacji. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2001, **41(2)**: 481-484.
17. Podgajnik T. (red.): Agenda 21 w Polsce. Sprawozdanie z realizacji w latach 1992–1996. Naukowa Fundacja Ochrony Środowiska. Warszawa, 1997, ss. 158.
18. Pruszyński G.: Ochrona entomofauny pożytecznej w integrowanych technologiach produkcji roślinnej. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2007, **47(1)**: 103-107.
19. Pruszyński S., Pruszyński G.: Ochrona entomofauny w polskim ustawodawstwie ochrony roślin. *Wiad. Entomol. „Ochrona owadów w Polsce”, Supl.*, 2006, **25(2)**: 169-177.
20. Pruszyński S., Wolny S.: *Dobra Praktyka Ochrony Roślin*. IOR, Krajowe Centrum Doradztwa Rozwoju Rolnictwa i Obszarów Wiejskich, Oddział w Poznaniu. Poznań, 2007, ss. 56.
21. Sokółowski A., Nijak K.: Wpływ ochrony roślin okopowych na drapieżne stawonogi naziemne. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2001, **41(2)**: 517-519.
22. Stan i tendencje rozwoju rolnictwa ekologicznego w Polsce. Inspekcja Jakości Handlowej Artykułów Rolno-Spożywczych. IJHARS, 2008. www.ekorolnictwo.pl.
23. Stern V.M., Smith R., Fden Bosch R., Hagen K. S.: The integrated control concept. *Hilgardia*, 1959, **29**: 81-101.
24. Szwejdą J.: Aktualny stan ochrony roślin warzywnych przed szkodnikami w gospodarstwach ekologicznych. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 2005, **45(1)**: 469-476.
25. Ustawa o rolnictwie ekologicznym z dnia 20 kwietnia 2004 r. (Dz. U. Nr 93, poz. 898).
26. Ustawa o ochronie roślin z dnia 18 grudnia 2003 r. (Dz. U. z 27.01.2004 r., Nr 11, poz. 94).
27. Węgorek W., Trojanowski H., Dąbrowski J., Rudny R.: Wpływ intensywnego stosowania pestycydów na plony i wybrane elementy środowiska rolniczego. Cz. II. Badania ubocznego wpływu pestycydów na chronione uprawy oraz wybrane elementy środowiska rolniczego. *Prace Nauk. IOR*, 1990, **32(1/2)**: 117-128.

Adres do korespondencji:

prof. dr hab. Stefan Pruszyński
Instytut Ochrony Roślin - PIB
ul. W. Węgorka 20
60-318 Poznań
tel.: (61) 864-90-00
e-mail: s.pruszyński@ior.poznan.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 13 cm × 19 cm
- w podpisach czcionka 9 p.
- na dyskietce w oddzielnych plikach
- pod rysunkiem przypis ze wskazaniem źródła danych (autorstwa)

jednostki miary

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

literatura

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

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

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

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

1. *Wybrane aspekty agrochemicznych badań gleby*. Puławy, 2006.
2. *Zasady wprowadzania nawozów do obrotu*. Puławy, 2006.
3. *Regionalne 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.
8. *Efektywne i bezpieczne metody regulacji zachwaszczenia, nawożenia i uprawy roli*. Puławy, 2007.
9. *Wybrane elementy technologii produkcji roślinnej*. Puławy, 2007.
10. *Problem erozji gleb w procesie przemian strukturalnych na obszarach wiejskich*. Puławy, 2008.
11. *Uprawa roślin energetycznych a wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce*. Puławy, 2008.
12. *Wybrane zagadnienia systemów informacji przestrzennej i obszarów problemowych rolnictwa w Polsce*. Puławy, 2008.
13. *Tworzenie postępu biologicznego w hodowli tytoniu i chmielu*. Puławy, 2008.
14. *Kierunki zmian w produkcji roślinnej w Polsce do roku 2020*. Puławy, 2009.
15. *Wybrane elementy regionalnego zróżnicowania rolnictwa w Polsce*. Puławy, 2009.
16. *Systemy wspomagania decyzji w zrównoważonej produkcji roślinnej*. Puławy, 2009.
17. *Stan i kierunki zmian w produkcji rolniczej (wybrane zagadnienia)*. Puławy, 2009.