INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA
I GLEBOZNAWSTWA
PAŃSTWOWY INSTYTUT
BADAWCZY

STUDIA I RAPORTY IUNG-PIB

36(10)

PROGRAM WIELOLETNI

2011-2015

PUŁAWY 2014

ZMIANY W TECHNOLOGIACH PRODUKCJI ROŚLINNEJ – OCENY I WPŁYW NA ŚRODOWISKO ROLNICZE

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

INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

Dyrektor: *prof. dr hab. Wiesław Oleszek*

Redakcja naukowa: *prof. dr hab. Mariusz Kucharski*

Autorzy:
*dr Andrzej Biskupski, dr hab. Henryk Bujak, dr hab. Hnna Gołębiowska,
dr Małgorzata Haliniarz, dr Elżbieta Harasim, Olga Kalitowska, dr Renata Kieloch,
prof. dr hab. Mariusz Kucharski, dr hab. Cezary A. Kwiatkowski,
dr hab. Elżbieta Pląskowska, prof. dr hab. Jerzy Sadowski, dr Tomasz R. Sekutowski,
mgr Tomasz Snopczyński, dr hab. Ryszard Weber, dr Stanisław Włodek,
mgr Barbara Wujek, dr Alena Yakimovich, dr Dariusz Zalewski*

Recenzenci:
*dr hab. Hanna Gołębiowska, dr hab. Jerzy Grabiński, dr Renata Kieloch,
prof. dr hab. Mariusz Kucharski, dr Tomasz Sekutowski, dr Beata Feledyn-Szewczyk,
dr hab. Ryszard Weber*

Opracowanie redakcyjne i techniczne: *mgr Ewa Decka-Cywińska*

ISBN 978-83-7562-161-7

Egzemplarz bezpłatny

Nakład 250 egz., B5, zam.
Dział Upowszechniania i Wydawnictw IUNG-PIB w Puławach
tel. (81) 8863421 w. 301 i 307; fax (81) 8864547
e-mail: iung@pulawy.pl; http://www.iung.pulawy.pl

STUDIA I RAPORTY IUNG-PIB

ZMIANY W TECHNOLOGIACH PRODUKCJI ROŚLINNEJ – OCENY I WPŁYW NA ŚRODOWISKO ROLNICZE

ZESZYT 36(10) 2014

SPIS TREŚCI

Wstęp 7

1. H. Gołębiowska, E. Pląskowska – Stan fitosanitarny uprawy kukurydzy modyfikowany stopniem zachwaszczenia a zdrowotność ziarna przeznaczonego do konsumpcji..... 9
2. M. Kucharski, J. Sadowski, B. Wujek – Zmiany w aplikacji herbicydów jako element ograniczający niekorzystny wpływ technologii stosowanych w produkcji roślinnej na środowisko rolnicze 19
3. R. Kieloch – Znaczenie odmiany w ochronie zbóż przed chwastami 33
4. M. Kucharski, J. Sadowski, O. Kalitowska – Łączne stosowanie herbicydów z adiuwantami w zabiegach przedwschodowych – skuteczność i wpływ na środowisko.. 45
5. C. A. Kwiatkowski, A. Yakimovich, M. Haliniarz E. Harasim – Możliwości regulacji zachwaszczenia na wybranych plantacjach roślin zielarskich w Polsce i na Białorusi 55
6. T. Piskier, T. R. Sekutowski – Środowiskowe i produkcyjne skutki stosowania bezorkowych systemów uprawy roli 69
7. H. Gołębiowska, T. Snopczyński – Kierunki zmian w ochronie kukurydzy przed zachwaszczeniem zachodzące w ostatnim dziesięcioleciu 91
8. R. Weber, H. Bujak, D. Zalewski – Zmienność plonowania wybranych odmian pszenicy ozimej w punktach doświadczalnych porejestrowego doświadczalnictwa odmianowego na Dolnym Śląsku..... 105
9. A. Biskupski, T. R. Sekutowski, S. Włodek – Gospodarcze i ekologiczne znaczenie międzyplonów w produkcji roślinnej..... 121
10. J. Sadowski, M. Kucharski – Konsekwencje zmian w dostępności środków ochrony roślin dla zanieczyszczeń herbicydowych wód na terenach rolniczych..... 137
11. T. R. Sekutowski – Bioindykatory w badaniu skażenia środowiska ksenobiotykami..... 147
12. S. Włodek, K. Pawęska, A. Biskupski – Wykorzystanie ścieków do nawodnień w aspekcie zmian klimatycznych 161

Wstęp

Równolegle z wprowadzaniem chemicznych metod ochrony roślin, następował rozwój badań związanych z oceną wpływu nowych technologii produkcji roślinnej na środowisko glebowe, wodne oraz pozostałości w plonie. Wyniki tych badań okazały się niekorzystne, a poinformowanie o tym świata nauki, ekologów i szerokiej opinii społecznej spowodowało zmianę w podejściu do ochrony roślin. Na przełomie lat 70. i 80-tych ubiegłego wieku powstała koncepcja produkcji integrowanej, jako alternatywa ograniczająca skażenie środowiska i zachowanie równowagi w ekosystemach. Rozwój tego kierunku dał również początek rolnictwu ekologicznemu, a z czasem umożliwił powstanie uregulowań prawnych związanych z kontrolą i ograniczeniem w stosowaniu niektórych środków ochrony roślin (ś.o.r.), opracowania norm pozostałości substancji aktywnych ś.o.r. w żywności i wodzie pitnej.

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 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.

Wspomniane powyżej Dyrektywy, jak też inne uregulowania prawne związane z zabezpieczeniem zdrowia konsumentów i ochrony środowiska rolniczego spowodowały konieczność wprowadzania nowych rozwiązań w technologiach i technice produkcji roślinnej. Stosowane metody poddawane są ciągłej ocenie umożliwiającej wybór najlepszych, które powinny spełniać wymogi prawne, a zarazem być korzystne dla producentów i konsumentów produktów roślinnych.

Wyrazem zainteresowania tematyką „skutków wprowadzanych zmian w technologiach produkcji roślinnej" jest przygotowany kolejny zeszyt z serii „Studia i Raporty IUNG-PIB", w którym Autorzy poszczególnych rozdziałów dzielą się swoją wiedzą i oceną wybranych zagadnień związanych z produkcją roślinną.

Mam nadzieję, że opracowania zamieszczone w niniejszym zeszycie z serii „Studia i Raporty IUNG-PIB" zainteresują szerokie grono Czytelników i zachęcą Ich do pogłębiania wiedzy oraz własną ocenę wprowadzanych zmian w produkcji roślinnej.

Korzystając z możliwości, pragnę serdecznie podziękować wszystkim Autorom prac, Recenzentom i Redakcji za udział w przygotowaniu i wydaniu niniejszej publikacji.

Kierownik zadania 2.6

prof. dr hab. Mariusz Kucharski

S T U D I A I R A P O R T Y IUNG-PIB

ZESZYT 36(10): 9-17 **2014**

Hanna Gołębiowska, Elżbieta Pląskowska*

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach

**Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu*

STAN FITOSANITARNY UPRAWY KUKURYDZY MODYFIKOWANY STOPNIEM ZACHWASZCZENIA A ZDROWOTNOŚĆ ZIARNA PRZEZNACZONEGO DO KONSUMPCJI*

Słowa kluczowe: kukurydza, stan zachwaszczenia, grzyby fuzaryj ne, choroby, jakość plonu

Wstęp

Duży zasięg uprawy kukurydzy, możliwy obecnie niemal w całej Polsce, wszechstronne wykorzystywanie ziarna oraz dobra koniunktura, w krótkim czasie doprowadziły do znacznego wzrostu areału jej zasiewów. Jednak negatywnym zjawiskiem wynikającym z tej sytuacji są istotne zróżnicowania nie tylko w zbiorowiskach chwastów, ale również wśród chorób czy szkodników (7, 9). Na przestrzeni ostatnich lat uprawa kukurydzy osiągnęła 4,3% udział w strukturze zasiewów, a jego tendencja wzrostowa powoduje, że staje się rośliną o dużym znaczeniu towarowym (16). Zrodziła się, więc pilna potrzeba przygotowania producentów do ochrony kukurydzy przed groźnymi agrofagami zwłaszcza w warunkach uproszczeń uprawowych (1).

Sprzyjające wegetacji kukurydzy warunki klimatyczne na Dolnym Śląsku nakładające się na wzrost zachwaszczenia głównie chwastnicą jednostronną *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beaur, prowadzą do nasilenia porażenia roślin przez grzyby patogeniczne, szczególnie z rodzaju *Fusarium* (4, 10, 20). Z uwagi na niewiele zarejestrowanych fungicydów przeciwko chorobom fuzaryjnym i niemożliwe przeprowadzenie zabiegów w późnych fazach rozwojowych kukurydzy, istotnym staje się określenie w jakim zakresie chemiczne środki ochrony przed chwastami mogą ograniczać ich liczebność jako roślin rezerwuarowych dla rozwoju grzybów chorobotwórczych (2, 8).

*Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.6 programu wieloletniego IUNG-PIB

Grzyby z rodzaju *Fusarium* na plantacji kukurydzy najczęściej powodują zgorzel podstawy łodygi i fuzariozę kolb, która doprowadza do infekcji ziarna i pogorszenia jego parametrów jakościowych głównie białka i skrobi. W porażonym ziarnie niektóre gatunki tych grzybów, szczególnie *F. culmorum* i *F. graminearum* są sprawcami pojawienia się toksycznych produktów ich przemiany materii zagrażających życiu ludzi i zwierząt (12, 13).

W ostatnich latach często nie sprawdza się chemiczna ochrona przed chwastnicą jednostronną i komosą białą *Chenopodium album* L. z jednorazowym użyciem nikosulfuronu z grupy sulfonylomocznika (17). Problem ten nasila się w uprawie bezpłużnej, gdzie dodatkowe zagrożenie stanowi bylica pospolita *Artemisia vulgaris* L. (5, 11). Nie zniszczone gatunki chwastów stwarzają sprzyjające warunki termiczne i wilgotnościowe dla rozwojowi grzybów fuzaryjnych (19).

Dlatego poszukuje się skuteczniejszego sposobu eliminacji chwastów łącząc nikosulfuron z adiuwantem i stosując go systemem dawek dzielonych. Obowiązujące od 2014 roku zasady integrowanej ochrony roślin rolniczych dopuszczają łączenie różnych metod stosowania środków ochrony, co w przypadku herbicydów wiąże się z dokładnym rozpoznaniem i oszacowaniem stanu zachwaszczenia uprawy (art. 14 dyrektywy 2009/128/WE oraz rozporządzenia nr 1107/2009). Aplikacja herbicydów dawkami dzielonymi, gdzie pierwszą dawkę stosuje się na wschodzące chwasty, a drugą możliwie jak najpóźniej na pozostałe nie zniszczone gatunki może przyczyniać się do stworzenia warunków siedliskowych ograniczających rozwój grzybów fuzaryjnych (18). Zadowalający efekt fitosanitarny uprawy kukurydzy, w konsekwencji prowadzi do wytworzenia ziarna o dobrych parametrach jakościowych spełniających normy produktu młynarskiego PN –R-74104 (6).

Celem badań prowadzonych w warunkach bezpłużnej uprawy kukurydzy, było określenie w jakim stopniu poziom zachwaszczenia regulowany jednorazową aplikacją nikosulfuronu z użyciem herbicydu Milagro 040 SC można obniżyć stosując go w zmienionej formulacji tj. jako herbicyd Accent 75 WG z dodatkiem wspomagacza systemem dawek dzielonych. Oczekuje się, że wpłynie to na:

- obniżenie zachwaszczenia
- poprawę warunków termicznych i wilgotnościowych w łanie kukurydzy,
- obniżenie porażenia łodyg i kolb grzybami fuzaryjnymi,
- czystość ziarna i pozbawienie go zanieczyszczeń i obcych nasion
- poprawę wskaźników jakościowych ziarna: białka i skrobi.

Część doświadczalna

Stanowisko badań

Tabela 1.

Wskaźniki siedliska

Lokalizacja	Jelcz-Laskowice
Typ gleby	Gleby płowe wytworzone z piasku słabogliniastego na glinie lekkiej należące do kompleksu żytniego dobrego
Klasa gleby	IVa, IVb,
pH odczyn	5,0-5,3
Zawartość materii organicznej	1,2-1,5 %
Sposoby uprawy	Bezpłużny

Materiały

Tabela 2.

Charakterystyka substancji aktywnych herbicydów uwzględnionych w doświadczeniach

Substancja aktywna herbicydów wybranych do badań	Grupa chemiczna	Dawka na	Termin stosowania
Milagro 040 SC Nikosulfuron 40 g·dm^3	związek z grupy sulfonylomoczników	1,5 l	Stadium 3 liści kukurydzy
Accent 75 WG Nikosulfuron 75%·+ adiuwant	związek z grupy sulfonylomoczników	50g + 0,1% + 30g + 0,1%	Stadium 3 liści kukurydzy + Stadium 7 liści kukurydzy

Metodyka badań

Badania prowadzono w latach 2008–2010 w bezpłużnej uprawie kukurydzy odmiany GROM (polski mieszaniec pojedynczy SC, średniowczesny FAO 240) metodą losowanych bloków. Charakterystykę siedliska podano w tabeli 1. Aplikację Milagro 040 SC przeprowadzono jednorazowo w fazie 3 liści kukurydzy (BBCH 13) i porównywano jego skuteczność do herbicydu Accent 75 WG z dodatkiem adjuwanta Trend 90 EC aplikowanego metodą dawek dzielonych, gdzie 2/3 dawki zastosowano w fazie 3 liści kukurydzy na wschodzące chwasty i 1/3 dawki w fazie 7 liści kukurydzy na pozostałe nie zniszczone gatunki (tab. 2). Po upływie 3–5 tygodni od wykonania zabiegu oceniano efektywność chwastobójczą - szacując procent zniszczenia poszczególnych gatunków chwastów w porównaniu do kontroli z pełnym zachwaszczeniem zgodnie z wytycznymi Norm Wzorcowych EPPO z 1995 (3). W okresie kwitnienia kukurydzy przeprowadzono pomiary temperatury i wilgotności powietrza na wysokości 1m od poziomu gleby w 10 miejscach na każdym poletku doświadczalnym podając średnią dla obiektu kontrolnego oraz herbicydowego.

Pod koniec wegetacji kukurydzy określono stan zdrowotny roślin według 9-cio stopniowych własnych skal porażenia podstawy łodygi i kolb przez grzyby z rodzaju *Fusarium* spp. na 25 roślinach w 4 miejscach na poletku. Skale te posłużyły do obliczenia wskaźnika porażenia łodyg i kolb dla każdego poletka oraz analiz statystycznych. Na każdym poletku, w okresie sprzętu kukurydzy przebadano zdrowotność 10 kolejno rosnących roślin w rzędzie, w 3 miejscach. Do oceny porażenia łodyg przez *Fusarium* spp. zastosowano metodę podłużnego krojenia łodyg. Ocenę porażenia kolb przez te grzyby wykonano na tych samych roślinach, na których oceniano uszkodzenia łodyg.

W celu wyizolowania patogenów z podstawy łodyg oraz z ziarna z ocenianych roślin, z każdego poletka wybrano po 10 łodyg i kolb wykazujących zmiany chorobowe. W laboratorium mykologicznym fragmenty tkanek łodyg odkażono przez 1 min. w 0,5% podchlorynie sodu, a następnie pocięto je na 6 inokulów i wyłożono na szalki z pożywką PDA. Z kolb z widocznymi objawami fuzariozy pozyskiwano po 4 ziarniaki, które wykładano na szalki z pożywką maltozową. Po okresie inkubacji, wyrastające ze wszystkich inokulów kolonie grzybów sukcesywnie odszczepiano na skosy z pożywką PDA, a następnie oznaczano do gatunku według dostępnych monografii T e m p e (13).

W czasie zbioru ustalono plon ziarna i MTZ (w przeliczeniu na 15% wilgotności) oraz % zanieczyszczeń na sitach_wg. wymagań PN – R-74104 oraz wykonano izolację grzybów z ziarna metodą opisaną przez T e m p e (13). Z każdego wariantu doświadczenia analizowanych było po 100 ziarniaków nieodkażonych i 100 odkażonych 1% podchlorynem sodu przez 10 min. Po okresie inkubacji wyrastające kolonie grzybów były odszczepiane na skosy z pożywką PDA i oznaczane do gatunku według dostępnych monografii. Ziarno kukurydzy z obiektu kontrolnego, jak i z obiektów traktowanych herbicydami pozyskane z każdej uprawy poddano analizom laboratoryjnym, gdzie określano następujące cechy: suchą masę w 105 ^{o}C metodą wagową, zawartość białka i skrobi wykorzystując technikę bliskiej podczerwieni NIR.

W statystycznym opracowaniu wyników użyto metody analizy wariancji, a istotność różnic testowano wykorzystując półprzedział ufności Tukeya, dla poziomu ufności wynoszącego 0,05.

Omówienie wyników

W latach badań o stanie zachwaszczenia kukurydzy decydowały zarówno chwasty jednoliścienne w tym głównie chwastnica jednostronna (*Echinochloa crus-galli*), jak i dwuliściennie z najliczniejszą komosą białą (*Chenopodium album*) oraz gatunek wieloletni bylica pospolita (*Artemisia vulgaris*). Chwasty te okazały się początkowo średniowrażliwe (<85% zniszczenia) i średnioodporne (<75% zniszczenia) na zastosowany do ich eliminacji Milagro 040 SC, co wykazała pierwsza analiza skuteczności (tab. 4). Natomiast aplikacja herbicydu Accent 75 WG

metodą dawek dzielonych okazała się bardziej skuteczna w eliminowaniu zarówno chwastnicy jednostronnej, jak i chwastów dwuliściennych, których zniszczenie po zastosowaniu pierwszej dawki i oceniane tuż przed zastosowaniem drugiej było > 85%. Kolejna analiza zniszczenia chwastów, przeprowadzona w fazie BBCH 35 wykazała dla stosowanego jednorazowo herbicydu Milagro 040 SC obniżenie skuteczności chwastobójczej o 9% dla chwastnicy jednostronnej i o 4% dla komosy, natomiast na obiekcie, gdzie zastosowano Accent 75 WG z adjuwantem systemem dawek dzielonych uzyskano zniszczenie chwastnicy jednostronnej na poziomie 89% a komosy na poziomie 90%. co świadczy o wyższej wrażliwości chwastów na ten wariant herbicydowy (tab. 3) (6).

Na obiekcie, gdzie zastosowano jednorazowo nikosulfuron jako herbicyd Milagro 040 SC, w wyniku słabego zniszczenia chwastów zarówno temperatura powietrza w łanie, jak i wilgotność były wyższe niż na obiekcie z dzielonym użyciem herbicydu Accent 75 WG (tab. 4). Warunki siedliskowe tj. stan zachwaszczenia, temperatura i wilgotność w łanie decydowały również o porażeniu roślin przez choroby wywołane przez grzyby fuzaryjne. Z przeprowadzonej oceny zdrowotności roślin odmiany GROM wynika, że główną przyczyną fuzaryjnej zgorzeli podstawy łodygi był *F. oxysporum,* co potwierdziła przeprowadzona analiza mikologiczna. Odmiana GROM, mimo ogólnej odporności na choroby fuzaryjne, była podatna na tego patogena, co uzasadniają badania Prończuk i wsp. dotyczące zróżnicowanej podatności odmian kukurydzy na infekcje wywołane przez niektóre gatunki grzybów fuzaryjnych (15). Na obiekcie traktowanym jednorazowo Milagro 040 SC notowano w warunkach polowych więcej zmian chorobowych zarówno na łodygach jak i kolbach w porównaniu do obiektu, gdzie zastosowano go metodą dawek dzielonych (tab. 3).

Z porażonych łodyg kukurydzy z objawami zgorzeli dominującym gatunkiem w chorych tkankach roślin był *F. oxysporum*. Dość często wyizolowywane były również gatunki *F. culmorum*, i *F. avenaceum* (tab.4). Na podstawie badania mikologicznego ziarna pobranego z porażonych kolb z objawami fuzariozy stwierdzono, że przyczyną zmian chorobowych były głównie te same gatunki, które powodowały fuzaryjną zgorzel podstawy łodygi (tab. 4). Gatunek *F. oxysporym* choć bardzo liczny w porażonych łodygach kukurydzy, w ziarnie występował w dużo mniejszym nasileniu. W tym systemie uprawy kukurydzy, chronionej herbicydem Accent 75 WG zarówno łodygi jak i ziarno były słabiej zasiedlone przez *Fusarium* spp. zwłaszcza *F. oxysporum,* niż pobrane z poletek, gdzie stosowano sam nikosulfuron. Natomiast liczebności *F. avenaceum* zarówno w łodydze jak i ziarnie były z tendencją zniżkowa na obiekcie chronionym herbicydem Accent75 WG.

Efekty działania wybranych wariantów herbicydowych świadczą o możliwości skutecznego niszczenia zachwaszczenia i stworzenia środowiska ograniczającego rozwój chorób, co prowadzi do uzyskania zdrowego, pozbawionego zanieczyszczeń i dorodnego ziarna (tab.3). Plon ziarna dla odmiany GROM na obiekcie traktowanym herbicydem Accent 75 WG wynosił 10,23 $t \cdot ha^{-1}$ i był wyższy o 2,67 tony niż na

obiekcie z samodzielnie stosowanym Milagro 040 SC, a różnice były statystycznie udowodnione (tab. 4). Podobnie masa ziarna uzyskana z obiektu potraktowanego mieszaniną była wyższa, a różnice w porównaniu z nikosulfuronem były również statystycznie istotne (tab. 3).

Badania laboratoryjne cech jakościowych ziarna traktowanych herbicydami Milagro 040 SC i Accent 75 WG wykazały ich znaczne zróżnicowanie. Niska skuteczność chwastobójcza, porażenie chorobami fuzaryjnymi czyli zły stan fitosanitarny miały istotny wpływ na obniżenie suchej masy i zawartości białka i skrobi w ziarnie w porównaniu do pozostałego obiektu herbicydowego, gdzie te wskaźniki jakościowe były na poziomie Norm Żywienia PAN z 1995 r. (tab. 4) (14).

Podsumowanie

Celem przeprowadzonych badań było ustalenie, jaki wpływ na zdrowotność, plonowanie i parametry jakościowe ziarna kukurydzy ma zapewnienie czystego niezachwaszczonego stanowiska z użyciem dwóch wariantów herbicydowych i wynikający z ich zastosowania stan fitosanitarny.

We wszystkich latach badań w bezpłużnym systemie uprawy kukurydzy notowano dominujący udział w zachwaszczeniu *Echinochloa crus-galli* i *Chenopodium album*. Z ziarna kukurydzy wyosabniano bardzo licznie przedstawicieli *Fusarium* spp., szczególnie *F. oxysporum* oraz *F. culmorum* oraz *F. avenaceum*. Nie zwalczone chwasty stały się przyczyną powstania sprzyjających warunków termicznych i wilgotnościowych dla ich rozwoju. Zostało to wykazane w przypadku użycia herbicydu Milagro 040 SC. Z uwagi na jego mniejszą skuteczność w zwalczaniu zachwaszczenia również w mniejszym stopniu została ograniczona infekcja roślin przez *Fusarium* spp. w porównaniu do wariantu z użyciem herbicydu Accent 75 WG metodą dawek dzielonych.

Niska skuteczność herbicydu Milagro 040 SC w ograniczaniu zachwaszczenia oprócz wzrostu temperatury i wilgotności w łanie oraz porażenia roślin i kolb przez *F. avenaceum, F. culmorum, F. oxysporum* była powodem obniżenia wartości parametrów jakościowych ziarna /ciężar 1000 ziaren, niższa zawartość białka i skrobi/.

Silnie porażone ziarno nie nadawało się na paszę i cele spożywcze ponieważ nie spełniało norm wymaganych przy skupie PN –R-74104, jak również wskaźniki jakościowe nie były na poziomie Norm Żywienia opracowanych przez PAN w 1995 r. W przypadku dobrze dobranego środka chwastobójczego jakim było użycie herbicydu Accent 75 WG z późną aplikacją drugiej dawki, możliwe jest uzyskanie czystego, zdrowego i dorodnego ziarna o wysokich parametrach jakościowych spełniających wymagania produktu przeznaczonego do konsumpcji.

Tabela 3

Wpływ poziomu zachwaszczenia na warunki siedliskowe, stan fitosanitarny uprawy oraz plonowanie kukurydzy

Obiekt	Termin oprysku	Zniszczenie chwastów [%] 3-4 tygodni po oprysku		Zniszczenie chwastów [%] 5-6 tygodni po oprysku		Warunki siedliskowe		Stan fitosanitarny		Plon ziarna [t·ha^{-1}]	Masa 1000 ziarn g	Czystość ziarna	
		1 liśc.	2 liśc.	1 liść.	2 liść.	Temp. w łanie [°C]	Wilgot. [%]	Stopień porażenia podstawy łodyg przez *Fusarium* [1:9]	Stopień porażenia kolb przez *Fusarium* [1:9]			Zanieczyszczenia mineralne [%]	Obce nasiona [%]
Obiekt nie traktowany herbicydami	-	33*	48*	33*	48*	22,5	76	4,12	4,26	4,42	311,1	2,1	1,7
Milagro 040 SC 1,5 l/ha	3 liście kukurydzy	83	61	74	54	19,8	42	4,01	3,41	7,56	317,03	0,0	0,1
Accent 75 WG 50g + 0,1% + 30g + 0,1%	3 liście + 7 liści kukurydzy	94	89	95	95	22,2	66	3,74	2,71	10,23	335.10	1,0	0,9
								NIR, *LSD* (α = 0,05) = 0,21	NIR ,*LSD* (α = 0,05) = 0,35	NIR, *LSD* (α = 0,05) = 0,98	NIR ,*LSD* (α = 0,05) = 13,69		

* - liczba chwastów na m^{2}.

Tabela 4

Wpływ poziomu zachwaszczenia na zdrowotność i cechy jakościowe ziarna kukurydzy przeznaczonego do konsumpcji

Obiekt	Sucha masa [%]	Parametry jakościowe		Średnia liczebność izolatów grzybów z rodzaju *Fusarium* w łodydze			Średnia liczebność izolatów grzybów z rodzaju *Fusarium* w ziarnie		
		Białko [%]	Skrobia [%]						
Składniki pokarmowe wg Norm Żywienia PAN 1995 r.	88,0	9,0	61,4	*F. avenaceum* (Fr.) Sacc.	*F. oxysporum* Schlecht.	*F. culmorum* (W.G. Sm.) Sacc.	*F. avenaceum* (Fr.) Sacc.	*F. oxysporum* Schlecht.	*F. culmorum* (W.G. Sm.) Sacc.
Obiekt nie traktowany herbicydami	65,7	8,38	61,23	6,0	33,0	3,0	6,0	17,3	5,3
Milagro 040 SC 1,5 l/ha	76,31	8,54	65,53	4,3	35,0	1,0	13,0	19,0	5,0
Accent 75 WG 50g + 0,1% + 30g + 0,1%	86,9	8,96	72,40	2,3	12,3	3,0	4,0	10,0	5,7
	NIR, *LSD* (α = 0,05) = 10,09	NIR, *LSD* (α = 0,05) = 0,279	NIR, *LSD* (α = 0,05) = 1,279						

Literatura

1. Blecharczyk A., Małecka I., Skrzypczak G.: Wpływ uproszczonej uprawy roli na plonowanie i zachw aszczenie kukurydzy oraz na właściwości gleby. Acta Sci. Pol., Agricultura. 2004, **3(1)**: 157–163.
2. Chowdhury A, Pradhan S., Saha M., Sanyal N.: Impact of pesticides on soil microbiological parameters and possible bioremediation strategies. Indian J. Microbiol. 2008, **48**: 114–127.
3. EPPO-European and Mediteranean Plant Protection Organization. Biuletin 1995, No.135, 152, 181, 214, 50.
4. Gołębiowska H.: Dynamika występowania flory segetalnej w uprawie kukurydzy na Dolnym Śląsku w latach 1972-2008 i obecne możliwości jej regulacji. Monografie i rozprawy naukowe. 2011, **30**: 1-113.
5. Gołębiowska H., Badowski M.: Przenikanie Artemisia Vulgaris do zbiorowisk segetalnych niektórych upraw rolniczych na terenie Dolnego Śląska. Fragm. Agronomica. 2010, **27(3)**: 54-62.
6. Gołębiowska H., Rola H.: Wpływ herbicydów sulfonylomocznikowych na zdrowotność i wybrane parametry jakościowe ziarna odmian kukurydzy uprawianych w monokulturze. Fragm. Agron. 2008, **1/97**: 145–157.
7. Kolářová M., L. Tyšer L., J. Soukup J.: Diversity of current weed vegetation on arable landin selected areas of the Czech Republic. Plant Soil Environ, vol. 59, 2013, **5**: 208–213.
8. Maciaszek D, Gworek B.: Ocena środków ochrony roślin w zakresie bezpieczeństwa dla środowiska. Zesz. Prob. Post. Nauk Rol. 2004: 499.
9. Marshall E. J. P., Brown V. K., Boatman N. D., Lutman P. J., Squire G. R., Ward L. K.:The role of weeds in supporting biological diversity within crop fields. Weed Res. 2003, **43(2)**, 77-89.
10. Nitzsche O., Schmidt W., Gebhart C.: Fusarium pfluglos bekämpfen. Landwirtschaft ohne Pflug. 2002, **5**: 1-4.
11. Orzech K., Nowicki J., Marks M.: Znaczenie uprawy roli w kształtowaniu środowiska. Post. Nauk Rol. 2003, **1**: 131–144.
12. Pląskowska E.: Effect of communities of soil fungi on the growth of some pathogens which cause foot – rot complex in wheat cultivated after different forecrops. Phytopathol. Pol. 2000, **13**: 109-132.
13. Pląskowska E., Matkowski K., Moszczyńska E., Kordas L.:Wpływ sposobu uprawy na zdrowotność pszenicy jarej. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Sek. Rolnictwo. 2002a, **445**: 207–214.
14. Praca zbiorowa. Instytut Fizjologii i Żywienia Zwierząt PAN, Jabłonna. 2005: 1–136.
15. Prończuk M., Bojanowski J., Warzecha R., Laudański Z.: Badania nad odpornością kukurydzy na zgorzel podstawy łodyg. Cz. I Ocena podatności odmian mieszańcowych w warunkach infekcji naturalnej. Biul IHAR. 2007, **245**: 155-170.
16. Rocznik statystyczny. GUS Warszawa, 2010.
17. Skrzypczak G., Pudełko J., Waniorek W.: Ocena skuteczności herbicydów do zwalczania Echinochloa crus-galli w uprawie kukurydzy. Prog. Plant Protection/Post. Ochr. Roślin. 2005, **45(2)**: 1078–1080.
18. Tański M., Idziak R.: Wpływ terminów regulacji zachwaszczenia na skuteczność chwastobójczą herbicydów i plon kukurydzy. Prog. Plant Protection/Post. Ochr. Roślin. 2009, **49(1)**: 349–352.
19. Walczak F., Bandyk A., Jakubowska M., Roik K., Tratwal A. Wielk opolan B., Złotkowski J.: Stan Fitosanitarny roślin uprawnych w Polsce w roku 2012 i spodziewane wystąpienie agrofagów w 2013, IOR-PIB.
20. Zawora T., Ziernicka-Wojtaszek A.: Wpływ pogody i klimatu na działalność agrotechniczną i plonowanie roślin uprawnych na obszarze Polski. Problemy Ekologii. 2005, R.9, **5**: 269-271.

Adres do korespondencji:

dr hab. Hanna Gołębiowska,
IUNG-PIB
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli
ul. Orzechowa 61,
50-540 Wrocław
tel. 71 363 87 07 w. 116
h.golebiowska@iung.wroclaw.pl

S T U D I A I R A P O R T Y IUNG-PIB

ZESZYT 36(10): 19-32 **2014**

Mariusz Kucharski, Jerzy Sadowski, Barbara Wujek

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach

ZMIANY W APLIKACJI HERBICYDÓW JAKO ELEMENT OGRANICZAJĄCY NIEKORZYSTNY WPŁYW TECHNOLOGII STOSOWANYCH W PRODUKCJI ROŚLINNEJ NA ŚRODOWISKO ROLNICZE*

Słowa kluczowe: formulacja herbicydu, pozostałości, herbicydy wieloskładnikowe, dynamika rozkładu, adiuwant, monitoring pozostałości

Wstęp

W latach czterdziestych XX wieku po raz pierwszy, na szeroką skalę, zastosowano pestycydy wytworzone na drodze syntezy chemicznej, które dzięki swoim właściwościom wpłynęły na znaczący wzrost produkcji żywności (30). W tym samym czasie prowadzone były badania umożliwiające ocenę wpływu tych metod na środowisko (gleba, woda, roślina). Pierwsze doniesienia publikujące wyniki takich badań, pochodzące z początku lat 60-tych ubiegłego wieku, okazały się niekorzystne, a poinformowanie o tym szerokiej opinii publicznej spowodowało zmianę w podejściu do chemicznej ochrony roślin (4). Dopiero jednak na początku lat 90-tych ubiegłego wieku zaczęto wprowadzać nowe uregulowania prawne, które miały znacząco wpłynąć na zdrowie ludzi i zwierząt oraz środowisko.

Po przeprowadzeniu przeglądu blisko 1000 substancji czynnych (s.cz.), będących składnikami wielu środków ochrony roślin, pod kątem ich bezpieczeństwa dla ludzi, zwierząt i środowiska [zgodnie z wytycznymi Dyrektywy 91/414/WE (7)], w roku 2009 dopuszczono do stosowania jedynie 26% z nich. Ponadto wiele s.a. zostało dopuszczonych do stosowania w znacznie ograniczonych dawkach (20).

Duże zmiany zachodzące na rynku środków ochrony roślin (ś.o.r.), jak również perspektywa wejścia w życie (styczeń 2014) nowej Dyrektywy 2009/128/WE (8), wzmogły badania nad opracowaniem rozwiązań pozwalających na ograniczanie stosowania ś.o.r. z zachowaniem wysokiej skuteczności w walce z agrofagami.

*Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.6 programu wieloletniego IUNG-PIB

Początkowo przemysł agrochemiczny rozwinął badania nad możliwością stosowania środków wspomagających (adiuwantów) jako dodatku do cieczy opryskowej. Do najważniejszych z nich należą adiuwanty aktywujące – grupa substancji umożliwiających wzrost biologicznej aktywności substancji aktywnej ś.o.r. (surfaktanty, oleje mineralne i roślinne oraz ich pochodne, sole związków nieorganicznych, itp.). Główną funkcją adiuwantów aktywujących jest: zwiększenie retencji (wzrost ilości i wydłużenie czasu zatrzymania cieczy użytkowej na powierzchni rośliny), zmniejszenie napięcia powierzchniowego pomiędzy polarnymi i niepolarnymi częściami naskórka liścia oraz zwiększenie absorpcji (wzrost wnikania składnika aktywnego do rośliny). Elementy te wpływają na poprawę aktywności biologicznej preparatów, poszerzenie spektrum ich działania oraz ograniczenie ujemnego wpływu czynników środowiska podczas zabiegów. Dzięki temu zwiększa się stabilność działania herbicydów, zwłaszcza wówczas, gdy na polu występują chwasty średnio wrażliwe lub w późniejszych fazach rozwojowych, a warunki atmosferyczne (niska wilgotność powietrza i niska temperatura) nie sprzyjają działaniu preparatów (1, 9). Zdarzają się jednak przypadki, w których adiuwant jest obojętny lub działa antagonistycznie, powodując osłabienie skuteczności danego preparatu. W celu uniknięcia nieprawidłowości w łącznym stosowaniu różnych ś.o.r. i adiuwantów, jak również zwiększeniu możliwości wspomagających adiuwantów, przemysł agrochemiczny podjął badania, a następnie produkcję środków ochrony roślin w nowych formulacjach. Nowe formy użytkowe, głównie w postaci płynnej (zawiesiny, emulsje wodne i olejowe), zawierają dodatkowo szereg substancji wspomagających (adiuwanty olejowe, związki powierzchniowo czynne, bufory pH, substancje sklejające, itp.). Nowe formulacje (głównie SE – zawiesino-emulsje do rozcieńczania z wodą) umożliwiają również łączenie większej liczby substancji aktywnych o zróżnicowanych właściwościach chemicznych.

Redukcja dawki i nowe formulacje herbicydów

Przykładem zmian zmierzających do racjonalnego ograniczenia stosowania agrochemikaliów są najnowsze rozwiązania stosowane w uprawie buraka cukrowego. Roślina ta należy do upraw, dla ochrony której niezbędne jest stosowanie środków chwastobójczych. Asortyment herbicydów stosowanych w uprawie buraka cukrowego jest niezmienny od blisko czterdziestu lat, dlatego też poszukiwanie rozwiązań proekologicznych ukierunkowane zostało w stronę zmian w technice i sposobie aplikacji środków chwastobójczych, polegających na: aplikacji herbicydów w systemie dawek dzielonych, stosowaniu programu „mikrodawek", wykorzystaniu właściwości substancji wspomagających (adiuwantów) oraz aplikacji herbicydów wieloskładnikowych.

W tabeli 1 przedstawiono przykładowe programy ochrony buraka cukrowego przed chwastami z wykorzystaniem różnych technik i sposobów aplikacji. Programy uszeregowano chronologicznie od najstarszego, po najnowsze rozwiązania obejmujące dawki dzielone, stosowanie herbicydów wieloskładnikowych i system mikrodawek.

Tabela 1

Programy aplikacji herbicydów

Obiekt*	Dawka substancji czynnej (s.cz.) (g·ha^{-1})	Termin zabiegu	Sumaryczna dawka s.cz. (g·ha^{-1})	Program
Goltix 70 WP + Betanal Progress 180 EC	1 x 4200 1 x 1080	T-0 T-3	**5280**	"A" 1 x PRE (FD) + 1 x POST (FD)
Goltix 70 WP + Betanal Elite 274 EC	1 x 2800 3 x 274	T-0 T-1, 2, 3	**3622**	"B" 1 x PRE (RD) + 3 x POST (FD dla dawek dzielonych)
Betanal Quattro 380 SE	4 x 456	T-1, 2, 3, 4	**1824**	"C" 4 x POST (FD dla dawek dzielonych – herbicyd wieloskładnikowy)
Goltix 700 SC + Betanal Elite 274 EC + Safari 50 WP + Atpolan Bio 80 EC	4 x 231 4 x 91 4 x 5 4 x 1,0 l	T-1, 2, 3, 4 T-1, 2, 3, 4 T-1, 2, 3, 4 T-1, 2, 3, 4	**1308**	"D" 4 x POST (RD) (program mikrodawek)

*Goltix 70 WP, Goltix 700 SC (s.cz. metamitron = 70% lub 700 g·l^{-1})
Betanal Progress 180 EC (s.cz. fenmedifam = 60 g/l, desmedifam = 60 g/l, etofumesat = 60 g·l^{-1})
Betanal Elite 274 EC (s.cz. fenmedifam = 91 g/l, desmedifam = 71 g/l, etofumesat = 112 g·l^{-1}l)
Betanal Quattro 380 SE (s.cz. metamitron = 200 g/l, fenmedifam = 60 g/l, desmedifam = 60 g·l^{-1}, etofumesat = 60 g/l)
Safari 50 WP (s.cz. triflusulfuron metylowy = 50%)
Atpolan Bio 80 EC – adiuwant wieloskładnikowy zawierający estry metylowe kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego, środki powierzchniowo czynne I substancje buforujące
PRE – zabieg przedwschodowy, POST – zabieg powschodowy
FD – dawka pełna, RD – dawka zredukowana
T-0 - przed wschodem chwastów, T-1 - chwasty w fazie liścieni
T-2 - 7–10 dni po terminie T-1, T-3 - 7–10 dni po T-2 (dla programu "A" – burak cukrowy w fazie 2–4 liści)
T-4 - 7–10 dni po T-3

Źródło: badania własne

Zmiany w systemach stosowania herbicydów umożliwiają obniżenie dawek poszczególnych preparatów, mniejsza jest również dawka sumaryczna wszystkich zastosowanych w programie substancji aktywnych herbicydów, co znacząco redukuje koszty poniesione na zakup herbicydów. Zwiększenie liczby zabiegów do 4, a w szczególnych przypadkach do 5 w sezonie wegetacyjnym podnosi koszty poniesione na wykonanie zabiegów, jednak sumarycznie koszty (zabiegi + środki) są niższe od kosztów zabiegów tradycyjnych. Najnowsze systemy regulacji zachwaszczenia

w buraku cukrowym są również bardzo skuteczne i w wielu przypadkach prowadzone badania wykazały zniszczenie dominujących gatunków chwastów przekraczające 90% (18).

Bardzo ważną rolę w tych systemach spełniają adiuwanty. Dzięki ich właściwościom wzrasta skuteczność chwastobójcza herbicydów, powiększa się spektrum zwalczanych chwastów, głównie gatunków średnio wrażliwych oraz ograniczony jest wpływ niekorzystnych warunków pogodowych w okresie wykonywanych zabiegów (5, 14, 32). Stosowanie zabiegów dzielonych, a w szczególności programu mikrodawek wiąże się jednak z dużym zaangażowaniem rolnika. Najważniejszym elementem gwarantującym powodzenie aplikacji herbicydów w mikrodawkach jest znajomość stanu i stopnia zachwaszczenia plantacji oraz rygorystyczne przestrzeganie terminów wykonywania zabiegów herbicydowych. Najwyższa skuteczność chwastobójcza uzyskiwana jest, gdy herbicydy stosowane są w fazie liścieni chwastów (6).
Równie ważnym efektem stosowania nowych programów w ochronie buraka jest znaczące, bo nawet kilkukrotne, obniżenie stężenia pozostałości (nierozłożonej części) substancji czynnych herbicydów (pozostałości pojedynczych substancji), jak również pozostałości sumarycznych (sumy wszystkich zastosowanych substancji w sezonie) w glebie i korzeniach buraka cukrowego. Prowadzi to do zmniejszenia ryzyka skażenia środowiska rolniczego i ewentualnego, negatywnego wpływu na rośliny następcze, a tym samym uzyskiwania bezpiecznego dla zdrowia ludzi i zwierząt produktu (tab. 2).

Tabela 2

Pozostałości substancji czynnych herbicydów w glebie i korzeniach buraka cukrowego

Program	Pozostałości* [mg/kg]		
	metamitron	fenmedifam + desmedifam + etofumesat	suma pozostałości
gleba			
A	0,0095	0,0353	0,0448
B	0,0070	0,0198	0,0268
C	0,0025	0,0167	0,0192
D	0,0019	0,0062	0,0081
korzenie buraka cukrowego			
A	0,0051	0,0121	0,0172
B	0,0037	0,0060	0,0097
C	0,0013	0,0067	0,0080
D	0,0010	0,0015	0,0025

* wartości średnie z 2 lat badań

A, B, C, D – program aplikacji herbicydów (patrz tab. 1)

Źródło: badania własne.

W doświadczeniu oceniano również jakość uzyskanego surowca. Badania obejmowały takie parametry, jak: plon, zawartość cukru i melasotworów (K^+, Na^+, N-α-NH_2) w korzeniach buraka. Uzyskane wyniki porównano z obiektami kontrolnymi: nieodchwaszczanym i odchwaszczanym ręcznie – w obu przypadkach nie stosowano żadnych herbicydów. Oznaczanie parametrów jakościowych plonu w korzeniach buraka wykonywano w Cukrowni „Środa" z zastosowaniem automatycznego analizatora VENEMA IIIG. Do oznaczania poszczególnych komponentów stosowano: polarymetr (cukier), fotometr płomieniowy (K^+, Na^+) i fluorymetr (N-α-NH_2). Wyniki analiz (średnie dla dwóch lat badań) przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3

Parametry jakościowe korzeni buraka cukrowego

Program	Plon ($t \cdot ha^{-1}$)	Cukier (%)	Na^+*	K^+*	N-α-NH_2 *
Kontrola	23,6	19,3	3,2	45,2	14,0
Odchwaszczanie ręczne	71,9	19,6	3,8	45,6	14,7
A	60,5	19,8	4,0	46,0	15,0
B	68,4	19,0	3,6	45,8	15,2
C	69,8	18,5	4,3	46,3	15,5
D	65,2	18,2	3,5	45,7	14,8

* mmol/kg miazgi

A, B, C, D – program aplikacji herbicydów (patrz tab. 1)

Źródło: badania własne

Uzyskane wyniki potwierdzają potrzebę stosowania herbicydów do odchwaszczania plantacji buraka. Brak tych środków powoduje drastyczny spadek plonu. Przedstawione w tabeli 3 wyniki wskazują na fakt, że niezależnie od zastosowanego programu ochrony przed chwastami, stosowanie herbicydów nie wpłynęło znacząco na zawartość cukru i melasotworów w korzeniu buraka cukrowego.

Dodatek adiuwanta i termin aplikacji

Celem następnego doświadczenia było określenie wpływu terminu aplikacji herbicydu oraz możliwości ograniczenia jego dawki poprzez stosowanie łącznie z adiuwantem na poziom pozostałości chlorotoluronu w glebie i ziarnie pszenicy ozimej, jak też ocena wpływu tych parametrów na jakość plonu.

Jednym ze sposobów umożliwiających obniżenie dawki środka ochrony roślin, przy jednoczesnym zachowaniu jego skuteczności działania, jest stosowanie substancji wspomagających (adiuwantów). Są one stosowane z herbicydami, głównie w zabiegach nalistnych (9, 19). Zastosowanie adiuwantów można rozszerzyć o aplikację przedwschodową (15). W takich przypadkach dodatek wspomagacza ogranicza mobilność herbicydu w profilu glebowym, co wpływa korzystnie na wydłużenie czasu jego działania na chwasty (21).

Herbicydy w uprawie zbóż ozimych stosowane są głównie w przed- i powschodowych zabiegach jesiennych, dzięki którym, już w początkowym okresie wegetacji eliminowane są gatunki konkurencyjne, co ma dodatni wpływ na prawidłowy rozwój i lepsze przezimowanie roślin oraz w efekcie końcowym wysokie plonowanie (29, 34). Zdarza się jednak, że opóźniony siew lub niekorzystny przebieg pogody (obfite opady, wczesne przymrozki) uniemożliwiają planowe wykonanie zabiegów jesienią. W takich przypadkach możemy aplikować herbicydy wiosną, krótko po ruszeniu wegetacji (31, 33).

Prezentowane badania prowadzono w dwóch sezonach wegetacyjnych, na polu produkcyjnym pszenicy ozimej zlokalizowanym w okolicy Wrocławia. Doświadczenia zakładano metodą losowanych bloków, w czterech powtórzeniach, na poletkach o powierzchni 20 m^2. W obu sezonach wegetacyjnych wysiano tą samą odmianę pszenicy ozimej. Herbicyd zawierający chlorotoluron stosowano w dawce pełnej (1 kg/ha) i zredukowanej (0,65 kg/ha) oraz w dawce zredukowanej łącznie z adiuwantem. W mieszaninie z herbicydem zastosowano dwa adiuwanty różnego typu: olejowy (substancja czynna - estry metylowe kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego) oraz surfaktant (substancja czynna - tlenek polialkilenowy modyfikowany heptametylotrisiloksanem). Herbicyd i jego mieszaniny z adiuwantami stosowano przedwschodowo jesienią, późną jesienią (po ustaniu wegetacji) oraz wczesną wiosną.

Fitotoksyczność zastosowanych mieszanin oceniano bonitacyjnie (w skali 1:9) 3–4 tygodnie po aplikacji oraz wiosną po ruszeniu wegetacji. Ponadto wiosną wykonano ocenę skuteczności chwastobójczej, wykorzystując metodę szacunkową, określającą procentowe zniszczenie chwastów. Plon pszenicy ozimej zbierano kombajnem poletkowym. W ziarnie przeprowadzono analizy, określające podstawowe parametry jakościowe surowca (MTZ, masa hektolitra, wyrównanie ziarna, wskaźnik sedymentacji, liczba opadania, zawartość białka, popiołu i glutenu) oraz pozostałości substancji czynnej herbicydu. Analizy jakościowe ziarna wykonano zgodnie z metodyką opisaną w Polskich Normach (3, 22, 24, 25). Zawartość popiołu, białka, glutenu i wskaźnik sedymentacji określono za pomocą urządzenia INSTALAB 600, wykorzystującego technikę bliskiej podczerwieni NIR. Pozostałości chlorotoluronu oznaczono techniką chromatografii cieczowej HPLC/UV (23).

Chlorotoluron, stosowany w dawce zalecanej i obniżonej, jak też łącznie z adiuwantami, niezależnie od terminu wykonania zabiegu, był selektywny dla roślin pszenicy ozimej. W obu sezonach wegetacyjnych na plantacjach pszenicy dominowały gatunki chwastów, takie jak: *Apera spica-venti*, *Stellaria media*, *Lamium amplexicaule*, *Capsella bursa-pastoris*, *Brassica napus* i *Viola arvensis*. Herbicyd zastosowany w dawce pełnej zredukował chwasty na poziomie 88–95 i 82–90%, odpowiednio dla *A. spica-venti* i średnio dla dominujących gatunków dwuliściennych (tab. 4). Obniżenie dawki herbicydu o 35% (0,65 kg/ha) spowodowało spadek skuteczności chwastobójczej odpowiednio do 74–79 i 70–78%. Zastosowanie herbicydu w dawce

zredukowanej z dodatkiem adiuwantów poprawiło skuteczność działania herbicydu, a uzyskane zniszczenie chwastów kształtowało się na poziomie porównywalnym z tym, jakie uzyskano dla herbicydu stosowanego w dawce pełnej (tab. 4).

Tabela 4

Ocena skuteczności działania chlorotoluronu

Obiekt	Dawka (kg, l·ha^{-1})	Termin aplikacji	Zwalczanie chwastów (%)	
			APESV	2-liścienne**
Kontrola	–	–	18*	38*
Chlorotoluron	1,0	T-0	95	90
Chlorotoluron	0,65	T-0	79	78
Chlorotoluron + Adj. olejowy	0,65 1,0	T-0	92	87
Chlorotoluron + Surfaktant	0,65 0,13	T-0	88	85
Chlorotoluron	1,0	T-2	93	87
Chlorotoluron	0,65	T-2	79	76
Chlorotoluron + Adj. olejowy	0,65 1,0	T-2	88	86
Chlorotoluron + Surfaktant	0,65 0,13	T-2	86	83
Chlorotoluron	1,0	T-4	88	82
Chlorotoluron	0,65	T-4	74	70
Chlorotoluron + Adj. olejowy	0,65 1,0	T-4	85	76
Chlorotoluron + Surfaktant	0,65 0,13	T-4	81	73

* dla kontroli podano liczbę chwastów na m^2

** suma chwastów dwuliściennych: (*Brassica napus*, *Stellaria media*, *Viola arvensis*, *Thlaspi arvense*, *Lamium amplexicaule*, *Capsella bursa-pastoris*)

APESV – *Apera spica-venti*

T-0, T-2, T-4 – termin wykonania zabiegu, odpowiednio: jesienią – przedwschodowo, późną jesienią (po ustaniu wegetacji) i wczesną wiosną

Źródło: badania własne.

Termin aplikacji herbicydu i jego mieszanin z adiuwantami różnicował skuteczność chwastobójczą. Najlepsze zwalczanie dominujących na polu gatunków chwastów uzyskano po wykonaniu zabiegu herbicydowego jesienią, przed wschodem rośliny uprawnej. Najsłabsze działanie herbicydu, niezależnie od dawki i dodatku adiuwanta, uzyskano po wiosennej aplikacji środków. Było to widoczne szczególnie w odniesieniu do chwastów dwuliściennych (skuteczność na poziomie 73-82%). Podobną zależność otrzymano w stosunku do plonu ziarna pszenicy ozimej (tab. 5). Najwyższe plony uzyskano z obiektów, na których aplikowano herbicydy jesienią, przedwschodowo, a najniższe wartości uzyskano z obiektów opryskiwanych wiosną. Plon ziarna pszenicy

z obu sezonów wegetacyjnych kształtował się na poziomie 3,72-4,34 t·ha^{-1} i był znacząco wyższy od uzyskanego na obiektach bez ochrony herbicydowej. Dawka herbicydu i dodatek adiuwanta miał również wpływ na wielkość plonu pszenicy. Niezależnie od terminu aplikacji, obniżenie dawki herbicydu spowodowało spadek plonu pszenicy. Zastosowanie obniżonych dawek chlorotoluronu z dodatkiem adiuwantów umożliwiło plonowanie na poziomie obiektów, na których stosowano pełną dawkę herbicydu.

Tabela 5

Parametry jakościowe ziarna pszenicy ozimej

Obiekt	Dawka (kg, l·ha^{-1})	Termin aplikacji	Parametry jakościowe								
			plon (t·ha^{-1})	białko (%)	gluten (%)	popiół (%)	MTN (g)	SR (%)	WN (%)	LO (s)	hL (kg·hl^{-1})
Kontrola	–	–	3,30	10,9	25,8	1,32	41,0	28,1	95,0	280	75,1
Chlorotoluron	1,0	T-0	4,45	11,5	26,2	1,38	41,7	27,8	95,4	268	75,8
Chlorotoluron	0,65	T-0	4,01	10,6	25,8	1,34	41,3	27,7	95,4	265	74,9
Chlorotoluron + Adj. olejowy	0,65 1,0	T-0 T-0	4,34	11,2	24,9	1,29	41,8	28,0	95,6	274	75,8
Chlorotoluron + Surfaktant	0,65 0,13	T-0 T-0	4,27	10,9	26,1	1,38	41,1	27,3	95,7	280	75,5
Chlorotoluron	1,0	T-2	4,30	10,3	25,8	1,32	41,6	27,5	96,3	289	76,2
Chlorotoluron	0,65	T-2	3,86	10,9	26,2	1,24	40,9	27,0	96,8	291	74,6
Chlorotoluron + Adj. olejowy	0,65 1,0	T-2 T-2	4,17	10,2	25,4	1,20	41,5	27,9	96,1	287	74,9
Chlorotoluron + Surfaktant	0,65 0,13	T-2 T-2	4,10	10,6	25,9	1,29	41,0	28,2	95,2	270	75,6
Chlorotoluron	1,0	T-4	4,13	11,4	26,9	1,37	39,8	28,5	95,7	265	76,1
Chlorotoluron	0,65	T-4	3,72	10,8	27,9	1,40	40,5	28,0	96,9	272	75,9
Chlorotoluron + Adj. olejowy	0,65 1,0	T-4 T-4	3,91	10,1	27,2	1,34	41,2	27,6	96,7	284	75,2
Chlorotoluron + Surfaktant	0,65 0,13	T-4 T-4	3,86	11,0	26,5	1,26	41,5	27,2	95,5	290	76,3

MTN – masa tysiąca nasion (g)
SR – wskaźnik sedymentacji (%)
WN – wyrównanie ziarna (%)
LO – liczba opadania (s)
hL – masa hektolitra (kg·hl^{-1})
T-0, T-2, T-4 – objaśnienia jak w tab. 4

Źródło: badania własne.

Możliwość obniżenia dawki herbicydu w łącznej aplikacji z adiuwantami w zabiegach przed- i powschodowych została szeroko opisana w wielu publikacjach (9, 13, 27). Odpowiedni dobór adiuwanta, w większości przypadków umożliwiał redukcję dawki herbicydu bez wpływu na skuteczność chwastobójczą (1, 16). Łączne stosowanie herbicydów z adiuwantami w zabiegach nalistnych wpływa korzystnie na retencję i możliwość wnikania substancji czynnej herbicydu do roślin (9), natomiast

przy aplikacji przedwschodowej adiuwant może ograniczać przemieszczanie herbicydu w głąb profilu glebowego, co wpływa korzystnie na wydłużenie czasu, w którym herbicyd działa na wschodzące chwasty (2, 15, 21).

Próbki ziarna pszenicy ozimej, pobrane w czasie żniw, poddano analizie jakościowej. Stosowanie herbicydu w dawce pełnej i zredukowanej, jak też łącznie z adiuwantami nie wpłynęło istotnie na podstawowe parametry jakościowe plonu, takie jak: masa tysiąca nasion, wyrównanie ziarna, masa hektolitra, liczba opadania, wskaźnik sedymentacji oraz zawartość białka, glutenu i popiołu (tab. 5). Również wpływ terminu aplikacji herbicydu i jego mieszanin z adiuwantami na omawiane parametry jakościowe plonu nie został potwierdzony analizą statystyczną. Wpływ stosowania herbicydu na parametry jakościowe plonu są badane już w procesie rejestracji nowego środka. Stosowanie herbicydu może wpływać na występowanie objawów fitotoksycznych (np. przebarwienia liści, zahamowanie wzrostu). Jednak objawy te są zwykle przemijające i nie wpływają znacząco na parametry jakościowe plonu (10, 11, 12).

W próbkach gleby i ziarna pszenicy ozimej, pobranych w czasie zbioru, wykonano również badania na obecność pozostałości chlorotoluronu. W próbkach gleby pozostałości kształtowały się w granicach od niewykrywalnych [NW – poniżej progu oznaczalności metody analitycznej (< 0.0005 mg/kg)] do 0,0022 mg/kg, natomiast w próbkach ziarna od NW do 0,0015 mg/kg. Poziom pozostałości chlorotoluronu w glebie i ziarnie pszenicy był zróżnicowany i zależny od terminu wykonanego zabiegu, dawki herbicydu i obecności adiuwanta (tab. 6). Najniższe pozostałości odnotowano w próbkach gleby i ziarna, które pochodziły z obiektów opryskiwanych jesienią w zabiegu przedwschodowym. Najwyższe pozostałości chlorotoluronu wykryto w próbkach pochodzących z zabiegu wiosennego. Różnice pomiędzy pozostałościami oznaczonymi w próbkach z obu terminów były istotne statystycznie. Niezależnie od terminu wykonania zabiegu, najwyższe pozostałości chlorotoluronu (gleba i ziarno) odnotowano na obiektach opryskanych pełną dawką herbicydu. Redukcja dawki herbicydu powodowała również istotne obniżenie stężenia pozostałości. W przypadku zastosowania herbicydu w dawce zredukowanej z dodatkiem adiuwanta obserwowano wzrost pozostałości, jednak ich poziom był niższy od tego, jaki stwierdzono na obiektach z pełną dawką herbicydu (tab. 6). Dotychczasowe wyniki badań wskazują, że stosowanie herbicydów z adiuwantami może wpływać na dynamikę zanikania, jak też wzrost pozostałości herbicydów w glebie i materiale roślinnym (14, 15, 17, 28). Wykryte w badaniach pozostałości chlorotoluronu w ziarnie pszenicy ozimej, niezależnie od dawki i sposobu aplikacji herbicydu, były znacząco niższe od wartości dopuszczalnych (Najwyższe Dopuszczalne Pozostałości – NDP) (26).

Tabela 6

Pozostałości chlorotoluronu w glebie i ziarnie pszenicy ozimej

Obiekt	Dawka (kg, l·ha^{-1})	Termin aplikacji	Pozostałości (mg·kg^{-1})	
			gleba	ziarno
Chlorotoluron	1,0	T-0	0,0014	0,0011
Chlorotoluron	0,65	T-0	NW	NW
Chlorotoluron + Adj. olejowy	0,65 1,0	T-0 T-0	0,0009	0,0007
Chlorotoluron + Surfaktant	0,65 0,13	T-0 T-0	0,0008	NW
Chlorotoluron	1,0	T-2	0,0017	0,0011
Chlorotoluron	0,65	T-2	0,0009	0,0005
Chlorotoluron + Adj. olejowy	0,65 1,0	T-2 T-2	0,0012	0,0009
Chlorotoluron + Surfaktant	0,65 0,13	T-2 T-2	0,0010	0,0007
Chlorotoluron	1,0	T-4	0,0022	0,0015
Chlorotoluron	0,65	T-4	0,0012	0,0006
Chlorotoluron + Adj. olejowy	0,65 1,0	T-4 T-4	0,0017	0,0012
Chlorotoluron + Surfaktant	0,65 0,13	T-4 T-4	0,0015	0,0009

T-0, T-2, T-4 – objaśnienia jak w tab. 4
NW – pozostałości nie wykryto (poniżej progu oznaczalności metody analitycznej)

Źródło: badania własne.

Badania monitoringowe gleb i materiału roślinnego

Badania pozostałości środków ochrony roślin umożliwiają ocenę wpływu stosowanych substancji na środowisko i zdrowie ludzi, a wieloletnie badania monitoringowe umożliwiają analizę skutków wprowadzanych zmian i wybór najlepszych metod minimalizujących ryzyko wynikające ze stosowania chemicznych środków ochrony roślin. W tabeli 7 przedstawiono wyniki badań monitoringowych, które prowadzono w dwóch okresach (lata 2002–2008 i 2010–2013), na plantacjach produkcyjnych buraka cukrowego, kukurydzy, rzepaku ozimego i jarego, zbóż ozimych i jarych oraz ziemniaka. Monitoring obejmował pola uprawne woj. dolnośląskiego, opolskiego i południowej część Wielkopolski.

Wytypowane plantacje zostały objęte nadzorem umożliwiającym kontrolę poprawności wykonywanych zabiegów herbicydowych. Aplikacja herbicydów była prowadzona w terminach i dawkach zgodnych z aktualnymi zaleceniami producentów środków. W sezonach wegetacyjnych, krótko przed zbiorem, pobrano próbki materiału roślinnego oraz gleby i wykonano analizy chromatograficzne umożliwiające ilościowe i jakościowe oznaczenie pozostałości substancji czynnych herbicydów.

Tabela 7

Wyniki badań monitoringowych pozostałości

Okres badań	Liczba badanych s.cz.	Liczba próbek	% próbek bez pozostałości	% próbek z pozostałościami	% próbek z pozostałościami ≥NDP*
próbki gleby					
2002–2008	32	4032	62	38	0
2010–2013	26	1456	66	34	0
próbki roślinne					
2002–2008	32	4032	83	17	0
2010–2013	26	1456	86	14	0

NDP Najwyższe Dopuszczalne Pozostałości

Źródło: badania własne.

Porównując wyniki badań z obu okresów (2002-2008 i 2010-2013) można zauważyć, (średnio) kilku procentowy spadek liczby próbek z pozostałościami. Z wyników nie zamieszczonych w tym opracowaniu (w trakcie publikowania) stwierdzono, że znacząco obniżyły się średnie wartości wykrywanych pozostałości, co może świadczyć o pozytywnym efekcie wprowadzanych zmian w technice i sposobie aplikacji herbicydów. Ponadto, w żadnej z analizowanych próbek materiału roślinnego nie stwierdzono przekroczeń NDP (Najwyższe Dopuszczalne Pozostałości).

Podsumowanie

Roślina uprawna pozbawiona ochrony ze strony człowieka ustępuje miejsca chwastom, poddaje się presji chorób i szkodników. Dlatego stosowanie chemicznej ochrony jest niezbędnym i trwałym elementem w technologiach uprawy roślin rolniczych. Prawidłowo stosowane ś.o.r. umożliwiają osiągnięcie wysokich i jakościowo dobrych plonów bez uszczerbku dla chronionej rośliny. Szeroki asortyment ś.o.r. pozwala na elastyczność w doborze metody i terminu zabiegu, a właściwy dobór substancji aktywnych zapewnia wyeliminowanie agrofaga, tak aby nie stanowił on zagrożenia dla rośliny uprawnej.

Troska o zdrowie ludzi i środowisko powoduje, że działania rządowe kierują produkcję roślinną w stronę technologii integrowanej, której założeniem jest wykorzystanie w pierwszej kolejności metod hodowlanych, uprawowych i stosowania metod mechanicznych, a dopiero jako ostateczność, stosowanie metod chemicznych w regulacji zachwaszczenia. Są jednak uprawy, np. burak cukrowy, czy kukurydza, które poprzez długi okres od siewu do zwarcia międzyrzędzi, są bardzo narażone na konkurencję ze strony chwastów. W takim przypadku konieczne jest stosowanie metod chemicznych.

Opracowanie nowych systemów stosowania herbicydów opartych o zabiegi herbicydami wieloskładnikowymi lub stosowanie mieszanin kilku herbicydów

w mieszankach zbiornikowych, jak też stosowanie herbicydów w dawkach dzielonych i wykorzystanie substancji wspomagających aktywność biologiczną (adiuwanty), umożliwia obniżenie dawek poszczególnych preparatów, mniejsza jest również dawka sumaryczna wszystkich zastosowanych w programie substancji aktywnych herbicydów, co znacząco redukuje koszty poniesione na zakup herbicydów.

Najnowsze systemy regulacji zachwaszczenia są również bardzo skuteczne. Sumaryczne zniszczenie dominujących gatunków chwastów występujących na plantacjach wynosi 90-95%. Bardzo ważnym efektem stosowania nowych programów w ochronie roślin jest znaczące, 2-3 krotne, obniżenie stężenia pozostałości (nierozłożonej części) substancji aktywnych herbicydów (pozostałości pojedynczych substancji, jak również pozostałości sumarycznych – sumy wszystkich zastosowanych substancji w sezonie) w glebie i uprawianej roślinie, co umożliwia zmniejszenie ryzyka dla zdrowia ludzi i zwierząt, środowiska rolniczego oraz ewentualnych wpływów na rośliny następcze.

Znaczący jest również termin wykonania zabiegu. Większość herbicydów wykazuje bowiem najwyższą skuteczność, jeśli stosuje się je we wczesnych fazach rozwojowych chwastów. W przypadku ozimin zabieg jesienny zapewnia dobre zwalczenie chwastów i odpowiedni rozwój uprawianej rośliny, co zapewnia jej lepsze przezimowanie, a wydłużenie okresu od aplikacji środków do zbioru wpływa na poziom ewentualnych pozostałości w glebie i roślinie.

Literatura

1. Adamczewski K., Matysiak R.: Znaczenie i korzyści wynikające ze stosowania adiuwantów z herbicydami sulfonylomocznikowymi. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 2005, **45 (1)**: 17-24.
2. Bayer D. E., Foy C. L.: Action and fate of adjuvants in soils. Weed Sci., 1982, **34**: 84-92.
3. BN-69/9131-02. 1969. Oznaczanie wyrównania ziarna.
4. Carson R.: Silent Spring. Houghton Mifflin, USA, 1962, 368pp.
5. Dexter A. G.: History of sugar beet (*Beta vulgaris*) herbicide rate reduction in North Dakota and Minnesota. Weed Technol., 1994, **8**: 334–337.
6. Domaradzki K.: Optymalizacja stosowania herbicydów w systemach chemicznej ochrony buraka cukrowego. Prog. Plant Protection/Post. Ochr. Roślin, 2007, **47 (3)**: 64–73.
7. Dyrektywa 91/414/EWG z dnia 15 lipca 1991 dotycząca wprowadzania do obrotu środków ochrony roślin. Dz. U. WE, L 230/1 z dn. 19.08.1991, 32 ss.
8. Dyrektywa 2009/128/WE z dnia 21 października 2009 ustalająca ramy wspólnego działania na rzecz zrównoważonego stosowania pestycydów. Dz. U. WE, L 309/71 z dn. 24.11.2009, 71 ss.
9. Foster D. K., Taylor W. A., Parsons R. G.: Effects of adjuvants on the deposition, retention and efficacy of pesticides. Aspects Appl. Biol., 2006, **77 (1)**: 127–132.
10. Kieloch R., Rola H.: Wpływ herbicydów na plonowanie wybranych odmian pszenicy ozimej. Inż. Rol., 2007, **3 (91)**: 99–103.
11. Kieloch R., Rola H., Sumisławska J., Marczewski K.: Chemiczna ochrona zbóż przed chwastami a jakość ziarna. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 2009, **49 (2)**: 938–945.
12. Koeppe M. K., Barefoot A. C., Cotterman C. D., Zimmerman W. T., Leep D. C.: Basis of selectivity of the herbicide flupyrsulfuron-methyl in wheat. Pest. Biochem. Physiol.,1998, **59**: 105–117.

13. Krogh K. A., Halling-Sorensen B., Mogensen B. B., Vejrup K. V.: Environmental properties and effects of nonionic surfactant adjuvants in pesticides: a review. Chemosphere, 2003, **50**: 871–901.
14. Kucharski M.: Influence of herbicide and adjuvant application on residues in soil and plant of sugar beet. J. Plant Prot. Res., 2003, **43 (3)**: 225–232.
15. Kucharski M., Domaradzki K.: Stosowanie adiuwantów z metamitronem w zabiegach przedwschodowych – wpływ na skuteczność chwastobójczą oraz pozostałości herbicydu w glebie. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 2008, **48 (1)**: 281–286.
16. Kucharski M., Naraniecki B., Domaradzki K.: Oksyetylowana frakcja glicerynowa z instalacji biodiesla – surowiec ekologicznych adiuwantów dla herbicydów. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 2009, **49 (2)**: 900–903.
17. Kucharski M., Sadowski J.: Effect of adjuvants on herbicide residues level in soil and plant. J. Plant Dis. Prot., 2006, **20**: 971–975.
18. Kucharski M., Sadowski J., Wujek B.: Wpływ systemu aplikacji herbicydów na pozostałości lenacylu w glebie i korzeniach buraka cukrowego. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2009, **49 (4)**: 1868–1874.
19. Maschhoff J. R., Hart S. E., Baldwin J.: Effect of ammonium sulfate on the efficacy, absorption, and translocation of glufosinate. Weed Sci., 2000, **48 (1)**: 2–6.
20. Matyjaszczyk E.: Rejestracja środków ochrony roślin w Polsce – historia, stan obecny i przyszłość. [Registration of plant protection products in Poland – the history, present state and future]. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 2011, **51 (1)**: 77–87.
21. McMullan P. M., Thomas J. M., Volgas G.: HM9679 – A spray adjuvant for soil-applied herbicides. p. 285–290. In: Proc. 5th International Symposium on Adjuvants for Agrochemicals. USA, Memphis, Tennessee, 17–21 August 1998, 519 pp.
22. PN-68/R-74017. 1968. Oznaczanie masy 1000 ziarn.
23. PN-97/R-04123. 1997. Gleba i materiał roślinny. Oznaczanie pozostałości herbicydów. Substancja aktywna – pochodne fenylomocznika.
24. PN-ISO 3093. 1996. Oznaczanie liczby opadania.
25. PN-ISO 7971-2. 1998. Oznaczanie gęstości w stanie zsypnym, zwanej „masą hektolitra".
26. Regulation (EC) No 396/2005 of 23 February 2005 on maximum residue levels of pesticides in or on food and feed of plant and animal origin and amending Council Directive 91/414/EEC. Official Journal of the European Union, 16.03.2005, L 70: 1–16.
27. Schott J. J., Dufour J. L., Gauvrit C.: Effects of adjuvants on herbicidal action. III. Effects of petroleum and rapeseed oils on diclofop-methyl action on ryegrass. Agronomie, 1991, **11 (1)**: 27–34.
28. Swarcewicz M., Muliński Z., Zbieć I.: Influence of spray adjuvants on the behavior of trifluralin in the soil. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 1998, **60**: 569–574.
29. Unay A., Dogan M. N., Boz O.: Effects of different herbicides and applications times on the apical development and grain yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). J. Plant Dis. Prot., 2006, **20**: 795–799.
30. Van der Werf H. M. G.: Assessing the impact of pesticides on the environment. Agric. Ecosyst. Environ., 1996, **60**: 81–96.
31. Weber R., Gołębiowska H., Bortniak M.: Zmienność liczebności chwastów segetalnych w okresie wiosennym w zależności od wysokości ścierni przedplonu i sposobu uprawy roli kilku odmian pszenicy ozimej. Zesz. Nauk. UP Wrocław, Rolnictwo, 2012, **585**: 141–150.
32. Wilson R. G., Smith J. A., Yonts C. D.: Repeated reduced rates of broadleaf herbicides in combination with methylated seed oil for postemergence weed control in sugar beet (*Beta vulgaris*). Weed Technol., 2005, **19**: 855–860.

33. W o ź n i c a Z.: Jesienne i wiosenne stosowanie chlorsulfuronu w pszenicy ozimej. Rocz. Nauk Roln. E, 1990, **20 (1–2)**: 117–122.
34. W o ź n i c a Z., W a n i o r e k W., M i ł k o w s k i P.: Wpływ sposobu stosowania herbicydów na zachwaszczenie i plony ziarna pszenicy ozimej. Acta Sci. Pol., Agricultura, 2004, **3 (1)**: 37–44.

Adres do korespondencji:

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

S T U D I A I R A P O R T Y IUNG-PIB

ZESZYT 36(10): 33-43 **2014**

Renata Kieloch

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach

ZNACZENIE ODMIANY W OCHRONIE ZBÓŻ PRZED CHWASTAMI*

Słowa kluczowe: odmiana, zboża, konkurencyjność, zachwaszczenie, herbicydy, wrażliwość

Wstęp

Podstawowym kryterium wyboru odmiany uprawianego zboża jest jej potencjał plonotwórczy, przydatność do uprawy w danych warunkach klimatycznych oraz odpowiednia do kierunku użytkowania jakość ziarna. Niewiele uwagi poświęca się natomiast jej znaczeniu w ochronie plantacji zbóż przed chwastami. Chwasty silnie konkurują ze zbożami o wodę, światło i składniki pokarmowe, prowadząc do strat w plonie ziarna oraz pogorszenia jego jakości. Obecnie, najpowszechniej stosowaną metodą ograniczania zachwaszczenia jest stosowanie herbicydów. Obowiązująca od 01.01.2014 r. ustawa o integrowanej ochronie roślin zakłada, że w celu ograniczenia występowania agrofagów należy w pierwszej kolejności wykorzystać wszystkie inne niż chemiczne metody, natomiast stosowanie pestycydów ograniczyć do minimum. Znaczącą rolę w tym względzie odgrywa wybór odmiany odpowiedniej do uprawy na danym polu. Odmiany danego gatunku charakteryzują się zróżnicowanymi cechami morfologicznymi i fizjologicznymi, stąd też pełnią zróżnicowaną rolę w regulacji zachwaszczenia uprawy. Rozpatrując wpływ odmiany na ograniczenie zachwaszczenia należy uwzględniać zarówno jej wpływ na ilość wschodzących chwastów oraz ich wzrost i rozwój, jak również na skuteczność chwastobójczą i selektywność stosowanych herbicydów.

Konkurencyjność odmian dla chwastów

O zachwaszczeniu upraw w znacznym stopniu decydują zdolności konkurencyjne danego gatunku, a zwłaszcza uprawianej odmiany. Uważa się, że straty w plonach spowodowane oddziaływaniem chwastów na odmiany bardziej konkurencyjne mogą

*Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.6 programu wieloletniego IUNG-PIB

być o 7-9% mniejsze niż w przypadku odmian słabiej konkurujących ze zbożami (15). Inne źródło wskazuje na znaczne zróżnicowanie strat w plonach odmian pszenicy ozimej z powodu zachwaszczenia owsem głuchym, kształtujące się w granicach 17-62%, w zależności od odmiany (5). Zdolność odmian różnych gatunków zbóż do konkurowania z chwastami wynika głównie z charakterystyki nadziemnych części roślin oraz niektórych cech fizjologicznych, jak tempo wschodów czy termin dojrzewania. Znacznie mniejszą rolę w tym względzie odgrywają podziemne częsci roślin, jakkolwiek można oczekiwać większej konkurencji ze strony odmian z bardziej rozbudowanym systemem korzeniowym (24). Badania prowadzone w wielu placówkach naukowych na świecie wykazały, że zazwyczaj zdolności konkurencyjne danej odmiany nie wynikają z pojedynczej cechy, lecz są wynikiem współdziałania kilku cech oraz potencjału allelopatycznego. W związku z powyższym trudno jednoznacznie określić, jaka cecha uprawianej odmiany jest najbardziej pożądana w celu ograniczania zachwaszczenia. Istnieje pogląd, że współczesne odmiany zbóż charakteryzują się mniejszymi zdolnościami do ograniczania zachwaszczenia niż odmiany uprawiane dawniej. Jest to spowodowane faktem, że prace hodowlane ukierunkowanie są głównie na pozyskanie odmian o wysokim potencjale plonotwórczym, zaś poziom zachwaszczenia można regulować chemicznie (6, 10, 38). Sprzyja temu prężnie rozwijający się przemysł chemiczny, który oferuje szeroką gamę herbicydów do odchwaszczania zbóż. Badania prowadzone w IUNG-PIB wykazały, że spośród współcześnie uprawianych odmian pszenicy ozimej można wyodrębnić genotypy o dużej konkurencyjności w stosunku do chwastów, ale plonujące na wyższym poziomie niż odmiany dawne. Do tej grupy można zaliczyć odmiany Sukces, Zyta, Mewa i Smuga (13).

Zdolność danej odmiany zboża do zagłuszania chwastów przejawia się już na etapie wschodów. Im wcześniejsze i szybsze wschody, tym zboże stanowi większą konkurencję dla chwastów. Po wschodach zbóż kluczową rolę w ograniczaniu zachwaszczenia odgrywa przyrost biomasy roślin, a w szczególności jego tempo w stosunku do wschodzących chwastów (7). Im jest ono szybsze, tym mniej dogodne są warunki do wschodów i rozwoju chwastów. Różnice we wzroście odmian uprawianego zboża na początku wegetacji są uwarunkowane takimi cechami jak wielkość nasion i tempo wschodów siewek (36). Uważa się, że zacienienie powierzchni gleby na początku fazy krzewienia zbóż jest silnie skorelowane z zachwaszczeniem przez cały okres wegetacji. Stąd też pożądane są odmiany wcześnie wschodzące i o szybkim wzroście na początku wegetacji.

Na konkurencyjność zbóż w stosunku do chwastów wpływają cechy morfologiczne roślin warunkujące przechwytywanie światła słonecznego, tj. struktura łanu, wysokość roślin, liczba rozkrzewień, pokrój roślin (szerokość i kąt ustawienia blaszek liściowych). Bardziej efektywne w ograniczaniu zachwaszczenia są odmiany o dłuższych źdźbłach, szerszych i poziomo ustawionych blaszkach liściowych oraz silniej krzewiące się (6, 27, 34). Wiodącą cechą charakteryzującą konkurencyjność odmian zbóż w stosunku do chwastów jest wysokość roślin. Uważa się, że rośliny

wyższe wychwytują więcej światła słonecznego niż o krótkich źdźbłach (14, 20). Porównując znaczenie wysokości roślin ze zdolnością krzewienia w ograniczaniu zachwaszczenia odmian pszenicy ozimej owsem głuchym, cecha ta odgrywała bardziej istotną rolę niż drugi z wymienionych parametrów (5). Z kolei w pracach nad zachwaszczeniem odmian różnych gatunków zbóż wykazano, że wysokość roślin nie zawsze jest czynnikiem różnicującym poziom zachwaszczenia. Dane przedstawione w tabeli 1 wskazują, że wysokość roślin wpłynęła na zachwaszczenie odmian pszenicy ozimej i żyta, natomiast w przypadku odmian owsa nie była czynnikiem różnicującym zachwaszczenie.

Tabela 1

Wpływ wysokości roślin odmian zbóż na zachwaszczenie

Wyszczególnienie	Pszenica ozima		Owies		Żyto	
	Tybalt	Parabola	Arden	Haker	Arantes	Bojko
Wysokość roślin (cm)	79	89	88	89	132	127
Biomasa chwastów ($g \cdot m^{-2}$)	338	304	298	237	224	247

Źródło: Urban i in. 2013 (33).

W badaniach F e l e d y n - S z e w c z y k (12) wykazano wysoką zdolność konkurencyjną pszenicy ozimej odmiany Mewa i pszenicy orkisz odmiany Schwabenkorn, zaś odmianą o niskiej konkurencyjności była Kobra. Wynikały one z takich cech jak: powierzchnia liści, ilość rozkrzewień, wysokość roślin, produkcja nadziemnej masy (tabela 2). Porównując odmiany wysoce konkurencyjne, tj. Mewa i Schwabenkorn, wyższe wartości tych parametrów stwierdzono u pszenicy orkiszowej niż pszenicy zwyczajnej. Orkisz uprawiany jest często w warunkach rolnictwa ekologicznego, gdzie pożądane są odmiany o cechach warunkujących wysoką zdolność do ograniczania zachwaszczenia.

Tabela 2

Cechy wzrostu i rozwoju odmian pszenicy ozimej oraz ich zachwaszczenie

Wyszczególnienie	Kobra	Mewa	Orkisz
Powierzchnia liści (cm^2)	33,6	33,6	53,3
Rozkrzewienie	3,6	4,2	5,7
Wysokość (cm)	13,1	13,3	15,4
Sucha masa pszenicy ($g \cdot m^{-2}$)	53	65	86
Zachwaszczenie ($szt. \cdot m^{-2}$)	219,8	238,8	188,0

Źródło: Feledyn-Szewczyk i Duer 2006 (12).

W badaniach IOR-PIB, w których porównywano dwie odmiany pszenicy ozimej – Ludwig i Nutka stwierdzono, że pierwsza z nich odznacza się większymi zdolnościami konkurencyjnymi w stosunku do chwastów oraz wyższymi plonami. Wynika to

z faktu, że odmiana ta charakteryzuje się większą powierzchnią blaszek liściowych ustawionych poziomo oraz większą długością źdźbeł (16). W doświadczeniu prowadzonym przez Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, uwzględniającym odmiany Tonacja i Turnia, bardziej konkurencyjna okazała się druga z wymienionych, ze względu na wyższy wzrost roślin (21). Z kolei hodowca odmiany Tonacja podaje, że niska konkurencyjność tej odmiany w stosunku do chwastów wynika z powolnego wzrostu roślin w początkowym okresie rozwoju, przez co wydłuża się długość okresu od siewu do zwarcia międzyrzędzi, stwarzając tym samym dogodne warunki dla wzrostu chwastów.

Oprócz wspomnianych wyżej cech morfologicznych i fizjologicznych roślin, ograniczanie zachwaszczenia w uprawach zbóż możliwe jest dzięki ich zdolnościom allelopatycznym. Zjawisko allelopatii polega na wytwarzaniu przez roślinę swoistych substancji chemicznych, które uwalniane do środowiska poprzez ulatnianie, wydzieliny korzeniowe lub rozkład resztek pożniwnych działają na inne organizmy. Do najczęściej występujących w zbożach substancji o działaniu allelopatycznym można zaliczyć: gramina, kwasy fenolowe (benzoesowy, para-hydroksybenzoesowy, ferulowy, kawowy, orto-kumarowy, para-kumarowy, wanilinowy) oraz skopoletyny (4, 22). Wykazano, że odmiany określane jako słabo konkurencyjne nie wytwarzają niektórych z powyższych związków, podczas gdy u odmian wysoce konkurencyjnych stwierdzano ich obecność (4). Wieloletnie badania wykazały również, że dzikie odmiany zbóż mogą posiadać większe zdolności allelopatyczne niż te zmienione przez ciągłą selekcję w celu uzyskania pożądanych cech (29, 32). U nowych, wysoko plonujących odmian zbóż obserwuje się zmniejszenie zawartości związków o działaniu allelopatycznym, tj. graminy w jęczmieniu i kwasu para-hydroksybenzoinowego (11, 23).

Czynniki kształtujące konkurencyjność odmian zbóż w stosunku do chwastów

Zdolności konkurencyjne odmian zbóż są ściśle powiązane ze stosowaną agrotechniką oraz warunkami środowiskowymi, które warunkują wzrost zarówno rośliny uprawnej, jak i chwastów. W warunkach korzystnych dla wzrostu danego gatunku chwastu, jego wzrost jest na tyle silny, że zacierają się różnice w konkurencyjności odmian (35). Powszechnie znany jest fakt, że poszczególne odmiany zbóż cechują się zróżnicowaną reakcją na takie zabiegi, jak: uprawa roli, termin i gęstość siewu, poziom nawożenia, płodozmian oraz czynniki abiotyczne, suszę, niską temperaturę, zakwaszenie gleb (2, 31). Uważa się również, że agrotechnika wywiera silniejszy wpływ na zdolności konkurencyjne uprawianego zboża niż jego odmiana (3, 30).

Konkurencyjność odmian zbóż zależy również od składu gatunkowego chwastów występujących na polu, ponieważ poszczególne gatunki chwastów charakteryzują się różnicowanym tempem wzrostu i pobierania składników pokarmowych (34). Zachodzi

więc interakcja pomiędzy wrodzonymi zdolnościami konkurencyjnymi uprawianej odmiany a konkurencyjnym oddziaływaniem chwastów na roślinę uprawną. Rodzaj odmiany wpływa nie tylko na stopień zachwaszczenia upraw, lecz również na jego skład gatunkowy. W badaniach Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie dominacja *Apera spica-venti* w łanie pszenicy ozimej była znacznie silniejsza w odmianie Rysa niż Mobela (40). W pracach U r b a n a (37) wykazano różnice w różnorodności zachwaszczenia pomiędzy odmianami w zależności od gatunku zboża. Spośród pięciu zbóż jarych największe różnice stwierdzono w odmianach owsa i pszenżyta.
Gęstość siewu jest istotnym czynnikiem wpływającym na ilość wytwarzanej masy chwastów. W warunkach gęściejszego siewu chwasty mają ograniczoną powierzchnię wschodów oraz produktywność biomasy. Trudno jest jednak jednoznacznie określić, czy korzystniej jest wysiać zboże w większej czy też mniejszej obsadzie, ponieważ poszczególne odmiany cechują się zróżnicowaną zdolnością krzewienia i w związku z tym różną tolerancją na gęstość siewu. Biorąc pod uwagę wysokość roślin, zaleca się zwiększyć normę wysiewu odmian o krótkich źdźbłach (3). W niektórych przypadkach nie obserwuje się istotnych różnic w zachwaszczeniu pomiędzy odmianami, gdy wysiane są one w standardowej obsadzie, natomiast ujawniają się one w warunkach siewu rzadkiego. W badaniach IUNG-PIB wykazano, że odmiana Tonacja wykazywała silniejszą reakcję na gęstość siewu pod względem stopnia zachwaszczenia łanu niż odmiana Kobra (18). Wysiew jęczmienia w zwiększonej obsadzie ziarniaków przyczynił się do redukcji masy i zdolności krzewienia życicy sztywnej, a produktywność chwastu zależała bardziej od gęstości siewu niż odmiany (30). Również w innych badaniach stwierdzono, że ograniczenie zachwaszczenia było w większym stopniu uzależnione od gęstości siewu niż odmiany (3, 25).

Badania prowadzone w obrębie omawianej tematyki uwzględniają również termin siewu jako czynnik kształtujący konkurencyjność odmian zbóż. W tabeli 3 podano poziom zachwaszczenia dwóch odmian pszenicy ozimej – Ludwig i Nutka wysianych w terminie wczesnym oraz opóźnionym o miesiąc. Wykazano, że różnice w zachwaszczeniu uwarunkowane były jedynie cechami odmianowymi lub terminem siewu, nie stwierdzono natomiast współdziałania obu czynników.

Tabela 3

Wpływ odmiany pszenicy ozimej na produktywność biomasy chwastów ($g \cdot m^{-2}$) w zależności od terminu siewu

	Termin pomiaru	Wczesny termin siewu		Opóźniony termin siewu	
		Ludwig	Nutka	Ludwig	Nutka
Chwasty ogółem (jedno- i dwuliścienne)	jesień	210,0	207,6	4,1	3,7
	strzelanie w źdźbło	633,9	967,3	141,7	462,4

Źródło: Kazikowski i Urban 2011 (37).

Nawożenie jest czynnikiem silnie kształtującym wzrost roślin i produktywność biomasy, w związku z czym poprawia zdolności konkurencyjne uprawianego zboża. Dowiedziono, że zwiększony poziom nawożenia azotem w większym stopniu poprawił wzrost i konkurencyjność wysokich odmian pszenicy w porównaniu z odmianami półkarłowymi (14).

Zdolności konkurencyjne uprawianej odmiany mogą być również kształtowane poprzez system uprawy roli. W pierwszych latach stosowania uproszczeń uprawy roli obserwuje się zwykle wzrost zachwaszczenia, dlatego też w tym przypadku przydatne są odmiany wysoce konkurencyjne. Z drugiej strony każda z odmian charakteryzuje się zróżnicowanymi zdolnościami adaptacyjnymi do nowych warunków glebowych, co może w znacznym stopniu wpływać na konkurencyjność wobec chwastów. Odmiana Satyna ograniczała liczebność badanych gatunków chwastów w większym stopniu niż pozostałe trzy odmiany pszenicy ozimej jedynie na poletkach uprawy płużnej i bezpłużnej, natomiast w warunkach siewu bezpośredniego była ona najbardziej zachwaszczona (39). W doświadczeniu z pszenicą jarą wykazano zróżnicowanie odmianowe pod względem zagłuszania chwastów w zależności od bronowania. U niektórych odmian nastąpiła poprawa zdolności konkurencyjnych, natomiast u innych pogorszenie tych właściwości w warunkach czterokrotnego bronowania uprawy w porównaniu z brakiem mechanicznej pielęgnacji łanu (27).

Wpływ odmiany na skuteczność działania herbicydów

Cechy morfologiczne uprawianej odmiany warunkujące jej zdolności konkurencyjne w stosunku do chwastów są istotne dla ograniczania ich wschodów oraz hamowania wzrostu. Z drugiej strony, wpływają one na skuteczność chwastobójczą stosowanych herbicydów. Efektywność działania herbicydów zależy głównie od ilości substancji aktywnej pobranej przez roślinę. W zbyt zacienionym łanie utrudniony jest dostęp kropel cieczy użytkowej herbicydu do powierzchni blaszek liściowych chwastów, co skutkuje mniejszą ilością zabsorbowanego przez roślinę herbicydu i w konsekwencji słabszą skutecznością zabiegu chwastobójczego (1, 8, 20). Istnieje współdziałanie zdolności konkurencyjnych odmiany z zastosowanym herbicydem. Jest to szczególnie ważne przy ustalaniu dawki środka, ponieważ odmiany bardziej zdolne do ograniczania zachwaszczenia potrzebują niższych dawek herbicydu niż odmiany słabiej konkurujące z chwastami (35). W badaniach IUNG-PIB badano skuteczność herbicydów stosowanych w dwóch odmianach – Kobra i Tonacja. Kształtowała się ona na zbliżonym poziomie, pomimo różnic w budowie oraz terminie dojrzewania (tabela 4). W pracach prowadzonych w przez Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie wykazano znaczące różnice w efektywności herbicydów stosowanych w odmianach pszenicy orkisz uprawianej zarówno w warunkach uprawy konwencjonalnej, jak i uproszczonej (tabela 5).

Tabela 4

Wpływ odmiany pszenicy ozimej na skuteczność chwastobójczą wybranych herbicydów

Herbicyd	Zniszczenie chwastów (%)	
	Kobra	Tonacja
Maraton 375 SC	93	97
Alister 182 OD	97	98
Chwastox Trio 540 SL	94	96
Aminopielik D 450 SL	94	93

Źródło: Kieloch i Domaradzki 2009 (18).

Tabela 5

Poziom zniszczenia chwastów po aplikacji herbicydów w odmianach pszenicy orkisz

System uprawy	Zniszczenie chwastów (%)			
	Frankenkorn	Badengold	Schwabenspeltz	Oberkulmer R.
Uprawa płużna	68	64	47	58
Uprawa bezpłużna	67	65	46	59

Źródło: Andruszczak i in. 2013 (2).

Tolerancyjność odmiany w stosunku do herbicydów

Chemiczna ochrona zbóż przed chwastami jest nieodzownym elementem agrotechniki, pozwalającym uniknąć strat w plonach na skutek konkurencyjnego oddziaływania chwastów na roślinę uprawną. Z drugiej strony istnieje ryzyko wystąpienia uszkodzenia plantacji po zastosowaniu herbicydu, co jest wynikiem jego fitotoksycznego wpływu na roślinę uprawną. Pierwszymi objawami fitotoksycznego wpływu środków chwastobójczych na zboża są różnego rodzaju zmiany w morfologii roślin, które mogą wystąpić kilka dni po zabiegu. W większości przypadków mają one charakter przejściowy i nie wpływają na poziom uzyskiwanych plonów, jednak u odmian wrażliwych prowadzą do spadku plonu. Istnieją również przypadki obniżenia plonowania pomimo braku zewnętrznych symptomów działania herbicydów (33).
Zastosowany herbicyd nie zawsze wykazuje ujemne działanie na uprawiany gatunek, co wynika głównie z faktu, że odmiany zbóż wykazują zróżnicowaną wrażliwość na dany środek. Pod względem reakcji rośliny uprawnej na herbicyd wyróżnia się trzy grupy odmian: 1. odmiany tolerancyjne, które nie wykazują ujemnej reakcji na dany herbicyd, 2. odmiany średnio wrażliwe, reagujące tylko przejściowymi zmianami w morfologii roślin, 3. odmiany wrażliwe reagujące zmianami w morfologii roślin i/lub obniżeniem plonowania. Stopień tolerancji odmiany na herbicydy zależy głównie od jej właściwości genetycznych, głównie zdolności do detoksykacji substancji aktywnej herbicydu (9). Niemałą rolę odgrywają również cechy budowy roślin wpływające na pobieranie herbicydu, takie jak szerokość i ustawienie blaszek liściowych, grubość kutykuli. Wrodzona wrażliwość odmiany na określoną substancję aktywną

herbicydu jest ściśle powiązana z przebiegiem pogody w sezonie wegetacyjnym. Warunki pogodowe w momencie wykonywania zabiegu oraz w krótkim okresie po opryskaniu roślin wpływają na procesy decydujące o działaniu herbicydu: pobieranie, przemieszczanie i rozkład (26, 28). Dla oddziaływania herbicydów na roślinę uprawną ważny jest również przebieg pogody w całym sezonie wegetacyjnym, ponieważ warunki niesprzyjające wegetacji roślin powodują ich osłabienie i tym samym zmniejszają ich tolerancję w stosunku do herbicydów. Odmiany wrażliwe na niekorzystne działanie czynnika atmosferycznego np. na niedobór wilgoci w glebie lub o niskiej mrozoodporności, są bardziej narażone na skutki fitotoksycznego działania herbicydów. W trzyletnich badaniach prowadzonych w IUNG-PIB stwierdzono znaczne obniżki plonów odmian Kobra i Tonacja po aplikacji dwóch herbicydów z grupy regulatorów wzrostu w sezonie z chłodną i obfitującą w opady wiosną, podczas gdy w pozostałych latach nie zaobserwowano ujemnego wpływu tych środków (17). Obserwowano również znaczne przerzedzenie łanu pszenicy ozimej na skutek łącznego wpływu jesiennej aplikacji mieszaniny pendimetaliny z izoproturonem i ostrego przebiegu pogody w okresie zimowym. Zjawisko to dotyczyło tylko odmiany Clever, która według opisu hodowcy charakteryzuje się małą do bardzo małej mrozoodpornością (19). W tabeli 6 przedstawiono stopień wrażliwości niektórych aktualnie uprawianych odmian pszenicy ozimej na herbicydy.

Tabela 6

Wrażliwość odmian pszenicy ozimej na herbicydy

Herbicydy	Odmiany							
	Tonacja	Kobiera	Trend	Zyta	Mewa	Rapsodia	Boomer	Nadobna
Atlantis 04 WG	W	T	T	SW	SW	-	-	-
Chwastox Trio 540 SL	W	SW	SW	T	T	SW	SW	SW
Glean 75 WG	T	W	W	-	-	-	-	-
Maraton 375 SC	T	T	T	SW	SW	-	-	-
Mustang 306 SE	-	-	-	T	T	-	-	-
Stomp 330 EC	-	-	-	T	T	W	W	W
Axial 100 EC	-	-	-	-	-	SW	SW	SW
Snajper 600 SC	-	-	-	-	-	SW	SW	SW
Gold 450 EC	-	-	-	-	-	W	W	W
Zeus 208 WG	-	-	-	-	-	T	T	T

T- odmiana tolerancyjna, SW – odmiana średnio wrażliwa, W – odmiana wrażliwa, - brak danych

Źródło: badania własne.

Podsumowanie

O zdolności danej odmiany do zagłuszania chwastów decyduje łączny wpływ konkurencji w stosunku do chwastów, wynikającej z budowy morfologicznej lub cech fizjologicznych oraz potencjału allelopatycznego. Sugeruje się, że zdolności

konkurencyjne zbóż powinny być uwzględniane w programach hodowlanych. Ma to szczególne znaczenie w rolnictwie ekologicznym, w którym zdolność konkurencyjna odmian uprawianego zboża powinna być narzędziem wykorzystywanym w ochronie zbóż przed chwastami. W warunkach rolnictwa konwencjonalnego lub integrowanego, w których stosuje się chemiczną ochronę przed chwastami, wykorzystanie zdolności konkurencyjnych odmiany uprawianego zboża pozwala na znaczne ograniczenie dawki herbicydów. Jest to istotne zarówno z ekonomicznego punktu widzenia, jak również ze względu na troskę o środowisko naturalne oraz zdrowie ludzi i zwierząt. W powyższych systemach gospodarowania ważnym zagadnieniem jest również znajomość reakcji danej odmiany na stosowany herbicyd, co pozwoli uniknąć lub zminimalizować straty w plonach wynikające z jego negatywnego działania na roślinę uprawną.

Literatura

1. Abouziena H.F., Sharara Faida A.A., El-desoki E.R.: Efficacy of cultivar selectivity and weed control treatments on wheat yield and associated weeds in sandy soils. World J. Agric. Sci., 2008, **4**: 384-389.
2. Andruszczak S., Kraska P., Kwiecińska-Poppe E., Pałys E.: The effect of tillage system and herbicide application on weed infestation of crops of winter spelt wheat (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* L.) cultivars. Acta Agrobot., 2013, **66**: 173-174.
3. Auškalnienė O., Pšibišauskienė G., Auškalnis A., Kadžys A.: Cultivar and plant density influence on weediness in spring barley crops. Zemdirbyste-Agriculture, 2010, **97**: 53-60.
4. Baghestani A., Lemieux C., Leroux G.D., Baziramakenga R., Simard R.R.: Determinations of allelochemicals in spring cereal cultivars of different competitiveness. Weed Sci., 1999, **47**: 498-504.
5. Balyan R.S., Malik R. K., Panwar R. K., Singh S.: Competitive ability of winter wheat cultivars with wild oat *(Avena ludoviciana)*. Weed Sci., 1991, **39**: 154-158.
6. Bertholdson N-O.: Variation in allelopathic activity over 100 years of barley selection and breeding. Weed Sci., 2004, **44**: 78-86.
7. Bertholdson N-O.: Early vigour and allelopathy – two useful traits for enhanced barley and weed competitiveness against weeds. Weed Res., 2005, **45**: 94-102.
8. Christensen S.: Weed suppression ability of spring barley varieties. Weed Res., 1995, **35**: 241-247.
9. Dastgheib F., Andrews M., Morton J.D., Barnes M.F.: Mode of action of chlorsulfuron in a sensitive wheat (Triticum aestivum) cultivar: primary and secondary effects on nitrogen assimilation. Ann. Appl. Biol., 1995, **127**: 125-135.
10. Didon U. M. E.: Variation between barley cultivars in early response to weed competition. J. Agron. Crop Sci., 2002, **188**: 176 — 184.
11. Escobar C.A., Niemeyer H.M.: Potential of hydroxamic acids in breeding for aphid resistance in wheat. Potential of hydroxamic acids in breeding for aphid resistance in wheat. Acta Agriculturae Scandinavica. Sec. B, Soil and Plant Science, 1993, **43**, 163–167.
12. Feledyn-Szewczyk B., Duer I.: Ocena konkurencyjności odmian pszenicy ozimej uprawianej w ekologicznym systemie produkcji w stosunku do chwastów. J. Res. Appl. Agric. Engng, 2006, **51**: 30-35.

13. Feledyn-Szewczyk B.: Ocena współczesnych i dawnych odmian pszenicy ozimej w aspekcie ich konkurencyjności z chwastami w warunkach rolnictwa ekologicznego. Pol. J. Agron., 2011, **6**: 11–16.
14. Gonzalez-Ponce, R., Santin I.: Competitive ability of wheat cultivars with wild oats depending on nitrogen fertilization. Agronomie, 2001, **21**: 119-125
15. Hucl P.: Response to weed control by four spring wheat genotypes differing in competitive ability. Can. J. Plant Sci., 1998, **78**: 171-173.
16. Kazikowski P., Urban M.: Ocena zachwaszczenia odmian pszenicy ozimej w zależności od ich pokroju i terminów siewu. Prog. in Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 2011, **51**: 458-463.
17. Kieloch R., Rola H.: Ocena tolerancji wybranych odmian pszenicy ozimej na herbicydy. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 2007, **47**: 133-137.
18. Kieloch R., Domaradzki K.: Wpływ gęstości siewu pszenicy ozimej odmian Kobra i Tonacja na skuteczność działania herbicydów. Biuletyn IHAR, 2009, **253**: 147-155.
19. Kieloch R., Rola H.: Sensitivity of winter wheat cultivars to selected herbicides. J. Plant Prot. Res., 2010, **50**: 35-40.
20. Kim D.S., Marshall E.J.P., Brain P., Caseley J.C.: Effects of crop canopy structure on herbicide deposition and performance. Weed Res., 2011, **51**: 310-320.
21. Kraska P.: Wpływ zróżnicowanych dawek herbicydów na zachwaszczenie pszenicy ozimej. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 2006, **46**: 256–260.
22. Lovett J.V., Hoult A.H.C.: Gramine: the occurrence of a self-defense chemical in barley, *Hordeum vulgare* L. In: Proceedings of the 6th Australian Conference (Armidale, Australia), Executive Committee of Congres, Armidale, NSW, Australia, 1992, 426-429.
23. Lovett J.V., Hoult A.H.C.: Allelopathy and self-defense in barley. In: Allelopathy: Organisms, Processes, and Applications (eds Inderjit, KMM Dakshini & FA Einhellig), 1995, 170–183. American Chemical Society, Washington DC, USA.
24. Mason H.E., Spaner D.: Competitive ability of wheat in conventional and organic management systems. Can. J. Plant Sci., 2006, **86**: 333–343.
25. Mason H.E., Navabi A., Frick B., O'Donovan J., Spaner D.: Cultivar and seeding rate effects on the competitive ability of spring cereals grown under organic production in Northern Canada. Agron. J., 2007, **99**: 1199-1207.
26. McMullan P.M.: The influence of temperature on barley (Hordeum vulgare L.) tolerance to diclofop-methyl or fenoxaprop-P-ethyl mixtures. Weed Res., 1994, **34**: 23-28.
27. Murphy K.M., Dawson J.C., Jones S.S.: Relationship among phenotypic growth traits, yield and weed suppression in spring wheat landraces and modern cultivars. Field Crop Res., 2008, **1-2**: 107-115.
28. Olson B.L.S., Al.-Khatib K., Stahlman P., Parrish S., Moran S.: Absorption and translocation of MON 37500 in wheat and other grass species. Weed Sci., 1999, **74**: 37-40.
29. Oveisi M., M ashhadi H.R., Baghestani M.A., Alizadeh H.M., Bardi S.: Assessment of the allelopathic potential of 17 Iranian barley cultivars in different development stages and their variations over 60 years of selection. Weed Biol. Manag., 2008, **8**: 225-232.
30. Paynter B. H., Hills A. L.: Barley and rigid ryegrass (*Lolium Rigidum*) competition is influenced by crop cultivar and density. Weed Technol., 2009, **23**: 40-48.
31. Podolska G., Wyzińska M.: Reakcja nowych odmian pszenicy ozimej na gęstość i termin siewu. P. J. Agron., 2011, **6**: 44-51.
32. Putnam A.R., Duke W.B.: Biological suppression of weeds: evidence for allelopathy in accessions of cucumber. Science, 1974, **185**: 370–372.
33. Rola H., Kieloch R., Rola J.: Reakcja odmian pszenicy ozimej na herbicydy w świetle badań prowadzonych w rejonie Dolnego Śląska w latach 1973-2002. Progr. Plant Protection/Post. Ochr. Roślin, 2004, **44**: 331-338.

34. Siddiqui I., Bajwa R., Zil-E-Huma, Javaid A.: Effect of six problematic weeds on growth and yield wheat. Pak. J. Bot., 2010, **42**: 2461-2471.
35. Seavers G.P., Wright K.J.: Crop canopy development and structure influence weed suppression. Weed Res., 1999, **39**: 319-328.
36. Stougaard R.N., Xue Q.: Spring wheat seed size and seedling date on yield loss due to wild oat (*Avena fatua*) interference. Weed Sci., 2004, **52**: 133-141.
37. Urban M., Adamczewski K., Dobrzański A.: Nisza ekologiczna chwastów w odmianach zbóż jarych po rzepaku ozimym. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 2013, **53**: 105-109.
38. Watson P.R., Derksen D.A., Van Acker R.C.: The ability of 29 barley cultivars to compete and withstand competition. Weed Sci., 2006, **54**: 783–792.
39. Weber R., Gołębiowska H.: Zmienność zachwaszczenia nowych odmian pszenicy ozimej w zależności od sposobu uprawy roli. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2013, **53**: 310-315 .
40. Wesołowski M., Jędruszczak M., Cierpiała R.: Organizacja zbiorowiska chwastów w zależności od systemu uprawy dwóch odmian pszenicy ozimej. Acta Agrophysica, 2003, **1(4)**: 777-783.

Adres do korespondencji:

d*r inż. Renata Kieloch*
IUNG – PIB
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli
ul. Orzechowa 61
50-540 Wrocław
tel. 71 363-87-07 w. 118
e-mail: r.kieloch@iung.wroclaw.pl

S T U D I A I R A P O R T Y IUNG-PIB

ZESZYT 36(10): 45-54 **2014**

Mariusz Kucharski, Jerzy Sadowski, Olga Kalitowska

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach

ŁĄCZNE STOSOWANIE HERBICYDÓW Z ADIUWANTAMI W ZABIEGACH PRZEDWSCHODOWYCH – SKUTECZNOŚĆ I WPŁYW NA ŚRODOWISKO*

Słowa kluczowe: herbicyd, adiuwant, pozostałości, dynamika rozkładu, aplikacja doglebowa

Wstęp

W wielu krajach o zintensyfikowanym poziomie rolnictwa pojawiła się tendencja zmierzająca do racjonalnego ograniczenia stosowania środków ochrony roślin, a zwłaszcza herbicydów. Działania te wynikają z proekologicznej polityki lansowanej w krajach Unii Europejskiej, a związane są z wprowadzeniem nowej strategii w ochronie roślin, polegającej na zredukowaniu dawek oraz zmniejszeniu ilości zabiegów do niezbędnego minimum. Wyrazem tej strategii jest ostatnio uchwalona Dyrektywa UE (5) mówiąca o zrównoważonym stosowaniu pestycydów osiąganym poprzez zmniejszanie zagrożenia związanego ze stosowaniem środków ochrony roślin i wpływu ich aplikacji na zdrowie ludzi oraz na środowisko, a także poprzez zachęcanie do stosowania integrowanej ochrony roślin oraz alternatywnych technologii produkcji. Dyrektywa ta nakłada na państwa członkowskie wiele nowych wyzwań, które winny być poprzedzone badaniami. W przyjętych założeniach konieczne jest ograniczenie stosowania środków chemicznych w produkcji rolniczej. Z tego względu rozpoczęto badania umożliwiające realną ocenę wprowadzania redukcji zużycia środków przy jednoczesnym zachowaniu dobrej skuteczności w walce z agrofagami oraz jakości ziemiopłodów.

Łączne stosowanie środków chwastobójczych z adiuwantami umożliwia skuteczniejsze zwalczanie chwastów i poszerzenie spektrum działania w odniesieniu do chwastów średnio wrażliwych na herbicyd (4, 23, 24). Taka aplikacja, w wielu przypadkach, pozwala na zmniejszenie dawki herbicydu o ok. 20-30% bez utraty skuteczności działania, co umożliwia redukcję kosztów poniesionych na zakup

*Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.6 programu wieloletniego IUNG-PIB

środków chemicznych, jak również powinno ograniczyć ryzyko występowania pozostałości substancji czynnych herbicydów w glebie i uprawianej roślinie lub znacząco zredukować ich poziom (2, 21). Obniżanie dawek herbicydów można stosować w przypadku, gdy zabiegi wykonywane są w optymalnych terminach i warunkach pogodowych przewidzianych w instrukcji stosowania. Natomiast, nie należy obniżać dawek w przypadkach, gdy zabieg jest opóźniony (chwasty zbyt zaawansowane w rozwoju), występuje duże nasilenie chwastów lub warunki pogodowe nie sprzyjają działaniu preparatów (niska wilgotność powietrza, niska temperatura). W takich sytuacjach zastosowanie adiuwanta umożliwia zachowanie dobrej skuteczności chwastobójczej bez konieczności wykonywania zabiegów uzupełniających lub zwiększania dawek.

Wykorzystując dotychczasową wiedzę oraz poznane właściwości adiuwantów, które są stosowane w zabiegach nalistnych, można rozszerzyć ich zastosowanie o aplikację razem z herbicydami w zabiegach przedwschodowych. Badania, prowadzone między innymi w Zakładzie Herbologii i Technik Uprawy Roli IUNG-PIB, nad zachowaniem się w środowisku herbicydów stosowanych łącznie z adiuwantami dowodzą, że dzięki dodatkowi adiuwanta następuje częściowe zatrzymanie i spowolnienie przenikania herbicydu w głębsze warstwy profilu glebowego, co może znacząco wydłużyć czas działania na chwasty będące już na polu, jak też na te, które dopiero zaczynają kiełkować (7, 10, 12, 19). Efekt ten powinien mieć wpływ na lepsze wykorzystanie i skuteczność herbicydów. Takie właściwości adiuwantów obserwowane są szczególnie w sytuacji, gdy niedługo po wykonaniu zabiegu herbicydowego występują niekorzystne warunki pogodowe, takie jak susza i niska temperatura powietrza. W takim przypadku rozwój rośliny uprawnej, jak też chwastów jest zahamowany lub znacząco spowolniony. Zastosowany herbicyd jest pobierany przez rośliny w ograniczonym zakresie i ulega rozkładowi lub przemieszcza się w głąb profilu glebowego, poniżej strefy korzeniowej. Adiuwanty zastosowane łącznie z herbicydem zwiększają aktywność molekuł substancji aktywnej herbicydu do tworzenia wiązań natury fizycznej i chemicznej z cząstkami gleby, co ogranicza ich migrację i rozkład (18, 22, 25). Dłuższe „zaleganie" herbicydu w powierzchniowej warstwie gleby wydłuża okres dostępności dla roślin. Zjawisko to nie jest jednak na tyle długotrwałe, by wpływało negatywnie na zanieczyszczenie gleby. W powierzchniowej warstwie gleby występują bowiem inne czynniki, jak: wyższa temperatura, dostęp światła, duża liczba mikroorganizmów glebowych, itp., które sprzyjają rozkładowi. Możliwość zatrzymania herbicydu w warstwie powierzchniowej gleby jest również korzystne w sytuacji, gdy po zabiegu herbicydowym występują obfite opady deszczu, które w normalnych warunkach (bez dodatku adiuwanta) powodują szybkie przemieszczanie się herbicydu wraz z wodą po opadach w głębsze warstwy gleby, niedostępne dla roślin (8).

W oparciu o dotychczasową wiedzę, w Zakładzie Herbologii i Technik Uprawy Roli (Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy)

prowadzone są prace nad oceną przydatności adiuwantów w przedwschodowych zabiegach chwastobójczych. Obejmują one zagadnienia dotyczące skuteczności zwalczania chwastów, jakości ziarna, dynamiki rozkładu oraz mobilności herbicydu w glebie.

Skuteczność, pozostałości i jakość plonów

Celem prowadzonych badań była ocena skuteczności chwastobójczej oraz wpływu herbicydu zawierającego diflufenikan stosowanego w mieszaninie z adiuwantami w zabiegach przedwschodowych na pozostałości i jakość ziarna pszenicy ozimej.

Badania prowadzono w latach 2009–2012 na polu produkcyjnym pszenicy ozimej zlokalizowanym w okolicy Wrocławia. Doświadczenia zakładano metodą losowanych bloków, w czterech powtórzeniach, na poletkach o powierzchni 20 m^2. Herbicyd zawierający diflufenikan (Legato 500 SC) stosowano samodzielnie w dawce pełnej (0,25 $l \cdot ha^{-1}$) i zredukowanej (0,15 $l \cdot ha^{-1}$) oraz w dawce zredukowanej łącznie z adiuwantem. W mieszaninie z herbicydem zastosowano trzy adiuwanty różnego typu: olejowy, surfaktant organosilikonowy oraz adiuwant wieloskładnikowy, przeznaczony do zabiegów przedwschodowych. Zabiegi herbicydowe wykonano jesienią, przed wschodem roślin pszenicy ozimej (chwasty w fazie BBCH 05–10).

Fitotoksyczność zastosowanych mieszanin oceniano bonitacyjnie (w skali 1:9) 3–4 tygodnie po ich aplikacji oraz wiosną po ruszeniu wegetacji. Ponadto wiosną wykonano ocenę skuteczności chwastobójczej, wykorzystując metodę szacunkową, określającą procentowe zniszczenie chwastów w stosunku do obiektu kontrolnego. Plon pszenicy ozimej zbierano kombajnem poletkowym. W pobranym w czasie zbioru ziarnie przeprowadzono analizy, określające podstawowe parametry jakościowe surowca (MTZ, masa hektolitra, wyrównanie ziarna, wskaźnik sedymentacji, liczba opadania, zawartość białka, popiołu i glutenu) oraz pozostałości substancji aktywnej herbicydu. Analizy jakościowe ziarna wykonano zgodnie z metodyką opisaną w Polskich Normach (1, 14, 16, 17). Zawartość popiołu, białka, glutenu i wskaźnik sedymentacji określono za pomocą urządzenia INSTALAB 600, wykorzystującego technikę bliskiej podczerwieni NIR. Pozostałości diflufenikanu oznaczono techniką chromatografii gazowej GC/EC (15).

Badany herbicyd stosowany samodzielnie, jak też w mieszaninie z adiuwantami był selektywny dla roślin pszenicy ozimej (tab. 1). Herbicyd zastosowany w dawce pełnej powodował 90% zniszczenie chwastów. Obniżenie dawki preparatu o 40% (0,15 $l \cdot ha^{-1}$) spowodowało spadek skuteczności do 78%. Zastosowanie herbicydu w dawce zredukowanej z dodatkiem adiuwantów skutkowało poprawą jego skuteczności w porównaniu z samodzielną aplikacją, a uzyskane średnie zniszczenie chwastów (89–90%) kształtowało się na poziomie porównywalnym z tym, jakie uzyskano dla herbicydu stosowanego samodzielnie w dawce pełnej (tab. 1). Podobną zależność otrzymano w stosunku do plonu ziarna (tab. 2).

Tabela 1

Ocena skuteczności działania herbicydu w zależności od dawki i zastosowanego adiuwanta

Obiekt	Dawka ($l \cdot ha^{-1}$)	F (1:9)	Zniszczenie chwastów [%]						
			APESV	STEME	MATIN	GALAP	VIOAR	BRSNX	THLAR
Kontrola	–	1	* 8	* 10	* 6	* 6	* 15	* 9	* 7
Legato 500 SC	0,25	1	92	93	91	96	90	78	92
Legato 500 SC	0,15	1	77	84	80	84	72	70	82
Legato 500 SC + Atpolan 80 EC	0,15 1,0	1	89	90	92	93	87	80	93
Legato 500 SC + Slippa	0,15 0,15	1	91	94	91	95	86	84	90
Legato 500 SC + BackRow	0,15 0,5	1	94	91	88	94	91	85	89

F - fitotoksyczność - wrażliwość roślin na herbicyd w skali 1:9, gdzie:
1 - zniszczenie chwastów, brak działania na roślinę uprawną
9 - brak działania na chwasty, zniszczenie rośliny uprawnej

* dla kontroli podano liczbę chwastów na m^2

APESV–*Apera spica-venti*; BRSNX–*Brassica napus*; GALAP–*Galium aparine*; MATIN–*Tripleurospermum inodorum*; STEME–*Stellaria media*; VIOAR–*Viola arvensis*; THLAR–*Thlaspi arvense*

Źródło: badania własne.

Tabela 2

Pozostałości diflufenikanu i parametry jakościowe ziarna pszenicy ozimej

Obiekt	Dawka ($l \cdot ha^{-1}$)	Pozostałości ($mg \cdot kg^{-1}$)	Parametry jakościowe								
			plon (t/ha)	białko (%)	gluten (%)	popiół (%)	MTN (g)	SR (%)	WN (%)	LO (s)	hL (kg/hl)
Kontrola	–	–	3,52	10,5	24,9	0,82	39,4	34,6	98,1	305	80,5
Legato 500 SC	0,25	0,0010	5,74	11,2	26,8	0,86	38,2	34,1	97,6	312	81,7
Legato 500 SC	0,15	0,0004	4,92	10,4	25,5	0,74	38,0	33,2	98,3	298	81,1
Legato 500 SC + Atpolan 80 EC	0,15 1,0	0,0007	5,64	11,1	24,7	0,91	39,2	34,8	97,8	302	80,2
Legato 500 SC + Slippa	0,15 0,15	0,0006	5,52	10,7	26,4	0,90	39,0	35,6	96,9	310	79,6
Legato 500 SC + BackRow	0,15 0,5	0,0005	5,60	10,5	25,9	0,76	38,7	33,8	97,3	304	81,3

MTN–masa tysiąca nasion (g)
WN–wyrównanie ziarna (%)
hL–masa hektolitra ($kg \cdot hl^{-1}$)
LO–liczba opadania (s)
SR–wskaźnik sedymentacji (%)

Źródło: badania własne

Próbki ziarna pszenicy ozimej, pobrane w czasie żniw, poddano analizie jakościowej. Wykazała ona, że stosowanie herbicydu samodzielnie, jak też w mieszaninie z adiuwantami nie wpłynęło istotnie na podstawowe parametry jakościowe plonu, takie jak: masa tysiąca nasion, wyrównanie ziarna, masa hektolitra, liczba opadania, wskaźnik sedymentacji oraz zawartość białka, glutenu i popiołu (tab. 2).

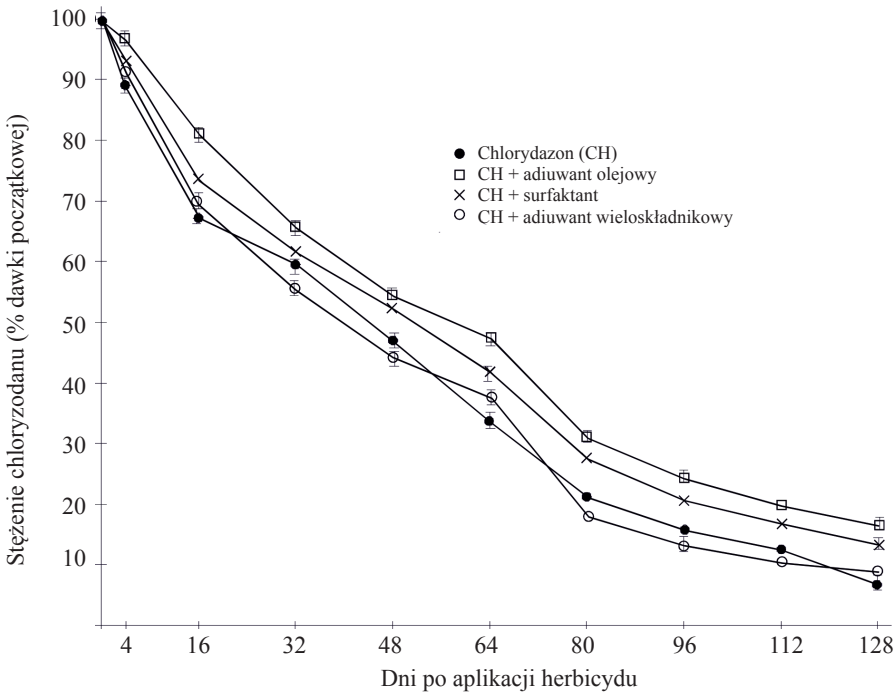
W ziarnie pszenicy ozimej wykonano również badania na obecność pozostałości diflufenikanu. W próbkach ziarna pochodzących z obiektów, na których zastosowano herbicyd w dawce pełnej stwierdzono pozostałości diflufenikanu na poziomie 0,0010 $mg \cdot kg^{-1}$ (tab. 2). Redukcja dawki herbicydu powodowała również obniżenie stężenia pozostałości, które kształtowało się na poziomie 0,0004 $mg \cdot kg^{-1}$. W przypadku zastosowania herbicydu w dawce zredukowanej z dodatkiem adiuwanta obserwowano wzrost pozostałości, jednak ich poziom był niższy od tego, jaki stwierdzono na obiektach z pełną dawką herbicydu (0,0005–0,0007 $mg \cdot kg^{-1}$). Wykryte w badaniach pozostałości diflufenikanu w ziarnie pszenicy ozimej, niezależnie od dawki i sposobu aplikacji herbicydu, były znacząco niższe od wartości dopuszczalnych (NDP – Najwyższe Dopuszczalne Pozostałości).

Dynamika rozkładu herbicydu w glebie

Celem prowadzonych badań była ocena wpływu dodatku adiuwanta na rozkład herbicydu (chlorydazonu) w glebie. Doświadczenia prowadzono w warunkach kontrolowanych. Glebę do badań pobrano z pola, z warstwy ornej 0–15 cm. Jest to typowa gleba z okolic Wrocławia, na której uprawiane są buraki cukrowe (pH = 6.3; C_{org} = 2.01%; stosunek frakcji piasek/pył/ił = 15/34/51%). Glebą o ustalonej wilgotności napełniano doniczki (250 g gleby na doniczkę). Liczbę doniczek ustalono jako iloczyn kombinacji występujących w doświadczeniu, trzech powtórzeń i liczby pobrań (jedna doniczka = jedno pobranie). Chlorydazon aplikowano samodzielnie (w dawce 1950 $g \cdot ha^{-1}$) oraz w mieszaninie z trzema adiuwantami: olejowym, surfaktantem i wieloskładnikowym (dedykowany do zabiegów przedwschodowych) w stacjonarnej komorze opryskowej wyposażonej w ruchomą dyszę typu TeeJet XR 11003-VS, umożliwiającą wydajność cieczy użytkowej równą 250 $l \cdot ha^{-1}$ przy ciśnieniu roboczym 0,25 MPa. Po aplikacji herbicydu doniczki z glebą umieszczono w komorze klimatycznej (Sanyo MLR-350), w której utrzymywano parametry odpowiadające stałemu rytmowi dobowemu temperatur i oświetlenia, imitującemu warunki w czasie wiosennej aplikacji herbicydu (dzień – 16 godz., temperatura 20°C, natężenie światła 14 000 luxów; noc – 8 godz., 10°C, bez oświetlenia). Wilgotność gleb utrzymywano na stałym poziomie (60% maksymalnej pojemności wodnej) przez cały czas trwania badań (metodą wagową). Próbki gleb do oznaczania zawartości chlorydazonu pobierano w przyjętych odstępach czasu. Pierwsze próbki pobrano 1 godzinę po opryskiwaniu (stężenie początkowe). Następne próbki pobierano 4, 16, 32, 48, 64, 80, 96, 112 i 128 dni po aplikacji herbicydu. Pozostałości chlorydazonu oznaczano techniką chromatografii gazowej GC/ECD.

Dokładny przebieg rozkładu chlorydazonu w glebie przedstawiono na rys. 1. Dodatek adiuwanta olejowego i surfaktanta powodował spowolnienie rozkładu chlorydazonu w glebie. Na podstawie krzywych rozkładu wyznaczono wartości czasu połowicznego rozkładu (DT_{50}) chlorydazonu w glebie. Zróżnicowanie w szybkości rozkładu miało swoje odzwierciedlenie w wartościach DT_{50}. Wartość DT_{50} dla mieszaniny chlorydazonu

z adiuwantami: olejowym i surfaktantem była o 8–14 dni wyższa od wartości odnotowanej dla chlorydazonu stosowanego samodzielnie (43 dni). Nie obserwowano znaczących różnic w przebiegu rozkładu i wartości DT_{50} dla chlorydazonu aplikowanego samodzielnie oraz z dodatkiem adiuwanta wieloskładnikowego. Na podstawie czasu połowicznego rozkładu w glebie chlorydazon można zaliczyć do związków o średniej trwałości. Uzyskane w doświadczeniu wartości DT_{50} pokrywają się z danymi literaturowymi, gdzie czas połowicznego rozkładu chlorydazonu w różnych glebach oscyluje od 8 do 104 dni (3, 6, 13, 20).



Rys. 1. Wpływ adiuwantów na rozkład chlorydazonu w glebie
Źródło: badania własne (11).

Wpływ adiuwantów na mobilność herbicydów w glebie

Celem badań było określenie wpływu adiuwantów na pozostałości i mobilność herbicydu w glebie. Badania prowadzono w warunkach polowych, na plantacji buraka cukrowego, gdzie przed wschodem rośliny uprawnej, zastosowano herbicyd zawierający metamitron samodzielnie oraz jako mieszaninę z adiuwantami (2 adiuwanty olejowe i 1 surfaktant). Pozostałości herbicydu badano 6, 12 i 20 tygodni po aplikacji herbicydu, a próby gleby pobierano z 3 poziomów głębokości obejmujących

warstwę 0–50 cm. Pozostałości metamitronu w glebie analizowano stosując technikę wysokosprawnej chromatografii cieczowej z detekcją UV (GC/ECD).

W momencie zbioru rośliny uprawnej (20 tygodni po aplikacji herbicydu) pozostałości metamitronu wykryto we wszystkich próbkach pobranych z powierzchniowej warstwy gleby (0-15 cm). Pozostałości te wynosiły 0,002 – 0,005 $mg \cdot kg^{-1}$. Na obiektach, gdzie zastosowano herbicyd z dodatkiem adiuwantów olejowych odnotowano statystycznie istotny wzrost pozostałości, w porównaniu do obiektów z samym herbicydem. Podobny wpływ adiuwantów na wzrost pozostałości w glebie uzyskano w badaniach prowadzonych w warunkach polowych i testach modelowych (9, 22).

Ponadto zaobserwowano wpływ stosowanych adiuwantów na mobilność herbicydu w profilu glebowym. Stwierdzono, że zastosowanie herbicydu łącznie z adiuwantami olejowymi spowodowało ograniczenie przenikania substancji aktywnej herbicydu w głębsze warstwy gleby. W próbkach pobranych z warstwy 31-50 cm, w czasie zbioru buraka cukrowego, stwierdzono pozostałości rzędu 0,009 $mg \cdot kg^{-1}$ – obiekt, gdzie stosowano sam herbicyd. Natomiast na obiektach, gdzie aplikowano herbicyd z dodatkiem adiuwantów olejowych pozostałości nie wykryto lub kształtowały się one na poziomie wykrywalności metody analitycznej (0,001 $mg \cdot kg^{-1}$). W przypadku zastosowania adiuwanta z grupy surfaktantów obserwowano również niższy poziom pozostałości, w porównaniu z obiektami, gdzie aplikowano sam herbicyd, jednak nie był on istotny statystycznie. Wszystkie wyniki przeprowadzonego doświadczenia zamieszczono w tabeli 3.

Tabela 3

Pozostałości metamitronu w glebie

Warstwa gleby (cm)	Pozostałości metamitronu (wartości średnie dla 4 powtórzeń) ($mg \cdot kg^{-1}$)				
	Bez adiuwanta	+ AO1	+ AO2	+ AS	$NIR_{0,05}$
Próbki pobrane 6 tyg. po aplikacji herbicydu					
0 - 15	0,056	0,072	0,064	0,060	0,0069
16 - 30	0,030	0,018	0,025	0,029	0,0047
31 - 50	0,009	NW	0,002	0,006	0,0034
Próbki pobrane 12 tyg. po aplikacji herbicydu					
0 - 15	0,018	0,026	0,023	0,020	0,0048
16 - 30	0,026	0,022	0,023	0,024	0,0037
31 - 50	0,015	0,004	0,007	0,012	0,0042
Próbki pobrane 20 tyg. po aplikacji herbicydu					
0 - 15	0,002	0,005	0,004	0,003	0,0018
16 - 30	0,007	0,003	0,004	0,005	0,0023
31 - 50	0,009	NW	0,001	0,006	0,0031

NW – pozostałości nie wykryto
AO1, AO2 – adiuwanty olejowe
AS – adiuwant z grupy surfaktantów
Źródło: badania własne.

Podsumowanie

Wykorzystanie substancji wspomagających (adiuwantów) w zabiegach ochrony roślin jest znane od wielu lat. Jedno z pierwszych udokumentowanych zastosowań pochodzi z USA z 1877 roku i dotyczy użycia mieszaniny oleju mineralnego (Kerosene) oraz mydła w zabiegach mających na celu niszczenie jaj mszyc. W XIX i na początku XX wieku, najczęstszymi dodatkami do środków ochrony roślin były mydła pozyskiwane z tłuszczu ryb i wielorybów. Jednak dopiero w latach sześćdziesiątych ubiegłego wieku substancje te zaczęto stosować na szeroką skalę. Pierwszym adiuwantem zarejestrowanym w Polsce, w roku 1967 był Citowett AL, który w swym składzie zawierał związek z grupy surfaktantów – eter alkiloarylopoliglikolowy. Obecnie adiuwanty stanowią bardzo liczną i zróżnicowaną grupę substancji.

Oprócz adiuwantów dodawanych do zbiornika aparatury opryskującej, coraz częściej, adiuwanty są dodawane bezpośrednio do formulacji środka ochrony roślin w procesie jego produkcji. Takie rozwiązanie jest bardzo wygodne, jednak odbiera rolnikom możliwość wyboru. Obecnie stosowane adiuwanty, to produkty, przeznaczone głównie do łącznego stosowania z herbicydami (środki chwastobójcze). Tylko nieliczne z nich mogą być stosowane z innymi preparatami (środki grzybo- i owadobójcze lub inne). Jak wspomniano we wstępie, adiuwanty stosowane są najczęściej w zabiegach powschodowych (nalistnych), jednak na rynku pojawiają się już pierwsze adiuwanty, które są dedykowane do zabiegów wykonywanych przed wschodem rośliny uprawnej.

Na podstawie przeprowadzonych badań oraz danych literaturowych można stwierdzić, że niektóre herbicydy zastosowane z adiuwantami doglebowo nie wpływały fitotoksycznie na uprawianą roślinę, pozwoliły na obniżenie dawki badanego herbicydu zachowując jego wysoką skuteczność chwastobójczą oraz nie wpłynęły na jakość plonu. W przypadku badanego ziarna pszenicy wykazano, że łączne stosowanie herbicydu z adiuwantami wpływało na wzrost stężenia pozostałości diflufenikanu w ziarnie, jednak uzyskane wartości były niższe od tych, które stwierdzono w ziarnie, z obiektów, na których stosowano pełną dawkę herbicydu. Ponadto dodatek adiuwanta spowalniał rozkład herbicydu (wzrost wartości czasu połowicznego rozkładu w glebie), powodował wzrost stężenia pozostałości herbicydu w wierzchniej warstwie gleby oraz ograniczał mobilność herbicydu w głąb profilu glebowego. Możliwość stosowania adiuwantów z herbicydami w zabiegach przedwschodowych wymaga dalszych prac, gdyż podobnie jak w zabiegach nalistnych, każdy układ herbicyd – adiuwant wymaga oddzielnych badań. Ponadto, z braku szerokiego wyboru adiuwantów doglebowych, często próbuje się wykorzystać substancje dotychczas stosowane jako adiuwanty w aplikacji powschodowej. Takie działania stwarzają zagrożenia polegające na uszkodzeniu roślin uprawnych (działanie fitotoksyczne), spadek plonu, pogorszenie jego jakości oraz zagrożenia dla środowiska (wyższe pozostałości herbicydu w plonie, glebie).

Literatura

1. BN-69/9131-02. 1969. Oznaczanie wyrównania ziarna.
2. Bruce J. A., Carey J. B.: Effect of growth stage and environment on foliar absorption, translocation, metabolism and activity of nicosulfuron in quackgrass (Elytrigia repens). Weed Sci., 1996, **44**: 447–454.
3. Capri E., Ghebbioni C., Trevisan M.: Metamitron and chloridazon dissipation in a silty clay loam soil. J. Agric. Food Chem., 1995, **43**: 247–253.
4. Dexter A. G., Zollinger R. K.: Weed control guide for sugarbeet. Sugarbeet Res. Ext. Rep., 2001, **32**: 3–34.
5. Dyrektywa UE 2009/128/WE z dnia 21 października 2009, ustalająca ramy wspólnego działania na rzecz zrównoważonego stosowania pestycydów. Dz. U. UE, L 309/71 z dnia 24 listopada 2009: 71 ss.
6. Fan de Fang, Pestemer W., Malkomes H. P.: Effect of various pesticides of a sugar--beet spray program on biological activities and chloridazon degradation in soil. II. Pot trials and laboratory experiments. Weed Res., 1983, **23**: 293–304.
7. 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)**: 2127–2136.
8. Kostowska B., Sadowski J.: Przemieszczanie w profilu glebowym herbicydów stosowanych do odchwaszczania kukurydzy. Mat. 32 Sesji Nauk. Inst. Ochr. Roślin, 1992, **32(2)**: 164–167.
9. Kucharski M.: Influence of herbicide and adjuvant application on residues in soil and plant of sugar beet. J. Plant Protection Res., 2003, **43(3)**: 225-232.
10. Kucharski M., Domaradzki K.: Stosowanie adiuwantów z metamitronem w zabiegach przedwschodowych – wpływ na skuteczność chwastobójczą oraz pozostałości herbicydu w glebie. Prog. Plant Protection/Post. Ochr. Roślin, 2008, **48(1)**: 281–286.
11. Kucharski M., Sadowski J., Domaradzki K.: Degradation rate of chloridazon in soil as influenced by adjuvants. J. Plant Prot. Res., 2012, **52(1)**: 147–150.
12. McMullan P. M., Thomas J. M., Volgas G.: HM9679 – A spray adjuvant for soil-applied herbicides. In: Proc. 5th International Symposium on Adjuvants for Agrochemicals, 17–21 August 1998, Memphis, Tennessee USA: 285–290.
13. Pestemer W., Malkomes H. P.: Effect of various pesticides of a sugar-beet spray program on biological activities and chloridazon degradation in soil. I. Field experiments. Weed Res., 1983, **23**: 283–291.
14. PN-68/R-74017. 1968. Oznaczanie masy 1000 ziarn.
15. PN-92/R-04100. 1992. Gleba i materiał roślinny. Oznaczanie pozostałości herbicydów. Substancja aktywna – diflufenikan.
16. PN-ISO 3093. 1996. Oznaczanie liczby opadania.
17. PN-ISO 7971-2. 1998. Oznaczanie gęstości w stanie zsypnym, zwanej „masą hektolitra".
18. Reddy K. N.: Effect of acrylic polymer adjuvants on leaching of bromacil, diuron, norfurazon and simazine in soil columns. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 1993, **50(3)**: 449–458.
19. Rodriguez-Cruz M. S., Sanchez-Martin M. J., Andrades M. S., Sanchez-Camazano M.: Retention of pesticides in soil columns modified in situ and ex situ with a cationic surfactant. Sci. Total Environ., 2007, **378(1/2)**: 104–112.
20. Rouchaud J., Neus O., Hermann O.: Influence of application rate and manure amendment on chloridazon dissipation in the soil. Weed Res., 1997, **37**: 121–127.
21. Sharma S. D., Kirkwood R. C., Whateley T. I.: Effect of non-ionic nonylphenol surfactants on surface physicochemical properties, uptake and distribution of asulam and diflufenican. Weed Res., 1996, **36**: 227–239.

22. S w a r c e w i c z M., M u l i ń s k i Z., Z b i e ć I.: Influence of spray adjuvants on the behavior of trifluralin in the soil. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 1998, **60**: 569–574.
23. W a r n e r J. D., D e x t e r A. G.: Adjuvant effect on weed control in sugar beet from Upbeet and Upbeet plus other adjuvants. Sugarbeet Res. Ext. Rep., 1995, **26**: 77–82.
24. W i l s o n R. G., S m i t h J. A., Y o n t s C. D.: Repeated reduced rates of broadleaf herbicides in combination with methylated seed oil for postemergence weed control in sugar beet (*Beta vulgaris*). Weed Technol., 2005, **19**: 855–860.
25. V a n D e r P a s L. J. T., M a t s e r A. M., B o e s t e n J. J. T. I., L e i s t r a M.: Behaviour of metamitron and hydroxy-chlorothalonil, Pestic. Sci., 1999, **55**: 923–934:

Adres do korespondencji:

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

S T U D I A I R A P O R T Y IUNG-PIB

ZESZYT 36(10): 55-67 **2014**

Cezary Andrzej Kwiatkowski[1], Alena Yakimovich[2], Małgorzata Haliniarz[1], Elżbieta Harasim[1]

[1]Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie,
[2]Instytut Ochrony Roślin w Priłukach k/Mińska, Białoruś

MOŻLIWOŚCI REGULACJI ZACHWASZCZENIA NA WYBRANYCH PLANTACJACH ROŚLIN ZIELARSKICH W POLSCE I BIAŁORUSI

Słowa kluczowe: rośliny zielarskie, chwasty, przedplon, chemiczne i mechaniczne metody odchwaszczania

Wstęp

Rośliny zielarskie, mimo że zajmują niewielką powierzchnię uprawną w stosunku do tradycyjnych upraw (np. zbóż, roślin okopowych), odgrywają dużą rolę w polskiej i białoruskiej gospodarce. Ich znaczenie polega na szerokim zastosowaniu, głównie w farmacji, przemyśle spożywczym i kosmetycznym. Są również istotnymi produktami w handlu zagranicznym. Uprawa tych roślin różni się znacznie od innych ze względu na konieczność uzyskania wysokiej jakości surowca, kierowanego niekiedy bezpośrednio do leczenia. Gatunkami roślin zielarskich, popularnymi zarówno w Polsce, jak i w Białorusi są między innymi: kozłek lekarski (*Valeriana officinalis* L.), tymianek właściwy (*Thymus vulgaris* L.), rumianek pospolity (*Chamomilla recutita* L. Rausch), bazylia pospolita (*Ocimum basilicum* L.). Warto wspomnieć, iż wymienione gatunki powinny cechować się wysokim plonem surowca oraz dużą ilością zawartych substancji czynnych, przy możliwie niskim poziomie nawożenia i ograniczonych dawkach środków ochrony roślin. Chemiczna ochrona ziół i związane z nią pozostałości środków chwastobójczych czy grzybobójczych w gotowym surowcu mogą stanowić duży problem z punktu widzenia firm kupujących od plantatora suche ziele czy korzenie. Zioła stanowią przecież surowiec do produkcji leków i przypraw (powinny pomagać, a nie szkodzić człowiekowi).

Uprawa ziół, których surowiec będzie wykazywał wysoką jakość może być szansą na zwiększenie dochodów rolników w Polsce i Białorusi. Według ocen specjalistów z Instytutu Ekonomiki i Gospodarki Żywnościowej – PIB, w najbliższej przyszłości koniunktura w tym sektorze rolnictwa powinna utrzymać się na dość wysokim poziomie. Polskie zioła cenione są coraz bardziej na świecie, zwłaszcza na rynku niemieckim. Lubelszczyzna, a w szczególności Powiat Krasnystaw (gmina Fajsławice), jest jednym z głównych rejonów w Polsce specjalizujących się w produkcji ziół. W Białorusi podobną renomą cieszą się tereny skupione wokół Państwowego Agrokombinatu w Możejkowie, w którym areał uprawy ziół przekracza 300 ha. Należy nadmienić, iż w Możejkowie wysuszony i odpowiednio oczyszczony surowiec niektórych gatunków ziół (rumianek, nagietek, kozłek) jest na miejscu fabrykowany i przeznaczany bezpośrednio do obrotu handlowego. Produkcja ziół w Białorusi jest olbrzymim priorytetem Ministerstwa Rolnictwa tego kraju. Pracownicy Instytutu Ochrony Roślin w Priłukach k/Mińska prowadzą pod patronatem ministerstwa szereg doświadczeń mających na celu doskonalenie agrotechniki roślin zielarskich ze szczególnym naciskiem na aspekt regulacji zachwaszczenia. Powyższa tematyka badań jest w wielu względach zbieżna z doświadczeniami realizowanymi w Uniwersytecie Przyrodniczym w Lublinie (Katedra Herbologii i Technik Uprawy Roślin, Katedra Roślin Przemysłowych i Leczniczych) oraz w Instytucie Ochrony Roślin w Poznaniu. Na kanwie wspólnych zainteresowań oraz możliwości wymiany doświadczeń naukowych zrodził się projekt współpracy między Katedrą Herbologii UP w Lublinie a Instytutem Ochrony Roślin w Priłukach, dotyczący chemicznych i mechanicznych metod zwalczania chwastów na plantacjach niektórych roślin zielarskich. W niniejszej publikacji zaprezentowano wyniki wspólnych polsko - białoruskich doświadczeń w tym zakresie oraz rezultaty wcześniejszych badań prowadzonych w UP w Lublinie oraz innych placówkach naukowych.

Omówienie wyników

W praktyce rolniczej w Polsce i Białorusi duży problem na plantacjach roślin zielarskich stanowią chwasty, których zwalczanie ograniczone jest zwykle do zabiegów herbicydowych po siewie nasion, przed wschodami rośliny uprawnej oraz mechanicznego (zwykle ręcznego) odchwaszczania. Pomimo wieloletniej tradycji uprawy rumianku pospolitego, tymianku właściwego czy kozłka lekarskiego, ciągle obserwujemy w tych krajach problemy z uzyskaniem surowca o odpowiedniej jakości, zaś jednym z powodów jest uciążliwa walka z chwastami bądź niewłaściwe następstwo roślin. Chemiczna walka z chwastami przy pomocy niewielu herbicydów dopuszczonych do aplikacji w ziołach jest zwykle nie wystarczająca (4, 26), w wyniku czego obserwuje się znaczne zmniejszenie plonowania roślin związane z nadmierną presją chwastów. Trudności związane z zachwaszczeniem plantacji roślin zielarskich zniechęcają też wielu plantatorów do kontynuowania uprawy ziół (25).

Powyższe spostrzeżenia są zbieżne z rezultatami niektórych dociekań naukowych (3, 5, 11, 21, 27). Dużym mankamentem jest zwłaszcza zwalczanie chwastów dwuliściennych, już w trakcie pełnego wzrostu rośliny zielarskiej, ponieważ brak jest herbicydów zarejestrowanych do stosowania nalistnie, kiedy występuje wzmożona konkurencyjność gatunków zachwaszczających (12, 18). Aktualne pozostaje więc prowadzenie badań z zastosowaniem herbicydów po wschodach czy posadzeniu rozsady, nie posiadających dotychczas atestu na aplikację w tych zasiewach, jak również poszukiwanie skutecznych metod mechanicznej regulacji zachwaszczenia. W literaturze naukowej znajdujemy liczne przykłady prowadzenia tego typu doświadczeń. Obok metod czysto ekologicznych (odpowiedni dobór przedplonu, przyorywanie biomasy międzyplonów) autorzy zwracają uwagę na szereg metod mechanicznych (ręczna graca, opielacze międzyrzędowe, brony zębowe, brona chwastownik, pielnik szczotkowy), a także usuwanie chwastów przy pomocy zalecanych herbicydów, oraz herbicydów nie posiadających atestu na aplikację w roślinach zielarskich. Wyniki eksperymentu polowego z odchwaszczaniem tymianku właściwego prowadzonego przez K w i a t k o w s k i e g o i K o ł o d z i e j (18) wykazały, że bardzo dużą rolę w produkcyjności roślin zielarskich odgrywa odpowiedni przedplon (ziemniak, a w dalszej kolejności mieszanka roślin strączkowych). Stanowisko po zbożach (pszenica ozima) sprzyjało wzrostowi zachwaszczenia plantacji, co w konsekwencji powodowało obniżenie plonu ziela i jego jakości. Udowodniono również, iż wyłącznie mechaniczna walka z chwastami nie jest w stanie zniwelować spadku plonu w porównaniu z uzyskanym na obiektach odchwaszczanych sposobem mechaniczno-chemicznym. Eksperyment potwierdził także przydatność herbicydu Goltix 700 SC (metamitron) w powschodowym odchwaszczaniu tymianku, co może mieć duże znaczenie dla praktyki rolniczej.

Z badań dotyczących wpływu przedplonu na plonowanie i zachwaszczenie kozłka lekarskiego wynika, że ziemniak okazał się korzystniejszym stanowiskiem dla rośliny zielarskiej niż pszenica ozima wraz z grochem polnym uprawianym jako międzyplon ścierniskowy, jednak pozytywnego oddziaływania przedplonu nie potwierdzono statystycznie (16).

W doświadczeniu z tymiankiem właściwym K w i a t k o w s k i (11) wykazał, że niezależnie od przedplonu, pielęgnacja mechaniczno-chemiczna najskuteczniej ograniczała masę chwastów w łanie, powodując ponad siedmiokrotne jej obniżenie w stosunku do obiektów kontrolnych (pielęgnacja mechaniczna) i blisko dwukrotne w odniesieniu do poletek chronionych tylko herbicydami. Równocześnie zwalczanie chwastów przy użyciu herbicydów pięciokrotnie ograniczyło ich powietrznie suchą masę w stosunku do obiektów poddawanych wyłącznie mechanicznemu pieleniu. Bez względu na przyjęty sposób pielęgnacji, zdecydowanie największe zachwaszczenie stwierdzono w tymianku na stanowisku po jęczmieniu jarym. Wprowadzenie międzyplonu z facelii po zbiorze jęczmienia, a zwłaszcza przygotowanie stanowiska po ziemniakach istotnie obniżało powietrznie suchą masę chwastów w łanie tymianku, odpowiednio o 173% i 316% (tab. 1).

Tabela 1

Powietrznie sucha masa chwastów w łanie tymianku właściwego

Sposób pielęgnacji (odchwaszczania)	Przedplon			Średnio
	ziemniak	jęczmień jary	jęczmień jary + facelia	
	g m^{-2}			
Mechaniczny	25,4	80,4	49,9	51,9
Chemiczny	17,5	61,3	29,9	36,2
Mechaniczno-chemiczny	4,8	9,1	7,3	7,1
Średnio	15,9	50,3	29,0	-
NIR (p = 0,05) dla: sposobu odchwaszczania = 13,1; przedplonu = 9,8				

Źródło: Kwiatkowski 2007 (11).

Zastosowanie w zwalczaniu chwastów herbicydów (zwłaszcza w powiązaniu z zabiegami mechanicznymi), miało wpływ na zwiększenie plonu suchego ziela o 38-45% w stosunku do plonu uzyskanego z obiektów kontrolnych. Świadczy to o dużej selektywności i skuteczności herbicydów, a zwłaszcza prepatatu Goltix 700 SC (metamitron), który nie ma jeszcze atestu na stosowanie w Polsce (11, 12).

Kolejne eksperymenty K w i a t k o w s k i e g o (15, 16) potwierdziły dużą rolę aktywnego narzędzia (pielnika szczotkowego) w odchwaszczaniu międzyrzędzi bazylii pospolitej i kozłka lekarskiego, jak również wykazały celowość badań nad substancjami aktywnymi herbicydów, nie mających atestu na stosowanie w ziołach. Najkorzystniejsze parametry ilościowe i jakościowe surowca kozłka lekarskiego, jak również największą redukcję zachwaszczenia łanu notowano po aplikacji herbicydów nie mających atestu. Korzystne oddziaływanie na produkcyjność analizowanej rośliny posiadało także zastosowanie pielnika szczotkowego w międzyrzędziach, którego wadą okazało się zachwaszczenie wtórne pod koniec wegetacji kozłka.
Tradycyjne metody pielęgnacji zasiewów kozłka były mniej skuteczne w ograniczaniu zachwaszczenia i wpływały na obniżenie produkcyjności i jakości surowca (16).
W podobnym doświadczeniu dotyczącym zwalczania chwastów za pomocą herbicydów dolistnych (pendimetalina + fluazifop-p-butyl) w fazie 3-5 liści bazylii oraz w wyniku zastosowania nowych narzędzi i herbicydu (B) (brona chwastownik + dikwat oraz pielnik szczotkowy) stwierdzono skuteczną redukcję liczby i masy chwastów w łanie, w porównaniu z tradycyjną metodą odchwaszczania (A) (tab. 2).

Tabela 2

Skuteczność odchwaszczania bazylii pospolitej określona przed zbiorem; liczba chwastów na 1 m^2

Dominujące gatunki chwastów	Sposoby odchwaszczania*				
	A	B	C	D	E
Chenopodium album L.	12,3	3,7	2,6	16,8	13,5
Echinochloa crus-galli L.	10,5	4,8	5,7	14,3	9,5
Capsella bursa-pastoris L.	9,0	3,2	3,9	8,3	7,0
Thlaspi arvense L.	7,4	0,9	1,8	7,8	3,6
Polygonum lapathifolium L.	6,2	2,8	4,5	9,9	7,2
Viola arvensis Murr.	5,6	4,3	2,6	6,1	5,8
Galinsoga parviflora Cav.	5,1	0,8	2,9	7,1	4,6
Cirsium arvense (L.) Scop.	4,8	2,6	0,4	7,5	5,7
Elymus repens (L.) P. Beauv.	4,2	0,2	1,9	3,6	5,2
Inne gatunki	9,7	5,2	4,8	13,3	12,0
Ogółem	74,8	28,5	31,1	94,7	74,1

NIR (p = 0,05) dla sposobów odchwaszczania = 15,22

*Objaśnienie:
A – tradycyjne odchwaszczanie (obiekt kontrolny) brona zębowa przed wschodami + herbicyd (dikwat) oraz mechaniczne zwalczanie chwastów (ręczna graca) w fazie 3-5 liści bazylii;
B – brona zębowa przed wschodami + herbicydy (pendimetalina + fluazifop-p-butyl) w fazie 3-5 liści bazylii;
C – brona chwastownik (zgrzebło) przed wschodami + herbicyd (dikwat) oraz mechaniczne zwalczanie chwastów pielnikiem szczotkowym w fazie 3-5 liści bazylii;
D – brona chwastownik (zgrzebło) przed wschodami oraz w fazie 3-5 liści bazylii (bez herbicydów);
E – brona chwastownik (zgrzebło) przed wschodami oraz pielnik szczotkowy w fazie 3-5 liści bazylii (bez herbicydów).

Źródło: Kwiatkowski 2009 (15).

Należy zauważyć, iż zastosowanie w mechanicznym odchwaszczaniu bazylii pospolitej wyłącznie brony chwastownika lub użycie tego narzędzia w powiązaniu z pielnikiem szczotkowym (bez herbicydów – obiekty D i E) skutkowało zbliżonym lub nawet większym udziałem liczby chwastów na poletkach aniżeli na obiekcie kontrolnym A (tab. 2). Istotną likwidację dominujących gatunków chwastów osiągnięto natomiast wprowadzając nalistny herbicyd (pendimetalina + fluazifop-p-butyl – obiekt B) lub uzupełniając odchwaszczające działanie pielnika szczotkowego zalecanym przez Kalendarz IOR w Poznaniu (26) herbicydem dikwat stosowanym przed wschodami rośliny uprawnej (obiekt C). Powyższe metody przyczyniały się ponadto do uzyskiwania największego plonu surowca bazylii (15).

Kucharski i in. (9) oceniając przydatność wybranych herbicydów w uprawie bazylii wonnej wykazali, że preparat Horton 500 SC, a szczególnie Duplosan DP 600 SL powodowały uszkodzenia i zniekształcenia bazylii, zanikające po 6 tygodniach. Dobre wyniki dały: Norton Super 500 SC i Duplosan DP 600 SL zastosowane współrzędnie z Fusilade Forte 150 EC. Herbicydy te skutecznie niszczyły występujące na poletkach chwasty jedno-

i dwuliścienne. Trwały efekt chwastobójczy uzyskano po zabiegu z preparatem Duplosan DP 600 SL współrzędnie z Fusilade Forte 150 EC. W I zbiorze najwyższy plon ziela osiągnięto z kontroli pielonej, natomiast w II zbiorze ze wszystkich odchwaszczanych poletek uzyskano porównywalny plon suchej masy ziela (9).

Niektóre herbicydy nalistne mogą powodować pewien procent uszkodzeń liści (zmiany nekrotyczne, skręcenie i zasychanie liści). W podobnym zakresie, uszkodzenia roślin (wyrywanie, ucinanie) mogą powodować zabiegi mechaniczne (zwłaszcza zastosowanie pielnika szczotkowego – narzędzia działającego aktywnie). Jak pokazują doświadczenia polowe, po kilku tygodniach od zabiegu rośliny zielarskie z reguły regenerują się i nie wpływa to na obniżenie ich produkcyjności (15, 16). Stąd też wielu autorów postuluje, by w dobie troski o ochronę środowiska przywracać rangę mechanicznym metodom walki z chwastami. Takie postępowanie zalecane jest zwłaszcza w uprawie szerokorzędowej warzyw czy roślin zielarskich. Dotyczy to w szczególności narzędzi, jak: brona chwastownik i pielnik szczotkowy (1, 10, 20, 23). Brona chwastownik (zgrzebło) posiada dwustronne „zęby" (krótkie i długie), które można stosować zamiennie w zależności od stanu pola (rodzaju gleby) i fazy rozwojowej rośliny uprawnej i chwastów (6, 7). Pielnik szczotkowy jest maszyną aktywną, napędzaną od wałka przekaźnika mocy, z półsztywnymi włosami z tworzywa sztucznego. Szczotki umieszczone są na osi pionowej, obejmują rząd i „wymiatają" chwasty rosnące w międzyrzędziach (2). Roślina uprawna chroniona jest przed uszkodzeniem specjalnymi osłonami. Umożliwia to zwalczanie chwastów rosnących bardzo blisko roślin, około 3-4 cm z każdej strony rzędu (23).
Warunkiem skuteczności takich zabiegów jest jednak odpowiednia szerokość międzyrzędzi roślin (25-50 cm), precyzyjne prowadzenie narzędzia oraz warunki pogodowe (zarówno nadmierna susza, jak i opady pogarszają jakość zabiegu) (2, 16, 23).

R z e k a n o w s k i i in. (22) zwracają uwagę na fakt, że obok różnych metod odchwaszczania łanu roślin zielarskich, bardzo duże znaczenie dla ostatecznego efektu plonotwórczego posiada nawożenie mineralne i rodzaj gleby, a także zaspokojenie potrzeb wodnych roślin.

Pozytywne efekty w regulacji zachwaszczenia roślin zielarskich może przynieść stosowanie biostymulatorów (stymulatorów wzrostu) np. takich jak: Tytanit, Bio-algeen, Asahi SL (Atonik). Użycie wspomnianych preparatów pozwala na skuteczniejsze konkurowanie rośliny uprawnej z chwastami, poprzez uodpornienie na warunki stresowe w siedlisku, stymulowanie procesów biochemicznych w roślinie, lepsze wykorzystanie składników pokarmowych zawartych w glebie. K w i a t k o w s k i i J u s z c z a k (19) dowiedli, że tradycyjna metoda pielęgnacji zasiewów bazylii pospolitej, bez aplikacji stymulatorów wzrostu, wpływała na mniejszą wysokość roślin i mniejszą liczbę pędów z rośliny, co skutkowało większym zachwaszczeniem łanu (tab. 3) oraz spadkiem poziomu plonowania.

Tabela 3

Wpływ stymulatorów wzrostu na powietrznie suchą masę chwastów w zasiewach bazylii pospolitej

Obiekty	Powietrznie sucha masa chwastów ($g\ m^{-2}$)
Kontrola (bez biostymulatorów)	40,7
Asahi SL	31,2
Bio-algeen	37,7
Tytanit	31,5
NIR (p = 0,05) = 5,09	

Źródło: Kwiatkowski i Juszczak 2011 (19).

Pozytywny wpływ stymulatorów wzrostu na produkcyjność roślin zielarskich potwierdzono w innym eksperymencie prowadzonym przez K w i a t k o w s k i e- g o (17) na przykładzie tymianku zwyczajnego. Zdaniem K w i a t k o w s k i e g o (dane nie publikowane) stosowanie stymulatorów wzrostu może łagodzić stres rośliny zielarskiej spowodowany aplikacją herbicydów nalistnych. Dowodzą tego wstępne wyniki badań z zastosowaniem Tytanitu w zasiewach rumianku pospolitego (tab. 4).

Tabela 4

Wpływ Tytanitu na niwelowanie stopnia uszkodzeń roślin rumianku pospolitego w wyniku stosowania herbicydu nalistnego (metamitron, pendimetalina), (Fajsławice 2013 r.)

Dawka herbicydu ($l \cdot ha^{-1}$) / stymulator wzrostu	Stopień uszkodzeń roślin rumianku (%)
Metamitron (1,25) + Tytanit	0,6
Metamitron (1,25)	5,8
Pendimetalina (0,75) + Tytanit	0,3
Pendimetalina (0,75)	3,9
NIR (p = 0,05) = 2,56	

Źródło: Kwiatkowski (badania nie publikowane)

Według innych autorów, niektóre substancje aktywne herbicydów (propyzamid, linuron, prometryna, MCPA) mogą powodować znaczne uszkodzenia rośliny zielarskiej (13, 14). Z badań Ć w i k ł y i K o ł o d z i e j (5) dotyczących żeń-szenia pięciolistnego wynika, że opryski herbicydami istotnie ograniczyły skład gatunkowy i liczbę chwastów na powierzchni $1m^2$. Efekty stosowania 2,4 D i dikamby w połączeniu z fluazifo-p-butylem były lepsze niż uzyskane w wyniku ręcznego odchwaszczania poletek, podczas gdy pozostałe preparaty (propyzamid i fluazifo-p-butyl, linuron i fluazifo-p-butyl, a także prometryna wraz z fluazifo-p-butylem) uszkadzały rośliny żeń-szenia i w konsekwencji spowodowały zmniejszenie ponów surowca. Dlatego też stosowanie herbicydów nalistnych nieraz nie powinno być jedyną metodą odchwaszczania, zaś najlepszym rozwiązaniem jest połączenie mechanicznych i chemicznych metod odchwaszczania (11, 13, 18).

Bez względu na powyższe argumenty, na podstawie kilkuletnich doświadczeń z nalistnym stosowaniem herbicydów w zasiewach tymianku właściwego, kozłka

lekarskiego i bazylii pospolitej można uznać, iż niektóre substancje aktywne są bezpieczne do stosowania w ziołach i posiadają dużą skuteczność chwastobójczą: metamitron (tymianek), pendimetalina + fluazifop-p-butyl (bazylia), pendimetalina + haloksyfop-R; 2,4 D + dicamba + fluazifop-p-butyl; metamitron + fluazifop-p-butyl oraz metamitron + propachizafop (kozłek) (8, 11, 12, 13, 14, 15, 16).

Y a k i m o v i c h (24) zarejestrowała w Białorusi herbicyd Chwastox Extra WR (MCPA) do aplikacji w zasiewach rumianku pospolitego w dawce 300 g l^{-1}, natomiast preparat Gesagard KS okazał się fitotoksyczny dla rośliny zielarskiej.

Pozytywne wyniki badań dotyczących odchwaszczania kultur zielarskich z zastosowaniem niektórych substancji aktywnych herbicydów (metamitron, pendimetalina) zanotowane w doświadczeniach polskich prowadzonych przez K w i a t k o w s k i e g o (11, 12, 13, 14) skłoniły białoruskich naukowców (pod kierownictwem dr Y a k i m o v i c h) do kontynuowania podobnych eksperymentów. Celem takich dociekań jest między innymi wdrożenie do praktyki rolniczej w Białorusi (a w dalszej kolejności zgłoszenie patentu) herbicydów nalistnych do stosowania na plantacji kozłka lekarskiego i rumianku pospolitego. Eksperyment polowy założony na glebach bielicowych należących do Instytutu Ochrony Roślin w Priłukach obejmował 3 dawki wspomnianych substancji aktywnych oraz 3 terminy nalistnej aplikacji herbicydów. Wstępne rezultaty tych badań przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5

Powietrznie sucha masa chwastów na plantacji rumianku pospolitego określona 4 tygodnie po aplikacji pendimetaliny (Priłuki, Białoruś 2013 r.)

Faza rozwojowa rumianku	Dawka pendimetaliny w $l \cdot ha^{-1}$		
	0,5	0,75	1,0
Faza 2-3 liści	35,3	29,2	62,6
Faza 4-5 liści	20,1	16,5	40,7
Faza 6-7 liści	39.8	25,4	48,6

NIR (p=0,05)
(a) dawka herbicydu = 3,73
(b) faza rozwojowa rumianku = 3,86
interakcja (a x b) = 5,48

Źródło: badania własne (nie publikowane).

Z danych zawartych w tabeli 5 wynika, że optymalna dawka pendimetaliny stosowana na plantacji rumianku pospolitego wynosi 0,75 l ha^{-1}, zaś najodpowiedniejszą fazą rozwojową rośliny zielarskiej do aplikacji herbicydu jest faza 4-5 liści. Przy spełnieniu powyższych warunków stwierdzono istotnie najmniejszą masę chwastów w łanie. Zmniejszenie dawki herbicydu do 0,5 l ha^{-1} okazało się mniej efektywne, zaś zwiększenie dawki do 1,0 l ha^{-1} przyniosło najmniej korzystne rezultaty (istotnie największy procent uszkodzonych roślin rumianku w fazie 2-3 liści), a jednocześnie największą masę chwastów w łanie, z uwagi na zbyt późny okres rozpoczęcia chemicznego odchwaszczania. W tabeli 6 zaprezentowano wyniki badań dotyczące stopnia uszkodzenia roślin rumianku (skręcenie liści, nekrotyczne zmiany) w wyniku nalistnego stosowania pendimetaliny.

Tabela 6

Uszkodzenia roślin rumianku pospolitego (w %) określone 4 tygodnie po aplikacji pendimetaliny (Priłuki, Białoruś 2013 r.)

Faza rozwojowa rumianku	Dawka pendimetaliny w $l \cdot ha^{-1}$		
	0,5	0,75	1,0
Faza 2-3 liści	0,0	0,3	17,5
Faza 4-5 liści	0,0	0,0	4,3
Faza 6-7 liści	0,0	0,0	2,2

Źródło: badania własne (nie publikowane).

Należy jednoznacznie stwierdzić, iż pendimetalina aplikowana w fazie 2-3 liści rumianku pospolitego w dawkach 0,5 – 0,75 l ha^{-1} była całkowicie bezpieczna, natomiast wyższa dawka (1,0 l ha^{-1}) okazała się szkodliwa dla około 17% roślin i tylko dla 2-4% roślin, gdy była stosowana w późniejszych fazach rozwojowych. Reasumując, skuteczne, a jednocześnie bezpieczne dla rośliny zielarskiej powschodowe odchwaszczanie rumianku pospolitego przy użyciu pendimetaliny jest możliwe w fazie 4-5 liści rośliny uprawnej, z uwzględnieniem dawki preparatu wynoszącej 0,75 l ha^{-1}. Powyższe spostrzeżenia są zbieżne z rezultatami uzyskanymi przez K w i a t k o w s k i e g o (15) oraz K w i a t k o w s k i e g o i J u s z c z a k (19), którzy stosowali pendimetalinę w zasiewach bazylii pospolitej.

Aby uznać dany herbicyd za całkowicie bezpieczny do aplikacji w roślinach zielarskich istotne jest określenie pozostałości substancji aktywnej preparatu w surowcu roślinnym. Wyniki analiz chemicznych przeprowadzonych w Laboratorium Instytutu Ochrony Roślin w Priłukach pokazują, że niezależnie od dawki pendimetaliny oraz fazy rozwojowej rumianku, w której aplikowano herbicyd nie stwierdzono żadnych pozostałości substancji aktywnej w przed zbiorem ziela (tab. 7).

Tabela 7

Zawartość pendimetaliny w kwiatostanach rumianku pospolitego (w %) określona 1 tydzień przed zbiorem rośliny uprawnej (Priłuki, Białoruś 2013 r.)

Faza rozwojowa rumianku	Dawka pendimetaliny w $l \cdot ha^{-1}$		
	0,5	0,75	1,0
Faza 2-3 liści	0,0	0,0	0,0
Faza 4-5 liści	0,0	0,0	0,0
Faza 6-7 liści	0,0	0,0	0,0

Źródło: Yakimovich (badania nie publikowane).

Interesująco przedstawiają się także wyniki badań prowadzonych w Białorusi z zastosowaniem pendimetaliny oraz metamitronu na plantacji kozłka lekarskiego wysiewanego z nasion wprost do gruntu (tab. 8). Uwzględniając dawki powyższych herbicydów stosowane we wcześniejszych badaniach Kwiatkowskiego (11, 13) pendimetalina (0,75 l ha^{-1}), metamitron (1,25 l ha^{-1}) uzyskano skuteczną redukcję dominujących gatunków chwastów w sytuacji aplikacji preparatów odchwaszczających w zalecanej przez autora fazie 3-4 liści kozłka lekarskiego. Użycie herbicydów

nalistnych we wcześniejszej fazie rozwojowej skutkowało znacznymi uszkodzeniami roślin kozłka (na poziomie 27 – 29%), zaś opóźnienie zabiegu do fazy 5-6 liści powodowało mniejszą redukcję zachwaszczenia (większe, wyrośnięte chwasty były mniej podatne na herbicyd).

Tabela 8

Powietrznie sucha masa chwastów na plantacji kozłka lekarskiego oraz stopień uszkodzeń roślin kozłka określone 4 tygodnie po aplikacji metamitronu i pendimetaliny (Priłuki, Białoruś 2013 r.)

Herbicyd i faza rozwojowa kozłka lekarskiego	Powietrznie sucha masa chwastów (g m^{-2})	% uszkodzonych roślin kozłka lekarskiego
pendimetalina (w fazie 1-2 liści)	65,6	26,7
pendimetalina (w fazie 3-4 liści)	13,2	0,0
pendimetalina (w fazie 5-6 liści)	33,4	0,0
metamitron (w fazie 1-2 liści)	78,3	28,6
metamitron (w fazie 3-4 liści)	11,7	0,3
metamitron (w fazie 5-6 liści)	28,8	0,1
NIR (p = 0,05)	5,35	0,62

Źródło: badania własne (nie publikowane).

Podobnie jak w przypadku kwiatostanów rumianku pospolitego, także w korzeniach i kłączach kozłka lekarskiego nie stwierdzono pozostałości substancji aktywnych herbicydów, w próbkach surowca pobranych przed zbiorem i badanych w laboratorium IOR w Priłukach (badania własne 2013).

Jak ważne jest uchwycenie odpowiedniej fazy rozwojowej rośliny zielarskiej, w której możemy najskuteczniej konkurować z chwastami (nie tylko chemicznie, ale i mechanicznie) świadczą wyniki innego eksperymentu realizowanego w Priłukach. Prowadzono bowiem mechaniczną regulację zachwaszczenia (ręczne wyrywanie chwastów z powierzchni próbnych każdego poletka) na plantacji kozłka lekarskiego w fazach 3-4 liści, 5-6 liści oraz 7-8 liści. Następnie określano stopień zachwaszczenia przed zbiorem rośliny uprawnej oraz plon kozłka lekarskiego. Dowiedziono, że najskuteczniejszą redukcję zachwaszczenia, a w konsekwencji największy plon korzeni i kłączy, zapewnia najwcześniejsze (faza 3-4 liści) rozpoczęcie usuwania chwastów z zasiewów kozłka (tab. 9).

Tabela 9

Powietrznie sucha masa chwastów na plantacji kozłka lekarskiego oraz plon korzeni i kłączy rośliny zielarskiej w zależności od fazy rozwojowej, w której prowadzono mechaniczną regulację zachwaszczenia (Priłuki, Białoruś 2013 r.)

Faza rozwojowa kozłka lekarskiego	Powietrznie sucha masa chwastów ($g \cdot m^{-2}$)	Plon korzeni i kłączy kozłka lekarskiego ($t \cdot ha^{-1}$)
3-4 liście	43,2	4,05
5-6 liści	64,9	3,44
7-8 liści	83,6	3,31
NIR (p = 0,05)	10,17	0,225

Źródło: badania własne (nie publikowane)

Podsumowanie wyników badań

Z całokształtu przedstawionych w niniejszym opracowaniu wyników badań nasuwa się spostrzeżenie, iż regulacja zachwaszczenia w zasiewach roślin zielarskich jest kwestią złożoną. Skuteczność konkretnego sposobu regulacji zachwaszczenia zależy od szeregu czynników, jak stanowisko uprawy (przedplon, międzyplon), faza rozwojowa rośliny uprawnej i chwastów, warunki glebowe i klimatyczne oraz ogólna kondycja roślin (wynikająca między innymi z rodzaju, ilości i formy nawożenia / dokarmiania dolistnego / stymulowania wzrostu roślin). Ważna jest także odpowiednia technika przeprowadzania zabiegów ochrony roślin, tak chemicznych, jak i mechanicznych. Bez wątpienia najskuteczniejszą i najmniej pracochłonną formą zwalczania chwastów okazuje się stosowanie herbicydów nalistnych (nie posiadających atestu na plantacjach ziół). Pomimo wielu pozytywnych rezultatów badawczych z zastosowaniem metamitronu i pendimetaliny nie można zalecać tych preparatów dla praktyki rolniczej w Polsce. Proces rejestracji herbicydu w naszym kraju jest długotrwały i musi być poparty pozytywnymi wynikami badań na plantacjach produkcyjnych, pod patronatem firmy, która jest właścicielem substancji aktywnej herbicydu. Także wdrożenie herbicydu do praktyki rolniczej wymaga spełnienia szeregu procedur. Nieco inaczej przedstawia się problem rejestracji herbicydu w Białorusi, ponieważ do zalegalizowania danego środka wymagane są kompleksowe badania (skuteczność w likwidowaniu chwastów, brak uszkodzeń rośliny uprawnej, brak pozostałości substancji aktywnej w surowcu zielarskim) przeprowadzone w kilkuletnim cyklu w renomowanym ośrodku naukowym (np. IOR w Priłukach), bez konieczności powtarzania badań w gospodarstwach rolnych.

Mniej problematyczną kwestią, niezależnie od kraju, jest wdrożenie do praktyki proekologicznych oraz mechanicznych metod regulacji zachwaszczenia na plantacjach roślin zielarskich. Bardzo ważny jest odpowiedni dobór przedplonu względnie uprawa „przerywnika" w formie międzyplonu, co z reguły gwarantuje stanowisko mniej zachwaszczone, a to już na wstępie ułatwia walkę z chwastami na plantacji ziół. Obiecująco przedstawiają się wyniki badań nad nalistnym stosowaniem biostymulatorów w zasiewach ziół, które wzmacniając kondycję roślin przyczyniają się pośrednio do skuteczniejszej konkurencji z chwastami. Należy propagować mechaniczne usuwanie chwastów z międzyrzędzi roślin zielarskich przy pomocy aktywnego narzędzia – pielnika szczotkowego. Wspomniane narzędzie przynosi pożądane efekty odchwaszczania szczególnie w powiązaniu z wcześniejszym (przed wschodami rośliny zielarskiej) stosowaniem herbicydów doglebowych (np. dikwat). Pewnym problemem jest wysoka cena zakupu pielnika szczotkowego, stąd też plantatorzy ziół powinni łączyć się w grupy producenckie, co zmniejszy koszty nabycia takiego sprzętu. Obok aspektów związanych z odchwaszczaniem, priorytetową sprawą pozostaje produkcja surowca zielarskiego wysokiej jakości, wolnego od zanieczyszczeń chemicznych (substancje aktywne środków ochrony roślin, azotany, metale ciężkie) i mechanicznych (odpady organiczne, mineralne, kurz) oraz patogenów grzybowych. Przestrzeganie powyższych warunków powinno przynieść plantatorom w Polsce i Białorusi wymierne korzyści z uprawy ziół.

Wnioski

1. Nowatorskie metody odchwaszczania roślin zielarskich, polegające na zastosowaniu herbicydów nalistnych, nie mających atestu na aplikację w tych kulturach uprawnych oraz użyciu aktywnych narzędzi mechanicznych (pielnik szczotkowy), przyczyniają się do największej redukcji masy i liczby chwastów, a w konsekwencji wpływają na największy plon surowca zielarskiego (bez pozostałości substancji aktywnych środków chemicznych) w porównaniu do metod tradycyjnych.
2. Wyniki kilkuletnich doświadczeń prowadzonych w Polsce i Białorusi wskazują na niektóre substancje aktywne herbicydów (metamitron, pendimetalina) jako bezpieczne do nalistnego stosowania na plantacjach kilku roślin zielarskich (tymianek, kozłek, rumianek, bazylia) w sytuacji przestrzegania odpowiedniej dawki preparatów i fazy rozwojowej rośliny uprawnej. Ze względu na wymogi proceduralne w Polsce, wymienione herbicydy nie mogą być stosowane jednak na plantacjach produkcyjnych.
3. Wskazane jest uproszczenie wymogów rejestracyjnych herbicydów w Polsce (wdrożenie, patent), by praktyka rolnicza mogła szerzej korzystać z osiągnięć nauki w zakresie metod regulacji zachwaszczenia (np. metamitron jest oficjalnie dopuszczony do stosowania na plantacji tymianku w Niemczech). W Białorusi proces ten jest krótszy, ale rejestracja herbicydu poprzedzona jest wieloma żmudnymi badaniami i analizami pozostałości środków ochrony roślin w surowcu zielarskim.

Literatura

1. Adamczewski K.: Rozwój metod zwalczania i perspektywy ograniczania chwastów. Prog. Plant Protect. / Post. Ochr. Rośl. 2000, **40(1)**: 101-112.
2. Bond W., Grundy A.: Non-chemical weed management in organic forming systems. Weed Res. 2001, **41**: 385-405.
3. Czabańska W.: Wyniki najnowszych badań nad kozłkiem lekarskim. Wiadomości Zielarskie, 1985, **9**: 6-7.
4. Czarnecki M., Załęcki R.: Selection of herbicides in garden thyme cultivation (*Thymus vulgaris* L.). Herba Polonica, 1990, **48(1)**: 13-18.
5. Ćwikła M., Kołodziej B.: Ocena wybranych herbicydów w uprawie żeń-szenia amerykańskiego (*Panax quinquefolium* L.), Herba Polonica, 2007, **53(3)**: 135-140.
6. Dobrzański A., Adamczewski K.: Fazy rozwojowe roślin, a racjonalne zwalczanie chwastów. Prog. Plant Protect. / Post. Ochr. Rośl. 1998, **38(1)**: 56-63.
7. Dobrzański A., Adamczewski K.: Przyszłościowe spojrzenie na metody ochrony roślin przed chwastami na progu XXI wieku. Prog. Plant Protect. / Post. Ochr. Rośl. 2001, **41(1)**: 58-68.
8. Kucharski W.A., Kordana S., Mordalski R., Mikołajewicz M.: Ocena przydatności herbicydów Duplosan DP 600SL, Nortron 500 S.C. i Fusilade Forte 150 EC w uprawie bazylii wonnej (*Ocimum basilicum* L.), Prog. Plant Protect. / Post. Ochr. Rośl. 2003, **43(2)**: 762-764.
9. Kucharski W.A., Mordalski R.: Ocena możliwości zastosowania preparatu Goltix 700 SC w uprawie tymianku właściwego (*Thymus vulgaris* L.) na surowiec zielarski. Prog. Plant Protect. / Post. Ochr. Rośl. 2005, **45(1)**: 828-830.

10. K u r s t j e n s D.A.G., P e r d o k V.D.: The selective soil covering mechanism of weed harrows on sandy soils. Soil & Tilage Res. 2000, **55**: 193-206.
11. K w i a t k o w s k i C.: Evaluation of chemical and mechanical ways for weed control in garden thyme (*Thymus vulgaris* L.) growing for herbs. Herba Polonica, 2007, **53(3)**: 202-206.
12. K w i a t k o w s k i C.: Zachwaszczenie i plonowanie tymianku właściwego (*Thymus vulgaris* L.) w zależności od sposobu pielęgnacji i przedplonu. Prog. Plant Protect. / Post. Ochr. Rośl. 2007, **47(3)**: 187-190.
13. K w i a t k o w s k i C.: Influence of selected herbicides on weed infestation and yielding of common valerian (*Valeriana officinalis* L.). Herba Polonica, 2008, **54(2)**: 13-21.
14. K w i a t k o w s k i C.: Ocena wybranych herbicydów w uprawie kozłka lekarskiego (*Valeriana officinalis* L.). Prog. Plant Protect. / Post. Ochr. Rośl. 2008, **48(1)**: 287-290.
15. K w i a t k o w s k i C.: Ocena przydatności niektórych narzędzi oraz herbicydów w regulacji zachwaszczenia bazylii pospolitej (*Ocimum basilicum* L.) uprawianej na surowiec zielarski, Annales UMCS, 2009, **64(3)**: 58-68.
16. K w i a t k o w s k i C.: Evaluation of yield quality and weed infestation of common valerian (*Valeriana officinalis* L.) in dependence on weed control method and forecrop. Acta Agrobot. 2010, **63(2)**: 179-188.
17. K w i a t k o w s k i C.: The effect of growth stimulators and forecrop on raw material quality and yield of garden thyme (*Thymus vulgaris* L.). Herba Polonica, 2011, **57(1)**: 5-15.
18. K w i a t k o w s k i C., K o ł o d z i e j B.: Wpływ przedplonu i sposobu pielęgnacji na zachwaszczenie łanu i jakość surowca tymianku właściwego (*Thymus vulgaris* L.). Annales UMCS, Sec. E, 2005, **60**: 175-184.
19. K w i a t k o w s k i C., J u s z c z a k J.: The response of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) to the application of growth stimulators and forecrops. Acta Agrobot. 2011, **64(2)**: 69-76.
20. M e l a n d e r B., R a s m u s e n I.A., B a r b e r i P.: Integrating physical and cultural methods of weed control examples from European Research. Weed Sci. 2005, **53**: 369-381.
21. R u m i ń s k a A.: Poradnik plantatora ziół. PWR i L, Poznań, 1991: 200-208.
22. R z e k a n o w s k i C., M a r y n o w s k a K., R o l b i e c k i S., R o l b i e c k i R.: Wpływ deszczowania i nawożenia azotem na plonowanie kolendry siewnej. Herba Polonica, 2007, **53,3**: 163-170.
23. V a n d e r W e i d e R.V., B l e e k e r P., M o l e m a G.J., L o t z L.A.P., F o g e l b e r g F., M e l a n d e r B.: Innovation in mechanical weed control in row crops. 13th EWRS Symposium, Bari 19-23 June 2005: 174.
24. Y a k i m o v i c h A.: Ocienka effiektivnosti gierbicida Chwastox Extra w posievach romaszki aptiecznoj. UDK Belarus, 2010, **632.954**: 88.
25. Zalecenia Dotyczące Ochrony Tymianku (C. K w i a t k o w s k i red.). Wyd. Heliplant Sp. z o.o., Fajsławice, 2003: 1-10.
26. Zalecenia Ochrony Roślin na lata 2012/13. cz. IV. Rośliny ozdobne, rośliny zielarskie. Wyd. IOR-PIB Poznań 2011, 168-169.
27. Z a ł ę c k i R.: Warunki uprawy kozłka lekarskiego. Wiadomości Zielarskie, 1980, **7**: 5

Adres do korespondencji:

dr hab. Cezary Andrzej Kwiatkowski, prof. nadzw. UP
Uniwersytet Przyrodniczy
Katedra Herbologii i Technik Uprawy Roślin
Pracownia Agroturystyki i Rozwoju Obszarów Wiejskich
ul. Akademicka 13, 20-950 Lublin
tel. 814456034
e-mail: czarkw@poczta.onet.pl

S T U D I A I R A P O R T Y IUNG-PIB

ZESZYT 36(10): 69-89 **2014**

Tomasz Piskier[1], Tomasz R. Sekutowski[2]

[1]Katedra Biologicznych Podstaw Rolnictwa, Politechnika Koszalińska,
[2]Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy w Puławach

ŚRODOWISKOWE I PRODUKCYJNE SKUTKI STOSOWANIA BEZORKOWYCH SYSTEMÓW UPRAWY ROLI*

Słowa kluczowe: uprawa orkowa, uprawa bezorkowa, właściwości fizyczne gleby, zdrowotność łanu, zachwaszczenie łanu i gleby, plonowanie, pozostałości substancji aktywnych herbicydów w glebie

Wstęp

Uprawa roli stanowi integralną część agrotechniki, a jej bezpośredni wpływ plonotwórczy ocenia się na 3-8% (34). Jednocześnie jest elementem agrotechniki bardzo wyraźnie oddziaływującym na rolę i jej właściwości, co w połączeniu ze znacznymi kosztami jej wykonania powoduje poszukiwanie nowych rozwiązań (19). Za podstawowy oraz najczęściej stosowany system uprawy roli w Polsce przyjmuje się system orkowy (35). Jednak coraz częściej stosowany jest system bezorkowy, określany miastem uprawy konserwującej czy uproszczonej (6, 17, 39, 76). Określenie uprawa bezorkowa jest pojęciem bardzo szerokim i jednocześnie mało precyzyjnym. W literaturze przedmiotu spotyka się bowiem określenie uprawa bezorkowa dotyczące np. rezygnacji z orki i zastąpienia jej spulchnieniem gleby za pomocą kultywatora ścierniskowego (17, 30, 32) czy kultywatora-grubera (35, 40). Spotyka się również uprawę bezorkową, w której podstawowym zabiegiem jest talerzowanie (6), a nawet technologie, w których wykonano jedynie podorywkę i zespół upraw wiosennych (np. agregatem doprawiającym) (29). Jedynie w niewielu opracowaniach określenie uprawa bezorkowa dotyczy kompleksowej technologii uprawy roli tzn. wykonania podorywki i uprawy podstawowej roli z wykorzystaniem kultywatorów uprawowych (42, 44). Jako modyfikację uprawy bezorkowej uznaje się również uprawę pasową, która zaczyna być stosowana coraz częściej w warunkach naszego kraju (37). Za ekstremalny rodzaj uprawy bezorkowej, uważa się siew bezpośredni, przy którym

*Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.6 programu wieloletniego IUNG-PIB

uprawa roli ogranicza się jedynie do spulchnienia bruzdki siewnej. W trakcie przejazdu siewnika następuje umieszczenie nasion na dnie rowka siewnego w nieuprawioną glebę (10, 75, 76).

Tak znaczne zróżnicowanie uprawy bezorkowej uniemożliwia wyciąganie jednoznacznych wniosków i uogólnień, chociaż wielu autorów podkreśla celowość jej stosowania, szczególnie w warunkach gospodarstw wielkotowarowych (17, 42, 62).

Uprawa bezorkowa, a środowisko glebowe

Ideą bezorkowej uprawy roli jest jej spulchnienie oraz wymieszanie resztek pożniwnych. Uprawa ta nie powoduje jednak odwrócenia warstwy roli, co jest głównym założeniem uprawy orkowej. Odmienność oddziaływania systemów uprawy na rolę można prześledzić na przykładzie wymieszania resztek pożniwnych (tab. 1). Zastosowanie systemu orkowego (podorywka wykonana kultywatorem ścierniskowym, orka na głębokość 21 cm) spowodowało umieszczenie głównej masy resztek pożniwnych (52,2%) w warstwie gleby na głębokości 14-21 cm. W warstwie 7-14 cm występowało około 36,2% masy resztek, natomiast w warstwie powierzchniowej jedynie 11,6%. Zastosowanie systemu bezorkowego (podorywka kultywatorem ścierniskowym – jak na uprawie orkowej, uprawa podstawowa agregatem uprawowym na bazie ciężkiego kultywatora uprawowego na 22 cm) umieściła większość resztek pożniwnych (58,4%) w warstwie powierzchniowej (0-7 cm). W warstwie 7-14 cm znajdowało się 22,6% resztek pożniwnych, natomiast w warstwie 14-21 cm jedynie 19%. Większe nagromadzenie węgla organicznego w warstwach powierzchniowych gleb uprawianych bezorkowo stwierdziła również Małecka i in. (32).

Tabela 1

Rozmieszczenie resztek pożniwnych (%) w profilu glebowym po zastosowaniu różnych systemów uprawy roli

Badana warstwa gleby (cm)	System uprawy	
	Orkowy	Bezorkowy
0-7	11,6	58,4
7-14	36,2	22,6
14-21	52,2	19,0

Źródło: badania własne.

Podobny charakter zmian dotyczących wskaźników struktury gleb uzyskali w swoich badaniach Wacławowicz i in. (72) (tab. 2). Prowadzone przez nich badania dotyczyły uprawy roli w ogniwie zmianowania burak cukrowy – pszenica jara. Jako kombinację orkową zastosowano jesienne przyoranie liści buraczanych, wiosną zastosowano agregat uprawowy, w systemie bezorkowym liście buraczane pozostawiono na powierzchni pola do wiosny, wiosną zastosowano kultywator i agregat uprawowy.

Tabela 2

Wpływ systemów uprawy na wybrane wskaźniki struktury gleby

Badana warstwa (cm)	Roślina uprawna			
	Pszenica jara		Pszenica jara	
	Termin badań (faza rośliny uprawnej wg skali BBCH)			
	BBCH 25		BBCH 90	
	System uprawy i badana cecha			
	System \ orkowy	System bezorkowy	System orkowy	System bezorkowy
Wskaźnik struktury gleby				
0-10	1,02	1,31	1,02	0,99
10-20	0,98	1,00	0,99	0,90
Wskaźnik wodoodporności agregatów glebowych (Wod)				
0-10	19,6	22,9	17,2	25,0
10-20	19,5	20,9	17,9	18,7
Średnia ważona średnica agregatów (MWDg) (mm)				
0-10	0,63	0,83	0,66	0,75
10-20	0,77	0,83	1,02	0,76

BBCH 25 – pełnia krzewienia, BBCH 90 – zbiór

Źródło: Wacławowicz i in. 2012 (72), zmienione przez Autorów.

Pozytywne oddziaływanie bezorkowej uprawy roli zaznaczyło się szczególnie wyraźnie w początkowym okresie wegetacji roślin w warstwie 0-10 cm. Wskaźnik struktury gleby oznaczony w fazie krzewienia pszenicy był większy od uzyskanego na uprawie orkowej o 28%, średnia ważona średnica agregatów o 32%, natomiast wskaźnik wodoodporności agregatów o 17%. W terminie zbioru pszenicy najlepsze parametry uzyskał wskaźnik wodoodporności agregatów glebowych z warstwy 10-20 cm, był on większy od stwierdzonego na uprawie orkowej o 45% (tab. 2).

Uprawa mechaniczna gleby ma za zadanie między innymi optymalizację właściwości fizycznych roli dostosowując je do wymagań roślin. Wśród rolników powszechne panuje przekonanie, że rezygnacja z orki wpływa na nadmierne zagęszczenie roli i pogorszenie jej właściwości fizycznych. Badania polowe przeprowadzone na glebach uprawianych bezorkowo w większości przypadków nie potwierdzają tego poglądu, a wieloletnie stosowanie uprawy bezorkowej najczęściej wpływa pozytywnie na stan warstwy uprawnej. Oceniając pola pozostające od 6. lat w uprawie bezorkowej nie stwierdzono wyraźnych zmian gęstości objętościowej, wilgotności aktualnej oraz porowatości kapilarnej gleby w trakcie sezonu wegetacyjnego. Jedynie w fazie dojrzałości pełnej pszenicy gleba uprawiana bezorkowo charakteryzowała się mniejszą wilgotnością (tab. 3).

Tabela 3

Wpływ sposobów uprawy roli na zmiany fizycznych właściwości gleby

Badana warstwa gleby	Badana cecha gleby					
	Gęstość objętościowa rzeczywista ($g \cdot cm^{-3}$)		Wilgotność aktualna (% objętościowy)		Porowatość kapilarna (% objętościowy)	
	Uprawa orkowa	Uprawa bezorkowa	Uprawa orkowa	Uprawa bezorkowa	Uprawa orkowa	Uprawa bezorkowa
	Termin badań (faza rośliny uprawnej wg skali BBCH)					
	BBCH 25					
0-30 cm	1,44	1,44	14,10	14,92	32,31	32,24
$NIR_{\alpha=0,05}$	r.n.		r.n.		r.n.	
BBCH 55						
0-30 cm	1,45	1,44	20,85	20,75	28,03	28,68
$NIR_{\alpha=0,05}$	r.n.		r.n.		r.n.	
BBCH 89						
0-30 cm	1,54	1,48	19,02	15,83	28,36	30,05
$NIR_{\alpha=0,05}$	r.n.		1,653		r.n.	

BBCH 25 – pełnia krzewienia, BBCH 55 – pełnia kłoszenia, BBCH 89 – dojrzałość pełna, r.n. – różnice nieistotne

Źródło: Piskier 2006 (40).

Z badań przeprowadzonych przez Biskupskiego (1) w uprawie żyta ozimego, gdzie przedplonem był wieloletni odłóg, wynika że zastosowanie uprawy uproszczonej oraz siewu bezpośredniego spowodowało zwiększenie gęstości i zwięzłości oraz obniżenie wilgotności gleby w warstwie 0-30 cm.

Natomiast Lepiarczyk i in. (28), w swoich badaniach uzyskali odmienne wyniki. Oceniali oni wpływ systemów uprawy roli stosowanych w latach 2003-2005 na zmiany właściwości fizycznych warstwy uprawnej. Badania przeprowadzona w trakcie wegetacji jęczmienia jarego i bobiku (tab. 4). Uprawa bezorkowa (kultywator + wał strunowy) stosowana pod jęczmień nie powodowała zmian gęstości gleby niezależnie od terminu badań, powodowała natomiast istotne zwiększenie wilgotności gleby. W przypadku uprawy bobiku gęstość gleby ulegała istotnym zmianom w następstwie uprawy bezorkowej i w okresie lata była większa od stwierdzonej na uprawie orkowej. Wilgotność gleby była natomiast większa na polach uprawianych orkowo na początku wegetacji (badanie wiosenne) w pełni lata natomiast na polach uprawianych bezorkowo. Taki stan rzeczy związany był z warunkami pogodowymi, zastosowanymi uprawkami oraz z przedplonem (ilością resztek pożniwnych).

Tabela 4

Wartości wybranych fizycznych właściwości gleby określone w trakcie wegetacji roślin (średnio dla głębokości 0-30 cm)

Termin badań	System uprawy		NIR $_{\alpha=0,05}$
	Orkowy	Bezorkowy	
Jęczmień jary – gęstość gleby (g·cm^{-3})			
Termin wiosenny	1,50	1,50	r.n.
Termin letni	1,51	1,49	
Jęczmień jary – wilgotność gleby (%)			
Termin wiosenny	25,91	26,55	0,694
Termin letni	22,67	25,24	
Bobik – gęstość gleby (g·cm^{-3})			
Termin wiosenny	1,53	1,50	0,028
Termin letni	1,47	1,47	
Bobik – wilgotność gleby (%)			
Termin wiosenny	27,83	25,39	0,662
Termin letni	14,86	16,95	

r.n. – różnice nieistotne

Źródło: Lepiarczyk i in. 2007 (29), zmienione przez Autorów.

Małecka i in. (32), w swoich badaniach przeprowadzonych w fazie wypuszczania wąsów czepnych grochu, dowodzi pozytywnego wpływu uprawy bezorkowej w skład której wchodził agregat ścierniskowy na właściwości fizyczne warstwy uprawnej. Niezależnie od badanej warstwy roli (0-10 cm oraz 10-20 cm) gleba uprawiana bezorkowo charakteryzowała się istotnie większą wilgotnością. W warstwie 0-10 cm rola uprawiana bezorkowo charakteryzowała się większą wilgotnością o 12%, natomiast w warstwie 10-20 cm o 11%. Gęstość gleby była dość wyrównana w całej badanej warstwie gleby uprawianej bezorkowo i wynosiła 1,54 g·cm^{-3} w warstwie 0-10 cm i 1,57 g·cm^{-3} w warstwie 10-20 cm. W warstwie 0-10 cm gęstość gleby stwierdzona na uprawie bezorkowej była większa o około 5% od wartości stwierdzonej na uprawie orkowej, natomiast w warstwie 10-20 cm była mniejsza o około 5% w stosunku do kontroli (tab. 5).

Tabela 5

Wpływ systemów uprawy roli na właściwości fizyczne gleby (średnio dla lat 2010-2011)

Badana warstwa gleby	System uprawy		NIR $_{\alpha=0,05}$
	Orkowy	Bezorkowy	
Wilgotność gleby (g·cm^{-3}0			
0-10 cm	15,3	17,2	1,15
10-20 cm	17,9	19,8	1,64
Gęstość gleby (%			
0-10 cm	1,46	1,54	0,05
10-20 cm	1,66	1,57	0,06

Źródło: Małecka i in. 2012 (32), zmienione przez Autorów.

Uprawa bezorkowa, a zdrowotność łanu

Zmiany jakie następują w środowisku glebowym w wyniku stosowania uprawy bezorkowej mogą wywierać istotny wpływ na liczebność oraz występowanie niektórych agrofagów (np. chorób grzybowych). Badania przeprowadzone przez Runowską-Hryńczuk i Hryńczuka (46) wykazały, że liczebność drobnoustrojów w glebie uzależniona jest w znacznym stopniu od prowadzonego systemu uprawy roli. W uprawie bezorkowej, autorzy ci stwierdzili największą liczebność promieniowców oraz najwyższy ich stopień rozwoju. Natomiast w uprawie orkowej zaobserwowali największą liczebność bakterii, grzybów i promieniowców (32, 46, 76).

Niektóre choroby grzybowe mogą występować w większym nasileniu w pierwszych 2-4 latach uprawy bezorkowej. Zjawisko to jest szczególnie widoczne w uprawie zbóż w monokulturze. Najczęściej są to choroby podstawy źdźbła i korzeni (tzw. choroby podsuszkowe), wywoływane przez grzyby z rodzaju: *Fusarium spp., Pseudocercosporella herpotrichoides, Gaeumannomyces graminis* czy *Drechslera sorokiniana*. Efekt ten jest szczególnie dobrze widoczny w krótkotrwałych (3-5 letnich) monokulturach, gdyż wzrost występowania tych chorób obserwuje się zwykle tylko przez okres pierwszych 2-4 lat (2, 7, 9, 36, 73, 81). Natomiast doniesienia literaturowe z badań nad wpływem uprawy bezorkowej stosowanej w zmianowaniu, na występowanie chorób grzybowych, a w szczególności podsuszkowych są niejednoznaczne. Zdaniem Christiansena (8) w zmianowaniach, w których pszenica uprawiana jest co 2-3 lata na tym samym polu, porażenie przez choroby podsuszkowe może być silniejsze na uprawie bezorkowej niż na uprawie orkowej. Innego zdania są Schmidt i Stahl (64), którzy uważają, że uprawa bezorkowa, powoduje zmniejszenie nasilenia chorób podstawy źdźbła w porównaniu do uprawy orkowej. Efekt ten tłumaczony jest przez Heylanda (20) w ten sposób, że uprawa bezorkowa umieszcza większość resztek pożniwnych w górnych warstwach gleby, a nierzadko część z nich pozostaje również na powierzchni gleby. W wyniku działania zmiennych warunków atmosferycznych (pluwio-termalnych), grzyby chorobotwórcze występujące na resztkach pożniwnych ulegają szybszemu rozkładowi. Natomiast Weber (75) podaje, że stopień porażenia zbóż (np. różnych odmian pszenicy ozimej) może być uzależniony od sposobu uprawy roli oraz od przedplonu (tab. 6). Ponadto Autor ten uważa, że ograniczenie występowania chorób grzybowych w warunkach uprawy bezorkowej, może wynikać ze stosowania urozmaiconych zmianowań, uprawy roślin o zróżnicowanych okresach zbioru oraz różnych międzyplonów (76).

Tabela 6

Porażenie odmian pszenicy ozimej przez choroby podstawy źdźbła w zależności od sposobu uprawy roli (średnio z lat 2000-2002)

Odmiany	Przedplon							
	Owies				Pszenica jara			
	Sposób uprawy roli							
	UO	UBO	UZ	Średnia	UO	UBO	UZ	Średnia
	Wskaźnik porażenia							
Elena	2,03	1,54	1,42	1,66	1,83	2,11	1,77	1,90
Kobra	1,65	1,51	1,11	1,42	1,63	1,59	1,50	1,57
Maltanka	2,18	1,52	1,54	1,75	1,69	2,36	2,39	2,15
Aleta	1,75	1,71	1,05	1,50	2,08	1,89	1,79	1,92
Mikon	1,87	1,28	1,25	1,47	2,36	2,39	1,51	2,09
Izolda	1,73	1,05	1,30	1,36	1,57	1,55	1,71	1,61
Sakwa	1,51	1,38	1,60	1,50	1,91	1,42	1,77	1,70
Średnia	1,82	1,43	1,32	1,52	1,87	1,90	1,78	1,85

UO – uprawa orkowa, UBO – uprawa bezorkowa, UZ – uprawa zerowa
Źródło: Weber 2004 (75), zmienione przez Autorów.

Uprawa bezorkowa, a zachwaszczenie łanu

Zbiorowiska roślin towarzyszące uprawom polowym, stanowią szczególną grupę ekosystemów, które kształtowane są w dużej mierze przez warunki siedliska oraz czynnik antropogeniczny (rolnika), wynikający z zastosowanych zabiegów agrotechnicznych, tj. przedplonu, sposobu uprawy roli czy zabiegów pielęgnacyjnych (11, 22, 66, 67, 77).

Przemiany szaty roślinnej w wyniku działalności czynników antropogenicznych określane są mianem synantropizacji (26). W wyniku działalności człowieka (np. rolnika) obserwuje się zmniejszanie liczby gatunków stenotopowych na rzecz apofitów oraz antropofitów (25, 27, 63).

Jednym z czynników, które silnie kształtują agrofitocenozę są wszelkiego rodzaju uproszczenia w sposobie uprawy roli, gdyż przyczyniają się do tworzenia odmiennych warunków dla wzrostu i rozwoju rośliny uprawnej oraz chwastów. Szczególnie stosowanie uproszczeń uprawowych w następstwie roślin może stwarzać warunki do kompensacji lub czasowego zanikania niektórych gatunków (33, 56, 68). W warunkach uproszczonych systemów uprawy roli, płodozmian jest bardzo ważnym czynnikiem regulującym stan i stopień zachwaszczenia plantacji roślin uprawnych. Prawidłowo prowadzone zmianowanie roślin w połączeniu ze zróżnicowanymi zabiegami uprawowymi sprzyja utrzymaniu zachwaszczenia na względnie niskim poziomie. Wprowadzenie w zmianowaniu roślin ozimych i jarych jak również gatunków o zmiennych terminach zbioru zapobiega powstawaniu zjawiska kompensacji i ogranicza niektóre gatunki chwastów, a z czasem może prowadzić do wytworzenia się względnej równowagi w agrofitocenozie. Przykładem mogą być badania

Szymankiewicza i in. (69) w których to autorzy ci porównywali wpływ płodozmianu i monokultury oraz sposobu uprawy roli na zachwaszczenie pszenżyta ozimego. Z badań tych wynika, że oddziaływanie płodozmianu (niezależnie od sposobu uprawy roli), na zachwaszczenie łanu pszenżyta ozimego, przejawia się głównie redukcją liczebności chwastów z jednoczesnym zwiększeniem bioróżnorodności (tab. 7).

Tabela 7

Liczba chwastów na 1 m^{-2} w zależności od systemu oraz sposobu uprawy roli

Lata badań	Płodozmian		Monokultura	
	UP	UU	UP	UU
1997	19,7	39,2	28,5	31,1
1998	8,9	26,9	6,9	21,1
1999	23,9	12,5	32,5	208,7
2000	8,2	33,2	40,4	168,2
Średnio dla lat	15,2	28,0	27,1	107,3
Średnio dla sposobów uprawy	21,6		67,2	

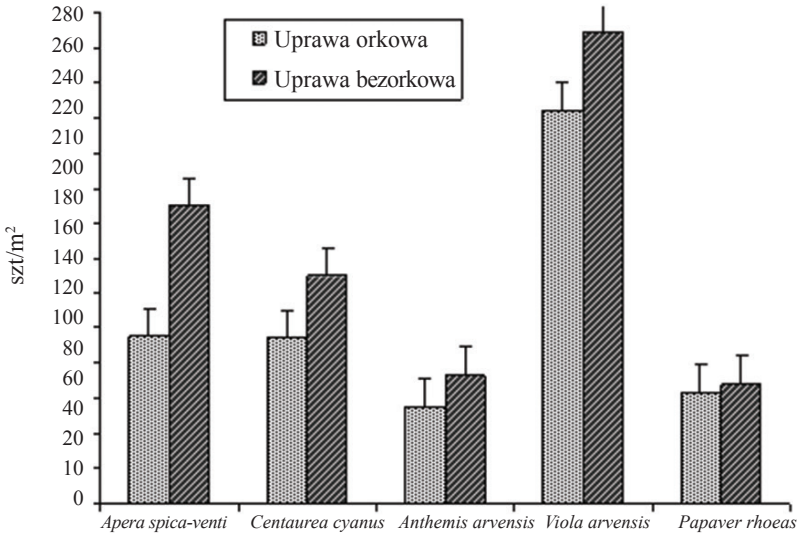
UP – uprawa pełna, UU – uprawa uproszczona
Źródło: Szymankiewicz i in. 2003 (69), zmienione przez Autorów.

Zdaniem Blecharczyka i in. (3) oraz Sekutowskiego (53), stosowanie uprawy bezorkowej w połączeniu z uprawą roślin w monokulturze, może powodować nie tylko zmiany ilościowe ale również jakościowe zbiorowisk chwastów. W dłuższej perspektywie czasowej na miejsce zbiorowisk w których występuje stosunkowa duża bioróżnorodność gatunkowa, pojawiają się bardzo uproszczone zbiorowiska chwastów, składające się zaledwie z 2-4 gatunków dominujących (66, 69). Z badań przeprowadzonych przez Wrzesińską i in. (78) wynika, że w warunkach uprawy bezpłużnej, następuje szybsze rozprzestrzenianie się gatunków wieloletnich zarówno jedno jak i dwuliściennych, przy jednoczesnym ograniczaniu gatunków rocznych krótkotrwałych. Częściowym potwierdzeniem tej tezy są wyniki badań Sekutowskiego i Domaradzkiego (56) oraz Sekutowskiego i Roli (58), przeprowadzone w 7 letniej monokulturze pszenicy ozimej oraz kukurydzy. Autorzy ci stwierdzili istotny wzrost zachwaszczenia kilkoma gatunkami chwastów na uprawie bezorkowej. W pszenicy ozimej stwierdzili dominację 3 gatunków, tj. *Apera spica-venti, Viola arvensis* i *Centaurea cyanus,* a w łanie kukurydzy 2 gatunków, tj. *Echinochloa crus-galli* i *Chenopodium album* (rys. 1-2).

Uprawa bezorkowa, a glebowy bank nasion

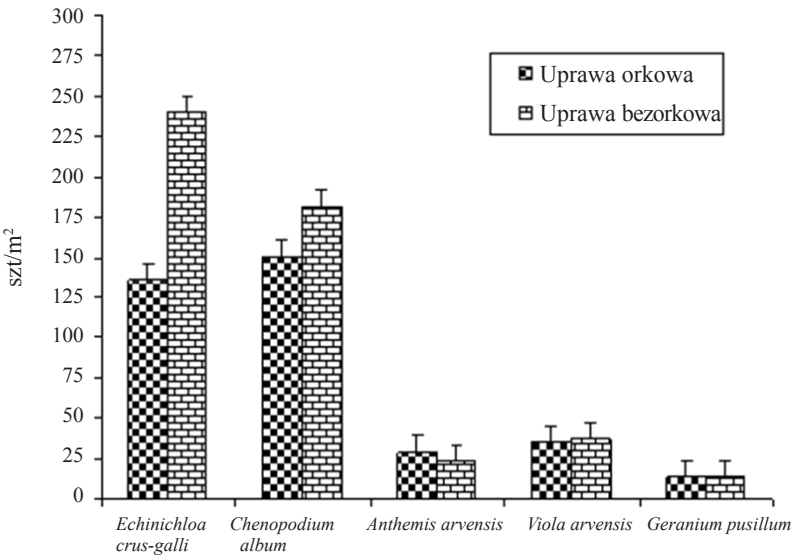
Niewątpliwie najistotniejszym źródłem zachwaszczenia upraw polowych są nasiona chwastów, które po opuszczeniu rośliny matecznej (chwastu) trafiają na powierzchnię gleby, a następnie dzięki różnym czynnikom zewnętrznym są przemieszczane przeważnie w dwóch kierunkach: poziomo - wzdłuż powierzchni gleby lub pionowo - w głąb profilu glebowego (3). Liczebność nasion chwastów

w glebie uzależniona jest od kilku czynników, tj. typ gleby, zastosowane technologie produkcji, zabiegi agrotechniczne, zabiegi ochrony roślin, a także bliskie sąsiedztwo innych pól uprawnych (14, 21, 24, 52, 54, 55, 59, 60, 65, 78).



Rys. 1. Liczebność dominujących gatunków chwastów występujących w łanie pszenicy ozimej uprawianej w 7 letniej monokulturze w zależności od sposobu uprawy roli

Źródło: Sekutowski i Domaradzki 2009 (56).



Rys. 2. Liczebność dominujących gatunków chwastów występujących w łanie kukurydzy uprawianej w 7 letniej monokulturze w zależności od sposobu uprawy roli

Źródło: Sekutowski i Rola (58).

Pionowe rozmieszczenie nasion chwastów w glebie najczęściej uzależnione jest od zastosowanych zabiegów uprawowych (np. uprawy orkowej czy bezorkowej). W miejscach, gdzie profil glebowy nie został naruszony przez żadne narzędzia uprawowe (np. uprawa zerowa - siew bezpośredni) zdecydowana większość nasion znajduje się na głębokości 0-5 cm, a ich liczba gwałtownie maleje wraz z głębokością (55, 79). W przypadku stosowania uprawy bezorkowej, większość nasion chwastów znajduje się w warstwie gleby 0-15 cm. Natomiast w uprawie orkowej diaspory chwastów rozmieszczone są mniej więcej równomiernie w warstwie 0-25 cm (15, 70, 82).

Zasobność glebowego banku nasion oraz późniejsze zachwaszczenie łanu rośliny uprawnej może być również uzależnione od zastosowanych technologii produkcji. Przykładem może być płodozmian, który umożliwia kolejno następującym po sobie roślinom uprawnym, prawidłowy wzrost i rozwój, a przez to może w pewnym stopniu ograniczać występowanie różnych gatunków chwastów (5).

Potwierdzeniem tej tezy są wyniki badań jakie otrzymali Wrzesińska i in. (79), którzy stwierdzili zmniejszenie liczby nasion chwastów w wyniku zastosowania uproszczeń uprawowych w kolejnych ogniwach płodozmianu. Niezależnie od warstwy gleby, najwięcej diaspor chwastów autorzy ci stwierdzili na obiektach z uprawą płużną. Natomiast na uprawie bezpłużnej liczba nasion chwastów była mniejsza o 14%, a na siewie bezpośrednim aż o 51% (tab. 8).

Tabela 8

Skład gatunkowy i zawartość nasion chwastów w warstwie 0-30 cm w zależności od sposobu uprawy roli

L.p.	Gatunki chwastów	System uprawy		
		UO	UBO	UZ
1	*Chenopodium album*	6819	6860	5531
2	*Viola arvensis*	2752	1045	1156
3	*Fallopia convolvulus*	1988	1772	107
4	*Echinochloa crus-galli*	342	560	141
5	*Setaria viridis*	204	188	127
6	*Lamium amplexicaule*	71	37	59
7	*Stellaria media*	37	68	48
8	*Sinapis arvensis*	11	-	23
9	*Fumaria officinalis*	7	-	-
10	*Veronica hederifolia*	6	6	30
11	*Lycopsis arvensis*	6	-	-
12	*Bromus sterilis*	4	-	11
13	*Myosotis arvensis*	4	-	-
14	*Thlaspi arvense*	-	22	41
15	*Agrostemma githago*	-	4	-
16	*Veronica persica*	-	-	11
17	*Poa annua*	-	-	4
Ogółem		12251	10562	7289

UO – uprawa orkowa, UBO – uprawa bezorkowa, UZ – uprawa zerowa
Źródło: Wrzesińska i in. 2013 (79), zmienione przez Autorów.

Natomiast w przypadku wieloletnich monokultur, najczęściej obserwuje się tworzenie wyspecjalizowanych zbiorowisk chwastów, charakterystycznych dla danej grupy roślin. Bardzo często dochodzi wtedy do kompensacji niektórych gatunków chwastów (3, 43, 68). Przykładem mogą być badania przeprowadzone przez Sekutowskiego i Rolę (52), z których wynika, że uproszczenia uprawowe w monokulturze pszenicy ozimej, spowodowały nagromadzenie większej liczby nasion chwastów oraz doprowadziły do kompensacji 6 gatunków tj. *Apera spica-venti*, *Viola arvensis, Papaver rhoeas, Lamium purpureum, Melandrium album* i *Centaurea cyanus* (tab. 9).

Tabela 9

Skład gatunkowy i liczebność nasion chwastów w glebie,
w wyniku uprawy orkowej i bezorkowej monokulturze pszenicy ozimej

L.p.	Gatunki chwastów	Warstwa gleby					
		0 - 15 cm		15 - 25 cm		0 - 25 cm	
		System uprawy					
		UO	UBO	UO	UBO	UO	UBO
1	*Apera spica-venti*	2709	5313	1146	1250	3855	6563
2	*Echinochloa crus-galli*	312	625	105	105	417	730
3	*Anthemis arvensis*	2708	2709	1251	1042	3959	3751
4	*Viola arvensis*	4271	6042	2291	1875	6562	7917
5	*Chenopodium album*	3541	2500	1146	2292	4687	4792
6	*Papaver rhoeas*	4063	4979	625	729	4688	5708
7	*Lamium purpureum*	311	1146	105	417	416	1563
8	*Melandrium album*	520	1146	207	104	727	1250
9	*Centaurea cyanus*	3542	4271	729	938	4271	5209
10	*Veronica persica*	104	208	-	-	104	208
11	*Brassica napus*	-	-	104	-	104	-
12	*Veronica hederifolia*	-	-	104	-	104	-
13	*Lycopsis arvensis*	105	-	-	-	105	-
14	*Geranium pusillum*	104	313	-	-	104	313
15	*Galinsoga parviflora*	-	104	-	-	-	104
16	*Myosotis arvensis*	-	417	-	-	-	417
17	*Stellaria media*	-	208	-	-	-	208
Ogółem		22290	29981	7813	8752	30103	38733

UO – uprawa orkowa, UBO – uprawa bezorkowa

Źródło: Sekutowski i Rola 2006 (52), zmienione przez Autorów.

Uprawa bezorkowa, a zachowanie się herbicydów w glebie

Głównym celem stosowania herbicydów jest ochrona plantacji przed konkurencyjnym oddziaływaniem chwastów względem rośliny uprawnej. Herbicydy można stosować zarówno doglebowo jak i nalistnie. W zależności od rodzaju i sposobu aplikacji, część (środek nalistny) lub całość (środek doglebowy) herbicydu dostaje się do gleby. Każda substancja aktywna herbicydu, która wnika do środowiska glebowego może podlegać procesom biofizycznym i(lub) biochemicznym. Proces degradacji

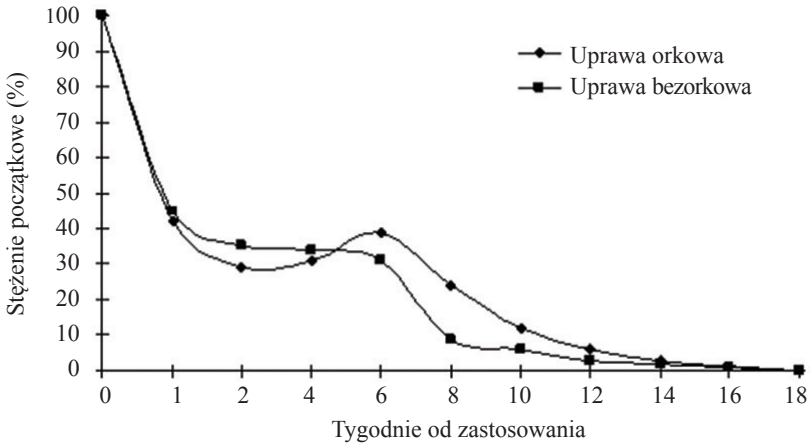
i translokacji substancji aktywnych herbicydów uzależniony jest od bardzo wielu czynników np. środowiskowo-glebowych czy agrotechnicznych (23, 48, 71, 74).

Zdaniem Domaradzkiego i in. (12), Domaradzkiego i Sekutowskiego (13), Sadowskiego (48), Sadowskiego i in. (49) oraz Sadowskiego i Kucharskiego (50), czynnikami silnie modyfikującymi dynamikę zanikania oraz przemieszczania w głąb profilu glebowego substancji aktywnych herbicydów mogą być warunki wilgotnościowo-termiczne, stan i stopień zachwaszczenia łanu rośliny uprawnej, terminy aplikacji oraz sposoby uprawy roli.

Z badań przeprowadzonych przez Sekutowskiego i Sadowskiego (57) wynika, że przebieg krzywej dynamiki zanikania np. tifensulfuronu (taki przebieg można odnieść praktycznie do większości substancji aktywnych herbicydów) w warstwie gleby do głębokości 20 cm, można umownie podzielić na trzy fazy. W pierwszym okresie (2 tygodnie po aplikacji), następuje silna redukcja stężenia substancji aktywnej herbicydu, średnio o 20-40%. Drugi okres charakteryzuje się zahamowaniem wartości stężenia, a niekiedy następuje ponowny wzrost zawartości substancji aktywnej w glebie. Związane jest to z procesem rozpadu związku chemicznego oraz dostarczaniem „nowych" zasobów substancji aktywnej herbicydu wraz ze zniszczonymi gatunkami chwastów i(lub) w wyniku wypłukiwania pozostałości z rośliny uprawnej oraz z wierzchniej warstwy gleby. Proces ten obserwowany jest do około 4-6 tygodnia od momentu aplikacji herbicydów. W trzecim okresie (około 8 tygodnia po aplikacji, aż do zbioru rośliny uprawnej) stężenie substancji aktywnych herbicydów w glebie systematycznie maleje, aż do osiągnięcia poziom rzędu 0-10% stanu początkowego (rys. 3).

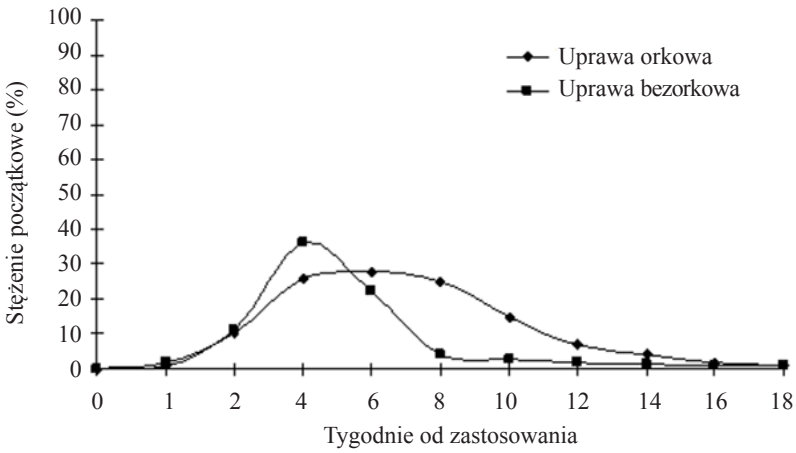
Integralną częścią dynamiki zanikania substancji aktywnych herbicydów jest proces przemieszczania w głąb profilu glebowego. Według Rasmussena (45), Shipitalo i in. (61) oraz Tebrügge i Duringa (80), uprawa orkowa może powodować rozluźnienie struktur gleby w warstwie 0-25 cm, ułatwiając w ten sposób degradację oraz przemieszczanie substancji aktywnej w głąb profilu glebowego. Natomiast uprawa bezorkowa może powodować wzrost zwięzłości i gęstości gleby, co sprawia, że proces degradacji oraz transportu w głąb profilu glebowego, może ulegać spowolnieniu.

Badania przeprowadzone przez Sekutowskiego i Sadowskiego (57) wykazały, że przemieszczanie się herbicydów z grupy pochodnych sulfonylomocznika (np. tifensulfuronu) może być uzależnione od sposobu uprawy roli. Szybkość przenikania tifensulfuronu w głębsze warstwy gleby (11-20 cm) była wyraźnie większa w glebie uprawianej systemem orkowym (rys. 4).



Rys. 3. Dynamika zanikania tifensulfuronu w warstwie gleby 0-20 cm

Źródło: Sekutowski i Sadowski 2009 (57), zmienione przez Autorów.



Rys. 4. Dynamika przemieszczania tifensulfuronu w warstwie gleby 11-20 cm

Źródło: Sekutowski i Sadowski 2009 (57), zmienione przez Autorów.

Uprawa bezorkowa a plonowanie roślin

Reakcja roślin na uprawę bezorkową jest uzależniona od wielu czynników. Badania prowadzone w warunkach Polski dotyczą głównie zbóż ozimych (pszenica, żyto), w mniejszym stopniu zbóż jarych, kukurydzy oraz roślin strączkowych i okopowych. Zestawione w tabeli 10 wyniki wskazują na niejednorodną reakcję roślin na stosowanie uprawy bezorkowej.

Tabela 10

Wpływ systemów uprawy roli na plonowanie roślin wg rożnych Autorów

Podstawowe narzędzie uprawowe	Głębokość pracy (cm)	Gatunek rośliny	Wielkość plonu nasion ($dt \cdot ha^{-1}$)		$NIR_{=0,05}$	Autor(zy)
			Uprawa orkowa	Uprawa bezorkowa		
Kultywator z wałem strunowym	12	Pszenica ozima	53,2	51,1	r.n.	Dzienia i in. (16)
Kultywator	20	Pszenica ozima	63,5	58,6	2,33	Orzech i in. (35)
Brona talerzowa	8-10	Pszenica ozima	44,0	40,0	b.d.	Cudzik i in. (6)
Brona talerzowa	8-10	Pszenica ozima	34,1	27,0	b.d.	Sekutowski (51)
Agregat ścierniskowy	b.d.	Pszenica ozima	79,6	56,9	0,73	Małecka i in. (31)
Kultywator	10-15	Pszenica ozima	62,2	56,1	2,20	Frant i Bulak (19)
Głębosz	35	Pszenica ozima	95,5	92,4	r.n.	Piskier (38)
Głębosz	45	Pszenica ozima	55,8	61,1	b.d.	Fiszer i in. (18)
Ciężki kultywator uprawowy	22	Pszenica ozima	72,1	73,5	r.n.	Badania własne
Agregat ścierniskowy	b.d.	Jęczmień jary	43,0	33,1	0,56	Małecka i in. (31)
Kultywator podorywkowy	b.d.	Jęczmień jary	63,9	59,7	b.d.	Lepiarczyk i Stępnik (30)
Kultywator z wałem strunowym	b.d.	Jęczmień jary	53,0	40,8	2,68	Lepiarczyk i in. (28)
Ciężki kultywator uprawowy	22	Żyto hybrydowe	71,0	70,4	r.n.	Piskier i Majchrzak (44)
Ciężki kultywator uprawowy	20	Żyto hybrydowe	95,9	101,0	r.n.	Badania własne
Kultywator z wałem strunowym	b.d.	Bobik	40,9	38,7	r.n.	Lepiarczyk i in. (28)
Kultywator z wałem strunowym	12	Burak cukrowy	483,0	483,0	r.n.	Dzienia i Wereszczaka (17)
Gruber z wałem strunowym	15 cm	Kukurydza	51,6	44,5	1,68	Sekutowski (53)

r.n. – różnice nieistotne
b.d. – brak danych

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań różnych Autorów.

Pszenica ozima nie reagowała na zastosowany system uprawy roli w badaniach Dzieni i in. (16), Piskiera (38) oraz w badaniach własnych, a różnice wynosiły od -4% do +2%. Badania Fiszera i in. (18), wykazują pozytywną reakcję pszenicy na uprawę bazorkową, a uzyskany plon był większy o 9% w porównaniu do uprawy orkowej. Negatywną reakcję pszenicy wykazują Cudzik i in. (6), Frant i Bujak (19) oraz Orzech i in. (35). Plon pszenicy określony w ich badaniach jest mniejszy na uprawie bezorkowej o około 9%. Natomiast Małecka i in. (31) oraz Sekutowski (51), wykazali nawet 20-22% różnicę w wielkości plonu pszenicy (plon mniejszy na uprawie bezorkowej).

Badania dotyczące jęczmienia jarego oraz kukurydzy, jednoznacznie wskazują na negatywną reakcję tych gatunków na uprawę bezorkową. Uzyskiwany plon był mniejszy o 7% do 23% dla jęczmienia jarego (28, 30, 31) oraz o 14% dla kukurydzy (53).

Żyto hybrydowe nie wykazywało istotnych różnic w wielkości plonu zarówno w nieopublikowanych badaniach własnych jak i w badaniach Piskiera i Majchrzaka (44).

Badania prowadzone przez Dzienię i Wereszczaka (17) nad zachowaniem się buraka cukrowego oraz przez Lepiarczyka i in. (28) nad plonowaniem bobiku, również nie wykazały negatywnej reakcji tych gatunków na uprawę bezorkową.

Wyniki zestawione w tabeli 10. wykazują, że około połowa badań nie potwierdza negatywnej reakcji roślin na zastosowanie uprawy bezorkowej, natomiast w pozostałych przypadkach zmniejszenie plonu sięga od 8% do nawet 23%. Zestawione dane dowodzą bardzo wyraźnych różnic w doborze zastosowanych narzędzi. Jako podstawowe narzędzie w uprawie bezorkowej zastosowano np. bronę talerzową pracującą na 8-10 cm (6, 51), kultywatory z wałem strunowym pracujące na głębokość około 10-15 cm (16, 17, 28, 31, 53), kultywatory podorywkowe lub agregaty podorywkowe – brak danych o głębokości pracy (30, 31), kultywatory pracujące na głębokość 10-15 cm (19). W nielicznych badaniach autorzy wykonali uprawę bezorkową za pomocą głębosza pracującego na poziomie 35 cm (38) lub 45 cm (18). Ciężkie kultywatory uprawowe pracujące na głębokość 20-22 cm, skonstruowane specjalnie do uprawy bezorkowej stanowią podstawę badań własnych oraz Piskiera i Majchrzaka (44).

Innym aspektem technologicznym mogącym wpłynąć na wielkość uzyskanego plonu jest ograniczenie uprawy bezorkowej do jednego zabiegu (agregat ścierniskowy) i porównywanie efektów jego pracy do kompleksowego systemy uprawy orkowej (podorywka, orka siewna, uprawki doprawiające) (31). Lepiarczyk i in. (28), zastosowali podorywkę na obydwu badanych systemach, na systemie orkowym wykonali orkę zięblę (na 30 cm), wiosną zastosowali uprawki doprawiające (bronowanie i kultywator z wałem strunowym). W analizowanym systemie zrezygnowano z orki nie wprowadzając w to miejsce innego zabiegu.

Porównanie kompleksowych technologii uprawy orkowej i bezorkowej tzn. zastosowanie w każdym z badanych systemów podorywki, uprawy podstawowej

jesiennej lub wiosennej oraz doprawiania gleby znajdziemy w badaniach Dzieni i in. (16), Dzieni i Wereszczaki (17), Fiszera i in. (18), Orzecha i in. (35), Piskiera (38), Piskiera i Majchrzaka (44) oraz w nieopublikowanych badaniach własnych.

Niezależnie od gatunku badanych roślin można zauważyć, że ich reakcja na uprawę bezorkową jest uzależniona od zastosowanej technologii i głębokości pracy narzędzi wykonujących uprawę podstawową. Zastosowanie kompleksowej, głębokiej uprawy bezorkowej (20-22 cm) z użyciem ciężkich kultywatorów uprawowych lub głęboszy (35-45 cm) nie powoduje negatywnego wpływu na wielkość plonu roślin. Podobnie brak negatywnej reakcji roślin na płytką uprawę bezorkową (12 cm) występuje w przypadku zastosowania kompleksowej technologii uprawy. Jednoznacznie negatywna reakcja roślin, wyrażona zmniejszeniem wielkości plonu występuje w przypadku spłycenia uprawy bezorkowej, wykonywania pojedynczego zabiegu agrotechnicznego lub zastosowania niepełnej technologii.

W pierwszych 4-7 latach (tzw. okres przejściowy) stosowania systemów bezpłużnych, w szczególności siewów bezpośrednich, następuje spadek plonowania roślin uprawnych w porównaniu do systemów konwencjonalnych. Związane jest to z reorganizacją cech fizyko-chemicznych i biologicznych gleby. Jednak w kolejnych 10-20 latach stosowania bezpłużnych systemów uprawy roli, następuje tzw. faza konsolidacji w wyniku której obserwuje się zwiększoną zawartość resztek roślinnych i próchnicy oraz wzrost stopnia nasycenia kompleksu sorpcyjnego jonami metali o charakterze zasadowym w wierzchniej warstwie gleby. W wyniku kolejnych kilkunastu lat uprawy bezpłużnej (tzw. faza zachowawcza, okres powyżej 20 lat) następuje zoptymalizowanie struktury i tekstury gleby, co przekłada się na zwyżkę plonowania. Uzyskane plony roślin mogą być porównywalne lub nawet wyższe z wynikami uzyskanymi w uprawie konwencjonalnej (47, 75, 76).

Podsumowanie

Uprawa bezorkowa jest systemem wykorzystującym wiele odmiennych technologii uprawy roli różniących się doborem maszyn, głębokością ich pracy oraz ilością wykonywanych zabiegów. Wpływa na odmienne (w porównaniu do systemów orkowych) rozmieszczenie resztek pożniwnych w profilu warstwy uprawnej, umieszczając je głównie w warstwach powierzchniowych gleby. Poprawia podstawowe wskaźniki struktury gleby oraz wodoodporność agregatów. Pozytywnie wpływa na wilgotność gleby i jedynie w niewielkim stopniu wywołuje zmiany jej gęstości. Uprawa bezpłużna ze znaczną ilością mulczu na powierzchni gleby, ogranicza w dużym stopniu negatywne skutki erozji wodnej i wietrznej.

Stosowanie uprawy bezorkowej w wieloletnich monokulturach może przyczyniać się do nasilenia występowania chorób grzybowych. Natomiast ta sama uprawa (bezorkowa) stosowana w zmianowaniu, może powodować zmniejszenie nasilenia chorób np. podstawy źdźbła w porównaniu do uprawy orkowej.

Podobnie sytuacja wygląda w odniesieniu do zachwaszczenia łanu oraz gleby. Stosowanie uprawy bezorkowej w monokulturze może przyczyniać się do powstawania zjawiska kompensacji chwastów, a tym samym do zwiększenia ogólnego zachwaszczenia łanu i gleby. Natomiast zastosowanie uproszczeń uprawowych w kolejnych ogniwach płodozmianu najczęściej powoduje zwiększenie różnorodności gatunkowej z jednoczesnym zmniejszeniem ogólnej liczby chwastów.

Uprawa roślin w monokulturze w połączeniu z uproszczeniami uprawowymi (uprawa bezorkowa) może nieść za sobą korzyści ekonomiczne, ale i cały szereg problemów chociażby natury fitotoksykologicznej. Związane jest to z przebiegiem dynamiki zanikania oraz przemieszczania w profilu glebowym substancji aktywnych herbicydów. Uprawa bezorkowa może wpływać na spowolnienie tempa przemieszczania niektórych substancji aktywnych herbicydów w warstwie ornej gleby, natomiast nie ma większego wpływu na dynamikę zanikania. Z rolniczego punktu widzenia przemieszczanie oraz rozmieszczenie głównej części pozostałości substancji aktywnych, wynikające ze sposobu uprawy roli ma bardzo duże znaczenie dla użytkownika herbicydu, gdyż decyduje o skuteczności jego działania, stopniu ryzyka przemieszczenia się poza strefę aplikacji oraz wpływu na rośliny następcze.

Reakcja roślin uprawnych na stosowanie systemów bezorkowych nie jest jednoznaczna. Zastosowanie płytkiej lub znacznie uproszczonej technologii uprawy bezorkowej wpływa na zmniejszenie wielkości uzyskiwanego plonu nawet o 23%. Zastosowanie kompleksowych technologii uprawy bezorkowej z wykorzystaniem ciężkich kultywatorów uprawowych pracujących na głębokość 20-22 cm lub głęboszy nie powoduje zmniejszenia wielkości uzyskiwanego plonu, a w niektórych przypadkach osiągany plon może być większy od uzyskanego na systemach orkowych nawet o 9%.

Literatura

1. Biskupski A.: Agrotechniczne sposoby przywracania zdolności produkcyjnej glebom odłogowanym. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2007, **8**: 193-206.
2. Blecharczyk A., Skrzypczak G.: Tolerancja żyta ozimego na uprawę w wieloletniej monokulturze. Zesz. Nauk. ATR Bydg., Rol., 1994, **35**: 45-52.
3. Blecharczyk A., Małecka I., Skrzypczak G.: Wpływ uproszczonej uprawy roli na plonowanie i zachwaszczenie kukurydzy oraz na właściwości gleby. Acta. Sci. Pol. Agricultura 2004, **3(1)**: 157-163.
4. Bochenek A.: Wpływ czynników biotycznych i zabiegów uprawowych na glebowy bank nasion chwastów. Post. Nauk. Rol., 2000, **2(284)**: 19-29.
5. Buhler D.D., Kohler K.A., Thompson R.L.: Weed seed bank dynamics during a five-year crop rotation. Weed Technol., 2001, **15**: 170-176.
6. Cudzik A., Białczyk W., Czarnecki J., Brennensthul M., Kaus A.: Ocena systemów uprawy w aspekcie zużycia paliwa, plonowania roślin i właściwości gleby. Inż. Rol., 2012, **2(137)**: 17-27.
7. Colbach N., Huet P.: Modelling the frequency and severity of root and foot diseases in winter wheat monocultures. Eur. J. Agron., 1995, **4(2)**: 217-222.

8. Christian D.G.: Experience with direct drilling cereals and reduced cultivation in England. Proc. EC - Workshop I. Wissenschaftlicher Fachverlag Giessen, 1994, 25-32.
9. Czajka W.: Wpływ płodozmianu i monokultury na zdrowotność podstawy źdźbła pszenicy ozimej. Acta Acad. Agricult. Tech. Olst., Agricult., 1994, **59**: 83-90.
10. Derpsch R., Franzluebbers A.J., Duiker S.W., Reicosky D.C., Koeller K., Friedrich T., Sturny W.G., Sa J.C.M., Weiss K.: Why do we need to standardize no-tillage research? Soil Tillage Res., 2014, **137**: 16-22.
11. Duer I.: Zachwaszczenie zbóż w zmianowaniach z różnym ich udziałem. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1988, **331**: 373-384.
12. Domaradzki K., Sekutowski T., Rola H.: Agroekologiczne skutki stosowania herbicydów sulfonylomocznikowych. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin 2005, **45(1)**: 100-107.
13. Domaradzki K, Sekutowski T.: Wpływ technologii uprawy na dynamikę rozkładu i przemieszczanie w profilu glebowym herbicydów z grupy pochodnych inhibitorów syntezy ALS. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2006, **508**: 41-46.
14. Dorado J., Del Monte J.P., Lopez-Fando C.: Weed seedbank response to crop rotation and tillage in semiarid agroecosystems. Weed Sci., 1999, **47**: 67-73.
15. Dyer W.E.: Exploiting weed seed dormancy and germination requirements through agronomic practices. Weed Sci., 1995, **43**: 498-503.
16. Dzienia S., Pużyński S., Wereszczaka J.: Reakcja pszenicy ozimej na zmniejszenie intensywności w uprawie roli. J. Res. Appl. Agric. Eng., 2003, **48(3)**: 28-32.
17. Dzienia S., Wereszczaka J.: Efektywność różnych systemów uprawy roli pod burak cukrowy, Wybrane zagadnienia ekologiczne we współczesnym rolnictwie. Monografia PIMR Poznań 2004, 186-192.
18. Fiszer A., Dworecki Z., Kaźmierczak P., Morkowski A.: Analiza porównawcza tradycyjnej i bezorkowej uprawy pszenicy ozimej. J. Res. Appl. Agric. Eng., 2006, **51(3)**: 23-25.
19. Frant M., Bujak K.: Wpływ uproszczeń w uprawie roli i poziomu nawożenia mineralnego an plonowanie pszenicy ozimej. Fragm. Agron., 2005, **2(86)**: 46-52.
20. Heyland K.: Pflügen oder Pfluglosarbeiten aus pflanzenbaulicher Sicht. Integrierter Pflanzenbau – Bodenbearbeitung, 1988, **3**: 61-66.
21. 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 in soil. Agron. Journal, 1998, **90**: 793-799.
22. Hołdyński Cz., Korona A., Jastrzębski W., Korona E.: Zachwaszczenie pól w różnych systemach uprawy. Pam. Puł., 2000, **122**: 149-159.
23. James T.K., Holland P.T., Rahman A., Lu Y.R.: Degradation of the sulfonylurea herbicides chlorsulfuron and triasulfuron in a high-organic-matter volcanic soil. Weed Res., 1999, **39**: 137-148.
24. Jędruszczak M., Budzyńska B., Gocół M.: Zasobność glebowego banku nasion chwastów w zależności od sposobu regulacji zachwaszczenia. Annales UMCS, sec. E, Agricultura, 2007, **62(2)**: 217-225.
25. Kapeluszny J., Haliniarz M.: Niektóre gatunki ruderalne zadomowione w uprawach na terenie województwa lubelskiego. Fragm. Agron., 2010, **27(2)**: 70-78.
26. Kornaś J.: Analiza flor synantropijnych. Wiad. Bot., 1977, **21(2)**: 85-91.
27. Latowski K., Chmiel J., Jackowiak B., Żukowski W.: Udział antropofitów we florze segetalnej Wielkopolski. Fragm. Agron., 2010, **27(3)**: 103-111.
28. Lepiarczyk A., Kulig B., Stępnik K.: Wpływ uproszczeń uprawy roli na plonowanie oraz kształtowanie wskaźnika powierzchni liści jęczmienia jarego i bobiku. Fragm. Agron., 2006, **2(90)**: 251-260.
29. Lepiarczyk A., Stępnik K., Szylak A.: Wpływ systemów uprawy roli na niektóre właściwości fizyczne gleby pod wybranymi roślinami. Fragm. Agron., 2007, **1(93)**: 157-163.
30. Lepiarczyk A., Stępnik K.: Produkcyjność jęczmienia jarego uprawianego w płodozmianie w zależności od systemu uprawy roli. Fragm. Agron., 2009, **26(1)**: 59-66.
31. Małecka I., Blecharczyk A., Sawińska Z., Piechota T., Waniorek B.: Plonowanie zbóż w zależności od sposobów uprawy roli. Fragm. Agron., 2012, **29(1)**: 114-123.

32. Małecka I., Swędzyńska D., Blecharczyk A., Dytman-Hagedorn M.: Wpływ systemów uprawy roli pod groch na właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne gleby. Fragm. Agron., 2012, **29(4)**: 106-116.
33. Majchrzak L., Skrzypczak G., Pudełko J.: Wpływ systemów uprawy roli na skuteczność chwastobójczą herbicydów stosowanych w kukurydzy. Prog. Plant Protection/Post. Ochr. Roślin 2003, **43(2)**: 791-794.
34. Niewiadomski W.: Ekologiczne skutki intensyfikacji rolnictwa, Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1979, **288**: 9-28.
35. Orzech K., Marks M., Dragańska E., Stępień A.: Plonowanie pszenicy ozimej w zależności od warunków pogodowych i rożnych sposobów uprawy gleby średniej, Annales UMCS, 2009, **64(4)**: 122-129.
36. Parylak D., Kita W.: Zabiegi regeneracyjne a porażenie pszenżyta ozimego w monokulturze przez choroby podstawy źdźbła. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin 2000, **40(2)**: 627-630.
37. Piechota T.: Zachwaszczenie kukurydzy w różnych sposobach pasowej uprawy roli. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin 2010, **50(2)**: 828-831.
38. Piskier T.: Reakcja pszenicy ozimej na uprawę bezorkową stosowaną w rolnictwie precyzyjnym. Inż. Rol., 2004, **4(59)**: 147-153.
39. Piskier T.: Reakcja pszenicy ozimej na uprawę bezorkową. Monografia PIMR Poznań 2005, 100-103.
40. Piskier T.: Zmiany fizycznych właściwości gleby w następstwie uprawy bezorkowej. Inż. Rol., 2006, **4(79)**: 97-102.
41. Piskier T.: Analiza energetyczna bezorkowej uprawy jęczmienia ozimego. Tech. Rol. Ogrod. Leśna 2010, **3**: 8-9.
42. Piskier T., Sławiński K.: Reakcja żyta hybrydowego na uprawę bezorkową. J. Res. Appl. Agric. Eng., 2012, **57(4)**: 65-67.
43. Piskier T., Sekutowski T.: Wpływ uproszczeń w uprawie roli na liczebność oraz rozmieszczenie nasion chwastów w glebie. J. Res. Appl. Agric. Eng., 2013, **58(4)**: 109-117.
44. Piskier T., Majchrzak L.: Wielkość i struktura nakładów energetycznych bezorkowej i orkowej uprawy żyta hybrydowego. Inż. Rol., 2013, **3(146)**: 295-300.
45. Rasmussen K.J.: Impact of ploughless soil tillage on yield and quality. A Scandinavian review. Soil Till. Res., 1999, **53(1)**: 3-14.
46. Runowska-Hryńczuk B., Hryńczuk B.: Właściwości biologiczne gleby w zależności od techniki uprawy roli. Inż. Rol., 2000, **6(17)**: 133-139.
47. Sá J.C.M.: Adubacáo Fosfatada no Sistema de Plantio Diretio. In: Fósforo na Agricultura Brasileira. (eds.) T. Yamada&Abdalla, 2004, 201-222.
48. Sadowski J.: Wpływ terminu stosowania na dynamikę rozkładu herbicydów w glebie. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin 2001, **41(1)**: 134-139.
49. Sadowski J., Rola H., Domaradzki K.: Wpływ stanu i stopnia zachwaszczenia na dynamikę rozkładu herbicydów w glebie. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin 2001, **41(1)**: 140-144.
50. Sadowski J., Kucharski M.: Wpływ czynników agrometeorologicznych na pobieranie i fitotoksyczność pozostałości herbicydów zawartych w glebie. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin 2004, **44(1)**: 355-363.
51. Sekutowski T.: Wpływ technologii uprawy i ochrony herbicydowej na wysokość plonu pszenicy ozimej uprawianej w monokulturze. Inż. Rol., 2007, **3(91)**: 159-167.
52. Sekutowski T., Rola H.: Wpływ systemów uprawy na bank nasion chwastów w glebie. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 2006, **46(2)**: 116-119.
53. Sekutowski T.: Effect of different tillage systems on maize yield and degradation dynamics of rimsulfuron in soil. Acta Sci. Pol., Agricul., 2009, **8(2)**: 9-20.
54. Sekutowski T.: Typ gleby a zasobność banku nasion. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 2009, **49(3)**: 1379-1382.
55. Sekutowski T.: Wpływ systemów uprawy na liczbę i występowanie nasion chwastów w glebie. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2009, **543**: 175-180.

56. Sekutowski T., Domaradzki K.: Bioróżnorodność gatunkowa chwastów w monokulturze pszenicy ozimej w warunkach stosowania uproszczeń w uprawie roli. Fragm. Agron., 2009, **26(4)**: 160-169.
57. Sekutowski T., Sadowski J.: Wpływ uproszczeń w uprawie roli na dynamikę zanikania herbicydów w glebie. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2009, **543**: 157-165.
58. Sekutowski T., Rola H.: Wpływ monokultury i sposobu uprawy oraz ochrony herbicydowej na agrofitocenozę kukurydzy. Fragm. Agron., 2010, **27(1)**: 128-140.
59. Sekutowski T., Smagacz J.: Podobieństwo glebowego banku nasion i aktualnego stanu zachwaszczenia w uprawie pszenicy ozimej. J. Res. Appl. Agric. Eng., 2011, **56(4)**: 93-98.
60. Sekutowski T., Włodek S., Biskupski A., Sienkiewicz-Cholewa U.: Porównanie odłogu i sąsiadującego pola uprawnego pod względem zasobności w nasiona i rośliny nawłoci (*Solidago* sp.). Zesz. Nauk. UP Wroc., Rol. C, 2012, **584**: 99-112.
61. Shipitalo M.J., Dick W.A., Edwards W.M.: Conservation tillage and macropore factors that affect water movement and the fate of chemicals. Soil Till. Res., 2000, **53(3-4)**: 167-183.
62. Smagacz J., Madej A.: Perspektywiczne kierunki rozwoju różnych systemów uprawy roli. Studia i Raporty IUNG-PIB 2012, **30(4)**: 9-22.
63. Sikorski R., Krechowski J., Piórek K.: Udział antropofitów w uprawach kukurydzy (*Zea mays* L.) na terenie Wysoczyzny Siedleckiej. Fragm. Agron., 2010, **27(2)**: 111-117.
64. Schmidt W., Stahl H.: Pfluglose Bestellverfahren im Aufwind. Neue Landw., 1996, **6**: 2-6.
65. Stupnicka-Rodzynkiewicz E., Lepiarczyk A.: Wpływ zmianowania i poziomu nawożenia na zachwaszczenie potencjalne gleby. Acta Agraria Silv., 1993, **31**: 107-113.
66. Stupnicka-Rodzynkiewicz E., Stępnik K., Lepiarczyk A.: Wpływ zmianowania, sposobu uprawy roli i herbicydów na bioróżnorodność zbiorowisk chwastów. Acta Sci. Pol., Agricultura 2004, **3(2)**: 235-245.
67. Szeleźniak E., Grabiński J., Nieróbca P.: Wpływ intensywności technologii produkcji wybranych gatunków zbóż na ich zachwaszczenie. Acta Sci. Pol., Agricultura 2007, **6(4)**: 83-90.
68. Szulc P., Menzel L., Dubas A.: Wpływ uproszczeń w uprawie roli na stan zachwaszczenia kukurydzy uprawianej w monokulturze. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin 2005, **45(2)**: 1137-1140.
69. Szymankiewicz K., Jankowska D., Deryło S.: Wpływ płodozmianu i monokultury oraz sposobu uprawy roli na bioróżnorodność flory zachwaszczającej pszenżyto ozime. Acta Agroph., 2003, **1(4)**: 767-772.
70. Vanasse A., Leroux G.D.: Floristic diversity, size and vertical distribution of the weed seedbank in ridge and conventional tillage systems. Weed Sci., 2000, **48**: 454-460.
71. Vicari A., Catizone P., Zimdahl R.L.: Persistence and mobility of chlorsulfuron and metsulfuron under different soil and climatic conditions, Weed Res., 1994, **34**: 147-156.
72. Wacławowicz R., Parylak D., Maziarek A.: Zmiany wskaźników struktury gleby pod wpływem zróżnicowanych systemów uprawy pszenicy jarej, Fragm. Agron., 2012, **29(2)**: 123-133.
73. Wachowska U.: Fungi communities colonizing the stem base of winter wheat. Acta Mycol., 1998, **33(2)**: 287-297.
74. Walker A., Welch S.J.: The relative movement and persistence in soil of chlorsulfuron, metsulfuron-methyl and triasulfuron. Weed Sci., 1989, **29**: 375-383.
75. Weber R.: Zmienność plonowania odmian pszenicy ozimej w zależności od przedplonu i sposobu uprawy roli. Monografie i Rozprawy Naukowe IUNG, 2004, **12**: 1-88.
76. Weber R.: Przydatność uprawy konserwującej w rolnictwie zrównoważonym. Monografie i Rozprawy Naukowe IUNG-PIB, 2010, **25**: 1-72.
77. Woźniak A., Haliniarz M.: The after-effect of long-term reduced tillage systems on the biodiversity of weeds in spring crops. Acta Agrobot., 2012, **65(1)**: 141-148.
78. Wrzesińska E., Dzienia S., Wereszczaka J.: Wpływ systemów uprawy roli na ilość i rozmieszczenie nasion chwastów w glebie. Acta. Sci. Pol. Agricultura, 2003, **2(1)**: 169-175.
79. Wrzesińska E., Pużyński S., Komorowska A.: The effect of tillage systems on soil seedbank. Acta Agrobot., 2013, **66(1)**: 113-118.
80. Tebrügge F., During R.A.: Reducing tillage intensity – a review of results from a long-term study in Germany. Soil Till. Res., 1999, **53**: 15-28.

81. Truszkowska W., Dorenda M., Kutrzeba M.: Mikroflora jako czynnik ochrony pszenicy przed chorobami podstawy źdźbła powodowanymi przez grzyby w zależności od warunków ekologicznych. Acta Mycol., 1988, **22(2)**: 145-163.
82. Zawieja J., Kordas L.: Wpływ uproszczeń w uprawie roli i siewu bezpośredniego na zapas diaspor chwastów w glebie. Acta. Sci. Pol. Agricultura, 2003, **2(2)**: 163-170.

Adres do korespondencji:

dr hab. Tomasz Piskier
Politechnika Koszalińska
Katedra Biologicznych Podstaw Rolnictwa
ul. Racławicka 15-17
75-526 Koszalin
e-mail: piskier@poczta.onet.pl

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

S T U D I A I R A P O R T Y IUNG-PIB

ZESZYT 36(10): 91-103 **2014**

Hanna Gołębiowska, Tomasz Snopczyński

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach

KIERUNKI ZMIAN W OCHRONIE KUKURYDZY PRZED ZACHWASZCZENIEM ZACHODZĄCE W OSTATNIM DZIESIĘCIOLECIU*

Słowa kluczowe: kukurydza, herbicydy, zachwaszczenie wtórne, systemy dchwaszczania, chwasty

Wstęp

Podnoszenie wskaźników produkcji rolniczej w warunkach energooszczędnych i proekologicznych technologii uprawy kukurydzy dokonuje się głównie poprzez jej intensywną ochronę przed chwastami - groźnymi konkurentami o przestrzeń życiową i składniki pokarmowe. Pierwszeństwo chemicznych metod ograniczenia zachwaszczenia nad pozostałymi doprowadziło na przestrzeni lat do sukcesywnego ubożenia zbiorowisk chwastów (22). Nadal jednak groźnymi zjawiskami są kompensacja, odporność biotypów niektórych gatunków na herbicydy, czy zagrożenie zachwaszczeniem wtórnym. Poza tym duże wysycenie płodozmianów zbożami oraz monokultury, których stosowanie od kilku lat wymusza koniunktura na rynku rolnym, wpływają na łatwe różnicowanie się składu gatunkowego w zbiorowiskach chwastów, co stwarza możliwość zagrożenia nowymi gatunkami (5, 9).

Potwierdzeniem tej sytuacji jest pojawianie się nietypowych dla uprawy kukurydzy gatunków takich jak:przytulia czepna (*Galium aparine*), poziewnik szorstki (*Galeopsis tetrahit*), czy stulicha psia (*Descurainia Sophia*), a także ekspansja gatunku ruderalnego bylicy pospolitej (*Artemisia vulgaris*) w wyniku przywracania ugorów do rolniczego użytkowania (8, 15). Również wzrost temperatury w stosunku do średniej z wielolecia i nasłonecznienia w miesiącach maj i czerwiec kształtował układ pogodowy sprzyjający licznemu pojawieniu się gatunków ciepłolubnych, na ogół późnowschodzących, jak: blekotu pospolitego (*Aethusa cynapium*), włośnic (*Setaria* spp.), psianki czarnej (*Solanum nigrum*) utrzymujących się w zasiewach aż do zbioru (1, 5, 13, 16, 21). Stosunkowo nowym zagrożeniem stało się pojawienie zaślazu pospolitego (*Abutilon theophrasti*) zidentyfikowanego po raz pierwszy w 2002 roku na dwóch plantacjach woj. dolnośląskiego, a obecnie na wielu stanowiskach

*Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.6 programu wieloletniego IUNG-PIB

w południowo- zachodniej części kraju (4, 12, 19). Jego zagrożenie wynikające z silnej konkurencji o przestrzeń życiową i światło, ujawnia się zwłaszcza w późnych fazach rozwojowych kukurydzy – w sprzyjających warunkach pęd osiąga nawet 2,5 m wysokości. W badaniach węgierskich straty plonu ziarna wynikające z występowania w zasiewach 4, 18, 26 sztuk roślin tego gatunku na m^2, wynosiły odpowiednio 32, 52, 54% (24). Z uwagi na wysoką propagację – pojedynczy egzemplarz jest w stanie wyprodukować do 17 tysięcy nasion, zachowujących żywotność przez 50 lat, jego zagrożenie w przypadku braku skutecznego niszczenia może w przyszłości narastać (25, 14).

Z uwagi na późny termin siania w szerokie międzyrzędzia oraz długi okres wschodów, kukurydza narażona jest na szybką kompensację chwastów. Według Skrzypczaka nie zniszczone w tym okresie chwasty pokrywające od 50 do 70% powierzchni powodowały w 1996 roku na 20% badanych plantacji straty w plonach sięgające 90% (18). Dlatego podstawowym zadaniem w ochronie kukurydzy przed chwastami jest racjonalne eliminowanie ich konkurencji nie tylko do czasu pełnego zwarcia międzyrzędzi, ale też w całym okresie wegetacji, aż do zbiorów. Zadanie to przez prawie 50 lat z dużym powodzeniem spełniały herbicydy zawierające jako substancję czynną atrazynę, charakteryzujące się szerokim spektrum zwalczania wielu gatunków chwastów, a zarazem selektywne w stosunku do rośliny uprawnej i zabezpieczające plantację przed zachwaszczeniem wtórnym. Zmiany do Dyrektywy 91/414 z 2002 roku dotyczące priorytetu ochrony zdrowia ludzi, zwierząt i środowiska nad poziomem produkcji rolniczej, doprowadził do przeglądu substancji aktywnych, w wyniku których wykazano negatywne skutki stosowania atrazyny dla środowiska, uodparnianie się gatunków wrażliwych, długi okres zalegania w glebie i obecność produktów jej rozpadu w wodach (17). Poza atrazyną, w efekcie tych działań wycofano z użytkowania 60% substancji aktywnych stosowanych w środkach ochrony roślin i to nie tylko z powodu zagrożenia toksykologicznego, ale także z powodu wysokich kosztów rejestracyjnych.

Konieczność uniknięcia „luk" w programach ochrony kukurydzy przed zachwaszczeniem w sytuacji ograniczenia pojawiających się nowych substancji aktywnych spowodowała podjęcie badań w Zakładzie Herbologii i Technik Uprawy Roli zmierzających do opracowania nowych systemów z udziałem środków i ich mieszanin pozostających w użyciu po wycofaniu atrazyny, często w nowych formulacjach lub z dodatkiem wspomagaczy. Celem tych działań było opracowanie nowych strategii ochrony kukurydzy w różnych wariantach zagrożenia zachwaszczeniem.

Metodyka

Badania nad skutecznością chwastobójczą poszczególnych systemów herbicydowych prowadzono w latach 2004-2013 w warunkach doświadczeń polowych w rejonie Wrocławia. W każdym przypadku efektywność chwastobójczą oceniano

szacując procent zniszczenia poszczególnych gatunków chwastów w porównaniu do kontroli z pełnym zachwaszczeniem zgodnie z metodyką przyjętą w herbologii oraz z wytycznymi Norm Wzorcowych EPPO z 1998 (3), szacując procentowy ubytek chwastów w stosunku do obiektu nie traktowanego oraz podając procentowe pokrycie gleby przez chwasty pojawiające się w drugiej połowie wegetacji kukurydzy.

Zbiór kukurydzy w doświadczeniach polowych przeprowadzono ręcznie w fazie dojrzałości pełnej ustalając plon ziarna oraz masę tysiąca ziaren w przeliczeniu na 15% wilgotności. W statystycznym opracowaniu wyników zastosowano metodę analizy wariancji dla doświadczeń polowych w układzie losowanych bloków.

Omówienie wyników

Regulacja zachwaszczenia w uprawie kukurydzy po wycofaniu atrazyny - niszczenie gatunków jedno i dwuliściennych

Zakaz stosowania atrazyny w znacznym stopniu ograniczył możliwość wykonywania zabiegów bezpośrednio po siewie. Po jej wycofaniu, podobnych efektów chwastobójczych spodziewano się po mieszaninach herbicydów pozostających w użyciu. Przykładem była liczna grupa mieszanin z dodatkiem terbutylazyny, jedynej substancji aktywnej pochodzącej z tej samej grupy chemicznej, co atrazyna, lecz mniej „agresywnej" dla środowiska. Zaletą tych mieszanin miało być długie zabezpieczenie plantacji przed zachwaszczeniem, w praktyce często chroniły je tylko do trzech miesięcy. Jeszcze do 2013 roku można było łączyć ją z acetochlorem w wielu mieszaninach zbiornikowych i gotowych formulacjach dobrze chroniących plantacje przed gatunkami jedno i dwuliściennymi, jeśli były zastosowane na wilgotną dobrze uprawioną glebę. Problemy w uzyskaniu efektywnego zniszczenia w sytuacji wiosennych anomalii pogodowych, spowodowało miedzy innymi ich wycofanie (10, 20). Obecnie dobrych rezultatów ograniczania zachwaszczenia można spodziewać się po wprowadzeniu petoksamidu jako alternatywy dla wycofywanych z rynku produktów doglebowych i jak zapewnia producent, jego mieszanina z terbutyloazyną, czy sulkotrionem ma skutecznie wydłużyć okres wzrostu kukurydzy bez współzawodniczenia z chwastami nawet pojawiającymisię w późnych fazach rozwojowych (tab. 1).

Tabela 1.

Możliwość ograniczania zachwaszczenia herbicydami stosowanymi doglebowo bezpośrednio po siewie kukurydzy

Herbicydy	Dawka /ha	Termin stosowania	Zniszczenie chwastów po 5-6 tygodniach od oprysku (%) (początek wzrostu łodygi)							Plon ziarna ($t \cdot ha^{-1}$)
			chwastnica jednostronna	komosa biała	przetacznik perski	tobołki polne	bodziszek drobny	fiołek polny	psianka czarna	
Kontrola bez użycia herbicydu	-	-	*22	*37	*10	*10	*7	*14	*5	5,17
Acetochlor 840 g/l	2,5 l	pierwszy liść kukurydzy	78	95	82	100	86	80	87	9,36
Acetochlor + terbutylazyna 450 + 214 g/l	3,5 l	pierwszy liść kukurydzy	83	96	100	100	82	92	86	10,87
Petoksamid +terbutylazyna 300 + 250 g/l	4,0 l	pierwszy liść kukurydzy	100	100	95	100	95	100	95	12,06
										$NIR_{(0,05)}$ = 1,027

* dla kontroli podano liczbę chwastów w sztukach /m^2
Źródło: badania własne (2012-2013).

- zapobieganie pojawiania się zachwaszczenia wtórnego

Obecnie przed wschodami, do fazy 3 liści kukurydzy i na chwasty we wczesnych fazach rozwojowych, z dobrym skutkiem może być wykorzystywana mieszanina s-metolachloru, terbutyloazyny i mezotrionu utrzymująca plantację wolną od konkurencji gatunków nawet tych późnowschodzących (20). Wyniki tych badań były uzupełniane i potwierdzane w kolejnych latach badań i wykazały, że jeżeli chwastnica jednostronna, a zwłaszcza później wschodzące od niej włośnice nie pojawią się masowo, działa na tyle długo, że może zapewnić efekt czystego pola aż do zbioru (tab. 2.)

Warto przypomnieć, że zachwaszczenie wtórne to problem pojawiający się w późniejszych fazach rozwojowych kukurydzy na skutek braku oddziaływania herbicydów o niskiej skuteczności zwłaszcza, gdy były stosowane przedwschodowo lub w źle dobranej dawce. Dominacja gatunków pojawiających się w tych warunkach stwarza zagrożenie prowadzące do osłabienia rozwoju rośliny uprawnej, obniżenie plonowania, wzbogacania banku nasion, utrudnienia zbioru oraz zanieczyszczenia ziarna nasionami chwastów pogarszającymi jakość paszy (tab. 3) (7, 6).

Tabela 2

Efektywność chwastobójcza mieszaniny mezotrion + terbutylazyna + S-metolachlor w kukurydzy

Obiekt	Termin aplikacji	Dawka (l/ha)	Zniszczenie chwastów po 5-6 tygodniach od oprysku w %																		
			Lokalizacja nr 1									Lokalizacja nr 2									
			ECHCG	CHEAL	VIOAR	ANTAR	CENCY	GERPU	FUMOF	PAPRH	SINAR	ECHCG	CHEAL	VIOAR	ANTAR	CENCY	GERPU	FUMOF	POLAV	SOLNI	VERHE
Kontrola	-	-	21*	42*	18*	9*	7*	16*	6*	5*	6*	40*	111*	19*	22*	9*	6*	4*	6*	4*	6*
mesotrione + terbutylazyna + S-metolachlor	przedwschodowo	3,5	97	100	100	100	100	98	100	100	100	98	100	100	100	98	100	100	100	100	100
mezotrion + nikosulfuron	stadium trzeciego liścia	1,0 + 0,8	86	100	100	99	95	93	99	100	100	85	100	94	98	100	99	100	100	100	100

ANTAR – *Anthemis arvensis*, CENCY – *Centaurea cyanus*, CHEAL – *Chenopodium album*, ECHCG – *Echinochloa crus-galli*, GERPU – *Geranium pusillum*, FUMOF – *Fumaria officinalis*, PAPRH – *Papaver rhoeas*, POLAV – *Polygonum aviculare*, SINAR – *Sinapis arvensis*, SOLNI – *Solanum nigrum*, VERHE – *Veronica hederifolia*, VIOAR – *Viola arvensis*

* liczba chwastów (szt.·m^{-2}),

Źródło: badania własne (2008-2009).

Tabela 3.

Możliwość ograniczania zachwaszczenia wtórnego jako alternatywa po wycofanej atrazynie

Herbicydy	Dawka /ha	Termin stosowania	Zniszczenie chwastów po 5-6 tygodniach od oprysku (%) (początek wzrostu łodygi)							Zachwaszczenie wtórne na postawie stopnia pokrycia gleby przez chwasty (%)									Plon ziarna ($t \cdot h^{-1}$)
										kwitnienie					przed zbiorem				
			Chwastnica jednostronna	Komosa biała	Szarłat szorstki	Tobołki polne	Przytulia czepna	Fiołek polny	Psianka czarna	Chwastnica jednostronna	Komosa biała	Włośnice	Psianka czarna	pozostałe	Chwastnica jednostronna	Włośnice	Komosa biała	pozostałe	
Kontrola bez użycia herbicydu	-	-	*29	*32	*11	*9	*5	*9	*3	13	11	14	3	+	18	16	21	+	6,15
terbutylazyna 560 g/l	1,5 l	pierwszy liść kukurydzy	78	95	92	100	86	80	87	5	1	6	1	1	6	10	3	+	9,13
mezotrion 100 g/l	0,75 l + 0,75 l dawka dzielona	trzeci liść kukurydzy + piąty liść kukurydzy	83	96	100	100	82	92	86	3	1	2	1	+	2	5	3	1	11,63
mezotrion + terbutylazyna + S- metolachlor 37,5 + 187,5 + 312,5 g/l	3,5l	pierwszy liść kukurydzy	90	100	95	93	92	100	94	+	1	1	1	+	2	5	2	+	12,33
																			$NIR_{(0,05)}$ = 1,032

* dla kontroli podano liczbę chwastów w sztukach /m^2
Źródło: badania własne (2007-2008).

Regulacja zachwaszczenia herbicydami z grupy sulfonylomocznikowych - niszczenie gatunków jedno i dwuliściennych

Aktualnie około 70% zasiewów kukurydzy jest chronione przed chwastami po wschodach, ze względu na lepszą możliwość doboru herbicydu do stopnia zachwaszczenia zasiewów i składu gatunkowego zbiorowiska chwastów. Jednak zmienne warunki pogodowe, znaczne ochłodzenie, a nawet przymrozki oraz brak opadów po siewie powodują, że zwalczenie chwastów po wschodach kukurydzy jest dość ryzykowne. Prowadzi to często do znacznego opóźnienia wykonywania zabiegów nalistnych, natomiast taki przebieg pogody rzadko szkodzi chwastom, które w tym czasie osiągają wysokie stadia rozwojowe i są trudne do zwalczenia. Herbicydy stosowane w tych warunkach słabo chronią plantacje przed zachwaszczeniem wtórnym. Na liście tych środków chwastobójczych największy udział mają herbicydy z grupy sulfonylomocznikowych. Oprócz wielu zalet związanych z wygodnym terminem stosowania i możliwością niszczenia wielu gatunków jedno i dwuliściennych, ich wadą jest krótki okres działania oraz słaba skuteczność niszczenia komosy białej, gatunku dominującego w zachwaszczeniu wtórnym. Przedstawicielami tej grupy chemicznej są herbicydy, których substancjami aktywnymi są nikosulfuron, rimsulfuron czy foramsulfuron z jodosulfuronem metylosodowym (6, 11).

- zapobieganie pojawiania się zachwaszczenia wtórnego

W celu ograniczenia występowania zachwaszczenia wtórnego głównie gatunkami późnowschodzącymi, zaleca się stosować herbicydy systemem dawek dzielonych. Natomiast, by zwiększyć spektrum zwalczanych chwastów można je wzajemnie mieszać lub łączyć z innymi substancjami aktywnymi (7). Przykładem takiego wykorzystania jest nikosulforon stosowany w mieszaninie z mezotrionem, jako kompletny powschodowy herbicyd. Mimo, że pojedyncze substancje aktywne są od kilku lat stosowane samodzielnie, to dzięki ich odpowiedniemu doborowi w herbicyd wieloskładnikowy o formulacji powodującej wykonanie oprysku bez znoszenia i lepszemu pokryciu powierzchni liścia możliwe jest wydłużenie efektu chwastobójczego, aż do późnych faz rozwojowych kukurydzy.

Prowadzone w Zakładzie Herbologii Technik Uprawy Roli IUNG-PIB we Wrocławiu badania w kierunku możliwości ograniczenia zachwaszczenia wtórnego kilkoma wariantami herbicydowymi najczęściej wybieranymi przez rolników, wykazały ich zróżnicowaną skuteczność. W integrowanej uprawie kukurydzy, w zbiorowisku chwastów największy udział stanowiły: chwastnica jednostronna, włośnica sina, komosa biała, w nieco mniejszym nasileniu występowały psianka czarna i rdest ptasi oraz nielicznie bodziszek drobny czy fiołek polny. Jednorazowe zastosowanie w zaawansowanej fazie rozwojowej kukurydzy nikosulfuronu z mezotrionem jako mieszaniny dwóch herbicydów z dodatkiem adiuwanta olejowego, wykazało lepsze działanie chwastobójcze od stosowanego doglebowo acetochloru, a pojawiające się zachwaszczenie wtórne było o 25% niższe. Jednak najlepszy

efekt chwastobójczy osiągnięto po zastosowaniu herbicydu dwuskładnikowego w formulacji EC (nikosulfuron + mezotrione) stosowanego systemem dawek dzielonych dostosowując każdy zabieg do stanu zachwaszczenia oraz kondycji i fazy rozwojowej rośliny uprawnej, co dało efekt najmniej zachwaszczonego stanowiska jak i istotną zwyżkę plonów w stosunku do pozostałych wariantów herbicydowych (tab. 4.). Wydaje się, że w sytuacji ograniczonego wyboru środków chwastobójczych, sygnałów dochodzących od rolników o odporności komosy białej na terbutylazynę oraz braku nowych substancji chemicznych ten system, zapewniający eliminację chwastów w całym okresie wegetacji kukurydzy, jest najbardziej korzystny.

Natomiast badania nad możliwością zwalczania zaślazu pospolitego, prowadzone od kilku lat w Zakładzie Herbologii i Technik Uprawy Roli IUNG-PIB we Wrocławiu wykazały, że spośród zastosowanych herbicydów najwyższą skuteczność jego eliminacji uzyskano stosując mezotrion oraz foramsufluron + jodosulfuron metylosodowy. Warunkiem powodzenia zabiegów było przeprowadzenie ich w fazie 3-4 liści zaślazu. Późniejsze zabiegi, w bardziej zaawansowanych stadiach rozwojowych, nie były wystarczająco efektywne (4, 19) (tab. 5).

Tabela 5

Przydatność wybranych herbicydów do zwalczania zaślazu pospolitego w kukurydzy

Herbicyd	Zawartość substancji aktywnej	Dawka herbicydu na ha	Termin aplikacji (faza rozwojowa zaślazu w skali BBCH)	Skuteczność zwalczania [%]
Callisto 100 SC	mezotrion 100 $g \cdot l^{-1}$	1,5 $l \cdot ha^{-1}$	13	100
			13-14	93
			15	70
			16-19	66
Maister 310 WG + adiuwant	foramsulfuron 300 $g \cdot kg^{-1}$ + jodosulfruon 10 $g \cdot kg^{-1}$	150 $g \cdot ha^{-1}$	13	90
			15	60

Źródło: badania własne (2008-2011).

Regulacja zachwaszczenia z udziałem gatunków wieloletnich

Po wycofaniu atrazyny na liście środków dopuszczonych do użycia najliczniejszą grupę stanowiły preparaty należące do grupy regulatorów wzrostu zawierające jako substancje czynne 2,4-D, MCPA, dikambę, chlopyralid i fluroksypyr. 2,4-D skutecznie zwalcza chwasty dwuliścienne, szczególnie powszechnie występującą w kukurydzy komosę białą. MCPA oraz dikamba często dodawane są do innych herbicydów w celu poszerzenia spektrum zwalczanych gatunków chwastów dwuliściennych. Chlopyralid jest przeznaczony w kukurydzy głównie do zwalczania rumianów i rumianków oraz wieloletniego ostrożenia polnego. Z kolei fluroksypyr, zalecany jest przede wszystkim do zwalczania przytulii czepnej w każdej fazie rozwojowej. Wymienione substancje aktywne zalecane są do użycia od fazy 2 od 6 liści kukurydzy i przy wystąpieniu

Tabela 4

Skuteczność herbicydów i ich mieszanin stosowanych w dawkach pełnych i obniżonych do regulacji zachwaszczenia

Obiekt	Dawka ($l \cdot ha^{-1}$)		Zniszczenie chwastów po 5-6 tygodniach od oprysku (%)								Stopień pokrycia gleby przez chwasty przed zbiorem (%)					Plon ziarna ($dt \cdot ha^{-1}$)	MTZ (g)
			chwastnica jednostronna	włosnice	komosa biała	szarłat szorstki	tobołki polne	bratek polny	blekot pospolity	psianka czarna	chwastnica jednostronna	włosnice	komosa biała	blekot pospolity	psianka czarna		
Kontrola		-	*21	*11	*27	*9	*8	*8	*5	*4	*7	*9	*11	*2	*2	45,7	291,3
Callisto 100 SC	1,5	1/1 DP**	88	86	100	100	100	100	90	100	3	3	2	+	+	111,6	303,5
	1,0	2/3 DP**	79	73	100	100	100	85	90	90	5	7	3	1	1	101,7	299,2
	0,75	1/2 DP**	63	61	96	94	100	85	88	87	9	9	3	2	2	96,2	298,6
Milagro 040 SC	1,5	1/1 DP**	96	97	85	100	100	100	93	96	+	2	5	+	+	100,1	304,2
	1,0	2/3 DP**	90	88	80	93	92	93	91	90	2	4	9	2	2	92,5	300,4
	0,75	1/2 DP**	88	86	69	88	87	86	85	86	4	6	11	2	3	90,1	300,2
Milagro 040 SC + Callisto 100 SC + Atpolan 80 EC	0,8 + 1,0 + 1,5	1/1 DP** drugi liść + piąty liść kukurydzy	97	100	100	98	100	100	100	100	+	1	2	+	+	106,3	300,0
	0,53 + 0,67 + 1,5	2/3 DP** drugi liść + piąty liść kukurydzy	95	98	100	94	100	93	98	100	2	3	5	1	1	103,9	299,5
	0,40 + 0,50 + 1,5	1/2 DP** drugi liść + piąty liść kukurydzy	87	88	89	88	91	83	90	90	3	4	9	2	2	100,2	291,8
																$NIR_{(0,05)}$ = **1,092**	

* - na kontroli liczba chwastów w szt./m^2 , **DP- dawka pełna, MTZ – masa tysiąca ziaren
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: badania własne (2008-2010)..

na początku wegetacji niekorzystnych warunków pogodowych (suszy i niskich temperatur) mogą wpływać fitotoksycznie na wzrost i rozwój kukurydzy.

Obecnie niszczenie tych uciążliwych gatunków możliwe jest również z wykorzystaniem herbicydów z grupy sulfonylomocznikowych na ogół stosując wyższe dawki zalecane przez producenta.

Regulacja zachwaszczenia w warunkach integrowanej uprawy z optymalizacją dawek herbicydów

Dla dalszego zainteresowania rolników uprawą kukurydzy, której zasiewy możliwe są nawet na areale sięgającym 2 mln ha, ważne jest opracowywanie optymalnych metod ochrony przed zachwaszczeniem zgodnej z założeniami ustawy o integrowanej produkcji. Postanowienie Parlamentu Europejskiego (art. 14 Dyrektywy PE i Rady 2009/128/WE oraz rozporządzenie nr 1107/2009), którego zasady obowiązują od stycznia 2014 roku zezwala na obniżanie dawek środków ochrony do niezbędnego minimum, jeżeli nie doprowadzi to do nadmiernego rozwoju organizmów szkodliwych, przy którym mogłyby wystąpić straty ekonomiczne (23). Dobór optymalnej, efektywnej dawki herbicydu powinien wynikać z równowagi pomiędzy maksymalną wymaganą skutecznością chwastobójczą w danych warunkach, a zachowaniem selektywności dla chronionej rośliny i bezpieczeństwa konsumenta. Na dobrych stanowiskach glebowych, w warunkach intensywnego gospodarowania i z zastosowaniem systemu uprawowego opartego na orce można z powodzeniem stosować herbicydy lub ich mieszaniny w obniżonych dawkach (2, 6) .

Wykazały to badania prowadzone w Zakładzie Herbologii i Technik Uprawy Roli IUNG – PIB we Wrocławiu w larach 2009-2011. Milagro 040 SC w dawce obniżonej nawet o 50% efektywnie niszczył chwastnicę jednostronną (*Echinochloa crus-galli*), włośnicę siną (*Setaria viridis*), szarłat szorstki (*Amaranthus retroflexus*), tobołki polne (*Thlaspi arvense*), bratka polnego (*Viola arvensis*), blekot pospolity (*Aethusa cynapium*) i psiankę czarną (*Solanum nigrum*). Natomiast Callisto 100 SC wykazał wysoką skuteczność w niszczeniu jedynie gatunków dwuliściennych nawet po zastosowaniu dawki obniżonej o 50%. Na tych glebach najwyższą skuteczność w niszczeniu wszystkich gatunków jedno i dwuliściennych wykazały mieszaniny Callisto 100 SC + Milagro 040 SC z dodatkiem adiuwanta Atpolan 80 EC aplikowane systemem dawek dzielonych w pełnym i obniżonym zakresie dawek. Wyniki doświadczeń dają podstawę do propagowania badań nad obniżaniem dawek herbicydów na plantacjach o niskim nasileniu zachwaszczenia, na co wskazują również prace innych autorów (2).

Zachodzi, jednak obawa, czy w warunkach integrowanej produkcji (prawidłowego płodozmianu i nawożenia, dobrego stanu fitosanitarnego) oraz optymalizacji dawek herbicydów dostosowywanych do stanu zachwaszczenia, nie pojawi się problem z zachwaszczeniem wtórnym. W przeprowadzonych doświadczeniach spośród

gatunków wtórnie ukazujących się na stanowisku gleb brunatnych w integrowanej uprawie kukurydzy, największy udział w zbiorowisku stanowiły: chwastnica jednostronna i komosa biała, w nieco mniejszym nasileniu występowały psianka czarna oraz nielicznie przetacznik perski i bratek polny. Najlepszy efekt chwastobójczy osiągnięto po zastosowaniu mieszaniny herbicydów nikosulfuron z mezotrione i dodatkiem adiuwanta systemem dawek dzielonych dostosowując zabieg oprysku do stanu zachwaszczenia oraz kondycji i fazy rozwojowej rośliny uprawnej oraz uzyskano zwyżkę plonów w stosunku do obiektu traktowanego jednorazowo acetochlorem, co również spowodowało otrzymanie czystego i dorodnego ziarna (tab. 4).

Podsumowanie

Wycofanie szerokiej gamy hebicydów zawierających atrazynę jako substancję czynną, spowodowało lukę w doborze środków ochrony kukurydzy przed zachwaszczeniem. Konsekwencją tego była konieczność szybkiego zastąpienia tych niewątpliwie tanich i skutecznych środków zapewniających efekt czystego pola nie tylko do momentu zwarcia międzyrzędzi, ale również w całym okresie wegetacji, herbicydami pozostawionymi na liście dopuszczonych do stosowania. W tym okresie oczekiwano, że uzyskanie porównywalnego efektu chwastobójczego będzie możliwe mieszaninami z terbutylazyną. Aplikowane doglebowo w terminie przedwschodowym i tuż po wschodach kukurydzy, okazały się dość zawodne, gdy wystąpiła wiosenna susza. Obecnie najszersze możliwości zastosowania mają herbicydy z grupy sulfonylomocznikowych. Użycie ich w nowych formulacjach bądź z różnego rodzaju wspomagaczami, czy aktywatorami oraz aplikowanie różnymi metodami pozwala znacznie poprawić skuteczność działania. Natomiast łączenie substancji aktywnych herbicydów o różnym mechanizmie działania, daje możliwość użycia ich w dawkach obniżonych, dopasowanych do stanu zachwaszczenia, co zostało pozytywnie wykazane w wielu badaniach (2, 6, 11, 26). Jednocześnie prowadzi to do spełnienia wymagań obowiązującej od 2014 roku integrowanej ochrony kukurydzy.

Literatura

1. Dobrzański A., Adamczewski K.: Wpływ walki z chwastami na bioróżnorodność agrofitocenoz. Effect of weed control on biodiversity agrophytocenosis. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 2009, **49(1)**: 176–182.
2. Domaradzki K.: Efektywność regulacji zachwaszczenia zbóż w aspekcie ograniczania dawek herbicydów oraz wybranych czynników agroekologicznych. Wyd. IUNG- PIB, Puławy. Monografie i rozprawy naukowe, 2006, **17**: 1-111.
3. Domaradzki K., Badowski M., Filipiak K., Franek M., Gołębiowska H., Kieloch R., Sadowski J., Sekutowski T., Zawerbny T.: Metodyka doświadczeń biologicznej oceny herbicydów, bioregulatorów i adiuwantów. Cz. 1. Doświadczenia polowe. Wyd. IUNG Puławy, 2001, 1–167.

4. D o m a r a d z k i K., S n o p c z y ń s k i T., J e z i e r s k a - D o m a r a d z k a A.: Zaślaz pospolity (*Abutilon theophrasti* Medik.), nowy groźny chwast upraw polowych – charakterystyka, występowanie i możliwości zwalczania. Prog. Plant Protection/Post. Ochr. Roślin, 2008, **48 (2)**: 567–574.
5. G o ł ę b i o w s k a H.: The problems of weed management by herbicide systems applied in maize. Journal of Plant Protection Research, 2008. **48(1)** :120-128.
6. G o ł ę b i o w s k a H.: Dynamika występowania flory segetalnej w uprawie kukurydzy na Dolnym Śląsku w latach 1972-2008 i obecne możliwości jej regulacji. Monografie i rozprawy naukowe, 2011, **30**: 1-113.
7. G o ł ę b i o w s k a H., S k o r u p a M.: Problem zachwaszczenia wtórnego w warunkach integrowanej technologii produkcji. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 2013, **46(2)**: 413–415.
8. G o ł ę b i o w s k a H., B a d o w s k i M.: Przenikanie Artemisia Vulgaris do zbiorowisk segetalnych niektórych upraw rolniczych na terenie Dolnego Śląska. Fragm. Agronomica, 2010, **27(3)**: 54-62.
9. K i e r z e k R., M i k l a s z e w s k a K.: Redukcja zachwaszczenia kukurydzy poprzez stosowanie herbicydów z adiuwantami i różnych technologii ochrony. Prog. Plant Protection/Post. Ochr. Roślin, 2009, **49(2)**: 811-818.
10. K i e r z e k R., P a r a d o w s k i A., K a c z m a r e k S.: Chemical methods of weed control in maize (Zea mays L.) in variable weather conditions. Acta Sci. Pol., Agricultura, 2012, **11(4)**: 35–52.
11. K i e r z e k R., P a r a d o w s k i A., K r a w c z y k R.: Effectiveness of weed control in maize (*Zea mays* L.) depending on the date and method of herbicide application. Acta Sci. Pol. Agricultura, 2011, **10(2)**: 57–73.
12. K i t a W., P u s z K., P u s z W.: Zaślaz pospolity (*Abutilon theophrasti* Medik.) – nowy, groźny chwast w buraku? Ochrona Roślin, 2003, **10**: 14–15.
13. K o z y r a J.: Climatic conditions for millet cultivation in Poland. WMO – CagM Report, Geneva, 2004, **94**: 34–35.
14. L e o n R. G., K n a p p A. D., O w e n M. D. K.: Effect of temperature on the germination of common waterhemp (*Amaranthus tuberculatus*), giant foxtail (*Setaria faberi*), and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). Weed Science, 2004, **52(1)**: 67–73.
15. M a h m o o d i S., R a h i m i A.: Estimation of critical period for weed control in corn in Iran. World Acad. Sci. Engin. Technol., 2009, **49**: 67–72..
16. M a r s h a l l E. J. P., B r o w n V. K., B o a t m a n N. D., L u t m a n P. J. W., S q u i r e G. R., W a r d L. K.: The role of weeds in supporting biological diversity within the crop fields. Weed Res., 2003. **43**:7–89.
17. S a d o w s k i J., K o s t o w s k a B., R o l a J.: Monitoring wód powierzchniowych i gruntowych województwa wrocławskiego na zawartość herbicydów. Materiały XXXIV Sesji Nauk. IOR, 1994, **I**: 245-251.
18. S k r z y p c z a k G.: Problem zwalczania chwastów w uprawie kukurydzy wciąż aktualny. Kukurydza, 1996, **1(6)**: 18-19.
19. S n o p c z y ń s k i T., D o m a r a d z k i K.: Zaślaz pospolity (*Abutilon theophrasti* Medik.) - nowy chwast polskich pól. Charakterystyka i możliwości chemicznego zwalczania. Episteme, 2011, **12(1)**: 235-240.
20. 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 niszczenia zbiorowisk chwastów mieszaniną mezotrion + terbutyloazyna + s-metolachlor w uprawie kukurydzy. Progr. Plant Protection /Post. Ochr. Roślin, 2008, **48**: 674-677.
21. S t u c z y ń s k i T., D e m i d o w i c z G., D e p u t a t T., G ó r s k i T., K r a s o w i c z S., K u ś J.: Adaptation scenarious of agriculture in Poland to future climate changes. Environ. Monitor. Assessment, 2000, **61**: 133–144.
22. S t u p n i c k a – R o d z y n k i e w i c z E., L e p i a r c z y k A.: Wpływ zmianowania, sposobu uprawy roli i herbicydów na bioróżnorodność zbiorowisk chwastów. Acta. Agr. Silv., 2004, **34**: 127–130.
23. S u r a w s k a M, R z e ź n i c k i B.: Ustawodawstwo – projekty ustaw i rozporządzenia z zakresu ochrony roślin. Materiały z IX konferencji „Racjonalna technika ochrony roślin". IOR - PIB Poznań 06. X. 2010, 9-17.
24. V a r g a P., B é r e s I., R e i s i n g e r P.: The role of weeds on the yields of maize in arable land experiments. Hungarian Weed Research and Technology, 2000, **1**: 45-52.

25. W a r w i c k S. I., B l a c k L. D.: The biology of Canadian weeds. 90. *Abutilon theophrasti*. Can. J. Plant Sci., 1988, **68**: 1069–1085
26. W o ź n i c a Z., I d z i a k R.: Influence of herbicide application timings, rates and adjuvant type on weed control and yield of maize grown for forage. Acta Sci. Pol., Agricultura, 2010, **9(4)**: 77–84.

Adres do korespondencji:

dr hab. Hanna Gołębiowska,
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli
IUNG-PIB
Orzechowa 61,
50-540 Wrocław
tel. 71 363 87 07 w. 116
e-mail: h.golebiowska@iung.wroclaw.pl

S T U D I A I R A P O R T Y IUNG-PIB

ZESZYT 36(10): 105-119 **2014**

Ryszard Weber[1], Henryk Bujak[2], Dariusz Zalewski[2]

ZMIENNOŚĆ PLONOWANIA WYBRANYCH ODMIAN PSZENICY OZIMEJ NA DOLNYM ŚLĄSKU*

[1]Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa, Państwowy Instytut Badawczy,
[2]Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Słowa kluczowe: pszenica ozima, odmiany, interakcja genotypowo-środowiskowa

Wstęp

Obecnie zarówno w Polsce jak również w Europie jest stała tendencja do zwiększania areału zasiewów zbóż. Polskie rolnictwo cechuje się małym zużyciem chemicznych środków ochrony roślin, a poziom nawożenia mineralnego jest o połowę niższy od jego stanu z okresu poprzedzającego urynkowienie gospodarki w Polsce (7). Plony zbóż, szczególnie pszenicy, w wielu gospodarstwach są o 20-40% niższe od możliwych do osiągnięcia przy prawidłowej agrotechnice i pełnym wykorzystaniu potencjału produkcyjnego odmian (10). Pszenica jest obecnie najważniejszym zbożem paszowym i konsumpcyjnym. Często uprawia się pszenicę na glebach lekkich, gdzie dominują technologie ekstensywne o obniżonych nakładach nawet o 50% w stosunku do intensywnych technologii produkcji (11; 12). Jednym z głównych czynników decydujących o wysokości plonów tego gatunku jest nawożenie azotowe. Efekt nawożenia tym składnikiem uzależniony jest od współdziałania czynników genetycznych, środowiskowo-klimatycznych i agrotechnicznych. Badania wskazują na zróżnicowaną reakcję odmian na nawożenie azotem (5). Przeprowadzone analizy ekonomiczne wykazały, że podwyższenie nawożenia azotem ponad 120 kg/ha nie jest uzasadnione ekonomicznie (14) a dawki powyżej 160 kg/ha nie warunkowały istotnego zwiększenia plonowania (15). Nowe odmiany wprowadzane do uprawy najczęściej odznaczają się większą efektywnością wykorzystywania azotu w porównaniu do genotypów z lat osiemdziesiątych. Jednak nadal istnieje w doborze grupa odmian azotolubnych, które wykazują istotną poprawę jakości ziarna przy sumarycznych dawkach azotu do 180 kg/ha. (14; 16). Zmienność plonowania odmian pszenicy ujawnia się w znacznym stopniu pod wpływem zróżnicowanych warunków atmosferycznych. Optymalna wilgotność gleby różnicuje plony odmian w większym

*Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.6 programu wieloletniego IUNG-PIB

stopniu niż znaczne niedobory opadów w trakcie wegetacji (4). Zmiany klimatyczne związane z pogłębiającym się niedostatkiem wody i wzrostem temperatury w okresie wegetacji roślin wymuszają tworzenie nowych odmian w znacznym stopniu przystosowanych do niekorzystnych warunków glebowo-klimatycznych (21). Obecnie w wielu krajach poszukuje się odmian odznaczających się odpornością na wysokie temperatury i niedobory wody w trakcie wegetacji (2). Odmiany pszenic różnie reagują na zmienne warunki środowiska. Przejawia się to istotną interakcją genotypowo – środowiskową i w konsekwencji brakiem stabilności plonowania. Wytworzone przez hodowców odmiany powinny być przebadane pod względem wielkości interakcji genotypowo – środowiskowej i stabilności plonowania a następnie zalecane do uprawy w określonych obszarach geograficznych kraju.
W badaniach odmianowych wyróżnia się dwa rodzaje środowisk: miejscowości (stacje oceny odmian), oraz lata czyli sezony wegetacyjne. Wpływ warunków środowiskowych na kształtowanie się plonu różnych odmian jest zwykle zróżnicowany. Oceniany jest poprzez interakcję genotypowo-środowiskową, która określa wielkość zmienności plonowania odmian w badanych warunkach środowiskowych. W zróżnicowanych warunkach przyrodniczych Polski wariancja efektów interakcji genotyp x miejscowości x lata posiada największe znaczenie w zmienności plonów odmian pszenicy. Badania zmienności plonowania odmian w ramach Porejestrowego Doświadczalnictwa Odmianowego (PDO) wykazały znaczne zróżnicowanie plonów odmian pszenicy ozimej w poszczególnych punktach doświadczalnych (20). Poszukuje się odmian wysoko i stabilnie plonujących w makroregionie. Stopień szerokiej adaptacji odmiany określa prawdopodobieństwo, że jej plon jest wyższy o określoną wielkość od średnich plonu w środowiskach danego rejonu uprawy (8). Pożądana odmiana pszenicy powinna odznaczać się stabilnym plonem we wszystkich środowiskach rejonu docelowego i wykazywać wysoką stabilność plonowania w latach (13). Genotyp stabilny dynamicznie w każdym środowisku daje plon różniący się od średniego plonu wszystkich genotypów w danym środowisku o stałą wielkość. Natomiast genotyp stabilny statycznie zachowuje stałą wysokość plonu we wszystkich środowiskach (9). Często za pożądane uznaje się również genotypy wąsko zaadoptowane do określonego środowiska i wykazujące wysoką powtarzalność w latach (ANNICCHIARICO i in. 2006). Duże koszty poszczególnych doświadczeń w ramach PDO wskazują, że w najbliższej przyszłości należy rozważyć redukcję punktów doświadczalnych w określonych województwach naszego kraju. Dlatego ocena poszczególnych punktow doświadczalnych pod względem zmienności plonów badanych odmian pszenicy ozimej może przyczynić się do ograniczenia kosztów doświadczeń PDO w Polsce.

Celem opracowania jest analiza zmienności plonowania wytypowanych odmian pszenicy ozimej w poszczególnych punktach doświadczalnych na obszarze Dolnego Śląska na podstawie syntezy wyników z trzech publikacji oceniających plony w latach 1999 – 2009.

Materiał i metody badań

Analizę zmienności plonowania odmian pszenicy ozimej przeprowadzono na podstawie wyników doświadczeń Porejestrowego Doświadczalnictwa Polowego (PDO) na Dolnym Śląsku (17; 18; 19). Analizowane punkty doświadczalne odznaczały się zróżnicowanymi warunkami środowiskowymi (tab.1) Badania przeprowadzono w latach 1999 - 2009. Powierzchnia poletka w każdym doświadczeniu wynosiła 15 m^2. Reasumując, czynnikiem znacznie różnicującym plony badanych odmian w analizowanym dziesięcioleciu były niewyrównane opady deszczu w punktach doświadczalnych. Doświadczenia te założono w dwu powtórzeniach metodą bloków niekompletnych porównując wariant standardowy z intensywnym sposobem uprawy roli. Poziom intensywny różnił się od standardowego wyższym o 40 kg/ha nawożeniem azotowym, pełną ochroną chemiczną przed chorobami grzybowymi, stosowaniem antywylegacza oraz dolistnym dokarmianiem roślin preparatem wieloskładnikowym. Nawożenie pozostałymi makroelementani oraz inne zabiegi agrotechniczne wykonywano w jednakowym zakresie na wszystkich poletkach analizowanych doświadczeń. Wytypowane odmiany badano w dwu powtórzeniach rozważając oddzielnie wariant intensywny lub podstawowy jako metodę losowanych bloków. W celu analizy zmienności plonowania analizowanych odmian pszenicy w poszczególnych miejscowościach w każdej z przedstawionych publikacji wykorzystano analizę statystyczną zaproponowaną przez Calińskiego, Czajkę i Kaczmarka (3). Obliczenia przeprowadzono programem Sergen 4.

Ocenę analizowanych środowisk (miejscowości) pod względem interakcji G x E przeprowadzono poprzez podział statystyki F tej interakcji na składniki odpowiadające poszczególnym kontrastom (odchyleniom) między genotypami. Odpowiednia statystyka F wyrażona w procentach statystyki F dla interakcji genotypowo - środowiskowej z ogólnej analizy wariancji pokazuje jaką część tej interakcji pochłania dany kontrast. W celu graficznego przedstawienia środowisk na płaszczyźnie wykorzystano dwie pierwsze składowe główne, które stanowią oceny kontrastów pomiędzy genotypami wyliczone dla poszczególnych miejscowości.

Tabela 1

Warunki glebowe oraz charakterystyka arotechniczna punktów doświadczalnych w latach 1999 - 2009

Wyszczególnienie Specification	Tarnów	Naroczyce	Pawłowice	Kobierzyce	Zybiszów	Tomaszów	Krościna	Jelcz-Laskowice
Kompleks gleb Soils complex	2	4	2	1	1	5	2	4
Klasa bonitacyjna gleby Soil bonitation class	IIIa	IVa	IIIb	II	II	IVb	IIIa	Iva
Zasobność gleby P_2O_5 P_2O_5 content in soil	17,7	17,1	10,3	22,0	31,0	21,2	85,0	13,0
Zasobność gleby K_2O K_2O content in soil	25,0	20,6	10,7	38,0	43,4	13,6	24,8	23,5
Zasobność gleby Mg Mg content in soil	12,6	6,0	8,4	3,5	8,4	7,4	7,8	7,4
pH gleby pH of soil	6,1	6,5	-	6,8	7,0	6,4	6,6	5,5
Nawożenie N na poziomie a1 Nitrogen rates a1 (kg/ha)	110	80	100	81	120	130	150	90
Nawożenie N na poziomie a2 Nitrogen rates a2 (kg/ha)	150	120	140	121	160	170	190	130
Nawożenie P_2O_5 Phosphoric rates (kg/ha)	64	90	40	101	80	56	54	80
Nawożenie K_2O	104	84	60	112	100	116	111	120
Zaprawa nasienna Seed dressing	Funaben T	FunabenT	FunabenT	Oxafun T	-	Sarfun T	FunabenT	FunabenT
Herbicyd Herbicide	Arelon Fox	Chwastox Lentipur	Cougar	Glean 22 g	Granstar 15 Starane 0,4 l	Cougar	Chisel 60g Granstar 10	Maraton
Fungicydy na a2 Fungicide a2	Juvel, Tango	Alert 1 l	Amistar	Alert 1 l	Amistar Juvel	Juvel, Tango	Alert 1 l	Alert 1 l
Nawóz dolistny na a2 Foliar fertilsation – a2	Plonvit	Basfoliar	Basfoliar	Basfoliar	Basfoliar	Basfoliar	Plonvit Z	Basfoliar

Źródło: Weber i in. 2003;2007;2011 (17, 18, 19).

Tabela 2

Charakterystyka punktów doświadczalnych PDO na Dolnym Śląsku

Miejscowości	Wysokość nad poziomem morza	GLEBY	Suma opadów X-III mm			Suma opadów IV-IX mm		
			2008-2009	2009-2010	2010-2011	2008-2009	2009-2010	2010-2011
Naroczyce	110	Płowe iluwialne	269	203	207	342	489	429
Kobierzyce	140	Czarne ziemie	222	239	-	453	515	-
Zybiszów	130	Czarne ziemie	188	222	181	436	515	404
Kondratowice	150	Czarne ziemie	239	211	170	451	493	380
Pawłowice	115	Płowe właściwe	221	256	227	441	541	452
Tarnów	300	Płowe właściwe	210	232	206	413	626	360
Tomaszów	200	Płowe iluwialne	284	263	247	420	649	418

Źródło: Weber i in. 2003;2007;2011 (17, 18, 19).

Analiza wyników badań i dyskusja

Sucha i chłodna jesień w 2002 roku spowodowała, że szczególnie na glebach lekkich rośliny nie rozkrzewiły się przed zimą. Niskie temperatury, brak okrywy śnieżnej przy mroźnych wschodnich wiatrach spowodowały wymarzanie roślin. Niedostateczna ilość opadów w okresie miesięcy wiosennych i letnich spowodowała znaczne różnice w plonowaniu odmian w poszczególnych miejscowościach. Siew doświadczeń w 2003 roku w wykonywano w warunkach suszy glebowej, która wpłynęła na słabsze rozkrzewienie roślin na glebach kompleksu żytniego bardzo dobrego i dobrego. Łagodna zima pozwoliła na osiągniecie wysokich plonów szczególnie w miejscowościach Kobierzyce i Zybiszów. Warunki atmosferyczne w zimie na przełomie roku 2003/2004 nie stwarzały zagrożeń dla odmian pszenicy ozimej. Natomiast późna i chłodna wiosna oraz niekorzystny rozkład opadów w trakcie wegetacji pszenicy spowodowały znaczne zróżnicowanie plonów w poszczególnych miejscowościach. Deficyt wody maju lub czerwcu zanotowano w punktach doświadczalnych na glebach lżejszych. Warunki agrometeorologiczne w zimie 2004/2005 na ogół nie stwarzały zagrożeń dla roślin co spowodowało dobre przezimowanie odmian. Niekorzystny rozkład opadów w miesiącach letnich, a na glebach lekkich okresy suszy wpłynęły na zróżnicowanie plonowania odmian w poszczególnych środowiskach. Zmienność warunków atmosferycznych w badanych punktach doświadczalnych w latach 2008 – 2011 określa tabela 2.

Analizując plony pszenicy ozimej w punktach doświadczalnych w okresie badanego dziesięciolecia można stwierdzić niewielki lecz stały wzrost plonowania (tab. 3; 4; 5). Wariant intensywny uprawy niezależnie od badanych genotypów przyczynił się do wyższych plonów. Czynnikiem, który w głównej mierze spowodował istotny przyrost plonów, była zwiększona dawka nawożenia azotowego i ochrona plantacji przed chorobami grzybowymi które w analizowanych latach znacznie ograniczyły plony w wariancie standardowym. Kobra i Jawa w latach 1999 – 2003 odznaczały się zwiększonym plonowaniem w porównaniu do pozostałych badanych odmian niezależnie od wielkości poniesionych nakładów.

Tabela 3

Wartości średnie plonów w dt/ha poszczególnych genotypów w doświadczeniach w latach 1999 – 2003 (Weber i in. 2003 literatura nr. 17)

Genotyp	Tarnów	Kobierzyce	Oleśnica	Tomaszów	Krościna	Jelena Góra	
Oznaczenia→	**AB -1;7;13**	**AB-2;8;14**	**AB-3;9;15**	**AB-4;10;16**	**AB-5;11;17**	**AB-6;12;18**	**Średnia**
Wariant standardowy							
Kobra	70,5	93,7	71,3	55,9	71,1	57,8	70,05
Korweta	70,9	79,5	60,6	48,2	61,6	53,1	62,32
Wanda	72,9	86,5	61,1	51,0	69,1	60,0	66,77
Elena	76,4	73,6	55,0	51,5	62,6	61,1	63,37
Jawa	72,6	83,6	66,7	58,6	77,9	60,2	69,93
Almari	65,0	82,6	61,1	50,6	67,2	57,5	64,00
Roma	68,3	75,4	53,0	49,5	67,2	55,5	61,48
Mikon	73,1	76,8	59,8	48,9	58,5	57,4	62,42
Sakwa	74,5	87,3	65,5	55,0	68,4	57,8	68,08
Średnia	71,6	82,1	61,6	52,1	67,1	57,8	65,38
Wariant intensywny							
Kobra	85,2	107,4	95,9	69,2	92,7	74,1	87,42
Korweta	76,0	88,9	75,2	53,4	83,3	65,1	73,65
Wanda	83,0	108,5	86,7	58,4	92,2	77,7	84,42
Elena	84,4	102,3	84,2	59,8	85,9	78,4	82,50
Jawa	85,9	108,8	90,0	72,1	94,4	78,6	88,30
Almari	80,1	96,9	82,2	60,6	79,5	72,2	78,58
Roma	78,3	98,8	79,4	62,6	80,2	66,1	77,57
Mikon	87,2	101,1	88,4	62,9	82,5	73,2	82,55
Sakwa	85,2	98,6	88,1	63,7	88,6	74,1	83,05
średnia	82,8	101,3	85,6	62,5	86,6	73,3	82,02

Oznaczenia: poszczególne cyfry przy literach AB oznaczają odpowiednio rok 2004; 2005 i 2006 w określonej miejscowości

Źródło:Weber i in., 2003 (17).

Nowo zarejestrowane odmiany pszenicy, Rapsodia, Nadobna i Trend, w latach 2004 – 2006 wykazywały wyższe plony niż odmiana Kobra w analizowanym trójleciu. Wprawdzie w latach 2007 -2009 Rapsodia również odznaczała się zwiększonymi plonami w porównaniu do pozostałych odmian jednak w wariancie intensywnym odmiany Naridana i Cubus charakteryzowały się porównywalnym lub wyższym plonowaniem. Na podstawie przedstawionych wyników można stwierdzić, że

w warunkach prawidłowej agrotechniki i pełnej ochrony plantacji przed chorobami grzybowymi i chwastami wprowadzanie nowych odmian do uprawy może przyczynić się do istotnego zwiększenia plonów pszenicy ozimej. Plony uzyskane z doświadczeń PDO znacznie przewyższają średnie plonowanie pszenicy w Polsce, chociaż w gospodarstwach o dużej kulturze rolnej plony powyżej 100 dt z hektara są zjawiskiem powszechnym. Niestety w małych gospodarstwach zbyt rzadka wymiana materiału siewnego jest prawdopodobnie głównym powodem znacznie niższego plonowania pszenicy.

Tabela 4

Wartości średnie plonów w dt/ha poszczególnych genotypów w doświadczeniach

Miejscowości	Naroczyce	Kobierzyce	Zybiszów	Tarnów	Tomaszów	Laskowice	Pawłowice	Krościna	Średnia
Oznaczenia→	**AB1;9;17**	**AB2;10;18**	**AB3;11;19**	**AB4;12;20**	**AB5;13;21**	**AB6;14;22**	**AB7;15;23**	**AB8;16;24**	
Genotyp	**Wariant standardowy**								
Kobra	69,38	92,86	82,61	69,62	56,36	50,55	60,50	89,98	71,48
Tonacja	68,99	96,64	86,12	65,00	58,33	51,40	65,46	83,67	71,95
Finezja	68,48	95,31	81,98	64,97	51,31	55,26	64,50	81,52	70,42
Mewa	67,73	88,31	83,54	66,60	56,32	53,25	65,12	85,30	70,77
Zyta	67,48	91,94	83,46	62,09	50,77	50,20	62,52	79,47	68,49
Soraja	77,41	90,56	84,79	65,98	55,12	55,47	62,06	81,89	71,66
Sukces	69,86	92,54	82,01	64,82	56,70	50,09	62,71	86,44	70,65
Nadobna	74,67	100,79	92,70	71,69	58,90	54,52	73,39	85,23	76,49
Rapsodja	84,54	106,29	100,63	72,17	61,24	54,00	73,76	90,38	80,38
Rubens	80,13	98,57	83,99	61,81	62,15	50,92	57,55	85,26	72,55
Trend	83,86	103,08	98,61	66,26	61,70	56,41	61,10	88,79	77,48
Srednia	73,87	96,08	87,31	66,46	57,17	52,92	64,42	85,27	72,94
	Wariant intensywny								
Kobra	74,07	106,45	95,54	80,43	62,22	58,70	65,98	108,45	81,48
Tonacja	77,30	111,16	101,84	77,36	65,01	56,65	67,89	107,41	83,08
Finezja	73,64	108,08	94,62	78,14	60,43	60,49	66,43	104,69	80,82
Mewa	73,32	105,34	95,84	80,97	63,66	63,20	71,81	104,03	82,27
Zyta	73,64	104,32	94,13	74,81	57,06	56,82	65,62	100,07	78,31
Soraja	79,06	101,51	95,04	77,58	60,36	62,44	71,49	101,60	81,14
Sukces	74,39	100,04	88,83	74,76	61,31	57,26	63,75	102,00	77,79
Nadobna	83,24	114,01	106,74	82,83	66,68	61,37	79,15	107,68	87,71
Rapsodja	91,78	113,34	110,82	84,60	68,57	61,87	82,23	114,73	90,99
Rubens	88,38	110,98	99,35	74,19	69,33	60,71	64,06	106,94	84,24
Trend	88,38	112,25	109,83	78,45	68,10	61,68	69,96	111,68	87,54
średnia	79,7	107,95	99,33	78,56	63,88	60,11	69,85	106,30	83,22

Oznaczenia: poszczególne cyfry przy literach AB oznaczają odpowiednio rok 2004; 2005 i 2006 w określonej miejscowości

Źródło: Weber i in. 2007 (18).

Analizując poszczególne punkty doświadczalne w badanym dziesięcioleciu można stwierdzić, że niezależnie od intensywności uprawy i odmiany, w warunkach gleb klasy II (miejscowości Kobierzyce i Zybiszów) plony pszenicy ozimej były wyższe w porównaniu do gleb lżejszych klasy III lub IV (miejscowości Laskowice, Tomaszów lub Pawłowice). Jednak w każdym analizowanym trójleciu zaznaczyła się istotna interakcja genotypowo – środowiskowa. Świadczą o tym zróżnicowane rankingi plonów poszczególnych odmian w badanych środowiskach – punktach doświadczalnych.

Tabela 5

Wartości średnie plonów w dt/ha poszczególnych genotypów w doświadczeniach

Wariant standardowy uprawy (środowiska)								
Odmiana Cultivars	Naroczyce (NAR)	Kobierzyce (KOB)	Zybiszów (ZYB)	Kondratowice (KON)	Krościna (KRO)	Tarnów (TAR)	Tomaszów (TOM)	średnia
Finezja	65,8	93,2	83,7	86,2	82,5	68,6	57,8	76,83
Bogatka	70,6	95,8	94,3	89,9	82,6	74,7	65,2	81,87
Mewa	70,1	92,7	80,9	84,7	76,6	64,2	58,3	75,36
Zyta	72,2	84,5	83,7	80,7	77,6	59,9	57,5	73,73
Kobiera	68,6	86,9	82,2	85,9	75,2	64,4	56,4	74,23
Nadobna	71,1	99,4	85,6	93,6	77,6	77,6	57,9	80,40
Rapsodia	77,2	97,8	103,5	85,6	92,9	80,3	62,8	85,73
Satyna	71,4	90,6	86,2	86,2	78,6	69	56,1	76,87
Smuga	71,4	91,7	79,4	87,3	83,3	70,3	59,7	77,59
Naridana	74,3	92,4	93	87,6	83,9	66,9	62,4	80,07
Cubus	80,9	97	93,4	96,5	83,9	76,4	63,6	84,53
Srednia	72,1	92,9	87,8	87,7	81,3	70,2	59,8	78,83
Wariant intensywny uprawy (środowiska)								
Finezja	79,4	101,1	104,6	92,6	99,7	78	66,0	średnia
Bogatka	77,7	106,1	108,1	96,2	102,8	81,9	75,4	92,60
Mewa	80,2	103,4	96,1	89,5	92,6	69,6	66,1	85,36
Zyta	81,5	92,4	96,6	86,7	94,8	68	65,3	83,61
Kobiera	82,6	99,4	98,7	91,5	96,4	76,3	66,7	87,37
Nadobna	81,4	108,1	105,5	99,9	103,5	87,3	68,8	93,50
Rapsodia	87,4	100,6	114,2	94,3	100,1	84	69,5	92,87
Satyna	88,2	100,6	104,2	95,1	100,4	77,7	69,8	90,86
Smuga	79,2	102,5	95,7	97,5	96,3	78,3	66,3	87,97
Naridana	83,2	105,2	107,8	93,9	97,1	79	71,5	91,10
Cubus	90,3	108,5	106,4	102,6	100,3	86,7	73,9	95,53
Średnia	82,8	102,5	103,4	94,5	98,5	78,8	69,0	89,93

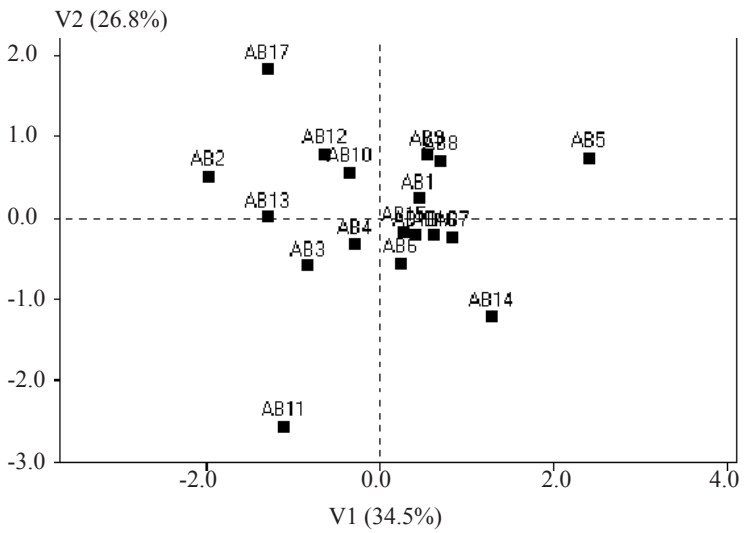
Źródło: Weber i in. 2011 (19).

Rysunek 1 i 2 przedstawia rozmieszczenie środowisk na płaszczyźnie w układzie składowych głównych w latach 1999-2003. Środowisko o wysokim udziale w interakcji genotypowo – środowiskowej odznacza się dużą odległością od początku układu współrzędnych. Plony odmian w tym środowisku – miejscowości różnią się znacznie od średnich plonów uzyskanych w analizowanych latach badań.

Analizując wariant standardowy można stwierdzić, że najbardziej oddalone od początku układu są środowiska AB11; AB5 i AB17 oznaczające miejscowość Krościna. Środowisko to charakteryzuje się średnim plonem odmian znacznie odbiegającym

od plonów genotypów w innych miejscowościach. Znaczne różnice w plonowaniu odmian w Krościnie w porównaniu do pozostałych środowisk wynikają ze zmiennych warunków atmosferycznych panujących w tej miejscowości w okresie badanego trzylecia. Świadczą o tym duże odległości pomiędzy środowiskami AB11; AB5 i AB17. Rysunek 2 przedstawia środowiska w układzie dwu pierwszych składowych głównych dla wariantu intensywnego. Porównując rysunek 1 z rozmieszczeniem środowisk w wariancie intensywnym można stwierdzić większe rozproszenie punktów określających poszczególne miejscowości przy tym systemie uprawy. Wariant intensywny zróżnicował znacznie środowiska charakteryzujące się kompleksem pszennym dobrym w porównaniu do miejscowości o gorszych warunkach glebowych. Jednak duże oddalenie środowisk AB2, AB14 i AB8 (Kobierzyce) oraz AB7 i AB13 (Tarnów) wskazuje, że plony odmian w dużym stopniu uzależnione były od temperatury i opadów w okresie badanych trzech lat.

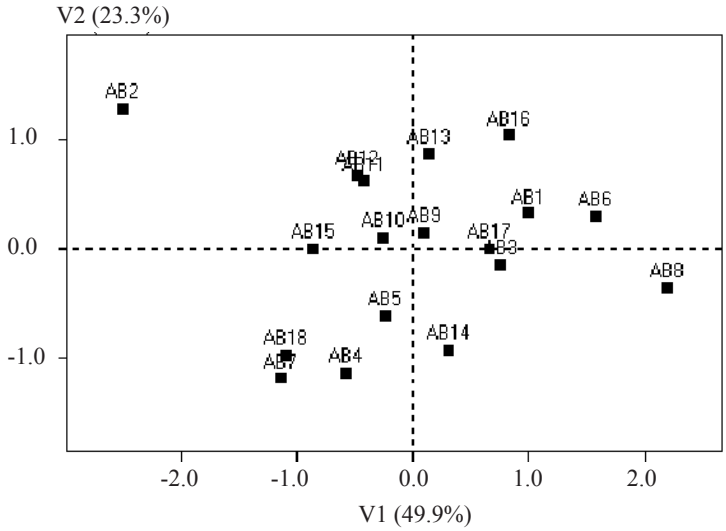
Analizując wariant standardowy w latach 2004 – 2006 (rys. 3) można stwierdzić, że najbardziej oddalone od początku układu są środowiska AB1, AB9 i AB17 oraz AB14 i AB6, oznaczające miejscowości Naroczyce i Laskowice. Środowiska te charakteryzują się średnim plonem odmian znacznie odbiegającym od plonów genotypów w innych miejscowościach. Znaczne różnice w plonowaniu odmian w wymienionych doświadczeniach w porównaniu do pozostałych środowisk wynikają ze zmiennych warunków klimatycznych panujących w tych miejscowościach w okresie badanego trzylecia. Świadczą o tym duże odległości pomiędzy analizowanymi środowiskami w poszczególnych latach (AB1-AB9-AB17 lub AB6-AB14).



Rys. 1. Przedstawienie środowisk (punktów doświadczalnych) w układzie składowych głównych – wariant standardowy

oznaczenia : patrz tab.3

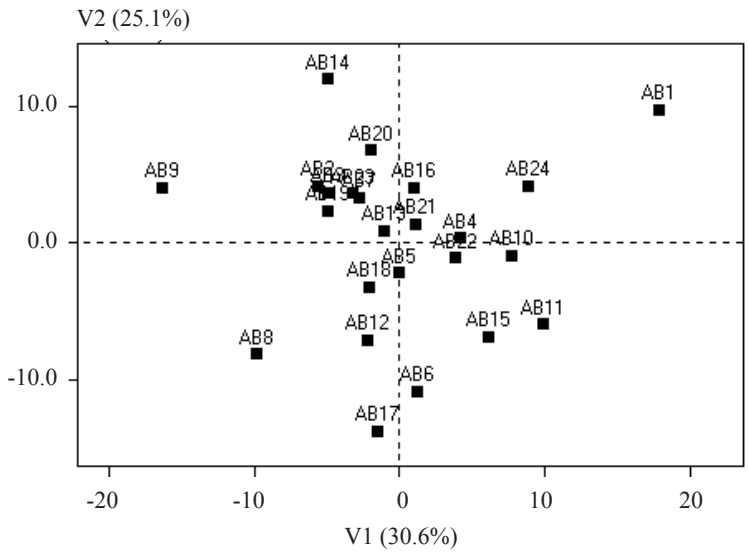
Źródło: Weber i in. 2003 (17).



Rys. 2. Przedstawienie środowisk (punktów doświadczalnych) w układzie składowych głównych – wariant intensywny

oznaczenia : patrz tab.3

Źródło: Weber i in. 2003 (17).

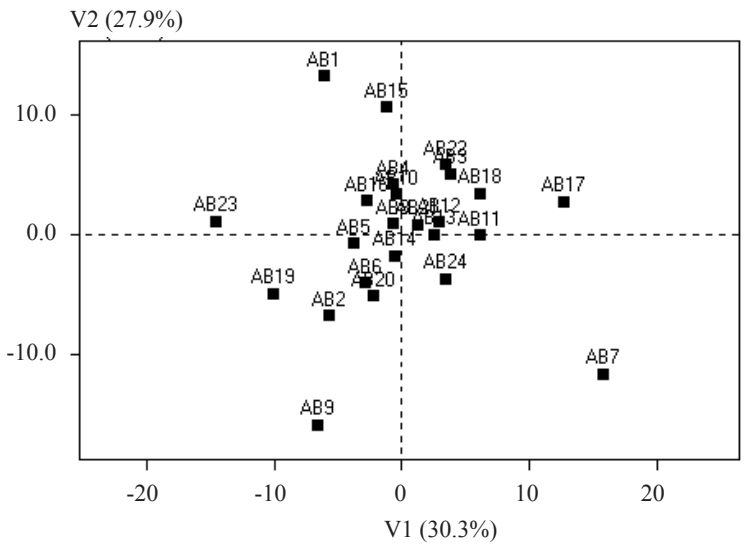


Rys. 3 Przedstawienie środowisk (punktów doświadczalnych) w układzie składowych głównych – wariant standardowy

oznaczenia : patrz tab.4

Źródło: Weber i in. 2003 (18).

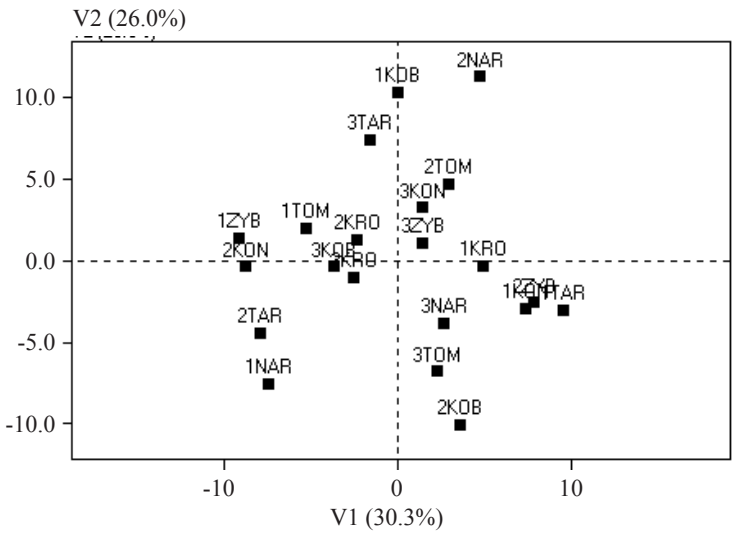
Rysunek 4 przedstawia środowiska w latach 2004 - 2006 w układzie dwu pierwszych składowych głównych dla wariantu intensywnego. Również i w tym wariancie punkty AB1, AB17 i AB9 oznaczające środowisko Naroczyce wykazują znaczne oddalenie od początku układu współrzędnych co wskazuje na znaczne różnice w plonowaniu odmian w porównaniu do pozostałych miejscowości. Środowisko to wykazuje również znaczne różnice w plonowaniu pszenicy w poszczególnych latach badań o czym świadczą znaczne odległości pomiędzy punktami AB1, AB17 i AB9. Porównując rysunek 3 z rozmieszczeniem środowisk w wariancie intensywnym (rys.4) można stwierdzić, że eliminacja z badań tego punktu doświadczalnego może przyczynić się do bardziej efektywnej oceny makrorejonizacji odmian w pozostałych badanych miejscowościach. Wariant intensywny i standardowy zróżnicował znacznie środowiska słabszymi warunkami glebowymi. Duże oddalenie środowisk AB1, AB17 i AB9 (Naroczyce) i AB7, AB15 i AB 23 (Pawłowice) w wariancie intensywnym wskazuje, że plony odmian w większym stopniu uzależnione były od temperatury i opadów w okresie badanych trzech lat szczególnie na glebach lżejszych.



Rys. 4. Przedstawienie środowisk (punktów doświadczalnych) w układzie składowych głównych – wariant intensywny oznaczenia: patrz tab. 4

Źródło: Weber i in. 2003 (18).

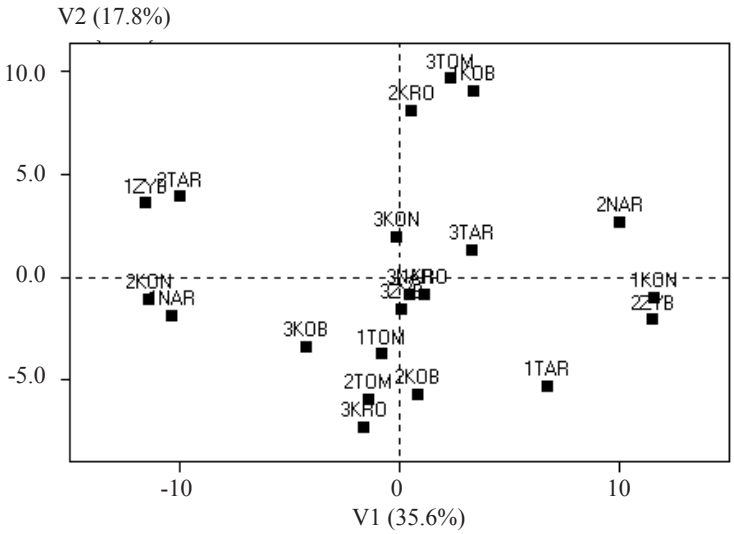
Analizując wariant standardowy w latach 2007 - 2009 (rys. 5) można zauważyć, że najbardziej oddalone od początku układu są środowiska 1NAR i 2NAR jak również punkty 1KOB i 2KOB oznaczające miejscowości Naroczyce i Kobierzyce w 2007 i 2008 roku. W środowiskach tych średni plon analizowanych odmian znacznie odbiegał od plonów genotypów w innych miejscowościach. Na rysunku 6 przedstawiono środowiska w latach 2007 - 2009 w układzie dwóch pierwszych składowych głównych dla wariantu intensywnego. Również i w tym wariancie uprawy punkty 1NAR i 2NAR określające środowisko Naroczyce w latach 2007 i 2008 oraz punkty 1KON i 2KON oraz 1ZYB i 2ZYB oznaczające miejscowości Kondratowice i Zbiszów (w tych samych latach) wykazują znaczne oddalenie od początku układu współrzędnych. Wskazuje to na istotne różnice plonowania odmian w tych środowiskach w porównaniu do pozostałych miejscowości na Dolnym Śląsku.



Rys. 5 Przedstawienie środowisk (punktów doświadczalnych) w układzie składowych głównych – wariant standardowy

oznaczenia : patrz tab. 5

Źródło: Weber i in. 2011 (19).



Rys. 6 Przedstawienie środowisk (punktów doświadczalnych) w układzie składowych głównych – wariant intensywny

oznaczenia: patrz tab. 5

Źródło: Weber i in. 2011 (19).

Podsumowanie

Wieloletnie badania na obszarze Anglii jak również w doświadczenia Porejestrowego Doświadczalnictwa odmianowego (PDO) w Polsce wykazały, że w praktyce rolniczej potencjalna efektywność plonowania związana z doborem odmian nie jest w pełni wykorzystywana przez rolników (6). Analizując zmienność plonowania pszenicy ozimej w latach 1999 – 2009 można stwierdzić, że wzrost plonów tego gatunku był w znacznej części spowodowany postępem w hodowli nowych odmian. Zróżnicowane warunki środowiskowe w każdym roku badań przyczyniły się znacznej wartości interakcji genotypowo – środowiskowej i zmiennych plonów odmian w badanych punktach doświadczalnych. W latach 1999 – 2003 istotnie innym uszeregowaniem plonów odmian od średnich wartości regionu odznaczały się miejscowości Tarnów, Kobierzyce i Krościna. Natomiast w okresie 2004 – 2006 miejscowości Naroczyce i Laskowice przyczyniły się do istotnej wartości interakcji genotypowo – środowiskowej. Plony odmian w analizowanym okresie w tych miejscowościach znacznie odbiegały od średnich wartości na Dolnym Śląsku. Natomiast w latach 2007 – 2011 plonowanie odmian pszenicy w miejscowościach Naroczyce i Kobierzyce w wariancie standardowym oraz Kondratowice i Zybiszów w wariancie intensywnym różniło się znacznie od średnich plonów badanych odmian na obszarze Dolnego Śląska.

Na podstawie przeprowadzonej syntezy wielolecia nie można wydzielić punktów doświadczalnych tworzących mikrorejony odznaczających się odmiennym zróżnicowaniem plonów odmian w porównaniu do średnich plonów odmian na obszarze Dolnego Śląska. Zróżnicowana reakcja odmian pod względem plonowania na analizowane środowiska (miejscowości) była spowodowana w głównej mierze istotnymi różnicami rozkładu opadów i wysokości temperatur w poszczególnych latach badań.

Literatura

1. Annicchiarico P., Russi L., Piano E., Veronesi F.: Cultivar adaptation across Italian locations in four turf grass species. Crop Sci. 2006, **46:** 264-272.
2. Brancourt-Hulmel M., Heurez E., Pluchard P., Beghin D., Depaturea ux C., Giraud A., Le Gouis J.: Indirect versus direct selection of winter wheat for low-input or high-input levels. Crop Sci. 2005, **45:** 1427-1431.
3. Caliński T., Czajka S., Kaczmarek Z. A.: model for the analysis of series of experiments repeated at several places over a period of years. I. Theory. Biul. Oceny Odm., 1987, **10:** 7-33.
4. Domitruk D. R., Duggan B. L., Fowler D. B.: Genotype-environment interaction of no-till Winter wheat in Western Canada. Can. J. Plant Sci. 2001, **81:** 7-16.
5. Dubas B., Szmpliński W., Borysewicz J. Wpływ nawożenia azotem na plon i jakość pastewną ziarna dwu odmian pszenicy ozimej. Pam. Puł. 2004, **135:** 55-65.
6. Foulkes M. J., Sylwester-Bradley R., Scott R. K.: Evidence for differences between winter wheat cultivars in acquisition of soil mineral nitrogen and uptake and utilization of applied fertilizer nitrogen. J. Agricultural Sci. 1998, **130:** 29-44.
7. Harasim A.: Technologia jako czynnik kształtujący wykorzystanie potencjału produkcyjnego rolnictwa. Pam. Puł., 2003, **132:** 87-104.
8. Iwańska M., Mądry W., Drzazga T., Rajfura A.: Zastosowanie miar statystycznych do oceny stopnia szerokiej adaptacji odmian pszenicy ozimej na podstawie serii doświadczeń przedrejestrowych. Biuletyn IHAR 2008, **250:** 67-86.
9. Jankowski P., Zieliński A., Mądry W.: Analiza interakcji genotyp-środowisko dla pszenicy ozimej z wykorzystaniem metody graficznej biplot typu GGE część I Metodyka. Biuletyn IHAR 2006, **240/241:** 51-60.
10. Jaśkiewicz B.: Produkcja zbóż jako kryterium wykorzystania potencjału produkcyjnego rolnictwa w regionach Polski. Pam. Puł. 2003, **132:** 127-139.
11. Klepacki B.: Ocena technologii produkcji roślinnej w gospodarstwach położonych na glebach lekkich . Rocz. Nauk Rol. 1994, **86**, **3:** 39-49.
12. Mittler S.: Ökovariabilität von Winterweizen unter Standortbedingungen Nordostdeutschlands. Dissertation Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät der Humbolt-Universitat zu Berlin, 2000, 1-155.
13. Navabi A., Yang R. C., Helm J., Spaner D. M.: Can spring wheat – growing megaenvironments in the Northern Great Plants be dissected for representative locations or niche-adapted genotypes ?. Crop Sci. 2006, **46:** 1107-1116.
14. Podolska G. Ocena ekonomiczna i jakościowa uprawy pszenicy ozimej przy różnym poziomie nawożenia azotem. Pam. Puł. 2005, **139:** 175-188.
15. Sieling K., Schröder H., Finck M., Hanus H. Yield, N uptake and apparent N-use efficiency of winter wheat and winter barley grown in different cropping systems. J. Agricul. Scien. Cambridge, 1998, **131:** 375-387.
16. Stankowski S., Rutkowska A.: kształtowanie się cech jakościowych ziarna i maki pszenicy ozimej w zależności od dawki i terminu nawożenia azotem. Acta Sci. Pol. Agricultura 2006, **5(1):** 53-61.

17. W e b e r R., Z a l e w s k i D. K o t o w i c z L.: Stabilność plonowania wybranych odmian pszenicy ozimej na Dolnym Śląsku Biuletyn IHAR 2003 , **226/227:** 115 – 126.
18. W e b e r R., Z a l e w s k i D., K o t e c k i A., K a c z m a r e k J.: Ocena przydatności punktów doświadczalnych do prowadzenia PDO na Dolnym Śląsku Biuletyn IHAR 2007, **245:** 5 – 16.
19. W e b e r R., Z a l e w s k i D., B u j a k H., K a c z m a r e k J., Ś m i a ł e k E.: Interakcja odmian pszenicy ozimej z warunkami środowiska w kształtowaniu poziomu plonowania na podstawie wyników PDO na Dolnym Śląsku. Annales UMCS sec.E .2011, **LXVI(2):** 1-10.
20. W e b e r R., B u j a k H., K a c z m a r e k J., G a c e k E.: Plonowanie odmian pszenicy ozimej w Polsce południowo-zachodniej. Biuletyn IHAR 2011, **260/261:** 121-134.
21. W e i k a i Y., H u n t L. A.: Interpretation of genotype x environment interaction for Winter wheat yield in Ontario. Crop Science 2001, **41:** 19-25.

Adres do korespondencji:

dr hab. Ryszard Weber
IUNG-PIB
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli
Orzechowa 61
50-540 Wrocław
tel.: 71 363 87 07 w. 113
e-mail: r.weber@iung.wroclaw.pl

S T U D I A I R A P O R T Y IUNG-PIB

ZESZYT 36(10): 121-135 **2014**

Andrzej Biskupski, Tomasz R. Sekutowski, Stanisław Włodek

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy w Puławach

GOSPODARCZE I EKOLOGICZNE ZNACZENIE MIĘDZYPLONÓW W PRODUKCJI ROŚLINNEJ*

Słowa kluczowe: międzyplony, produkcja roślinna, biomasa, erozja, fitosanitarne rośliny, mulcz, podeszwa płużna

Wprowadzenie

Od momentu wejścia Polski do Unii Europejskiej (1.05.2004) bardzo dużo uwagi poświęca się międzyplonom, ich znaczeniu w produkcji roślinnej i zwierzęcej. Szczególnie brana jest pod uwagę funkcja regenerująca gatunków z rodziny motylkowatych (C h r i s t i a n i in. 1992). Według danych G U S (8, 9) udział roślin motylkowatych spadł do niespotykanego w powojennej historii naszego kraju poziomu zaledwie 2%, a strączkowych nawet 1%. Aktualnie uprawia się około 35 tys. ha strączkowych jadalnych i ponad 100 tys. ha strączkowych pastewnych (9). W Unii dużą uwagę przywiązuje się do roślin motylkowych, ze względu na ich zalety środowiskowe w walce ze zmianą klimatu, a także na rzecz wzmocnienia różnorodności biologicznej oraz ochrony wody i gleby. Średni udział roślin motylkowych w Unii to około 3%.
Powierzchnia zasiewów roślin uprawnych ogółem w Polsce wynosi – 10 279 000 ha.
- zboża ogółem – 7 460 012 ha
- motylkowych pastewnych na zielonkę – 101 072 ha
- strączkowych pastewnych ogółem – 106 915 ha
- strączkowych pastewnych na zielonkę – 21 366 ha

Międzyplon, dawniej poplon – roślina uprawiana między dwoma plonami głównymi na zbiór zielonej masy, na zielonkę, siano, kiszonkę lub na przyoranie jako zielony nawóz. Ich uprawa ma duże znaczenie nie tylko dla produkcji paszy, ale również powoduje zwiększanie biologicznej aktywności i żyzności gleby, działanie strukturotwórcze roślin i wzbogacanie gleby w azot (rośliny motylkowe); (24).

*Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.6 programu wieloletniego IUNG-PIB

W zależności od terminu siewu wyróżnia się:

- międzyplon ścierniskowy – wysiewany w drugiej połowie lata po zbiorze wczesnego plonu głównego, a użytkowany jesienią tego samego roku na paszę (np. rzepa ścierniskowa) lub przyorany na zielony nawóz (np. facelia, gorczyca biała, peluszka); w uprawie konserwującej zostawia się go do wiosny. W powstały mulcz z obumarłych roślin wsiewa się rośliny jare;
- międzyplon ozimy – wysiewany jesienią po zbiorze plonu głównego, a zbierany wiosną następnego roku, np. żyto, rzepak ozimy, wyka; stanowi źródło wczesnej paszy zielonej; rośliną następczą jest plon wtóry;
- wsiewka śródplonowa – siana wiosną jednocześnie z plonem głównym lub w czasie jego wegetacji i pozostająca po jego zbiorze do jesieni tego samego roku, np. seradela wsiana w żyto; powinna być to roślina dobrze znosząca zacienienie w pierwszym okresie wzrostu po wschodach i szybko rosnąca po odsłonięciu.

Znaczenie międzyplonów

Nie ulega wątpliwości, że wzrost produkcji roślinnej, związany jest z koniecznością utrzymania lub podnoszenia żyzności gleby (25). Wyraźny spadek w pogłowiu zwierząt gospodarskich doprowadziły do znacznego deficytu najcenniejszego z nawozów jakim jest obornik. Nagminne stosowanie płodozmianów zbożowych przyczynia się do naruszenia bilansu próchnicy, a tym samym obniżenia produktywności gleby, co w konsekwencji może doprowadzić do spadku plonów. Częste uprawianie roślin zbożowych po sobie, skracanie płodozmianów, uproszczenia w produkcji roślinnej mogą powodować obniżenie zawartości substancji organicznej w glebie, a odbudowa tej substancji to proces długotrwały i czasami nie w pełni odwracalny. Dlatego coraz częściej w ostatnich latach próbuje się obornik zastąpić słomą, czy nawozami zielonymi pochodzącymi z uprawy międzyplonów, zwłaszcza ścierniskowych (10, 15, 27, 30). Zastosowanie międzyplonów ma wielorakie znaczenie.

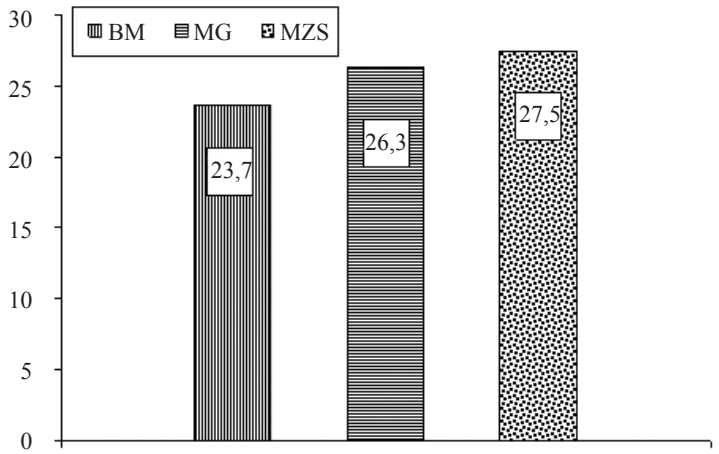
Międzyplony wnoszą do gleby dużą ilość materii organicznej, w postaci resztek pożniwnych lub przyorywanej w całości masy roślinnej, poprawiając strukturę gleby oraz warunki powietrzno-wodne (13); (fot. 1, 2). Pozostawienie w glebie dużych ilości resztek roślinnych wpływa na utrzymanie, a w pewnych warunkach na zwiększenie żyzności gleby. Fakt ten ma największe znaczenie w tych gospodarstwach, w których prowadzi się gospodarkę bezobornikową. Międzyplony wpływają na wzrost zawartości składników pokarmowych oraz poprawiają takie właściwości gleby, jak: jej struktura, zdolność magazynowania wody i szybkość nagrzewania się. Potwierdzeniem tej tezy mogą być późniejsze badania przeprowadzone przez Wojciechowskiego (27), z których wynika, że dzięki zastosowaniu różnych międzyplonów może wzrastać wilgotność gleby w warstwie 5-10 cm (rys. 1). Międzyplony poprawiają strukturę gleby oraz warunki powietrzno-wodne (polepszają strukturę gruzełkowatą gleby oraz

umożliwiają dopływ powietrza i wody do głębszych warstw gleby); (7); (fot. 3). Ograniczają potrzebę nawożenia innymi nawozami organicznymi i mineralnymi, gdyż wnoszą do gleby duże ilości podstawowych makroelementów (19). Zdaniem W o j c i e c h o w s k i e g o (27), wartość nawozowa międzyplonów wynika w znacznej części z zastosowanej rośliny międzyplonowej oraz produkowanej przez nią biomasy, a szczególnie z zawartości makroskładników, tj. azotu, fosforu i potasu, które są wnoszone do gleby (rys. 2). Międzyplony niejako pośrednio wpływają również na obniżenie kosztów paliwa, nasion i pracy własnej, które producent poniósł na wykonanie zasiewów międzyplonów. Wynika to stąd, że po wprowadzaniu biologicznych makroelementów (wraz z biomasą roślinną), rolnik może ograniczyć lub nawet całkowicie zaniechać nawożenia makroelementami pochodzenia mineralnego (27). Zwarty porost roślin międzyplonu pobiera z głębszych warstw gleby wypłukiwane przez wodę potas, fosfor i wapń (27); (fot. 4).

Fot. 1. Przemarznięta gorczyca wiosną
(fot. L. Zimny)

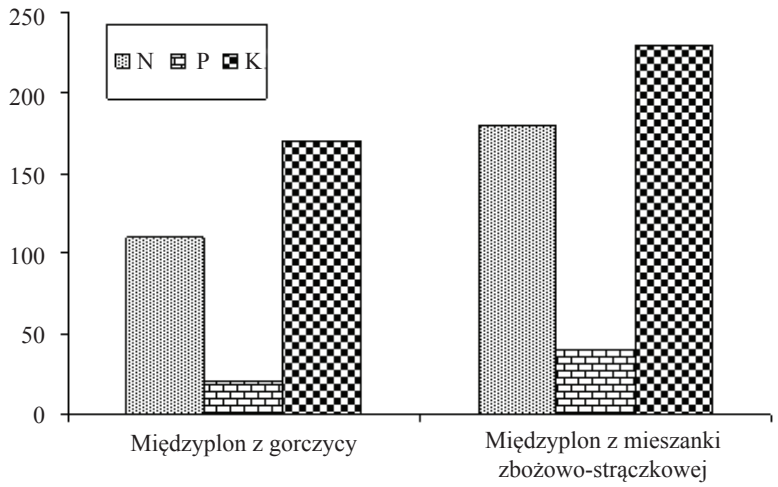
Fot. 2. Mulcz z gorczycy na wiosnę
(fot. L. Zimny)

Fot. 3, 4. System korzeniowy gorczycy
(Fot. Sudzucker.de)



BM – bez międzyplonu
MG – międzyplon z gorczycy,
MZS – międzyplon z mieszanki zbożowo-strączkowej

Rys. 1. Wilgotność gleby w $cm^3 \cdot 100\ cm^{-3}$ w warstwie 5-10 cm (średnia z lat 2003-2005)
Źródło: Wojciechowski 2009 (27), zmienione przez Autorów.



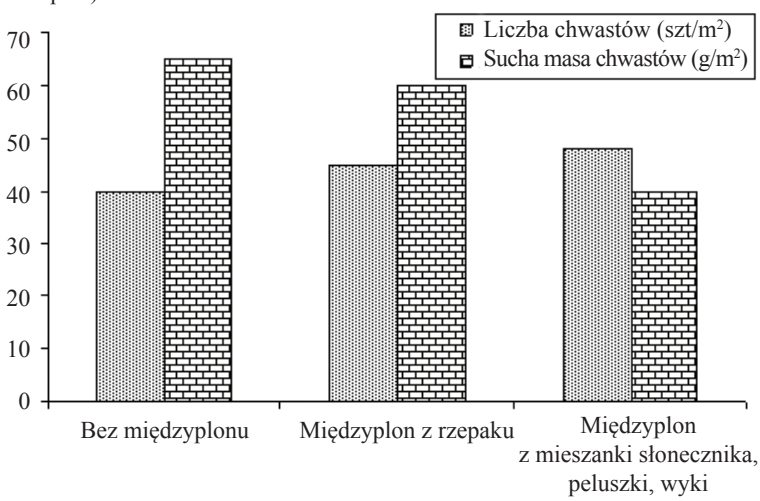
Rys. 2. Masa makroskładników ($kg \cdot ha^{-1}$) wprowadzonych go gleby wraz z różnymi międzyplonami (średnia z lat 2002-2004)
Źródło: Wojciechowski 2009 (27), zmienione przez Autorów.

Międzyplony mogą ograniczać kiełkowanie i wzrost chwastów; czyli mogą zmniejszać niebezpieczeństwo ekspansji różnych gatunków chwastów (4, 14); (fot. 5). Z badań przeprowadzonych przez W o j c i e c h o w s k i e g o (27), wynika, że zastosowanie międzyplonów ścierniskowych z gorczycy i rzodkwi

oleistej, spowodowało zmniejszenie 3-4 krotnie liczebność i 4-6 krotnie powietrznie suchej masy chwastów występujących w zbożach. Autor ten, stosując pod uprawę pszenicy w monokulturze, międzyplony ścierniskowe z rzepaku, stwierdził spadek zachwaszczenia o 28%. Ponadto międzyplony ścierniskowe, niezależnie od typu płodozmianu, ograniczyły w pszenicy ozimej liczbę chwastów o 21,1% oraz ich powietrznie suchą masę o 45,1%. Najbardziej ograniczone zostało zachwaszczenie w płodozmianach z 50% udziałem zbóż, a najsłabiej w płodozmianach z całkowitym wysyceniem zbożami. Zbliżone rezultaty uzyskała P a r y l a k (18), która również zauważyła pewną tendencję ograniczania suchej masy chwastów w łanie pszenżyta ozimego uprawianego w monokulturze, poprzez wprowadzenie międzyplonów ścierniskowych z wykorzystaniem następujących roślin: rzepaku ozimego oraz z mieszanki słonecznika, peluszki i wyki ozimej (rys. 3). Natomiast innego zdania są W i l c z e w s k i i in. (26), którzy dowodzą, że zastosowane w badaniu rośliny motylkowate, tj. seradela, groch siewny i łubin żółty, uprawiane w międzyplonie ścierniskowym nie wpłynęły istotnie na liczbę chwastów w pszenicy jarej (rys. 4).

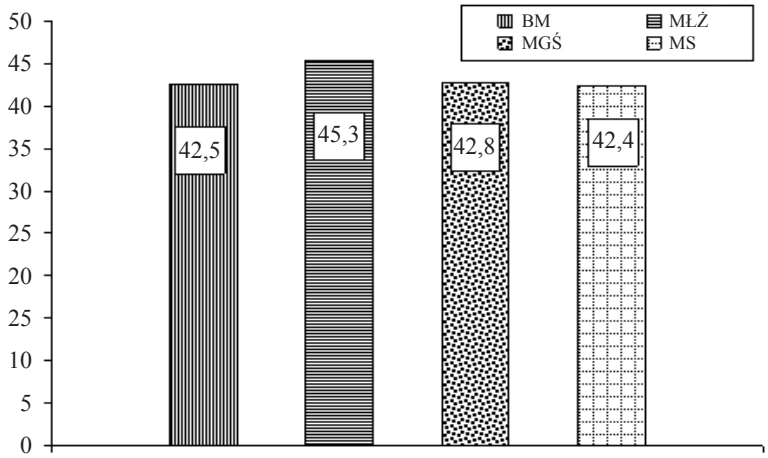
Fot. 5. Zwarty międzyplon gorczycy i łubinu

(Fot. A. Biskupski)



Rys. 3. Wpływ różnych międzyplonów na zachwaszczenie pszenżyta ozimego (średnia z lat 1992-1994)

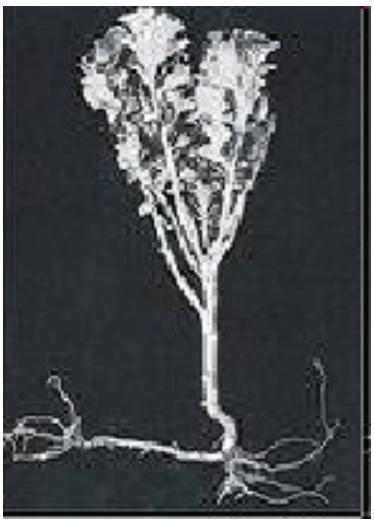
Źródło: Parylak 1998 (18), zmienione przez Autorów.

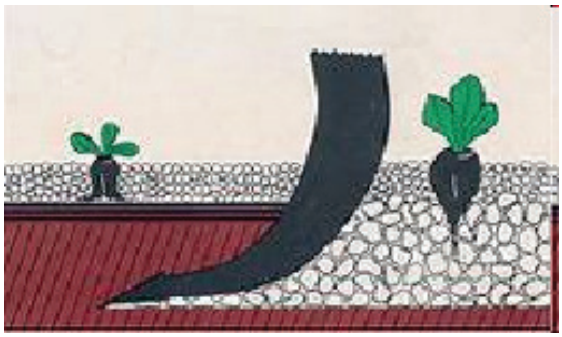


BM – bez międzyplonu
MŁŻ – międzyplon z łubinu żółtego
MGŚ – międzyplon z grochu siewnego
MS – międzyplon z seradeli

Rys. 4. Zachwaszczenie pszenicy jarej – liczba chwastów w szt.·m^{-2} (średnia z lat 2003-2005)
Źródło: Wilczewski i in. 2007 (26), zmienione przez Autorów.

Międzyplony niszczą tak zwaną podeszwę płużną (fot. 6, 7). Najkorzystniejszym dla środowiska glebowego jest wysiew gorczycy mątwikobójczej „naturalnego głębosza", która przy pozostawieniu do wiosny pozwala na wykonanie siewu w mulcz (22). Międzyplony poprawiają właściwości fitosanitarne gleb (13); (fot. 8, 9, 10). Rośliny zbożowe uprawiane po międzyplonach roślin motylkowatych i kapustowatych są w mniejszym stopniu porażane przez choroby i szkodniki w roku następnym. W wyniku uprawy międzyplonów ścierniskowych może nastąpić ograniczenie chorób podsuszkowych zbóż. Zastosowanie międzyplonu ścierniskowego z roślin strączkowych, facelii, gorczycy czy rzepaku, podwyższało zdrowotność roślin pszenicy ozimej o 7,0 %, a jęczmienia jarego o 7,4%. Niedawno pojawił się na rynku nasiennym szeroki wybór odmian gorczycy i rzodkwi oleistej o właściwościach biologicznego zwalczania populacji mątwika burakowego. Wydzieliny korzeniowe produkowane przez odmiany tych roślin wpływają na zachwianie równowagi płciowej nicieni. Większa część populacji mątwika żerująca na plantacji obsianej takimi odmianami przeobraża się w osobniki męskie, co w dużym stopniu wpływa na ograniczenie rozmnażania. W sprzyjających warunkach populacja nicieni może zostać zmniejszona o 40–50%. Na rynku nasiennym znajdują się trzy odmiany gorczycy białej o takim działaniu: Metex, Sirola i Bardena, które wykazują działanie mątwikostabilne (24).





Fot. 6, 7. Wpływ podeszwy płużnej na korzenienie się roślin.
(Fot. L. Zimny)

Fot. 8. Choroby podsuszkowe
(Fot. C. Janczak)

Fot. 9. Mątwik ziemniaczany
(Fot. Bayer)

Fot. 10. Mątwik burakowy

(Fot. C. Janczak)

Międzyplony zapobiegają erozji wietrznej i wodnej (11, 27); (fot. 11, 12, 13). Poza bezpośrednimi korzyściami, uprawa międzyplonów ma za zadanie sprzyjać ochronie środowiska rolniczego. Intensyfikacja produkcji rolniczej prowadzi w efekcie do wzrostu zanieczyszczenia gleb i wód, zachwiania równowagi przyrodniczej, a w efekcie do pogorszenia jakości płodów rolnych. Uprawa międzyplonów ma znaczenie przeciwerozyjne, a ponadto w sposób pośredni może ograniczać spływ biogenów do wód powierzchniowych i gruntowych. Ten sposób uprawy jest wspierany poprzez dopłaty w ramach pakietu Ochrona gleb i wód pochodzącego z PROW - „Wspieranie przedsięwzięć rolnośrodowiskowych i poprawa dobrostanu zwierząt". Uprawa międzyplonów nie tylko wzbogaca glebę, ale także zwiększa dochody gospodarstwa poprzez korzystanie z programów unijnych dofinansowujących działania pakietów rolnośrodowiskowych (6).

Wymagania międzyplonów

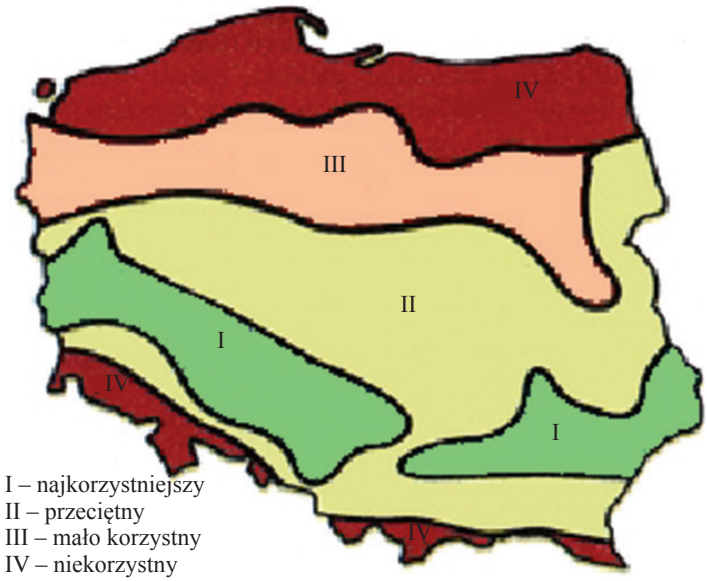
O powodzeniu uprawy międzyplonu ścierniskowego decyduje przede wszystkim długość okresu wegetacyjnego oraz ilość i rozkład opadów i temperatur. Uwzględniając te czynniki wydzielono na terenie kraju 4 rejony uprawy międzyplonów ścierniskowych (11); (rys. 5). W rejonie I – najkorzystniejszym, (południowy pas Polski: Lublin – Kraków – Wrocław – Zielona Góra) można uzyskać wysokie i mało zawodne plony zielonej masy. W rejonie II (południowa część centralnej Polski) plony zielonki są już niższe i zawodniejsze; w rejonie III (północna część centralnej Polski) występują duże wahania w plonowaniu międzyplonów, a w lata suche często nie udają się. Rejon IV (województwa północne i podgórze) najmniej nadają się do uprawy międzyplonów z powodu opóźnionych żniw i wcześnie występujących przymrozków.

Fot. 11, 12. Erozja wodna

(Fot. A. Biskupski)

Fot. 13. Erozja wietrzna

(Fot. TG Construction)



Rys. 5. Rejony uprawy międzyplonów ścierniskowych
(wg. A. Jelinowska, S. Jelinowski, Sypniewski); (za G. Hołubowicz-Kliza).

Aby uzyskać dobre efekty w uprawie międzyplonów muszą być spełnione następujące warunki:

- właściwy dobór roślin – dobór gatunków i odmian dostosowanych do poszczególnych rodzajów międzyplonów i warunków ekologicznych. Szczególnie istotna w przypadku wszystkich rodzajów międzyplonów jest długość okresu wegetacji uprawianych roślin oraz stopień ich tolerancji na niedobór wody i niskie temperatury. Dobór roślin: międzyplony ozime: -zboża (żyto oz., pszenica oz.); -motylkowe (wyka, koniczyna – inkarnatka); - rośliny oleiste (rzepik, rzepak). Międzyplony ścierniskowe: groch pastewny, łubin żółty i wąskolistny, wyka, bobik, seradela, słonecznik,, rzepak ozimy i jary, gorczyca, facelia, kapusta pastewna. Wsiewki śródplonowe: koniczyna czerwona, seradela, marchew pastewna;
- dobór stanowiska – jest uzależniony od międzyplonu. Międzyplony ozime: miejsce w zmianowaniu dla gatunków roślin uprawianych w międzyplonie jest takie samo jak w uprawie w plonie głównym. Żyto w niewielkim stopniu reaguje na przedplon, podczas gdy motylkowe i krzyżowe wymagają odpowiedniej przerwy w zmianowaniu. Międzyplony ścierniskowe: jakość gleby ma mniejsze znaczenie. Rośliny międzyplonowe należy wysiewać po zbożach wcześnie schodzących z pola (jęczmień oz., żyto, jęczmień j.). Wsiewki śródplonowe: na rozwój i plonowanie wsiewek duży wpływ ma temperatura i retencja wodna dlatego najlepiej udają się na glebach średnich. Bardzo ważnym czynnikiem jest stopień zachwaszczenia pola;
- pielęgnacja. Międzyplony nie wymagają szczególnej pielęgnacji. Jedynie

w przypadku pojawienia się skorupy glebowej (np. po silnych opadach) przed wschodami roślin należy zniszczyć ją lekkimi bronami.

- uprawa roli. Nie tylko warunki pogodowe, czy dobór roślin decyduje o urodzajności międzyplonów ścierniskowych. Duże znaczenie wydaje się mieć uprawa roli pod te rośliny. Pomimo szeregu badań nie można wskazać jednego konkretnego modelu uprawowego.

M a l i c k i (16) oraz M a l i c k i i K o l a s a (za M a l i c k i m, 16) wykazali istotne różnice jedynie w roku suchym pomiędzy podorywką (7 cm) i orką siewną (20 cm) pod względem ich wpływu na poziom plonów zielonej masy międzyplonów ścierniskowych. Orka siewna wydobywała wilgotniejsze warstwy gleby i stwarzała lepsze warunki kiełkowania nasion, dzięki czemu było większe zagęszczenie roślin, a w efekcie wyższe plony zielonej masy. W latach o większej ilości opadów różnice pomiędzy orką i podorywką zacierały się. Z kolei B a t a l i n (1) oraz J e l i n o w s k a, J e l i n o w s k i i S y p n i e w s k i (za W o j c i e c h o w s k i m, 21) uzależniają głębokość orki siewnej pod międzyplony od warunków glebowych, zalecając na glebach lżejszych orkę płytszą (10-12 cm) a na zwięźlejszych głębszą (ok. 18 cm). K o s (za W o j c i e c h o w s k i m, 21) opowiada się za orką głębszą (15 cm), gdyż przy tej orce plon powietrznie suchej masy międzyplonów (rzepak, słonecznik i bobik) był większy o 8,4 % w stosunku do uzyskanego po podorywce (10 cm) i aż o 41,3 % w siewie bezorkowym.

W o j c i e c h o w s k i (27) udowodnił, że najmniej korzystną uprawą pod rzepak międzyplonowy, okazało się talerzowanie, po którym uzyskano plon świeżej masy o 15,4 % niższy niż po orce wykonanej na głębokość 12 cm i o 16,9 % po orce średniej (20 cm). Należy jednak zaznaczyć, że w lata o suchym okresie wegetacji międzyplonów, plony rzepaku międzyplonowego uzyskane po talerzowaniu i po orkach (niezależnie od głębokości) nie wykazały istotnego zróżnicowania. Część wyników badań dowodzi natomiast, że zadawalające efekty uzyskać można przy płytszej uprawie gleby. G r e g o r o v a (za W o j c i e c h o w s k i m, 27) zaleca uprawę międzyplonów ścierniskowych z rodziny krzyżowych po orce na głębokość 10-12 cm, podobnie jak N o v a č e k (za W o j c i e c h o w s k i m, 27).

R a d o m s k a (20) czy Z i e l i ń s k i i Z i e l i ń s k a (28) twierdzą, że wystarczające przygotowanie roli pod zasiew międzyplonów można uzyskać przy użyciu glebogryzarki lub talerzówki. D a n č i k (za W o j c i e c h o w s k i m, 27) widzi możliwość zastosowania przy uprawie międzyplonów siewu bezpośredniego, chociaż może to pociągnąć za sobą niewielki spadek plonów i wzrost zachwaszczenia. Na takie uproszczenia nie zgadza się B o c h n i a r z (2) twierdząc, że lepsza jest orka płytka (10 cm) niż każda inna uprawka powierzchniowa w tym talerzowanie czy glebogryzarka. Natomiast M a l i c k i i i n. (17) twierdzą, że plony zielonej masy międzyplonów ścierniskowych zależą tylko od doboru rośliny międzyplonowej i warunków sezonowych, a sama uprawa roli nie różnicuje ich.

W Polsce najczęściej uprawianą rośliną w poplonach ścierniskowych jest gorczyca, głównie ze względu na niski koszt nasion. Do popularnych przedplonów ścierniskowych zalicza się również łubin, który głęboko spulchnia i penetruje glebę. W Stacji Doświadczalnej IUNG-PIB w Jelczu - Laskowicach na glebie kompleksu żytniego dobrego, prowadzono badania nad wpływem międzyplonów i różnych systemów uprawy roli na plonowanie kukurydzy jako rośliny następczej. Przedplonem pod poplony ścierniskowe była pszenica ozima (tab. 1). Stwierdzono znaczne zróżnicowanie plonowania kukurydzy w zależności od zastosowanych międzyplonów oraz systemów uprawowych. Średni plon kukurydzy był najwyższy na uprawie tradycyjnej. Na dwóch pozostałych uprawach plon był wprawdzie niższy, jednak zaznaczyło się tu korzystne oddziaływanie poplonów z gorczycy oraz łubinu dające znacznie wyższe plony kukurydzy niż na kontroli. Dla wszystkich trzech upraw najlepszy okazał się poplon z gorczycy.

Tabela 1

Plon ziarna kukurydzy (dt/ha) w zależności od międzyplonu i sposobu uprawy roli.

	Uprawa tradycyjna	Uprawa uproszczona	Siew bezpośredni	Średnia
Kontrola	74,8	68,2	70,9	71,3
Łubin	80,1	69,6	72,6	74,1
Gorczyca	87,1	80,7	79,7	82,5
Średnia	80,7	72,8	74,4	-

Źródło: badania własne.

Generalnie można więc potwierdzić opinie wielu autorów o korzystnym oddziaływaniu poplonów ścierniskowych, a zwłaszcza gorczycy na plony roślin następczych. Stosowanie uproszczeń w uprawie i siew poplonów również przynosi pozytywne efekty. Jest to bardzo ważne ponieważ dzięki uproszczeniom uprawowym oszczędzamy na robociznie i paliwie, czyli zmniejszamy nakłady na uprawę.

Podsumowanie

Zmiany systemowe rolnictwa w ostatnich latach, polegające między innymi na dużej specjalizacji czy uproszczeniach, doprowadziły do znacznego deficytu najcenniejszego z nawozów – obornika. Jednocześnie wzrost intensyfikacji produkcji roślinnej przyśpiesza mineralizację masy organicznej. Prowadzi to do naruszenia bilansu próchnicy, a tym samym obniżenia produktywności gleby.

Stosowanie międzyplonów wiąże się nie tylko z podniesieniem produktywności gleb, ale wpływa również na jakość i ilość uzyskanego plonu roślin następczych, czy ochroną środowiska rolniczego. Nie bez znaczenia jest fakt zwiększenia dochodów gospodarstwa poprzez korzystanie z programów unijnych dofinansowujących uprawę międzyplonów.

Ważniejsze pozostałe definicje

Biomasa – masa materii zawarta w organizmach. Wyrażana jest w postaci świeżej masy (organizmów żywych lub naturalna masa organizmów żywych) oraz suchej masy (masa organizmów żywych po wysuszeniu lub odparowaniu wody). Biomasa wyrażana jest w jednostkach wagowych (np. gram lub kilogram) a także w przeliczeniu na węgiel organiczny lub w jednostkach energii (kaloria, dżul); (23).

Erozja (od łac. *Erosio* = żłobienie) to w szerokim znaczeniu – niszczenie wierzchniej warstwy gleby, polegające na dezintegracji jej struktury i mechanicznym przemieszczaniu cząstek glebowych pod wpływem działania sil wody (erozja wodna) lub wiatru (erozja wietrzna); (12).

Erozja wodna gleb związana jest ze zmywaniem przez wodę cząstek gleby z terenów pochyłych, czemu towarzyszy powstawanie osadów deluwialnych i aluwialnych w miejscach położonych niżej (12).

Erozja wietrzna gleb polega na unoszeniu cząstek gleby przez wiatr i deponowaniu ich w odległych miejscach. Intensywna erozja wietrzna zachodzi w warunkach silnych wiatrów, z procesem umiarkowanym mamy do czynienia przy prędkości wiatru przekraczającej 10 m/s (12).

Fitosanitarne rośliny – poprawiają stan sanitarny środowiska glebowego, głównie poprzez specyficzne oddziaływanie ich wydzielin korzeniowych. Wpływają na tempo rozwoju fauny i flory glebowej. Ograniczają liczebność czynników chorobotwórczych i szkodników, a stymulują rozwój pożytecznej mikroflory. Powyższe mechanizmy znacznie poprawiają żyzność gleby, stwarzając warunki do uzyskania dużych plonów (21).

Mulcz – pokrywa ochronna gleby, umieszczana na jej powierzchni głównie w celu zniwelowania niekorzystnych oddziaływań czynników siedliskowych. Jako mulczu używa się różnorodnej materii organicznej i nieorganicznej (25).

Podeszwa płużna – górną część warstwy podornej (podskibia) nadmiernie zagęszczonej wskutek uprawy roli przez wiele lat na tą samą głębokość, (spowodowana płozami pługów lub innymi narzędziami) (29).

Wybrane adresy ważniejszych stron internetowych - alfabetycznie (A. Biskupski)

Nazwa	Adres
Agencja Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa (ARiMR)	http://www.arimr.gov.pl/
Agencja Rynku Rolnego	http://www.arr.gov.pl/
Centrum Doradztwa Rolniczego - Brwinów	http://www.cdr.gov.pl/
Główny Urząd Statystyczny	http://www.stat.gov.pl/cps/rde/xchg/gus
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach	http://www.iung.pulawy.pl/
Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi	http://www.minrol.gov.pl/DesktopDefault.aspx

Pierwszy Portal Rolny	http://www.ppr.pl/index.html
Programy rolnośrodowiskowe (Podlaski Ośrodek Doradztwa Rolniczego w Szepietowie)	http://www.odr.pl/ekologia-i-rodowisko/programy-rolnorodowiskowe
Regionalne Centrum Ekologiczne Polskie Biuro REC	http://www.rec.org.pl
Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 4 listopada 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowych warunków i trybu przyznawania pomocy finansowej w ramach działania „Program rolnośrodowiskowy" objętego Programem Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2007–2013	http://isap.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU20130001312

Literatura

1. Batalin M.: Nawozy zielone. Nawozy organiczne. Red. K. Boratyński, PWRiL Warszawa, 1977, 161-187.
2. Bochniarz J.: Warunki i możliwości uprawy poplonów ścierniskowych w Polsce. IUNG Puławy, 1977, R. 125.
3. Christian D. G., Goodlass G., Powlson D. S.: Nitrogen uptake by cover crops. Aspects Appl. Biol., 1992, **30**: 291–300.
4. Duer I.: Wpływ międzyplonu ścierniskowego na plonowanie i zachwaszczenie jęczmienia jarego. Frag. Agron., 1994, **4**: 36-45.
5. Dziennik Ustaw poz. 1312. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 4 listopada 2013 r. w sprawie szczegółowych warunków i trybu przyznawania pomocy finansowej w ramach działania „Program rolnośrodowiskowy" objętego Programem Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2007–2013.
6. Garbiak K., Rynkiewicz M.: Wpływ uprawy międzyplonu ścierniskowego na opłacalność produkcji jęczmienia jarego. Inż. Rol., 2011, **8(133):** 109-115.
7. Gonet I., Jelinowski S.: Wstępne badania nad działaniem poplonów ścierniskowych jako roślin regenerujących w zmianowaniach zbożowych. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1979, **218**: 257-262.
8. Główny Urząd Statystyczny: Rocznik statystyczny rolnictwa. Warszawa, 2013.
9. Główny Urząd Statystyczny: Użytkowanie gruntów i powierzchnia zasiewów w 2013 r. Warszawa 2014.
10. Gutmański I., Nowakowski M.: Wpływ współdziałania poplonu ścierniskowego z mineralnym nawożeniem azotem na plony i jakość buraka cukrowego. Mat. z Konf. Nauk. „Nawozy organiczne". z. l, Szczecin, 1992, 223-228.
11. Hołubowicz–Kliza G.: Uprawa poplonów. Instrukcja upowszechnieniowa nr 120. IUNG-PIB, 2006.
12. Karczewska A.: Ochrona gleb i rekultywacja terenów zdegradowanych. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego. Wrocław 2008.
13. Klima K.: Wpływ roślin fitosanitarnych i herbicydów na zdrowotność pszenicy ozimej w specjalistycznym płodozmianie zbożowym. V Sem. Płod. „Synteza i perspektywa nauki o płodozmianach". ART Olsztyn 1991, **II**: 45-49.

14. K o r d a s L., M a j c h r o w s k i P.: Wpływ międzyplonu ścierniskowego i głęboszowania w uprawie buraka cukrowego na wskaźniki struktury gleby średniej. Zesz. Nauk. AR Wrocław 2001, Rol. **LXXX**: 145-152.
15. K u ś J., J o ń c z y k K.: Regenerująca rola międzyplonów w zbożowych członach zmianowania. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2000, **470**: 9–57.
16. M a l i c k i L.: Niektóre czynniki wpływające na wynik uprawy poplonu ścierniskowego. Post. Nauk. Roln., 1967, 105, **3**: 57-67.
17. M a l i c k i L., K o l a s a A., L e c y k Z.: Porównanie wartości kilku poplonów ścierniskowych na glebie wytworzonej z lessów. Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, 1970, sectio E, vol. XXV, **6**: 77-96.
18. P a r y l a k D.: Optymalizacja uprawy pszenżyta ozimego w krótkotrwałej monokulturze na glebie kompleksu żytniego dobrego. Zesz. Nauk. AR Wrocław, 1998, **326**: 94 ss.
19. P ł a z a A. : Międzyplony ścierniskowe alternatywną formą nawożenia w integrowanej uprawie ziemniaka. Biul. IHAR 2010, **257/258**: 129–136.
20. R a d o m s k a M.: Porównanie różnych wariantów uprawy poplonów ścierniskowych przy użyciu brony talerzowej z siewnikiem BPS-2. Zesz. Nauk. WSR Wrocław 1972, **83**, Rol. **XXVI**: 253-266.
21. S m o l e ń S.: Zmęczenie gleb - przyczyny, skutki, łagodzenie objawów. Hasło Ogrodnicze 8/2004. http://www.ho.haslo.pl/article.php?id=1829 (artykuł dostępny 31.03.2014).
22. S ü d z u c k e r.: http://www.suedzucker.pl/pl/plantatorzy/jesienne,92.htm (artykuł dostępny 31.03.2014).
23. W i k i p e d i a (wolna encyklopedia): http://pl.wikipedia.org/wiki/Biomasa (artykuł dostępny 31.03.2014).
24. W i k i p e d i a (wolna encyklopedia): http://pl.wikipedia.org/wiki/Międzyplon (artykuł dostępny 31.03.2014).
25. W i k i p e d i a (wolna encyklopedia): http://pl.wikipedia.org/wiki/Mulcz (artykuł dostępny 31.03.2014).
26. W i l c z e w s k i E., S k i n d e r Z., L e m i a ń c z y k G.: Wartość wybranych roślin motylkowatych uprawianych w międzyplonie ścierniskowym na glebie lekkiej, cz. III. Wpływ następczy dla pszenicy jarej. Acta Sci. Pol., Agricultura 2007, **6(1)**: 45-56.
27. W o j c i e c h o w s k i W.: Rola międzyplonów ścierniskowych w podnoszeniu produktywności gleb. Pierwszy Portal Rolny, 2009. http://www.ppr.pl/artykul-rola-miedzyplonow-scierniskowych-w-podnoszeniu-pro-2902-dzial-19.php (artykuł dostępny 31.03.2014).
28. Z i e l i ń s k i A., Z i e l i ń s k a A.: Wydajność i jakość zielonki z roślin motylkowych w poplonie ścierniskowym na zróżnicowanym nawożeniu azotowym. Rocz. Nauk Rol.., ser. A, 1975, 100, **4**:131-137.
29. Z i m n y L.: Choroby gleby. Gaz. Cukr. 5, 2003, 149-152.
30. Z i m n y L., M a l a k D., Ś n i a d y R.: Znaczenie produkcyjne gorczycy białej i nawożenia azotowego w uprawie buraka cukrowego. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 2000, **470**: 181–189.

Adres do korespondencji:

dr inż. Andrzej Biskupski
IUNG-PIB
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli
ul. Orzechowa 61
50-540 Wrocław
tel.: 71 363-87-07 w. 109
e-mail: a.biskupski@iung.wroclaw.pl

S T U D I A I R A P O R T Y IUNG-PIB

ZESZYT 36(10): 137-145 **2014**

Jerzy Sadowski, Mariusz Kucharski

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach

KONSEKWENCJE ZMIAN W DOSTĘPNOŚCI ŚRODKÓW OCHRONY ROŚLIN DLA ZANIECZYSZCZEŃ HERBICYDOWYCH WÓD NA TERENACH ROLNICZYCH*

Słowa kluczowe: wody powierzchniowe, wody gruntowe, herbicydy, monitoring, pozostałości

Wstęp

Pomimo wielu zmian prawnych, stosowanie chemicznych środków ochrony roślin należy nadal do głównych elementów w technologii produkcji roślinnej. Współczesne rolnictwo poszukuje kompromisu, który pozwoli na racjonalne korzystanie z dóbr i zasobów natury przy jednoczesnej wysokiej wydajności w produkcji roślinnej (7). Stosowanie preparatów chemicznych, obok niewątpliwych korzyści obarczone jest znacznym ryzykiem powstawania szeregu zjawisk niekorzystnych w środowisku i niosących zagrożenia dla konsumentów. Oprócz celowego oddziaływania w zakresie ochrony plonów przed agrofagami, środki ochrony roślin mogą mieć negatywny wpływ na zdrowie ludzkie poprzez zanieczyszczenie: żywności, wody gruntowej, gleby, a nawet powietrza, jak również na środowisko i różnorodność biologiczną.

Wody powierzchniowe i gruntowe na terenach rolniczych są szczególnie narażone na zanieczyszczenia chemicznymi środkami ochrony roślin. Wody tych terenów mogą być również medium transportu skażeń na tereny pozarolnicze. Z tego względu niezbędnym wydaje się stałe monitorowanie potencjalnych zanieczyszczeń, które mogą być ubocznym efektem stosowania agrochemikaliów (15).

Rejestrację substancji aktywnych pestycydów reguluje w Unii Europejskiej Dyrektywa 91/414/EWG (6). Jej celem jest harmonizacja rejestracji środków ochrony roślin z wymaganiami Artykułu 45 Traktatu UE. Artykuł ten w całości dotyczy handlu w obrębie Unii Europejskiej. Ponieważ różne standardy rejestracji zaczęły stanowić bariery handlowe, Dyrektywa ta miała na celu ich zniesienie poprzez ujednolicenie

*Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.6 programu wieloletniego IUNG-PIB

procesu rejestracji środków ochrony roślin. Jednak we wprowadzeniu do Dyrektywy znajduje się stwierdzenie: *„...rejestracja musi zapewniać wysoki poziom ochrony, który w szczególności musi zapobiegać rejestracji produktów ochrony roślin stwarzających zagrożenie dla zdrowia, wód gruntowych i środowiska, a zdrowie ludzi i zwierząt powinno być traktowane priorytetowo w stosunku do ochrony roślin”*.

W 1993 roku, zgodnie z wyżej wymienioną Dyrektywą, rozpoczął się w Europie proces przeglądu 1041 zarejestrowanych substancji aktywnych. W efekcie tych działań, po 15 latach, zostały wycofane ze stosowania 724 substancje. W tym samym czasie dopuszczono do stosowania jedynie 82 nowe substancje czynne ze 146 zgłoszonych do oceny. Skutkiem tego, obecnie w Europie jest dopuszczonych tylko 327 substancji czynnych, które mogą być stosowane w środkach ochrony roślin. W Polsce w tym samym czasie, dopuszczono do stosowania jedynie 31 nowych substancji czynnych (12). Podstawą do oceny są badania naukowe dotyczące pozostałości i zachowania w środowisku substancji czynnych. Jednym z kierunków są badania nad przenikaniem herbicydów do środowiska wodnego.

W 2000 roku została wprowadzona w życie Ramowa Dyrektywa Wodna 2000/60/EC (8) mająca na celu ustalenia ram ochrony śródlądowych wód powierzchniowych, wód przejściowych, wód przybrzeżnych i wody gruntowej. Jednym z założeń tej Dyrektywy jest zapewnienie stopniowego zmniejszenia zanieczyszczenia wód gruntowych i zapobieganie ich dalszemu zanieczyszczaniu. W związku z tym utworzono 3 listy substancji. W załączniku dziesiątym do Dyrektywy 2000/60/EC znalazły się między innymi takie substancje jak: alachlor, atrazyna, czy symazyna. Wymienione zmiany w regulacjach prawnych związanych z rejestracją i stosowaniem chemicznych środków ochrony roślin pociągnęły za sobą zmiany w możliwościach stosowania i dostępności poszczególnych substancji aktywnych. Największe ograniczenia dotyczą związków z grupy triazyn oraz częściowo pochodnych chloroacetamidów. W literaturze można znaleźć liczne przykłady przedsięwzięć badawczych dotyczących niekorzystnych zjawisk towarzyszących stosowaniu chemicznej ochrony roślin. Należy jednak podkreślić, że ze względu na koszty nie są to nigdy działania na skalę kraju, a najczęściej odnoszą się do konkretnego regionu. Może to być wybrany ciek wodny, niezbyt rozległa zlewnia rzeki lub obszar koncentracji wybranej uprawy (1, 5, 9, 14, 16). Niezależnie od wyboru terenu, celem badań jest zawsze określenie skali i stopnia przedostawania się zanieczyszczeń środków ochrony roślin do wód na obszarze badań.

Szacując ryzyko zanieczyszczenia wód agrochemikaliami należy pamiętać, że znacznie bardziej, niż wody gruntowe, na zanieczyszczenia narażone są wody otwarte. Herbicydy mogą się tam dostawać wskutek spłukiwania cząsteczek gleby ze skłonów, a przede wszystkim jako wynik nieprawidłowości w czasie wykonywania zabiegów (znoszenie cieczy opryskowej, wylewanie resztek cieczy roboczej, mycie opryskiwaczy, itp.). Najbardziej niebezpiecznym źródłem zanieczyszczenia wód środkami ochrony roślin są skażenia miejscowe. Powstają one w miejscach przechowywania środków ochrony roślin, przygotowania cieczy użytkowej i mycia

opryskiwacza, składowania odpadów i opakowań, a także, choć w mniejszym stopniu, podczas nieprawidłowo przeprowadzanych zabiegów chemicznych. Przenikanie agrochemikaliów do wód podziemnych powiązane jest między innymi z warunkami geologicznymi, konfiguracją terenu, wielkością i rozłożeniem w czasie opadów atmosferycznych. Wymienione czynniki sprawiają, że badania monitoringowe, aby możliwym było wyciąganie miarodajnych wniosków, winny obejmować dłuższy przedział czasowy, co ma umożliwić określenie tendencji zmian w skali i stopniu skażenia wód powierzchniowych i podziemnych. Dłuższy okres obserwacji umożliwia również ocenę, jak zmiany w technologiach ochrony roślin, w tym zmiany asortymentu stosowanych substancji aktywnych, mogą wpływać na wielkość i częstotliwość występowania pozostałości środków ochrony roślin w wodach terenów rolniczych.

Metodyka

Badania monitoringowe skażeń herbicydowych w warunkach polowych oparto o sieć stałych punktów pobierania próbek wody w terenie. Sieć rozpoczęto zakładać w roku 1983 na terenach rolniczych Dolnego Śląska w zlewniach rzek Ślęzy, Oławy i Widawy. Próbki wody pobierane były z 45 punktów, z których 27 obejmuje płynące wody powierzchniowe (cieki śródpolne, rowy melioracyjne), a 18 wody studzienne (studnie o różnej głębokości). Próbki wody pobierano wiosną i jesienią (lata 2002–2012), około 3-6 tygodni po nominalnym okresie aplikacji herbicydów. Każdorazowo z określonego punktu pobierano około 5 litrów wody. Cztery litry wody dzielono na jedno litrowe porcje, a następnie ekstrahowano rozpuszczalnikiem organicznym. Otrzymane ekstrakty, po odparowaniu do sucha, przechowywano w zamrażarce, w temperaturze -18°C. Piąty litr stanowił rezerwę do ewentualnego powtórzenia analizy lub wykonania dodatkowych oznaczeń. Przechowywane w zamrażarce suche pozostałości poddawano sukcesywnie dalszej obróbce analitycznej, np. dodatkowemu oczyszczaniu, wykorzystując w tym celu technikę ekstrakcji z fazy stałej (chromatografia mikrokolumnowa) na fazach normalnych i odwróconych, czy też przeprowadzając reakcje chemiczne, np. estryfikację (kwasy organiczne) w celu otrzymania pochodnych oznaczanych substancji. Do finalnego oznaczenia stosowano chromatografię gazową z zastosowaniem detektora jonizacyjno-rekombinacyjnego (ECD) oraz wysokosprawną chromatografię cieczową (HPLC), z detekcją w UV. W weryfikacji wyników budzących wątpliwość, np. wykrycie wyjątkowo „dużych" pozostałości, przy braku możliwości pełnej identyfikacji np. techniką GC-MS, stosowano łączenie technik analitycznych i próbkę oznaczano równolegle różnymi metodami dla potwierdzenia lub odrzucenia uzyskanego wyniku, np. oznaczenie metodą chromatografii gazowej i równolegle chromatografii cieczowej lub chromatografia tej samej próbki na różnych kolumnach (różne czasy retencji dla tego samego związku). Stosowano również oznaczanie tych samych substancji w postaci różnych pochodnych (np. kwasów fenoksyalkanokarboksylowych w postaci estrów metylowych i chloroetylowych).

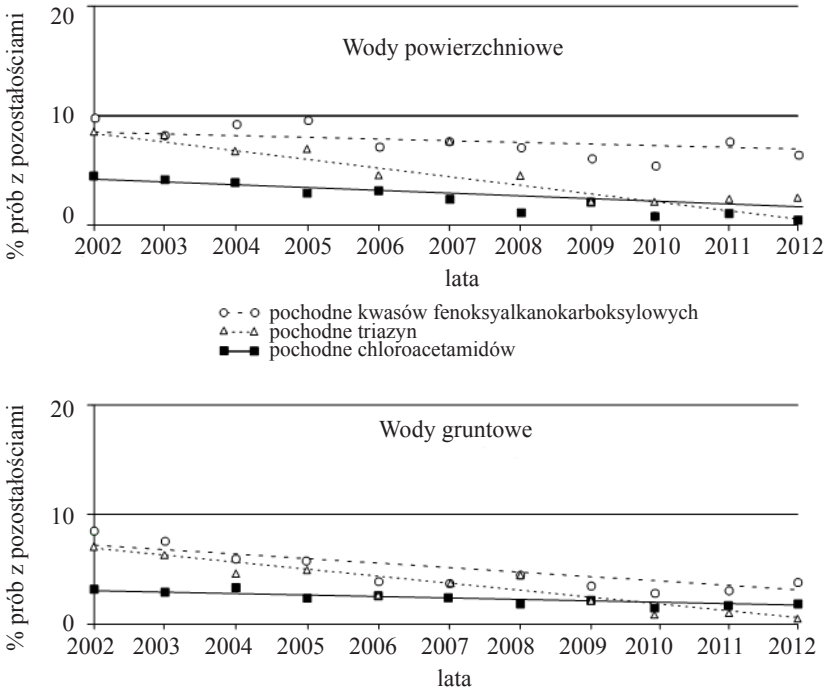
Wyniki i ich omówienie

Do oceny wpływu zmian w asortymencie stosowanych substancji aktywnych na częstotliwość i poziom występowania pozostałości herbicydowych w wodach terenów rolniczych wybrano trzy grupy substancji aktywnych: pochodne triazyn, wśród których nastąpiły w ostatniej dekadzie największe ograniczenia w stosowaniu, a od roku 2007 zaprzestanie stosowania między innymi atrazyny i symazyny (4); pochodne chloroacetamidów w grupie których, w ostatnim dziesięcioleciu nastąpiły częściowe ograniczenia stosowania. Jako grupę porównawczą wybrano pochodne kwasów fenoksyalkanokarboksylowych, których stosowanie nie uległo w ostatniej dekadzie większym zmianom.

Badania monitoringowe wód powierzchniowych i gruntowych prowadzono na terenach, na których dominowała uprawa zbóż, kukurydzy, rzepaku i buraka cukrowego. Ponadto, jak wynikało z przeprowadzonego wywiadu, na omawianych terenach stosowano dość intensywną, chemiczną ochronę plantacji przed chwastami. Na podstawie wywiadu wybrano kilkanaście substancji aktywnych herbicydów, których stosowanie było najczęstsze. W tabeli 1. przedstawiono wyniki ilustrujące maksymalne pozostałości wybranych substancji aktywnych wykryte na początku i na końcu omawianego okresu badań. Wyniki ilustrujące zmiany w częstotliwości wykrywania pozostałości w wodach powierzchniowych i gruntowych oraz trend zmian przedstawiono na rysunkach 1 i 2.

W wodach powierzchniowych, jak i gruntowych wykrywano pozostałości monitorowanych substancji aktywnych herbicydów. W roku 2002 w wodach powierzchniowych najwyższe pozostałości (rzędu 10^{-3} mg/l), to pozostałości substancji z grupy pochodnych fenoksykwasów (2,4-D, MCPA, dikamba) i triazyn (atrazyna, symazyna). Pozostałości chloroacetamidów wykrywano w mniejszych ilościach rzędu 10^{-5} - 10^{-4} mg/l.

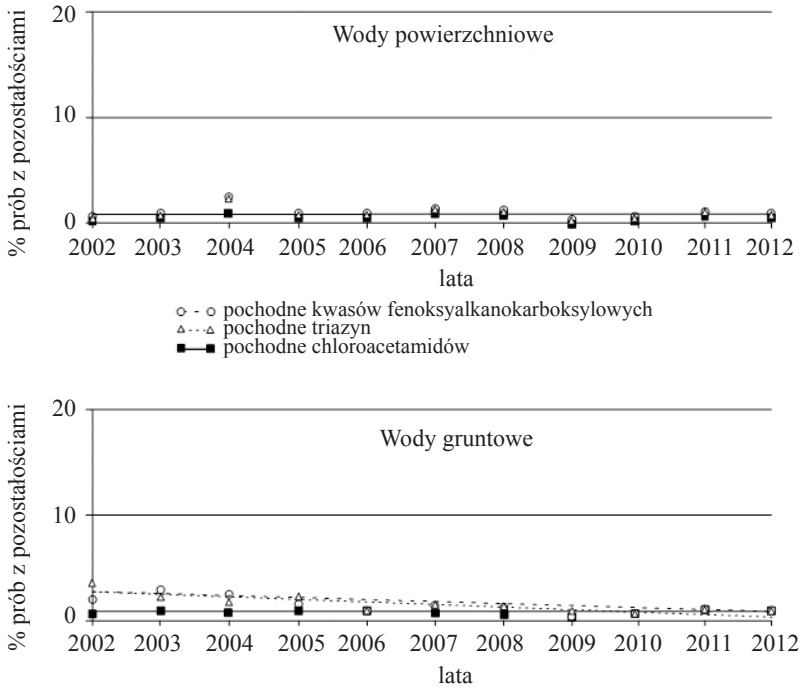
Na początku dekady 2002-2012, w próbkach wód powierzchniowych pobieranych wiosną, obecność pozostałości pochodnych triazynowych wykrywano w blisko 10% próbek. Były to głównie atrazyna i symazyna. Pozostałe związki z tej grupy wykrywano rzadziej (1-3% próbek). Większość (60-75%) próbek z wynikami pozytywnymi zawierało multipozostałości pochodnych triazynowych (kilka substancji aktywnych herbicydów). W próbach pobieranych jesienią pozostałości wykrywano znacznie rzadziej. Odsetek próbek z pozostałościami nie przekraczał 3%. Dotyczy to zarówno pojedynczych związków jak i multipozostałości.



Rys. 1. Częstotliwość występowania pozostałości pochodnych kwasów fenoksyalkanokarboksylowych, triazyn i chloroacetamidów, w okresie wiosennym, w wodach powierzchniowych i gruntowych oraz trendy zmian częstotliwości występowania pozostałości

Źródło: badania własne.

W wodach gruntowych (studziennych) częstotliwość wykrywania pochodnych triazynowych była nieco inna. Pozostałości wykrywano w około 8% próbek. Podobnie jak w wodach powierzchniowych, były to głównie atrazyna i symazyna (blisko 90% wszystkich pozytywnych wyników), Multipozostałości stwierdzono w blisko 70% próbek, w których wykrywano pozostałości. Dane te odnoszą się do prób pobieranych wiosną. W okresie jesiennym jedynie częstotliwość występowania atrazyny i symazyny nie ulegała większym zmianom. Natomiast pozostałe pochodne triazyn wykrywano sporadycznie (1-5% wyników pozytywnych). Jesienią odsetek próbek z multipozostałościami był niewielki i nie przekraczał 3%. Stopień zanieczyszczenia wód powierzchniowych i gruntowych herbicydami triazynowymi uległ wyraźnej zmianie po zaprzestaniu stosowania większości tych substancji w roku 2007. Od tego momentu obserwowany jest systematyczny spadek obecności tych substancji w wodach terenów rolniczych. Jednak z powodu znacznej trwałość większości pochodnych triazynowych, ich obecność w wodach na przestrzeni pięciu ostatnich lat malała stopniowo. W roku 2012 nie wykryto w wodach powierzchniowych obecności atrazyny i symazyny. Natomiast w wodach gruntowych te substancje są nadal obecne, ale ich stężenie zostało zredukowane do poziomu 10^{-5} - 10^{-4} mg/l.



Rys. 2. Częstotliwość występowania pozostałości pochodnych kwasów fenoksyalkanokarboksylowych, triazyn i chloroacetamidów, w okresie jesiennym, w wodach powierzchniowych i gruntowych oraz trendy zmian częstotliwości występowania pozostałości.

Źródło: badania własne.

Obecność pochodnych chloroacetamidów w latach 2002-2012 ulega również stopniowej redukcji z 4% w roku 2002 do blisko 2% w roku 2012. Należy jednak zaznaczyć, że od roku 2007 odsetek wyników pozytywnych nie ulegał istotnym zmianom. Substancje wycofane, takie jak alachlor, nie są już w wodach gruntowych wykrywane, ale w wodach powierzchniowych sporadycznie odnotowywano obecność tego związku, pomimo oficjalnego zaprzestania jego stosowania. Herbicydy zawierające tą grupę pochodnych znajdujące się w zaleceniach są regularnie wykrywane głównie w wodach powierzchniowych. Odsetek próbek zawierających tą grupę herbicydów w roku 2012 wyniósł wiosną około 2%, a w wodach gruntowych nie przekroczył 1%. Poziom pozostałości zawierał się w granicach 10^{-5} - 10^{-4} mg/l. Pozostałości chloroacetamidów wykrywano w wodach powierzchniowych i gruntowych głównie wiosną. W okresie jesiennym pozostałości tych substancji stwierdzano sporadycznie. Odsetek wyników pozytywnych nie przekraczał 1% badanych próbek.

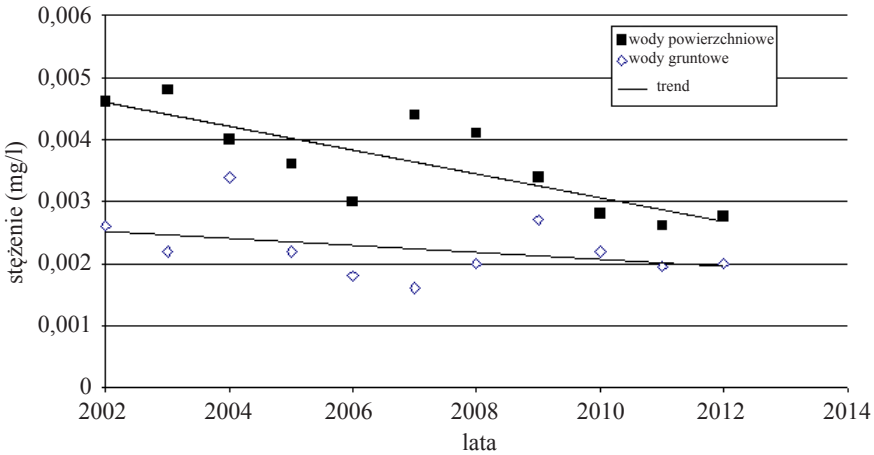
Pochodne fenoksykwasów w wodach powierzchniowych wykrywano w przeciagu całej ostatniej dekady. Odsetek próbek, w których stwierdzono obecność tych związków w roku 2002 sięgał 10%, a w roku 2012 zmniejszył się nieznacznie i wynosił niecałe 8%. W wodach powierzchniowych wykrywano głownie 2,4-D, MCPA oraz dikambę

a sporadycznie dichlorprop i CMPP. Maksymalny poziom stężeń w roku 2002 osiągał 10^{-3} mg/l i na przestrzeni całej dekady nie uległ zmianie. Podobnie, jak w przypadku wyżej wymienionych grup substancji aktywnych, w wodach powierzchniowych dominowały również multipozostałości tych substancji (84% wszystkich wyników pozytywnych). W przypadku pochodnych kwasów fenoksyalkanokarboksylowych należy pamiętać, że zdecydowana większość preparatów chwastobójczych, w których zawarte są te substancje, to herbicydy wieloskładnikowe.

W wodach gruntowych maksymalne stężenia pochodnych fenoksy na przestrzeni całej dekady nie uległy istotnym zmianom i utrzymują się one na poziomie 10^{-4} mg/l. Odsetek próbek, w których wykrywano obecność tych związków zmieniał się w latach 2002 do 2006 z 8,5 do 4,8% i do chwili obecnej utrzymuje się na tym poziomie.

Na obserwowane zmiany w występowaniu wszystkich trzech omawianych grup substancji aktywnych składa się wiele przyczyn. Obok zmiany dostępności spowodowanej regulacjami prawnymi, jako główne można wymienić zmiany pogodowe w ostatniej dekadzie, a szczególnie wielkość i rozkład w czasie opadów atmosferycznych (15), zmiany w technice ochrony roślin (3) i poszukiwanie sposobów obniżenia dawek środków ochrony roślin (11) Przyczyny te nie eliminują jednak skażeń wód. Zmiany pogodowe i zmiany sposobu aplikacji herbicydów przyczyniają się głównie do zmian poziomu i częstotliwości występowania pozostałości. Redukcja dawek minimalizuje ryzyko przenikania pozostałości do wód gruntowych, ale nie eliminuje ich całkowicie. Dowodem na to są dane prezentowane na rys. 3 obrazujące zmiany stopnia zanieczyszczenia wód wyrażone jako wskaźnik syntetyczny (odnosi się on do multipozostałości herbicydowych). W wodach powierzchniowych wskaźnik ten zawiera się w granicah 0,0028 – 0,0048 mg/l, a w wodach gruntowych w granicach 0,0020 – 0,0032 mg/l. Na przestrzeni ostatniej dekady obserwowany jest trend spadkowy stężeń zanieczyszczeń herbicydowych, ale wyraźnie widoczne są również pewne wahania poziomu pozostałości. Zmiany w asortymencie stosowanych środków chwastobójczych wynikających ze zmian w regulacjach prawnych, a także wprowadzanie na rynek nowych formulacji i nowych substancji aktywnych, prowadzą do największych zmian w spektrum i wielkości zanieczyszczeń wód pozostałościami. Jak wskazują uzyskane wyniki nie są to zmiany gwałtowne, eliminacja pozostałości pochodnych triazynowych nie nastąpiła zaraz po zaprzestaniu ich stosowania (rys. 1 i 2). Trzeba pamiętać, że substancje takie, jak atrazyna i symazyna przez wiele lat były podstawowymi i praktycznie jedynymi herbicydami stosowanymi w uprawie kukurydzy, ale też i w sadownictwie. Porównując trendy częstości występowania wybranych grup substancji aktywnych widać jednak wyraźnie, że główną przyczyną zmian jest wycofanie z praktyki określonych związków. Substancje z grup pochodnych chloroacetamidów, wśród których nie wprowadzono tak rewolucyjnych zmian, jak w stosowaniu triazyn występują w wodach z terenów rolniczych w mniejszym nasileniu, ale tendencja zniżkowa nie jest tak wyraźna, jak w przypadku triazyn. Pochodne fenoksy, w występowaniu których też odnotowuje się tendencję spadkową, stosowane są nadal w uprawach zbóż, ale obserwuje się znaczące uzupełnienie

asortymentu o pochodne z grupy sulfonylomoczników. Ta ostatnia grupa substancji stosowana jest coraz powszechniej. Wzrasta też liczba publikacji, w tym również z badań występowania tych substancji w wodach powierzchniowych i gruntowych (2, 10, 13). Wyniki uzyskiwane w tych badaniach są również dowodem na to, jak zmiany w asortymencie środków ochrony roślin wpływają na stopień i poziom zanieczyszczeń wód pozostałościami agrochemikaliów.



Rys. 3. Multipozostałości herbicydów w wodach powierzchniowych i gruntowych przedstawione jako wskaźnik syntetyczny zanieczyszczenia wód

Źródło: badania własne.

Wnioski

1. W wodach powierzchniowych i gruntowych wykrywano obecność wszystkich monitorowanych substancji aktywnych herbicydów.
2. Częstotliwość i skład pozostałości substancji czynnych w wodach powierzchniowych i gruntowych odzwierciedla asortyment stosowanych na terenie badań herbicydów.
3. W wodach powierzchniowych częściej wykrywano pozostałości w okresie wiosennym (do 10% próbek), a w terminie jesiennym odsetek próbek z pozostałościami nie przekraczał 3%.
4. W zdecydowanej większości wykrywano obecność kilku substancji równocześnie. Odnosi się to do blisko 75% przypadków wyników pozytywnych.
5. Na przestrzeni ostatniej dekady obserwowany jest trend spadkowy stężeń zanieczyszczeń herbicydowych, ale wyraźnie widoczne są również wahania poziomu pozostałości.
6. Od roku 2007 odnotowywany jest stały, znaczący spadek obecności związków triazynowych spowodowany wycofaniem tych substancji z użycia. Jest to dowód na istotny wpływ zmian asortymentu stosowanych substancji aktywnych na poziom i częstotliwość występowania skażeń herbicydowych w wodach na terenach rolniczych.
7. Nasilenie ekstremalnych zjawisk pogodowych (zwłaszcza krótkotrwałych intensywnych opadów atmosferycznych) powoduje wzrost wymywania

pozostałości substancji czynnych herbicydowych z gleby, ale równoczesne ich znaczne rozcieńczenie. Konsekwencją tego jest spadek stężenia wykrywanych zanieczyszczeń.

Literatura

1. Albanis T.A., Hela D.G., Sakellarides T.M., Konstantinou I.K.: Monitoring of pesticide residues and their metabolites in surface and underground waters of Imathia (N. Greece) by means of solidphase extraction disks and gas chromatography. J. Chromatography A, 1998, **823**: 59–71.
2. Almvik M., Riise G., Bolli R., Børresen T., Christiansen A., Odenmarck S.R, Holten R.: Multi-year transport studies of sulfonylurea herbicides from a barley field in Norway, 2007-2010. Bioforsk Report, 2011, **6(10)**: 124–146.
3. DaSilva A., Garretson C., Troiano J., Ritenour G., Krauter C.: Relating simazine performance to irrigation management. Weed Technol., 2003, **17**: 330–337.
4. Decyzja Komisji WE 2004/248/WE, L **127**: 43–45 (Dz.U., L78 z 16.03.2004: 53).
5. Drożdżyński D., Folkman W., Kowalska J.: Pozostałości pestycydów w próbkach wielkopolskich wód powierzchniowych pobieranych na terenach intensywnie użytkowanych rolniczo (2006-2007). Proc. of ECOpole, 2009, **3(2)**: 445–449.
6. Dyrektywa 91/414/EWG z dnia 15 lipca 1991 dotycząca wprowadzania do obrotu środków ochrony roślin. Dz. U. WE, L 230/1 z dn. 19.08.1991, 32 ss.
7. Dyrektywa 2009/128/WE z dnia 21 października 2009 ustalająca ramy wspólnego działania na rzecz zrównoważonego stosowania pestycydów. Dz. U. WE, L 309/71 z dn. 24.11.2009, 71 ss.
8. European Community, Official Journal L331/1, Entscheidung Nr. 2455/2001/EG Des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. November 2001 zur Festlegung der Liste prioritärer Stoffe im Bereich der Wasserpolitik und zur Änderung der Richtlinie 2000/60/EG, Brussels.
9. Frank R., Clegg B.S., Chapman N.D.: Triazine and chloroacetamide herbicides in Sydenham River water and municipal drinking water, Dresden, Ontario, Canada, 1981-1987. Archives of Environmental-Contamination and Toxicology. 1991, **19(3)**: 319–324.
10. Kreuger J., Adielsson S.: Monitoring of sulfonylurea herbicides in stream water draining intensively cultivated areas in southern Sweden during a 9-year period (1998-2006). Ekohydrologi 103 Avdelningen för vattenvårdslära, Uppsala 2008: 347-362.
11. Kucharski M., Sadowski J., Domaradzki K.: Ograniczanie dawek herbicydów – wpływ na zanieczyszczenie środowiska naturalnego. Zesz. Nauk. PTIE i PTG Rzeszów, 2010, **13**: 93–94.
12. Matyjaszczyk E.: Rejestracja środków ochrony roślin w Polsce– historia, stan obecny i przyszłość. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 2011, **51(1)**: 77–87.
13. Ouyang X., Zhang W., Xu J., Na C., Pan C., Zhang J., Niu W.: Determination of sulfonylurea herbicides in water using solid-phase extraction followed by liquid chromatography with electrospray ion trap mass spectrometry. J. Anal. Chem., 2009, **64(6)**: 959–964.
14. Quintana J., Marti I., Ventura F.: Monitoring of pesticides in drinking and related waters in NE Spain with a multiresidue SPGE-GC-MS method including an estimation of the uncentainty of the analytical results. J. Chromatography A., 2001, **938**: 3–13.
15. Sadowski J., Kucharski M., Wujek B., Wysocki A.**:** Multipozostałości herbicydów w wodach powierzchniowych i gruntowych na terenach rolniczych Dolnego Śląska. Prog. Plant Protection/Post. Ochr. Roślin, 2009, **49(4)**: 1923–1930.
16. Troiano J., Garretson C.: Movement of simazine in runoff water from citrus orchard row middles as affected by mechanical incorporation. J. Environ. Quality, 1998, **27**:488–494.

Adres do korespondencji:

prof. dr hab. Jerzy Sadowski
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli
IUNG–PIB
ul. Orzechowa 61
50-540 Wrocław
tel.: 71 363 87 07 w. 125
e-mail: j.sadowski@iung.wroclaw.pl

S T U D I A I R A P O R T Y IUNG-PIB

ZESZYT 36(10): 147-159 **2014**

Tomasz R. Sekutowski

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy w Puławach

BIOINDYKATORY W BADANIU SKAŻENIA ŚRODOWISKA KSENOBIOTYKAMI*

Słowa kluczowe: bioindykatory, biotesty, ksenobiotyki, ekotoksykologia, biocenoza

Wstęp

Niewątpliwie negatywnym wynikiem postępu cywilizacyjnego jest wzrastające zanieczyszczenie środowiska, będące rezultatem oddziaływania różnych czynników fizycznych, chemicznych i biochemicznych, związanych z działalnością człowieka. Zanieczyszczenia wprowadzane do ekosystemu w postaci różnego rodzaju ksenobiotyków (gr. *xenos* - obcy i *bioticos* - związany z życiem), takich jak: leki np. antybiotyki, czy środki ochrony roślin np. herbicydy, mają pośredni lub bezpośredni wpływ na wszystkie organizmy żywe, w tym i na zdrowie człowieka (3, 26, 63).

Obecnie wiele dziedzin nauki, stawia sobie za cel monitorowanie ekosystemu. Jedną z nich jest ekotoksykologia, która jest dziedziną nauki z pogranicza biologii, ekologii, chemii, a także klasycznej toksykologii. Zajmuje się oceną wpływu substancji szkodliwych, toksycznych i toksyn na organizmy żywe (w tam także na człowieka) oraz przemianami tych substancji, zachodzącymi w środowisku naturalnym (12, 38, 40, 44, 58). Jej kluczowym zadaniem jest bezpośrednia ocena ryzyka wynikającego ze skażenia środowiska i dotyczy między innymi, tworzenia systemów klasyfikacji opartych na rosnących poziomach toksyczności (47). Do niedawna jedynymi metodami obrazującymi stan poszczególnych elementów środowiska były metody fizykochemiczne, jednak podstawowym mankamentem tych metod jest fakt, że nie charakteryzują one w sposób kompleksowy wpływu ksenobiotyków na gatunki testowe (wskaźnikowe). Analizy fizykochemiczne informują jedynie o poziomie zanieczyszczeń, ale nie określają współdziałania badanych związków i ich bioaktywności w biocenozie (39, 42, 45, 57). Dlatego coraz częściej poszukuje się „nowych" technik detekcji, do których niewątpliwie można

*Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.6 programu wieloletniego IUNG-PIB

zaliczyć metodę bioindykacyjną, wykorzystującą materiał biologiczny. Badania z udziałem organizmów żywych są obecnie szeroko wykorzystywane w ekotoksykologii celem określenia stanu środowiska pod względem jakościowym (bioindykacja), jak i ilościowym (biomonitoring). Testy te dostarczają podstawowych informacji o stopniu zanieczyszczenia środowiska danego obszaru, zarówno w perspektywie krótkoterminowej, np. tu i teraz, jak i długoterminowej, np. analiza trendu zmian, które mogą się pojawić w perspektywie kolejnych kilku, czy kilkunastu lat (12, 16, 37, 38, 42, 57).

Badania ekotoksykologiczne

Zdaniem Muszyńskiej (38), badania ekotoksykologiczne można podzielić w oparciu o miejsce ich wykonywania, na: laboratoryjne, półpolowe, polowe lub w zależności od czasu trwania, na: krótkoterminowe i długoterminowe. Według Kuczyńskiej i in. (29), wyniki badań krótkoterminowych wykorzystywane są najczęściej do oceny zależności: dawka – odpowiedź. Na tej podstawie można wyznaczyć wartości dwóch wskaźników będące ilościową miarą toksyczności badanej substancji chemicznej. Są to takie wskaźniki jak: EC_{50} (*Effective Concentration*) i ED_{50} (*Effective Dose*), czyli stężenie danego ksenobiotyku w środowisku lub jego dawka, która wywołuje określony skutek w wysokości 50% jego maksymalnej wartości. Natomiast w przypadku toksyczności ostrej następuje tak silne zaburzenie procesów biologicznych, wynikiem których jest śmierć czynnika testowego. Granicą tego efektu jest dawka śmiertelna – LD_{50} (*Lethal Dose*), czyli dawka wywołująca 50% śmiertelność grupy testowej lub LC_{50} (*Lethal Concentration*), stężenie wywołujące 50% śmiertelności w badanej grupie wskaźnikowej. Zdaniem tych samych Autorów, badania długoterminowe dostarczają informacji na temat zależności: dawka – efekt biologiczny. Na tej podstawie można przewidzieć poziom ryzyka, czyli wyznaczyć dawkę i czas ekspozycji, przy których prawdopodobieństwo zaistnienia efektów toksycznych jest stosunkowo niskie (tzw. dawki czy stężenia graniczne). Na podstawie dawki czy też stężenia progowego można wyznaczyć cztery wartości:

1. NOEC/NOEL (*No Observed Effect Concentration*/*No Observed Effect Level*), czyli najwyższe stężenie lub dawka nie wywołująca istotnego statystycznie skutku,
2. LOEC/LOEL (*Lowest Observed Effect Concentration*/ *Lowest Observed Effect Level*), czyli najniższe stężenie lub dawka badanej substancji wywołujące statystycznie istotny skutek,
3. NOAEL (*No Observed Adverse Effect Level*), czyli najwyższe stężenie lub dawka nie wywołująca szkodliwych zmian w badanej grupie testowej,
4. LOAEL (*Lowest Observed Adverse Effect Level*), czyli najniższe stężenie lub dawka wywołująca szkodliwe zmiany w badanej grupie testowej.

Należy pamiętać również i o tym, że o efekcie toksycznym danego ksenobiotyku, może decydować jego mała podatność na metabolizm, a co za tym idzie, również

niewielka mobilność, co w efekcie końcowym może sprawiać trudności w jego wydalaniu, powodując efekt kumulacji. Ocenę zdolności danego ksenobiotyku do biokumulacji, można sprawdzić poprzez porównanie wartości CLD_{50} (*Cumulative Lethal Dose*) z wartością LD_{50} (*Lethal Dose*).

Przykładowe metody wykorzystywane w badaniach środowiskowych ksenobiotyków

Metody analityczne wykorzystujące materiał biologiczny stają się powoli konkurencją dla klasycznych metod fizykochemicznych, a w niektórych przypadkach mogą wręcz je zastąpić (21). Powszechne zastosowanie zawdzięczają głównie swojej specyfice oraz niskim kosztom jednostkowym.

Według Gadzały-Kopciuch i in. (16) w badaniach ekotoksykologicznych wyróżnia się dwie grupy zastosowań metod biologicznych w ocenie wpływu ksenobiotyków na biocenozę:

1. biomonitoring, który może przebiegać dwutorowo:

- poprzez tworzenie biernych próbników akumulacyjnych w oparciu o typowe badania chemiczne próbek biologicznych (12, 68),
- poprzez obserwację biowskaźników roślinnych lub zwierzęcych w ich naturalnym środowisku lub w warunkach półnaturalnych (1).

2. bioanalityka, która związana jest z wykorzystaniem organizmów biologicznych jako bioreceptorów różnych ksenobiotyków.

Ze względu na sposób wykorzystania czujnika biologicznego w bioanalityce możemy wyróżnić:

- biosensory, są to czujniki biologiczne, których elementem aktywnym jest materiał biologiczny (np. mikroorganizm – bakterie, wirusy, pierwotniaki, enzym – AChE, przeciwciała – test ELISA, IMA, RIA, EIA czy DNA) (1, 24, 25, 26, 30, 50, 67),
- biotesty, których elementem pomiarowym jest cały organizm roślinny lub jego część (np. nasiona, korzenie, kłącze, bulwa czy koleoptyl), czy organizm zwierzęcy (4, 2, 6, 8, 10, 19, 21, 31, 49, 56, 58, 62, 64).

Pełny obraz dotyczący skażenia (bądź nie) biocenozy ksenobiotykami można uzyskać na drodze obserwacji prowadzonych przy użyciu względnie tanich metod, jakimi są: bioindykacja i biomonitoring (35, 36).

Bioindykator – to organizm roślinny lub zwierzęcy (lub część organizmu albo zgrupowanie organizmów) zawierający informację jakościową na temat skażenia środowiska ksenobiotykami (34, 35, 36, 42).

Biomonitor – to organizm roślinny lub zwierzęcy (lub część organizmu albo zgrupowanie organizmów) zawierający informacje ilościowe na temat skażenia środowiska ksenobiotykami (34, 35, 36, 42).

Należy sobie zdawać sprawę z tego, że biomonitor jest zawsze bioindykatorem, ale bioindykator nie zawsze musi być biomonitorem. W obrębie bioindykatora

(biomonitora) możemy dokonać podziału w zależności od typu reakcji na dany czynnik (aktywne i pasywne). Aktywna bioindykacja lub biomonitoring polega na sztucznym wyhodowaniu w warunkach laboratoryjnych czynników biologicznych (biowskaźników), które są następnie umieszczane na określony czas w warunkach oddziaływania ksenobiotyków. Po zakończeniu ekspozycji określa się objawy lub poziom ksenobiotyków w biowskaźniku. Natomiast w pasywnym biomonitoringu obserwuje się organizmy żyjące w warunkach naturalnych, gdzie są narażone na (czynniki) bodźce stresogenne wywołane czynnikiem antropogenicznym (ksenobiotykiem) i bada się je pod kątem reakcji na ten czynnik. Możemy również wyróżnić biowskaźniki w zależności od „sposobu działania". W takiej klasyfikacji mamy do czynienia z bioindykatorami akumulacji, które gromadzą w swoim organizmie jeden lub więcej ksenobiotyków oraz z bioindykatorami wpływu lub oddziaływania, które wykazują specyficzne lub niespecyficzne reakcje na dany ksenobiotyk w postaci zmian, np. w morfologii lub fizjologii (36).

Biokoncentracja – jest to bezpośrednie pobieranie przez biowskaźniki roślinne lub zwierzęce, ksenobiotyków ze środowiska, poprzez tkanki lub organy (z organami oddechowymi włącznie). Poza roślinami, które mogą pobierać ksenobiotyki głównie przez korzenie lub liście, biokoncentracja odgrywa kluczową rolę u zwierząt wodnych i glebowych bezkręgowców, korzystających z wody znajdującej się w środowisku glebowym (8, 31, 35, 36).

Poza klasycznymi badaniami, które rejestrują przeważnie niespecyficzne reakcje konkretnego organizmu roślinnego, zwierzęcego, czy wręcz całej biocenozy na czynnik toksyczny, jako „nowe" instrumenty bioindykacji, wprowadza się czujniki biologiczne w postaci biomarkerów i biosensorów (9, 15, 26, 36, 51, 53).

Biomarker – jest to biologiczny, mierzalny parametr, który może być oceniany na poziomie genetycznym, enzymatycznym, fizjologicznym czy morfologicznym, w którym zmiany strukturalne lub funkcjonalne mogą określać ogólny wpływ środowiska oraz mogą formułować szczegółowe oddziaływania ksenobiotyków w zakresie jakościowym i ilościowym (29, 36).

Biosensor – jest to narzędzie pomiarowe, które zawiera biologicznie aktywny materiał, będący w bezpośrednim kontakcie z właściwie dobranym elementem przetwornikowym, w celu detekcji stężenia lub aktywności chemicznej ksenobiotyków w dowolnej próbce analitycznej (5, 26, 41). Detekcja odbywa się poprzez odpowiednie połączenie selektywnego, biologicznego systemu rozpoznawania, tj. mikroorganizm, przeciwciało, DNA, enzym, membrana, organelle, komórka lub tkanka i przetwornika przekształcającego zjawiska biologiczne na sygnały elektryczne. Rejestracja uzyskanych danych odbywa się za pomocą detektorów elektrochemicznych (np. potencjometrycznych, amperometrycznych lub konduktometrycznych), odbiorników optycznych, piezoelektrycznych lub termicznych. Połączenie elementów biologicznych i elektronicznych pozwala na szybkie, czułe i precyzyjne wykrycie nie tylko małych ilości ksenobiotyków, ale także niebezpiecznych mikroorganizmów, czy nawet toksyn (26, 42).

Obserwacje prowadzone na bazie schematu: pomiar ekspozycji – badanie procesów kumulacji i metabolizmu zanieczyszczeń ksenobiotykami przez organizmy żywe, stały się podstawą rozwoju, opracowania i wdrożenia metod badawczych, które ogólnie nazwano biotestami (28, 29, 36, 37, 41, 42, 56).

Biotest – można zdefiniować jako standaryzowaną, eksperymentalną próbkę biologiczną (cały organizm lub jego część) roślinny, zwierzęcia lub zespół organizmów, czy wycinek ekosystemu (mezosystemu, mikrosystemu), której celem jest wykrycie toksycznej substancji znajdującej się w biocenozie lub poznaniu jej toksycznego działania, poprzez ilościowe oznaczenie wpływu badanej substancji i możliwości interakcji w porównaniu do obiektu kontrolnego. Biotesty wykorzystują niekiedy biomarkery lub rzadziej specyficzne biosensory i mogą być stosowane w bioindykacji lub biomonitoringu (27, 29, 32, 42, 43, 47, 55, 58, 60, 66).

Według Kuczyńskiej i in. (29), w badaniach z użyciem biotestów, powszechnie uznawane są trzy sposoby ich przeprowadzania, dwa pierwsze prowadzane są w warunkach kontrolowanych, natomiast trzeci sposób przeprowadzany jest z wykorzystaniem populacji organizmów żyjących w warunkach naturalnych.

1. Biotesty wykonywane w laboratorium, podczas których ksenobiotyk jest sztucznie wprowadzany do medium (np. gleby). Następnie zostaje wykonany test z odpowiednio dobranym organizmem wskaźnikowym np. roślinnym czy zwierzęcym. Uzyskane w ten sposób wyniki są źródłem informacji na temat toksyczności danego ksenobiotyku w warunkach kontrolowanych. Głównym celem takiego biotestu jest przeprowadzenie wzorcowania, które następnie będzie wykorzystane do oszacowania toksyczności próbek właściwych, np. pozyskanych z obszarów zanieczyszczonych (17, 55).

2. Biotesty wykonywane w laboratorium na bazie próbek właściwych (np. wody, osadu, gleby) pobranych z obszarów zanieczyszczonych. Toksyczność takich próbek jest porównywana z toksycznością próbek wzorcowych (17, 52, 53, 56).

3. Biotesty przeprowadzane w miejscu występowania populacji organizmów wrażliwych, najczęściej w warunkach ich naturalnego występowania (28, 29, 41, 54).

Jednym z podstawowych kryteriów praktyk analitycznych w ekotoksykologii jest element aktywny testu, czyli organizm który jest wykorzystywany jako biodetektor. Najczęściej wykorzystywane są następujące organizmy: bakterie, rośliny oraz zwierzęta (6, 29, 31, 39, 55, 62, 69).

Biotesty z elementem aktywnym w postaci bakterii

Do niedawna w tego typu badaniach wykorzystywało się głównie kolonie bakterii, które były namnażane odpowiednio wcześniej w laboratorium biologicznym. Obecnie, dzięki postępowi biotechnologicznemu w badaniach ekotoksykologicznych, najczęściej stosuje się testy ostre, oparte na bakteriach w formie uśpionej, dołączonych do odpowiedniego mikrobiotestu, np. Microtox® (Acute, Solid Phase,

Solo), Mutatox®, LUMIStox®, ToxAlert®100, BiofixLumi®, N/A® (29, 61, 69, 71). Najczęściej czynnikiem aktywnym takich testów są bakterie z rodzaju *Vibrio fischeri*, posiadające zdolności luminescencyjne. Wpływ ksenobiotyków oznacza się obserwując ograniczenie „świecenia" bakterii, w porównaniu z próbą kontrolna (bakterie „świecące" nie narażone na działanie ksenobiotyka). Biotesty oparte na pomiarze bioluminescencji bakterii z rodzaju *Vibrio fischeri*, wykorzystuje się najczęściej do oceny skażenia wody powierzchniowej (słodkiej-pitnej), wody powierzchniowej (słonej i słonawej), wody podziemnej, osadów (ekstrakty z osadów), odpadów stałych (odcieki z odpadów, osady ściekowe, szlam, muł), ścieków czy gleby (29, 58, 59, 70, 71). Natomiast do oceny ryzyka i toksyczności chronicznej stosuje się system MARA (*Microbial Assay for Risk Assessment*). Test ten służy do wykonania badania toksyczności, a także do uzyskania informacji (*fingerprint*) o toksycznym działaniu substancji chemicznych i próbek środowiskowych. Biotest ten jako bioindykatory, wykorzystuje dziesięć organizmów prokariotycznych w postaci bakterii o różnej taksonomii oraz jeden organizm eukariotyczny w postaci drożdży. Aktywność substancji toksycznych jest mierzona na podstawie rozwoju szczepów bakteryjnych w obecności ksenobiotyka. Rozwój szczepów bakteryjnych jest zależny od redukcji barwnika redukcyjnego. W wyniku redukcji powstaje nierozpuszczalny związek chemiczny (w kolorze czerwonym), który wytrąca się na komórkach mikrobowych w postaci osadu zalegającego w studzienkach. Obraz płytki uzyskuje się za pomocą skanera płaskiego, który następnie jest analizowany za pomocą specjalnego oprogramowania MARA, określającego poziom toksyczności (39, 58, 71).

Biotesty z elementem aktywnym w postaci roślin lub ich diaspor

W ekotoksykologii do badań wpływu różnych ksenobiotyków na środowisko glebowe, najczęściej wykorzystywane są rośliny i ich nasiona. Związane jest to głównie z aspektem etycznym (problemy związane z pozyskiwaniem zwierząt doświadczalnych), ekonomicznym (niższe koszty badań) i praktycznym (krótki czas przygotowania oraz szybki i powtarzalny odczyt). Biotesty oparte na analizie zmian w obrębie organizmu roślinnego nazywane są bardzo często fitotestami. Testy takie dostarczają informacji o organizmach kluczowych dla danego ekosystemu, dzięki czemu można za ich pomocą monitorować jego stan. Zdaniem Barana i in. (2), Sekutowskiego i Bortniaka (55), Sekutowskiego i Sadowskiego (56, 57), fitotoksyczność ksenobiotyków, można określić na podstawie zależności dawka, a efekt końcowy, który może być wyrażony, np. brakiem kiełkowania lub redukcją świeżej lub suchej masy rośliny testowej w porównaniu do obiektu kontrolnego (nie traktowanego ksenobiotykiem). Zależności dawka, a efekt końcowy może również służyć przewidywaniu ryzyka, tzn. wyznaczeniu dawki i czasu zalegania, np. pozostałości substancji aktywnej herbicydu, przy których prawdopodobieństwo wystąpienia efektów fitotoksycznych jest odpowiednio duże lub niewielkie. Gatunki roślin o wąskim zakresie tolerancji (stenobionty), wykazujące dużą wrażliwość na

określone ksenobiotyki określa się jako gatunki wskaźnikowe lub bioindykatory. Stąd fitotesty bardzo często wykorzystywane są w biomonitoringu i fitoremediacji do oceny skutków, jakie ksenobiotyki mogą wywierać na poszczególne elementy agrofitocenozy (np. roślinę uprawną, glebę czy wodę) (4, 12, 20, 22). Przykładem ukazującym tą zależność, są badania przeprowadzone przez Sadowskiego i in. (52, 53) i Sadowskiego i Sekutowskiego (54) odnoszące się do fitotoksycznego działania pozostałości substancji aktywnych herbicydów na rośliny następcze. Autorzy ci, za pomocą fitotestów dowiedli, że pozostałości herbicydów w glebie mogą stwarzać zagrożenie dla upraw następczych w dwu krytycznych momentach. Pierwszy odnosi się do przesiewów, czyli sytuacji, kiedy to z różnych przyczyn, najczęściej niezależnych od plantatora, następuje likwidacja plantacji. Natomiast drugi moment dotyczy pozostałości zalegających w glebie i wykazujących fitotoksyczne działanie tuż po zbiorze rośliny uprawnej lub nawet jeszcze przez kilka kolejnych miesięcy.

Dzięki fitotestom uzyskuje się konkretną informację o wpływie badanego czynnika na agrofitocenozę. Fitotesty najczęściej wykorzystuje się do oceny skażenia gleby, osadów czy cieków wodnych (13, 14, 49, 58). W tego typu badaniach wykorzystuje się wiele rodzajów roślin. Najczęściej do oceny skażenia wody słodkiej wykorzystuje się następujące glony: *Selenastrum capricornutum*, *Scenedesmus quadricauda*, czy *Scenedesmus subspicatus* (29, 65, 69, 70). W przypadku oceny zanieczyszczenia wód słonych ksenobiotykami, stosuje się następujące glony: *Phaeodactylum tricornutum*, czy *Skeletonema costatum* (29, 42, 43, 69). Natomiast w typowych badaniach laboratoryjnych, najpowszechniej wykorzystuje się makrofity, czyli dwa gatunki rzęsy wodnej: *Lemna minor* oraz *Lemna gibba*. Za jej tak powszechnym wykorzystaniem jako materiału biologicznego (biodetektora) w tego typu testach, przemawiają głównie trzy rzeczy: małe rozmiary, łatwość hodowli i krótki czas rozmnażania (5, 29, 42, 58).

Konieczność wykonywania analiz wielu próbek glebowych w stosunkowo krótkim czasie doprowadziła do pojawienia się zminiaturyzowanych testów fitotoksyczności II generacji, zwanych mikrobiotestami. Przykładem takiego mikrobiotestu może być testy: Phytotoxkit lub Phytotestkit (10, 48, 56). Zasada działania testu Phytotoxkit opiera się o kiełkujące nasiona trzech gatunków roślin, jednoliściennej: *Sorghum saccharatum* oraz dwuliściennych: *Lepidium sativum* i *Sinapis alba*, które w wyniku kontaktu z ksenobiotykiem znajdującym się w glebie czy osadzie, wykazują specyficzną reakcje (brak kiełkowania lub redukcję długości korzeni bądź koleoptyla). Standaryzowana procedura testu Phytotoxkit omija wszystkie pracochłonne czynności, jakie są związane z biotestami klasycznymi (I generacji), przez co znacznie został skrócony czas z 14 (21) dni do 72 h, jaki jest potrzebny do uzyskania informacji o toksyczności danej próbki zawierającej osad, czy też glebę (48). Natomiast test toksyczności ostrej Phytotestkit jest odmianą mikrobiotestu Phytotoxkit i umożliwia określanie „bezpośredniego" (wewnętrznego) wpływu substancji toksycznych, hamujących kiełkowanie i substancji stymulujących kiełkowanie i wzrost roślin, bez uprzedniego wprowadzania tych związków do gleby referencyjnej (71).

Biotesty z elementem aktywnym w postaci zwierząt

Osobną grupę biotestów, którą klasyfikuje się ze względu na użyty materiał badawczy, stanowią testy zwierzęce (29, 42, 58). Są narzędziem wykorzystywanym w badaniach obrazujących wpływ czynników antropogenicznych na jakościowe elementy biocenozy (11, 61, 68). Ponadto w badaniach ekotoksykologicznych i toksykologicznych przeprowadzanych w laboratorium, szczególnie przydatne są organizmy stałocieplne. Stanowią czynnik biotestu oceniający toksyczność środków farmakologicznych i kosmetologicznych, umożliwiając badanie substancji czynnych zawartych w poszczególnych lekach, czy kosmetykach (45, 46). W tego rodzaju biotestach wykorzystuje się gatunki charakterystyczne zarówno dla środowiska lądowego, jak i wodnego. Przeważnie są to organizmy zróżnicowanych ogniw troficznych, poczynając od pierwotniaków, poprzez mięczaki, a kończąc na ssakach (8, 29, 31, 42, 58, 62).

Do oceny skażenia środowiska wodnego (wody, osadów dennych), najczęściej wykorzystywane są następujące organizmy: skorupiaki *Daphnia magna* (rozwielitka), *Artemia salina* (słonaczek), *Hyalella azteca*, *Mysidopsis bahia*, *Leptocheirus plumulosus*, *Paracorophium excavatum*, skąposzczety *Tubifex tubifex* (rureczniki), *Limnodrilus hoffmeisteri*, pierścienice *Hirudo medicinalis* (pijawka lecznicza), mięczaki *Anodonta cygnea zellensis, Dreissenna polymorpha* (racicznica zmienna), *Corbicula fluminea*, owady *Hexagenia bilineata, H. limbata*, *Chironomus tentans* (larwy ochotki) oraz ryby *Lepomis macrochirus* (okoń błękitnoskrzeli), *Platichthys flesus* (stornia-flądra), czy *Ictalurus punctatus* (sumik kanałowy). Natomiast do oceny próbek środowiskowych (np. gleby, powietrza) najczęściej wykorzystywane są takie organizmy jak: *Eisenia foetida* (kompostowiec różowy – dżdżownica), *Helix aspersa aspersa* (europejski ślimak brązowy), *Folsomia candida* (skoczogonki), *Apis mellifera* (pszczoła miodna) oraz organizmy stałocieplne: *Rattus - Lab Rats* (szczur laboratoryjny), *Mus* (mysz laboratoryjna), *Oryctolagus cuniculus* (królik), *Cavia porcellus* (świnka morska), *Meriones unguiculatus* (suwak mongolski-myszoskoczek-gerbil) (6, 7, 11, 18, 23, 29, 42, 58, 62).

Mikrobiotesty

Oddzieloną grupę, ze względu na komercyjną dostępność oraz niewielkie rozmiary, stanowią gotowe mikrobiotesty. W skład każdego mikrobiotestu wchodzi element aktywny w postaci żywego organizmu roślinnego, częściej jednak zwierzęcego, który jest gotowy do użycia w odpowiednim momencie. Zaletą tych testów (dzięki wcześniejszej walidacji) jest możliwość otrzymywania porównywalnych i powtarzalnych wyników, niezależnie od laboratorium, w którym przeprowadzane są badania. Dzięki standaryzowanym kulturom organizmów, nie występuje potrzeba prowadzenia własnego namnażania i hodowli. Ponadto oznaczenia przeprowadzone

przy użyciu wymienionych testów, charakteryzuje niższy koszt jednostkowy. W porównaniu do testów konwencjonalnych, skraca się również czas oczekiwania na uzyskanie odpowiedzi odnośnie toksyczności bądź braku toksyczności badanej próbki. Za przykład może posłużyć kilka mikrobiotestów z biodetektorem roślinnym (np. Phytotoxkit) lub zwierzęcym (np. Daphtoxkit F magna, Daphtoxkit F pulex, Ceriodaphtoxkit F, Thamnotoxkit F, Ostracodtoxkit F, Rototoxkit F acute, Rapidtoxkit F, Prototoxkit F, Artoxkit M) (15, 25, 26, 27, 29, 33, 39, 47, 48, 49, 55, 56, 58, 60, 65, 69, 71). Dodatkowym atutem mikrobiotestów jest ewentualność pracy na kilku próbach jednocześnie, co daje możliwość rozbudowania eksperymentu do ciągu kilku różnych testów, tworząc, tzw. baterie biotestów (14, 32, 47, 49, 66). Taki „zbiór" kilku biotestów może występować w obrębie jednego testu (np. Microtox, Phytotoxkit, Rapidtoxkit F), który może obejmować kilka gatunków roślin, czy zwierząt testowych o różnej wrażliwości na daną grupę ksenobiotyków. Ponadto mogą być tworzone zespoły baterii, w obrębie kilku testów wykorzystujących różne biodetektory, bazujące na wielu poziomach troficznych, a przez to tworzące zmienną (poszerzoną) czułości na ksenobiotyki (21, 25, 30, 33, 50, 68). Przykładem mogą być badania przeprowadzone przez Manusadźianasa i in. (33), którzy dzięki zastosowaniu baterii biotestów, tj. Charatox ↔ Thamnotoxkit F ↔ Microtox, dowiedli, że informacje o poziomie skażenia uzyskane z baterii biotestów, są zdecydowanie bardziej precyzyjne niż z pojedynczego biotestu, gdyż dokładniej odzwierciedlają faktyczny poziom toksyczności próbki testowej.

Podsumowanie

Metody fizykochemiczne najczęściej zawężają swoje wyniki jedynie do informacji ilościowych i jakościowych rozmaitych form zanieczyszczeń, bez możliwości oszacowania bezpośredniego wpływu na biocenozę. Dlatego coraz częściej podejmuje się badania nad organizmami roślinnymi, czy zwierzęcymi w ich naturalnym środowisku, względnie w specjalnie do tego celu przygotowanych laboratoriach biologicznych. Już od ponad 40 lat pomiary z zakresu bioindykacji są uznawanym i cenionym uzupełnieniem klasycznych metod fizykochemicznych, monitorowania środowiska. Uzyskane w ten sposób informacje, wykorzystywane są głównie do całościowego określenia stanu środowiska naturalnego pod względem jakościowym (bioindykacja), jak i ilościowym (biomonitoring). Badania te dostarczają często podstawowych informacji o stopniu zanieczyszczenia biocenozy, a w węższym zakresie agrofitocenozy, zarówno w konkretnym momencie, jak i w perspektywie przyszłych zmian, które mogą ujawnić się dopiero po kilku, czy kilkunastu latach. Bioindykacja bardzo często ogranicza się jedynie do obserwacji i pomiarów zawartości ksenobiotyków w ściśle określonych roślinach lub zwierzętach, które określane są mianem gatunków wskaźnikowych (biodetektorów). Ponadto ekotoksykolodzy przeprowadzają specyficzne testy określane mianem bioakumulacji, analizując parametry związane z pobieraniem i gromadzeniem określonych ksenobiotyków

w zależności od czasu oddziaływania na określone tkanki roślinne lub zwierzęce. Jednak coraz częściej do oznaczeń biodostępnych toksycznych pozostałości różnych ksenobiotyków w agrofitocenozie wykorzystuje się gotowe biotesty oraz ich komercyjne modyfikacje w postaci mikrobiotestów. Testy te w porównaniu z konwencjonalnymi metodami umożliwiają relatywnie szybką i tanią metodę analizy skażenia środowiska wodnego, czy też glebowego różnymi ksenobiotykami. Jeszcze dokładniejsze badania ekotoksykologiczne można przeprowadzić stosując baterie biotestów, które umożliwiają całościową oceną ekotoksykologiczną skażenia środowiska. Dzięki szybkiemu postępowi w dziedzinie biologicznej techniki detekcji (biotesty i biosensory), monitoring i ochrona środowiska naturalnego staje się coraz bardziej efektywna, a działania zaradcze podejmowane są zdecydowanie trafniej, szybciej i co najważniejsze kompleksowo.

Literatura

1. Alonso-Prados J. L., Hernandez-Sevillano E., Llanos S., Villarroya M., Garcia-Baudin J. M.: Effects of sulfosulfuron soil residues on barley (*Hordeum vulgare*), sunflower (*Helianthus annuus*) and common vetch (*Vicia sativa*). Crop Protect., 2002, **21:** 1061-1066.
2. Baran A., Jasiewicz C., Klimek A.: Reakcja roślin na toksyczną zawartość cynku i kadmu w glebie. Proc. ECOpole , 2008, **2(2):** 417-422.
3. Belkin S., Steiber M., Tiehm A., Frimmel F.H., Abeliovich A., Werner P., Ulitzur S.: Toxicity and genotoxicity enhancement during polycyclic aromatic hydrocarbons biodegradation. Environ. Toxicol. Water Qual., 1994, **9:** 303-309.
4. Bierkens J., Klein G., Corbisier P., Van Den Heuvel R., Verschaeve L., Weltens R., Schoeters G.: Comparative sensitivity of 20 bioassays for soil quality. Chemosphere, 1998, **37:** 2935-2947.
5. Błaszczyk M.K.: Mikroorganizmy w ochronie środowiska. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa, 2007, 175-183.
6. Bownik A., Rymuszka A., Sierosławska A., Skowroński T.: Oddziaływanie cyjanotoksyn na układ odpornościowy ryb. Ekotoksykologia w ochronie środowiska. B. Kołwzan i K. Grabas (red.). Wyd. Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych Oddział Dolnośląski, 2008, **884:** 45-48.
7. Bräunlich H., Bernhardt H., Berndhart I.: Renal handling of 2-methyl-4-chlorophenoxyacetic acid (MCPA) in rats. J. Appl. Toxicol., 1989, **9(4):** 255-258.
8. Brucka-Jastrzębska E., Kawczuga D., Rajkowska M., Kempter M.: Wpływ warunków hodowli na poziom wewnątrzustrojowych antyoksydantów i zawartość makro- i mikroelementów u pstrąga tęczowego (*Oncorhynchus mykiss* Rich.). Ekotoksykologia w ochronie środowiska. B. Kołwzan i K. Grabas (red.). Wyd. Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych Oddział Dolnośląski, 2008, **884:** 49-54.
9. Brzózka Z. (red.).: Mikrobioanalityka. Wyd. OWPW, Warszawa, 2009, 254 ss.
10. Czerniawska-Kulesza I., Cieszelczuk T., Kusza G., Cichoń A.: Comparison of the Phytotoxkit microbiotest and chemical variables for toxicity evaluation of sediments. Wiley Periodicals, Inc. Environ. Toxicol., 2006, **21:** 367-372.
11. De la Torre F., Salibian A., Ferrari L.: Assessment of the pollution impact on biomarkers of effect of a freshwater fish. Chemosphere, 2007, **46:** 1582-1590.
12. Dećkowska A., Pierścieniak M., Gworek B., Maciaszek D.: Wybrane gatunki roślin jako wskaźniki zmian w środowisku. Ochr. Środ. Zasob. Nat., 2008, **37:** 128-138.
13. Drzewicz P., Nałęcz-Jawecki G., Gryz M., Sawicki J., Bojanowska-Czajka A., Głuszewski W., Kulisa K., Wołkowicz S., Trojanowicz M.: Monitoring of toxicity Turing degradation of selected pesticides using ionizing radiation. Chemosphere, 2004, **57:** 135-145.

14. Fernandez-Alba A.R., Hernando M.D., Piedra L., Chisti Y.: Toxicity evaluation of single and mixed biocides measured with acute toxicity bioassays. Anal. Chim. Acta, 2002, **456:** 303-312.
15. Filipiak M., Fludra K., Gosciminska E.: Enzymatic membranes for determination of some disaccharides by means of an oxygen electrode. Biosens. Bioelectron., 1996, **11:** 355-364.
16. Gadzała-Kopciuch R., Berecka B., Bartoszewicz J., Buszewski B.: Some considerations about bioindicators in environmental monitoring. Pol. J. Environ. Stud., 2004, **13(5):** 453-462.
17. Geisel B. G. L., Schoenau J. J., Holm F. A., Johnson E. N.: Interactions of ALS inhibiting herbicide residues in three prairie soils. Weed Sci., 2008, **56:** 624-627.
18. Hattula M.L., Elo H., Reunanen H., Arstila A.U.: Acute and subchronic toxicity of 2-methyl-4-chlorophenoxyacetic acid (MCPA) in male rat. I. Light microscopy and tissue concentrations of MCPA. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 1977, **18(2):** 152-158.
19. Hernández-Sevillano E., Villarroya M., Alonso-Prados J.L., García Baudín J.M.: Bioassay to detect sulfosulfuron and triasulfuron residues in soil. Weed Res., 2001, **15:** 447-452.
20. Holgado R., Rowe J., Andersson S., Magnusson C.: Electrophoresis biotest studies on some population of cereal cyst nematode, *Heterodera* spp. (*Tylenchida*: *Heteroidae*). Nematology, 2004, **6(6):** 857-865.
21. Hollaway K .L., Kookana R.S., McQuinn D.J., Moerkerk M.R., Noy D.M., Smal M.A.: Comparison of sulfonylurea herbicide residue detection in soil by bioassay, enzyme-linked immunosorbent assay and HPLC. Weed Res., 1999, **39:** 383-397.
22. Ignatowicz K.: Badania rozpoznawcze możliwości zastosowania fitoremediacji do ochrony terenów wokół mogilników pestycydowych. Środ. Pom. Tow. Nauk. Ochr. Środ., 2009, **11(73):** 1007-1016.
23. Inomata N., Yoshida H., Aoki Y., Tsunoda M., Yamamoto M.: Effects of MCPA and other phenoxyacid compounds on hepatic xenobiotic metabolism in rats. Tohoku J. Exp. Med., 1991, **165(3):** 171-182.
24. Jun-Dong W., Hua-Jun B., Hai-Yan S., Ming-Hua W.: Development of an enzyme-linked immunosorbent assay for quantitative determination of cyhalofop-butyl. Pest. Bioch. Physiol., 2010, **98:** 68-72.
25. Kahru A., Dubourgier H-C., Blinowa I., Ivask A., Kasemets K.: Biotests and Biosensors for ecotoxicology of metal oxide nanoparticles. Sensors, 2008, **8:** 5153-5170.
26. Kołwzan B.: Zastosowanie czujników biologicznych (biosensorów) do oceny jakości wody. Ochr. Środ., 2009, **31(4):** 3-14.
27. Kratasyuk V., Esimbekova E., Gladyshev M., Khromichek E., Kuznetsov A., Ivanova E.: The use bioluminescent biotests for study of natural and laboratory aquatic ecosystems. Chemosphere, 2001, **42**: 909-915.
28. Kuczyńska A., Wolska L., Namieśnik J.: Application of biotests in environmental research. Crit. Rev. Anal. Chem., 2005, **35(2):** 135-154.
29. Kuczyńska A., Wolska L., Namieśnik J.: Zastosowanie biotestów w badaniach środowiskowych. Nowe horyzonty i wyzwania w analityce i monitoringu środowiskowym. J. Namieśnik, W. Chrzanowski, P. Szpinek (red.). Wyd. Centrum Doskonałości Analityki i Monitoringu Środowiskowego (CEEAM), Politechnika Gdańska, 2003, 668-699.
30. Maargit S., Erich D., Klaus B.: Enzyme immunoassay and fluoroimmunoassay for the herbicide diclofop-methyl, J. Agric. Food Chem., 1984, **32:** 734-741.
31. Majdanik Sł., Borowiak K., Brzezińska M., Machoy-Mokrzyńska A.: Stężenia wybranych biopierwiastków w surowicy krwi szczurów narażonych na działanie psylocyny i fenyloetyloaminy. Annal. Acad. Med. Stet./Rocz. Pom. Akad. Med. w Szczecinie, 2007, **53(2):** 153-158.
32. Mantis I., Voutsa D., Samara C.: Assessment of the environmental hazard from municipal and industrial wastewater treatment sludge by employing chemical and biological methods. Ecotoxicol. Environ. Saf., 2005, **62**: 397-407.
33. Manusadźianas L., Balkelyte. L., Sadauskas K., Blinova I., Põllumaa L., Kahru A.: Ecotoxicological study of Lithuanian and Estonian wastewaters: selection of the biotests, and correspondence between toxicity and chemical-based indices. Aquat. Toxicol., 2003, **63:** 27-41.

34. Markert B., Oehlmann J., Roth M.: General aspects of heavy metal monitoring by plants and animals. In: Subramanian G., Iyengar V. (eds.). Environmental Biomonitoring-Exposure Assessment and Specimen Banking, 1997, ACS Symp. Ser. 654. American Chemical Society, Washington DC.
35. Markert B., Wappelhorst O., Weckert V., Herpin U., Siewers U., Friese K., Breulmann G.: The use of bioindicators for monitoring the heavy metal status of the environment. J. Radioanal. Nucl. Chem., 1999, **240(2):** 425-429.
36. Markert B., Wünschmann S., Diatta J., Chudzińska E.: Innowacyjna obserwacja środowiska - bioindykatory i biomonitory: definicje, strategie i zastosowania. Ochr. Środ. Zasob. Natural., 2012, **53:** 115-152.
37. Michel M., Buszewski B.: Isolation, determination and sorption modelling of xenobiotics in plant materials. Pol. J. Environ. Studies, 2008, **17(3):** 305-319.
38. Muszyńska A.: Środki ochrony roślin w ujęciu ekotoksykologicznym - rodzaje badań, dobór gatunków testowych oraz analiza otrzymanych wyników. Ekotoksykologia w ochronie środowiska. B. Kołwzan i K. Grabas (red.). Wyd. Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych Oddział Dolnośląski, 2008, **884:** 231-236.
39. Nałęcz-Jawecki G., Piekarek A., Sawicki J.: Zastosowanie testu bakteryjnego MARA do oceny ekotoksyczności leków. Ekotoksykologia w ochronie środowiska. B. Kołwzan i K. Grabas (red.). Wyd. Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych Oddział Dolnośląski, 2008, **884:** 237-242.
40. Nałęcz-Jawecki G.: Ekotoksykologia. Kosmos. Probl. Nauk Biol., 2012, **61(3):** 377.
41. Namieśnik J., Szefer P.: Analytical measurements in aquatic environments. CRC Press, 2010, pp. 489.
42. Namieśnik J.: Trendy w analityce i monitoringu środowiskowym. W: Nowe horyzonty i wyzwania w analityce i monitoringu środowiskowym. Namieśnik J., Chrzanowski W., Szpinek P. (red.). Wyd. CEEAM, Gdańsk, 2003, 1-32.
43. Nendza M.: Inventory of marine biotest methods for the evaluation of dredged material and sediments. Chemosphere, 2002, **48:** 865-883.
44. Newman M.C., Clements W.H.: Ecotoxicology. A comprehensive treatment. Ed. CRC Press Taylor&Francis Group, Boca Raton, London, New York, 2008, 852 pp..
45. Nigam P.: Adverse reactions to cosmetics and methods of testing. Ind. J. Derm., Vener. Lepr., 2009, **75(1):** 10-19.
46. Park S., Choi K.: Hazard assessment of commonly used agricultural antibiotics on an aquatic ecosystems. Ecotoxicology, 2008, **17:** 526-538.
47. Persoone G., Marsalek B., Blinowa I., Törökne A., Zarina D., Manusadžianas L., Nałęcz-Jawecki G., Tofan L., Stepanowa N., Tothova L., Kolar B.: A practical and user-friendly toxicity classification system with microbiotests for natural waters and wastewaters. Environ. Toxicol., 2003, **18(6):** 395-402.
48. Phytotoxkit.: Seed germination and early growth microbiotest with higher plants. Standard Operational Procedure. Nazareth, Belgium, MicroBioTest Inc., 2004, pp. 24.
49. Piotrowicz-Cieślak A., Adomas B., Michalczyk D.: Different glyphosate phytotoxicity to seeds and seedlings of selected plant species. Pol. J. Environ. Stud., 2010, **19(1):** 123-129.
50. Płaza G., Ulfig K., Tien A.J.: Immunoassays and environmental studies. Pol. J. Environ. Stud., 2000, **9(4):** 231-236.
51. Przybyt M., Haggett B., Dembczyński R., Jankowski T.: Biosensory. Metody pomiarów i kontroli jakości w przemyśle spożywczym i biotechnologii (red. M. Jankiewicz, Z. Kędzior). Wyd. A.R., Poznań, 2003, 253-321.
52. Sadowski J., Kucharski M., Sekutowski T.: Ocena zagrożeń upraw następczych przez pozostałości wybranych herbicydów stosowanych w uprawach rzepaku. Prog. Plant Protect./Post. Ochr. Roślin, 2007, **47(3):** 246-253.
53. Sadowski J., Rola H., Kucharski M.: Zastosowanie biotestów do oceny poziomu pozostałości herbicydów w glebie. Prog. Plant Protect./Post. Ochr. Roślin, 2002, **42(1):** 152-158.
54. Sadowski J., Sekutowski T.: Ocena ryzyka fitotoksycznego działania pozostałości herbicydów na uprawy następcze. W: Ekotoksykologia w ochronie środowiska. PZITS, Wrocław, 2008, **884:** 349-354.

55. Sekutowski T., Bortniak M.: Ocena przydatności *Fagopyrum sagittatum* jako fitodetektora w wykrywaniu pozostałości herbicydów w glebie. Pam. Puł., 2009, **149:** 65-72.
56. Sekutowski T., Sadowski J.: PHYTOTOXKIT™ microbiotest used in detecting herbicide residue in soil. Environ. Prot. Eng., 2009, **35(1):** 105-110.
57. Sekutowski T., Sadowski J.: Use of bioassays for assessment of residues level of herbicides active ingredients in soil. Pesticides/Pestycydy, 2006, **(1-2):** 59-64.
58. Sikorski Ł., Adomas B.: Biotesty w badaniach toksykologicznych i ekotoksykologicznych. Post. Nauk Rol., 2010, **4:** 121-131.
59. Simeonov V., Wolska L., Kuczynska A., Gurwin J., Tsakovski S., Namiesnik J.: Chemo-metric estimation of natural water samples using toxicity tests and physicochemical parameters. Crit. Rev. Anal. Chem., 2007, **37(2):** 81-90.
60. Sosak-Świderska B.: Mikrobiotesty w badaniach wody. Bioskop, 2002, **2:** 9-10.
61. Sosnowiec K., Czernych R., Wolska L.: Jak badać i oceniać efekty współdziałania substancji na organizmy żywe? Kosmos. Probl. Nauk Biol., 2012, **61(3):** 425-431.
62. Sundt R.C., Meier S., Jonsson G., Sanni S., Beyer J.: Development of a laboratory exposure system using marine fish to carry out realistic effect studies with produced water discharged from offshore production. Mari. Pollut. Bull., 2009, **58(9):** 1382-1388.
63. Świderska-Broż M.: Wybrane problemy w oczyszczaniu wody do picia i na potrzeby gospodarcze. Ochr. Środ., 1999, **21(3):** 7-12.
64. Van Wyk L.J., Reinhardt C.F.: A bioassay technique detects imazethapyr leaching and liming-dependent activity. Weed Technol., 2001, **15(1):** 1-6.
65. Wadhia K., Clive Thompson K.: Low-cost ecotoxicity testing of environmental samples using microbiotest for potential implementation of the Water Framework Directive. Trends Anal. Chem., 2007, **26(4):** 300-307.
66. Wang C., Wang Y., Kiefer F., Yediler A., Wang Z., Kettrup A.: Ecotoxicological and chemical characterization of selected treatment process effluents of municipal sewage treatment plant. Ecotoxicol. Environ. Saf., 2003, **56(2):** 211-217.
67. Wang J.D., Shi H.Y., Ye Y.H., Wang M.H.: An enzyme-linked immunosorbent assay for detection of fenoxaprop-p-ethyl. Chin. J. Anal. Chem., 2009, **37:** 82-86.
68. Wardencki W., Namieśnik J.: Biomonitoring zanieczyszczeń środowiska. Inż. Ochr. Środ. (Eng. Prot. Environ.), 2001, **4(3-4):** 301-322.
69. Wolska L., Minkowski M., Kuczyńska A., Namieśnik J.: Wykorzystanie testu Toxalert do oceny stanu wód powierzchniowych wokół zakładu przemysłowego. Chem. Inż. Ekol., 2003, **10(6):** 575-586.
70. Wolska L., Sagajdakow A., Kuczyńska A., Namieśnik J.: Application of ecotoxicological studies in integrated environmental monitoring: Possibilities and problems. Trends Anal. Chem., 2007, **26(4):** 332-344.
71. www.tigret.eu

Adres do korespondencji:

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

S T U D I A I R A P O R T Y IUNG-PIB

ZESZYT 36(10): 161-171 **2014**

Stanisław Włodek[1], Katarzyna Pawęska[2], Andrzej Biskupski[1]

[1]Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa-Państwowy Instytut Badawczy w Puławach, [2] Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

WYKORZYSTANIE ŚCIEKÓW DO NAWODNIEŃ W ASPEKCIE ZMIAN KLIMATYCZNYCH ORAZ EKONOMICZNO-GOSPODARCZYCH*

Słowa kluczowe: nawadnianie, ścieki, zmiany klimatyczne, odłogi, plon biomasy

Wstęp

Na terenach wiejskich oczyszczanie ścieków stanowi niezwykle poważny problem, który powinien zostać rozwiązany w niedalekiej przyszłości (13). Z danych zestawionych przez NIK (11) wynika, że obszary nieobjęte systemem kanalizacji zbiorczej nie posiadają pełnej ewidencji dotyczącej sposobu zagospodarowania ścieków powstających na terenie gmin. Systemami kanalizacji zbiorczej w roku 2010 do centralnej oczyszczalni ścieków trafiało zaledwie 8,4% ścieków. Na terenie kraju funkcjonowały gminy, które nie potrafiły udokumentować sposobu utylizacji ponad 90% ścieków wytworzonych na ich terenie. W chwili obecnej, Polska staje przed problemem wywiązania się z realizacji Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych (10) oraz Strategii rozwoju obszarów wiejskich i rolnictwa (9). Rozbieżności pomiędzy założeniami KPOŚK, a rzeczywistą realizacją wynikają przede wszystkim z nieprawidłowo wyznaczonego obszaru aglomeracji. Z raportu NIK wynika, że w takich przypadkach będzie następowało ograniczenie obszarów aglomeracji przed kolejną aktualizacją KPOŚK (2, 19). Stwarza to realne szanse na wykorzystanie alternatywnych sposobów oczyszczania ścieków w środowisku naturalnym.

Obserwowane w ostatnich dziesięcioleciach zmiany klimatyczne związane z ociepleniem klimatu oddziałują na środowisko Polski (18). Przyczyną ocieplania się klimatu ziemi jest wzrost stężenia w atmosferze gazów cieplarnianych, głównie dwutlenku węgla, metanu i podtlenku azotu (5). Podejmowane przez społeczność międzynarodową próby spowolnienia zjawiska ocieplania klimatu mają na celu ograniczenie emisji do atmosfery dwutlenku węgla przez zwiększenie udziału energii pozyskiwanej ze źródeł odnawialnych (16). Nasz kraj zobowiązany jest do realizacji zadań wynikających z postanowień protokołu z Kioto, przedstawionych w dokumencie „Polityka energetyczna

*Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.6 programu wieloletniego IUNG-PIB

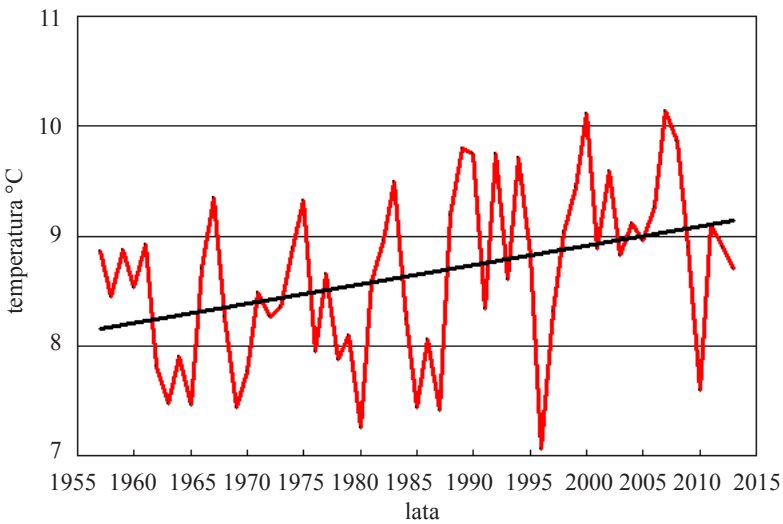
Polski do roku 2030" (8). Zakłada ona wzrost udziału odnawialnych źródeł energii w finalnym zużyciu energii, co najmniej do poziomu 15 % w 2020 roku oraz dalszy wzrost tego wskaźnika w latach następnych z uwzględnieniem zrównoważonego wykorzystania obszarów rolniczych do pozyskiwania biomasy.

Proces transformacji gospodarczej w kraju spowodował między innymi spadek opłacalności produkcji rolniczej oraz zmiany w strukturze zatrudnienia, co było przyczyną powstania w Polsce terenów czasowo wyłączonych z produkcji rolnej. Według szacunkowych danych powierzchnia odłogów pod koniec lat 90. wynosiła 2 mln ha (7). Areał odłogów zmniejszył się po wstąpieniu Polski do Unii Europejskiej, niemniej jednak w dalszym ciągu w krajobrazie naszego kraju znajdujemy tereny odłogowane. Z produkcji rolniczej wyłączne są przede wszystkim gleby o wadliwych stosunkach powietrzno wodnych, o dużej przepuszczalności i małej retencyjności. (7, 12). Wymienione cechy predysponują te gleby do nawadniania ściekami (15). Ustawa o ochronie gruntów nakłada na właściciela obowiązek przeciwdziałania procesom degradacji (20).

Celem pracy jest przedstawienie kierunku zmian podstawowych elementów meteorologicznych: temperatury powietrza oraz ilości opadów atmosferycznych, ich wpływu na gospodarkę wodną gleby oraz możliwości i efektów wykorzystania wody zawartej w ściekach do nawodnień terenów odłogowanych.

Zmiany klimatyczne w wieloleciu 1956-2013.

W ostatnich latach obserwujemy symptomy świadczące o zachodzących zmianach klimatycznych. Przeprowadzona analiza przebiegu zmian temperatury powietrza w miejscowości Jelcz Laskowice położonej na Dolnym Śląsku (N 51°03' E 17°21'), wykazała wyraźny, rosnący trend średnich rocznych temperatur powietrza (rys. 1).

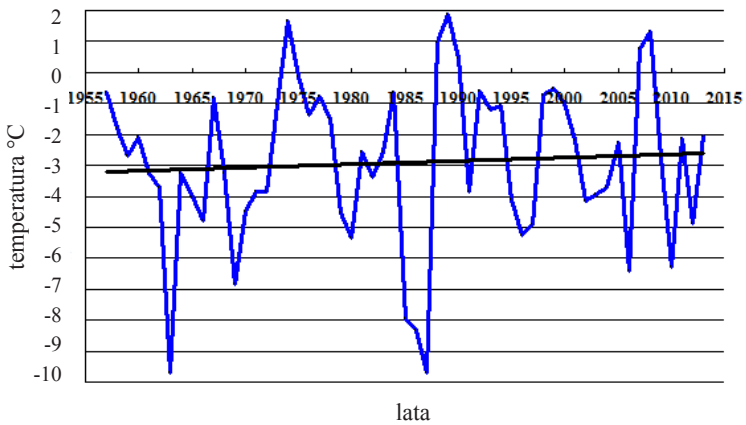


Rys. 1. Średnie roczne temperatury powietrza w wieloleciu 1957-2013

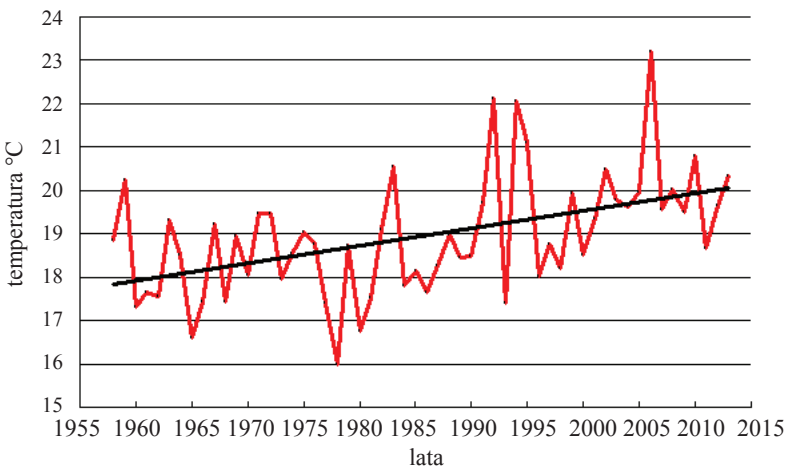
Źródło: opracowanie własne.

W okresie badawczym obejmującym lata 1956-2013 ekstremalne wartości średniej rocznej temperatury powietrza wynosiły 7,1°C w roku 1996 oraz 10,1 w latach 2000 i 2007.

Najniższe średnie miesięczne temperatury powietrza w omawianym okresie wahały się od –9,7 °C w latach 1963 i 1987 do +1,9 w 1989 roku (rys. 2). W tym przypadku trudno mówić o zdecydowanym kierunku zmian. Zgoła inaczej przedstawiała się sytuacja w przypadku analizy maksymalnych w roku średnich miesięcznych temperatur powietrza (rys. 3). Wprawdzie zakres zmian był niemalże o połowę niższy i wahał się od 16,0°C w roku 1978 do 23,2°C w roku 2006 ale w tym przypadku wystąpiła wyraźna tendencja rosnąca. Z przeprowadzonej analizy wynika, że oznaki ocieplenia w większym stopniu zauważalne są w miesiącach letnich niż zimowych.



Rys. 2. Najniższe w roku średnie miesięczne temperatury powietrza w wieloleciu 1956-2013.
Źródło: opracowanie własne.

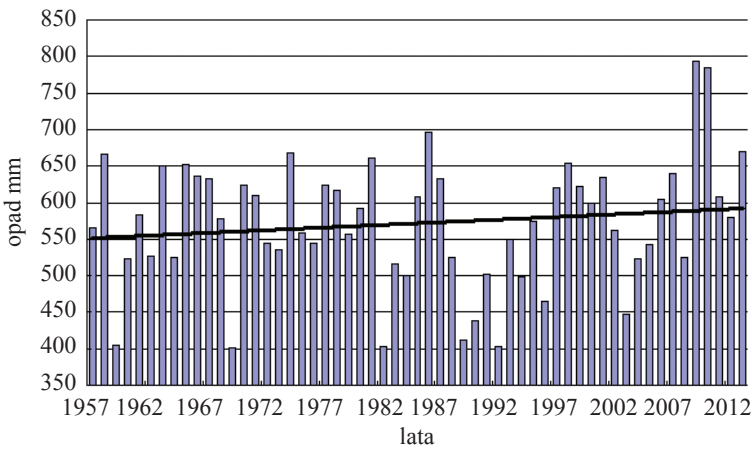


Rys. 3 Najwyższe w roku średnie miesięczne temperatury powietrza w wieloleciu 1956-2013
Źródło: opracowanie własne.

W niemniejszym stopniu miały miejsce zmiany w rozkładzie opadów atmosferycznych (rys. 4). Najmniejsze sumy roczne opadów, przekraczające niewiele ponad 400 mm, wystąpiły w latach 1959, 1969, 1982 oraz 1992, natomiast największe miały miejsce w roku 2009 (794,0 mm) oraz w roku 2010 (784,3 mm).

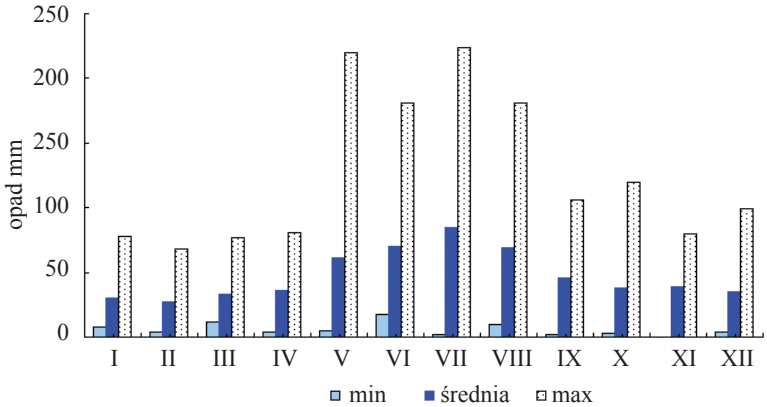
Największe ilości opadów w wieloleciu 1956-2013 występowały w miesiącach letnich (rys. 5). Równocześnie należy zaznaczyć, że we wszystkich miesiącach wystąpiły bardzo duże dysproporcje między wartościami ekstremalnymi. Minimalne sumy opadów miesięcznych wynosiły kilka milimetrów, a nawet w jednym miesiącu - listopadzie 2011 roku nie zanotowano przez cały miesiąc żadnego opadu. Maksymalne sumy opadów przekraczające 200 mm wystąpiły w maju i lipcu. Wśród dni z opadem około 46% nie przekraczało sumy 1 mm (rys. 6). W rozpatrywanym wieloleciu ulegała zmniejszeniu ilość dni w roku z opadem (rys. 7). Szczególnie wyraźnie zauważalne to było w ilościach dni z opadem poniżej 1mm (rys. 8).

Wzrastający trend średnich miesięcznych temperatur powietrza, szczególnie widoczny w okresie letnim, przy zmniejszającej się ilości dni z opadem atmosferycznym wpływa niekorzystnie na gospodarkę wodną gleby oraz zaopatrzenie roślin w wodę. Rosnące temperatury powietrza, sprzyjają rozwojowi roślin, zwiększają transpirację, przyśpieszają proces parowania, natomiast wydłużające się okresy bezopadowe pogłębiają niedobory wodne, a krótkie, intensywne opady deszczu często nie są w stanie uzupełnić zapasów wody glebowej przez co przesuszona gleba jest bardziej narażona na erozję wietrzną. Średnie miesięczne sumy opadów nie zapewniają w wielu przypadkach optymalnych wg. Klatta ilości wody dla roślin (rys. 9). Sytuację pogarsza wzrost intensywności opadów oraz zmniejszenie ilości dni z opadem. Intensywny opad deszczu, przekraczający możliwości infiltracyjne gleby przyczynia się do występowania spływów powierzchniowych powodujących erozję wodną, równocześnie ogranicza uzupełnienie zasobów wodnych gleby.

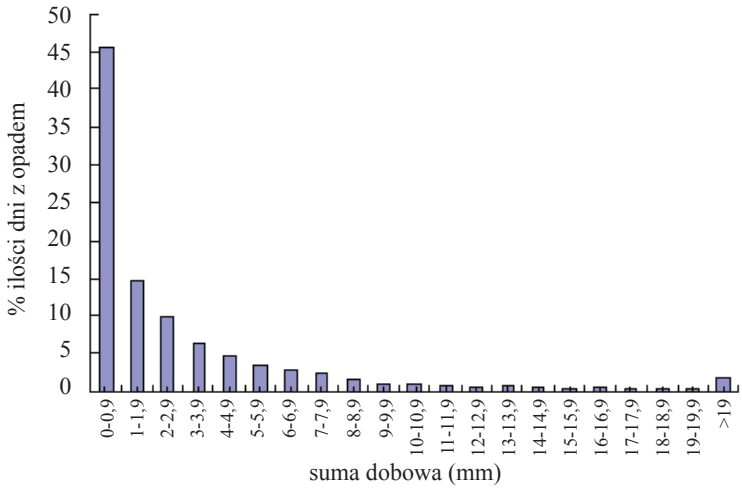


Rys. 4. Sumy roczne opadów w wieloleciu 1956-2013

Źródło: opracowanie własne.

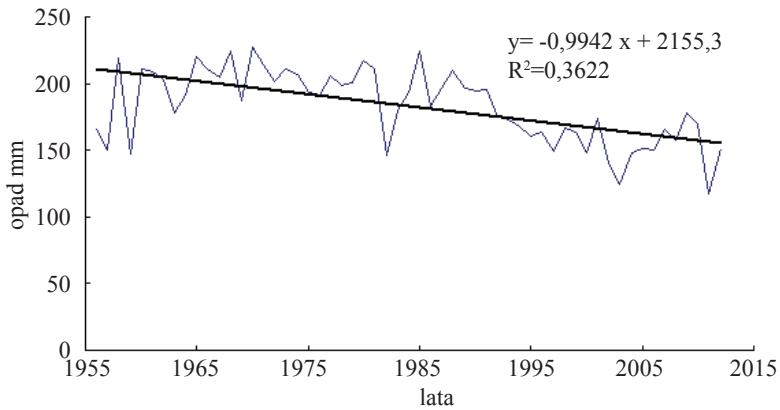


Rys. 5. Średnie miesięczne sumy opadów w wieloleciu 1956-2012 na tle wartości ekstremalnych
Źródło: opracowanie własne.



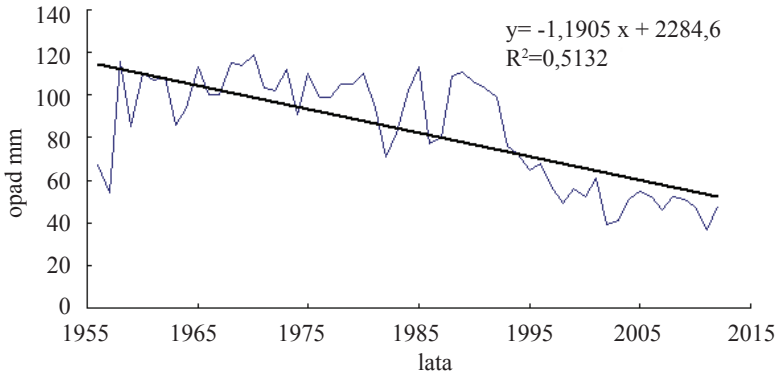
Rys. 6. Struktura ilości dni w roku z opadem w okresie 1956-2013

Źródło: opracowanie własne.



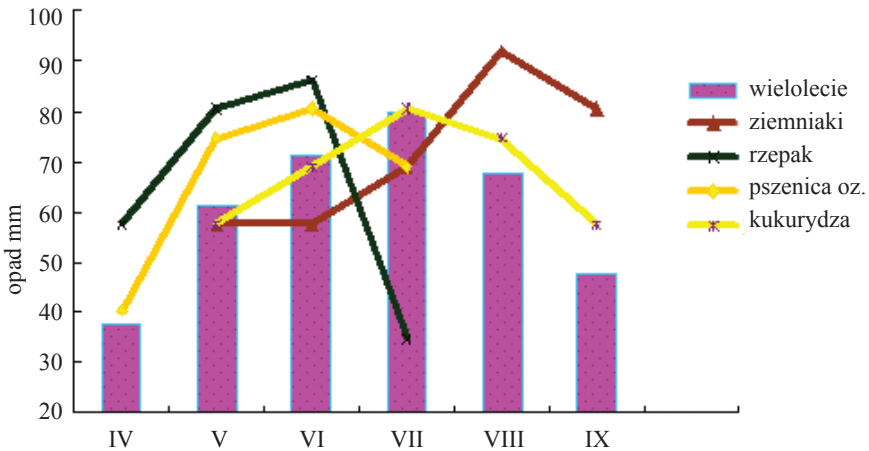
Rys. 7. Ilość dni w roku z opadem w wieloleciu 1956-2012

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 8. Ilość dni w roku z opadem <1mm w wieloleciu 1956-2012

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 9 Optymalne opady dla wybranych roślin na tle średnich z wielolecia.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Klatta.

Nawadnianie ściekami w aspekcie zmian ekonomiczno-gospodarczych

W sytuacji zmian klimatycznych wpływających na zmniejszenie zasobów wodnych niezmiernie istotne są działania zmierzające do poprawy stosunków wodnych w glebie. Jednym z nich może być stosowanie ścieków do nawodnień (6, 16, 21, 22).

Stosowanie nawodnień ściekami bytowo-gospodarczymi oraz pochodzącymi z przemysłu rolno-spożywczego zgodnie z zaleceniami technologii rolniczego wykorzystania ścieków może przynosić pozytywne rezultaty, polegające przede wszystkim na zapewnieniu dużej dokładności w oczyszczeniu ścieków (tab. 1). Przedstawiane przez K u t e r ę (6) wyniki prac wielu autorów wskazują plonotwórcze działanie nawodnień ściekami na rośliny okopowe, zbożowe, drzewiaste oraz ruń łąk i pastwisk.

Tabela 1

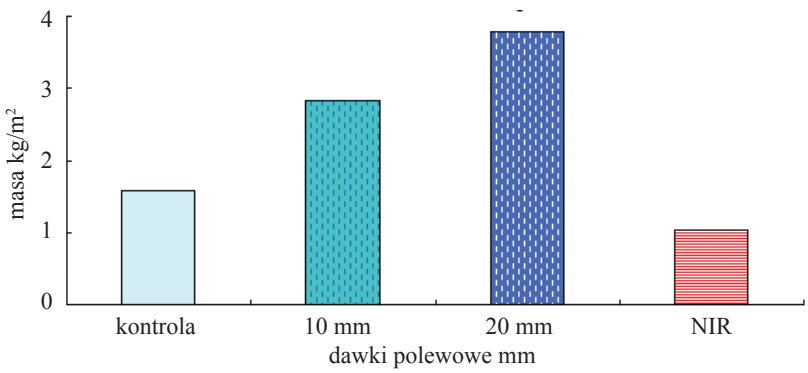
Dokładność oczyszczania ścieków miejskich na różnych urządzeniach

Oczyszczalnia	Stopień redukcji (%)				
	BZT	Zawiesiny	Bakterie	Jaja robaków	Związki biogenne
Mechaniczna	20-40	50-70	30-60	70-95	15
Sztuczna biologiczna	65-95	65-92	90-95	90-98	25
Pola irygowane	90-98	95-98	95-100	100	30-60
Pola nawadniane	100	100	98-100	100	90-100

BZT – biochemiczne zapotrzebowanie tlenu.

Źródło: Kutera za: Boćko 1988 (6).

Badania własne w których wprowadzano ścieki na kilkuletni odłóg wykazały istotne zwiększenie plonu biomasy oraz zmianę składu gatunkowego porastającej odłóg roślinności. Nawadnianie ściekami bytowo-gospodarczymi w dawkach 10 i 20 mm prowadzono od maja do połowy września. Sumaryczna dawka ścieków wyniosła dla obiektów nawadnianych odpowiednio 210 i 420 mm. Na skutek nawadniania ściekami wzrosła nie tylko obsada roślin – głównie dominującego gatunku, jakim była nawłoć (*Solidago sp.*), ale też istotnie wzrosła masa zbieranego jesienią plonu biomasy (rys. 10). Uwzględniając wilgotność zebranej biomasy, wynoszącą 49,3% to plon suchej masy na obiekcie kontrolnym (nienawadnianym) wyniósł 0,78 kg/m^2, a na obiektach z nawadnianiem odpowiednio: 1,39 kg/m^2 (nawadnianie dawkami 10 mm) i 1,86 kg/m^2 (nawadnianie dawkami 20 mm). Odnosząc uzyskany plon biomasy do hektara uzyskujemy następujące wartości 7,8; 13,9 oraz 18,6 Mg/ha. Są to plony porównywalne z plonami biomasy uzyskiwanymi z niektórych roślin energetycznych (3). Ponadto wstępne badania wykazały przydatność biomasy roślinnej pozyskiwanej z nawadnianego ściekami odłogu do produkcji biogazu. Decydowała o tym między innymi wysoka wilgotność biomasy roślinnej zbieranej w okresie jesiennym.



Rys. 10. Wpływ nawodnień na plon biomasy roślin

Źródło: badania własne.

Kolejnym przykładem wprowadzania ścieków do gleby w celu poddania ich procesom biologicznego oczyszczania jest oczyszczalnia roślinno-glebowa pracująca od 1996 roku w środowisku naturalnym. Obiekt położony jest na Dolnym Śląsku

w miejscowości Brzeźno (N: 51°21' E: 16°52'). Zasada działania takich jednostek polega na obiegu materii w systemie zamkniętym. Odpowiednie sterowanie procesami pozwala na bezosadową gospodarkę, natomiast nawozowy potencjał ścieków przyczynia się do intensywnego wzrostu takich roślin jak np. topola *(Populus sp.)* (14). Oprócz korzyści związanych z wyższą produkcją biomasy obiekt o powierzchni 2,5 ha oczyszcza ścieki powstające w przyległej wiosce liczącej niewiele ponad 300 mieszkańców. Na skutek obniżenia ilości ścieków bytowych wytwarzanych w przyległej wiosce powierzchnię oczyszczali dociążono również ładunkiem zanieczyszczeń pochodzących ze ścieków gromadzonych w zbiornikach bezodpływowych. W latach 2003 -2008 średniorocznie na powierzchnię oczyszczalni trafiało 9 519 m^3 ścieków, w których średnio 42,5% stanowiły ścieki dowożone taborem asenizacyjnym (tab. 2).

Tabela 2

Zestawienie ilości ścieków wprowadzanych na powierzchnię oczyszczalni roślinno-glebowej w latach 2003-2008

Rok pracy	Ilość ścieków (m^3)			Procentowy udział ścieków dowożonych
	Dowożone	Sanitarne	Suma	
2003	2311,5	6546	8857,5	26,1
2004	3902	5088	8990	43,4
2005	2433	4511	6944	35,0
2006	6011,5	6779	12790,5	47,0
2007	4495	5545	10040	44,8
2008	5592	3902	9494	58,9
średnia			9519,3	42,5

Źródło: badania własne.

Pomimo tak zróżnicowanej jakości ścieków pod względem ładunków zanieczyszczeń oczyszczalnia zachowała wysokie poziomy redukcji podstawowych parametrów zanieczyszczeń. Oczyszczalnia pracuje nieprzerwanie przez cały rok utrzymując wysoką skuteczność redukcji zarówno zanieczyszczeń organicznych jak i biogennych (tab. 3).

Tabela 3

Średnie roczne efekty redukcji zanieczyszczeń dla oczyszczalni roślinno-glebowej w Brzeźnie w latach 2003-2008

Rok pracy	Sprawność oczyszczania (%)			
	BZT_5	$ChZT_{cr}$	Azot ogólny	Fosfor ogólny
2003	99,3	97,4	98,1	98,1
2004	97,9	91,3	83,0	99,4
2005	99,1	82,6	81,8	98, 9
2006	99,5	75,9	67,8	92,9
2007	99,9	99,9	99,9	99,9
2008	83,1	78,3	77,0	94,0

Źródło: badania własne.

Jakość odpływów odprowadzanych do odbiornika w zakresie podstawowych parametrów spełnia wymogi zawarte w Rozporządzeniu Ministra Środowiska (17). W półroczu zimowym zaleca się obniżenie dawki nawadniania poszczególnych kwater oczyszczalni o 50 %. Wynikiem czego nawadniane są dwie kwatery dawką ścieków równą 49 mm.

Rozwiązanie technologiczne w postaci takiej oczyszczalni nie powoduje negatywnych skutków środowiskowych, jakie mogą być obserwowane przy wielkoobszarowych plantacjach roślin „energetycznych" (1). Obiekt roślinno-glebowej oczyszczalni, odpowiednio usytuowany w terenie, wkomponowany w pejzaż, jest niemalże niezauważalny i nie ma negatywnego wpływu na krajobraz (fot. 1). Natomiast wprowadzana wraz ze ściekami woda uzupełnia zasoby wodne gleby, które są uszczuplane przez transpirację i intercepcję rosnących roślin, a dodatkowo nawozowy potencjał ścieków przeciwdziała zubożeniu gleby w cenne mikro i makro składniki.

Fot. 1 Pejzaż z oczyszczalnią glebowo-roślinną w miejscowości Brzeźno.

Podsumowanie

Wykorzystanie ścieków do nawodnień pozwala między innymi rozwiązać kilka problemów z zakresu np. ochrony środowiska: zagospodarować wodę i składniki pokarmowe zawarte w ściekach, ograniczyć nakłady na oczyszczanie ścieków oraz produkować biomasę na terenach o wadliwych stosunkach powietrzno-wodnych, zmniejszyć powierzchnię odłogów.

Nie bez znaczenia w obecnej sytuacji wysokiego bezrobocia jest również czynnik społeczny, ponieważ wykorzystanie ścieków połączone z produkcją biomasy na cele energetyczne stwarza wiele możliwości aktywizacji lokalnych społeczności oraz może pozytywnie wpływać na poprawę bytu mieszkańców wsi.

Wyprodukowana na terenach nawadnianych ściekami biomasa roślin może być również źródłem paszy lub stanowić surowiec do pozyskiwania tzw. zielonej energii. Istnieją techniczne rozwiązania pozwalające na przetwarzanie biomasy na gaz lub pozyskiwanie ciepła w procesie spalania.

Współspalanie biomasy z paliwami kopalnymi jest uzasadnioną ekonomicznie metodą redukcji emisji dwutlenku węgla, ponieważ umożliwia relatywnie szybki zwrot nakładów inwestycyjnych (4). Odnawialne źródła energii, a zwłaszcza uzyskiwana z takich terenów biomasa, mogą wpływać na poprawę bezpieczeństwa energetycznego, poprawę stanu środowiska oraz aktywizację gospodarczą rejonów dotkniętych strukturalnym bezrobociem (8).

Literatura

1. Faber A.: Przyrodnicze skutki uprawy roślin energetycznych. Studia i raporty IUNG-PIB. 2008., **11**: 43-53.
2. Katarzyńska T.: Raport Najwyższej Izby Kontroli, Czas wyrwać się z letargu! 2013, **10**: 68-76.
3. Krawczyk A., Roguska A.: Biomasa pochodzenia rolniczego. Uprawa i wykorzystanie. Opolski Ośrodek Doradztwa Rolniczego, 2009, 34 ss.
4. Król D., Łach J., Poskrobko S.: O niektórych problemach związanych z wykorzystaniem biomasy nieleśnej w energetyce. Energetyka i ekologia, 2010, 53-61.
5. Kundzewicz Z. W.: Zmiany klimatu, ich przyczyny i skutki – obserwacje i projekcje. Landform Analysis, Vol. 2011, **15**: 39–49.
6. Kutera J.: Wykorzystanie ścieków w rolnictwie. Wyd. PWRiL Warszawa 1988, 491 ss.
7. Marks M., Nowicki J. Aktualne problemy gospodarowania ziemią rolniczą w Polsce. Cz. I. Przyczyny odłogowania gruntów i moiżliwości ich rolniczego zagospodarowania. Fragm. Agron., 2002, **1(73)**: 58-67.
8. Ministerstwo Gospodarki. Polityka Energetyczna Polski do 2030 roku. 2009.
9. Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi. Strategia rozwoju obszarów wiejskich i rolnictwa na lata 2007-2013 (z elementami prognozy do roku 2020). 2005. http://www.funduszestrukturalne.gov.pl/informator/npr2/dokumenty%20strategiczne/rolnictwo.pdf.
10. Ministerstwo Środowiska. Krajowy Program Oczyszczania Ścieków Komunalnych. Warszawa, grudzień 2003. http://www.kzgw.gov.pl/files/file/Materialy_i_Informacje/Programy/KPOSK/kposk.pdf.
11. NIK. Gospodarka ściekowa gmin na obszarach nieobjętych systemem kanalizacji zbiorczej w latach 2009-2011 (I półrocze). 2012. 1-43. http://www.nik.gov.pl/plik/id,3794,vp,4835.pdf.
12. Orłowski G., Nowak L.: Problematyka odłogowania gruntów w świetle wyników badań prowadzonych w krajach Europy Zachodniej i Stanach Zjednoczonych. Acta Sci. Pol., Agricultura 2004, **3(2)**: 27-36.
13. Oszmiańska M., Mielczarek M.: Ochrona środowiska w gospodarstwach chłopskich. Zesz. Nauk. AR Wrocław, Rolnictwo, 2006, **540**: 409-414.
14. Pawęska K., Kuczewski K.: Skuteczność oczyszczania ścieków bytowych w oczyszczalniach roślinno-glebowych o różnej eksploatacji. Współczesne Problemy Inżynierii Środowiska, 2008, monografie **LX**: 1-156.
15. Paluch J.: Oczyszczanie ścieków miejskich w środowisku glebowym. Zeszyty Naukowe AR Wrocław, 1984. Rozprawy **41**, 1-151.
16. Protokół z Kioto do Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu, sporządzony w Kioto dnia 11 grudnia 1997 r. Dz.U. 2005 nr 203 poz. 1684.
17. Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie warunków jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego Dz.U. 2006 nr 137 poz. 984.
18. Starkel L., Kundzewicz Z. W.: Konsekwencje zmian klimatu dla zagospodarowania przestrzennego kraju. Nauka 2008, **1**: 85-101.

19. Terek K.: Raport Najwyższj Izby Kontroli, Gminna Recydywa? Przegląd Komunalny, 2013, **10**: 66-67.
20. Ustawa z dnia 3 lutego 1995 r. O ochronie gruntów rolnych i leśnych. Dz. U. 1995 nr 16 poz.78.
21. Włodek S., Biskupski A., Pawęska K.: Wpływ nawadniania ściekami na plonowanie kukurydzy i buraków pastewnych w przekropnym roku 2009. Acta Agroph., 2011, **18(1)**: 187-194.
22. Włodek S., Biskupski A., Sekutowski T., Owsiak Z., Pawęska K.: Wykorzystanie ścieków w produkcji biomasy na gruntach odłogowanych. Inżynieria procesowa w ochronie środowiska. Monografia pod red. Gawdzika. 2013, 109-114.

Adres do korespondencji:

dr inż. Stanisław Włodek
IUNG-PIB
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli
ul. Orzechowa 61
50-540 Wrocław
tel. 71 318 15 78 w. 13
e-mail: s.wlodek@iung.wroclaw.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.
18. *Produkcyjne i środowiskowe aspekty współczesnych metod nawożenia i regulacji zachwaszczenia.* Puławy, 2009.
19. *Oddziaływanie rolnictwa na środowisko przyrodnicze w warunkach zmian klimatu.* Puławy, 2010.
20. *Ocena zrównoważenia gospodarowania zasobami środowiska rolniczego w wybranych gospodarstwach, gminach, powiatach i województwach.* Puławy, 2010.
21. *Możliwości rozwoju obszarów problemowych rolnictwa (OPR) w świetle PROW 2007–2013.* Puławy, 2010.
22. *Możliwości rozwoju gospodarstw o różnych kierunkach produkcji rolniczej w Polsce.* Puławy, 2010.
23. *Związki fitogeniczne jako naturalna alternatywa antybiotykowych promotorów wzrostu.* Puławy, 2010.
24. *Wybrane aspekty przemian strukturalnych na obszarach wiejskich*. Puławy, 2010.
25. *Stan obecny i perspektywy nawożenia roślin w Polsce w aspekcie regulacji prawnych.* Puławy, 2010.
26. *Stan obecny i perspektywy rozwoju rolnictwa ekologicznego w Polsce.* Puławy, 2010.
27(1). *Środowiskowe skutki działalności rolniczej i wdrażania PROW na obszarach problemowych rolnictwa.* Puławy, 2011.
28(2). *Techniki i technologie stosowane w produkcji roślinnej a środowisko przyrodnicze.* Puławy, 2012.
29(3). *Problemy zrównoważonego gospodarowania w produkcji rolniczej*. Puławy, 2012.
30(4). *Doskonalenie integrowanych technologii produkcji zbóż jarych i roślin pastewnych ze szczególnym uwzględnieniem początkowych elementów agrotechniki*. Puławy, 2012.
31(5). *Rola badań naukowych w kształtowaniu postępu w produkcji chmielu i tytoniu*. Puławy, 2012.
32(6). *Wybrane aspekty zrównoważonego rozwoju i specjalizacji gospodarstw rolniczych.* Puławy, 2013
33(7). *Działalność Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa-PIB w Puławach w zakresie wspierania doradztwa i praktyki rolniczej*. Puławy, 2013.
34(8). *Problemy gospodarki nawozowej w Polsce*. Puławy, 2013.
35(9). *Zagrożenia dla prawidłowego funkcjonowania gleb użytkowanych rolniczo – wybrane zagadnienia* . Puławy, 2013.

WSKAZÓWKI DLA AUTORÓW

W serii wydawniczej **„STUDIA I RAPORTY IUNG-PIB”** publikowane są recenzowane prace z zakresu agronomii oraz ochrony i kształtowania środowiska rolniczego, wykonane w ramach zadań programów wieloletnich pn. „Kształtowanie środowiska rolniczego Polski oraz zrównoważony rozwój produkcji rolniczej” (2005-2010) oraz „Wspieranie działań w zakresie kształtowania środowiska rolniczego i zrównoważonego rozwoju produkcji rolniczej w Polsce” (2011-2015). W zeszytach problemowych o charakterze monografii, wydawanych w ramach tej serii, mogą być zamieszczane również prace autorów spoza IUNG-PIB, które merytorycznie mieszczą się w tematyce zadań programu wieloletniego. **Publikowane są prace problemowe, głównie mające charakter przeglądowy, z podkreśleniem znaczenia omawianych zagadnień dla rolnictwa polskiego.**

Wydruk tekstu do recenzji:
czcionka 12 p., z odstępem 1,5-wierszowym.

Przygotowanie do druku:
–tekst i tabele w programie Word, wersja 6.0 lub wyższa
–czcionka – Times New Roman
–układ pracy: słowa kluczowe, wstęp, wyniki i dyskusja bądź omówienie wyników, podsumowanie lub wnioski, 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
–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 płycie lub innym nośniku w oddzielnych plikach
–pod rysunkiem przypis ze wskazaniem źródła danych (autorstwa)

jednostki miary
–system SI
–jednostki zapisywać potęgowo (np. $t \cdot ha^{-1}$)

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 złożyć w 1 egzemplarzu. Po recenzji oryginalny egzemplarz recenzowany złożyć/przesłać do Redakcji, a ostateczną wersję pracy, uwzględniającą uwagi recenzenta i redaktora, przesłać e-mailem.

Dane kontaktowe:
mgr Ewa Decka-Cywińska
Dział Upowszechniania i Wydawnictw IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
e-mail: edecka@iung.pulawy.pl