INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

STUDIA I RAPORTY
IUNG-PIB

49(3)

SIEDLISKOWE I AGROTECHNICZNE UWARUNKOWANIA PRODUKCJI ROŚLINNEJ W POLSCE

PROGRAM WIELOLETNI
2016-2020

WSPIERANIE DZIAŁAŃ W ZAKRESIE OCHRONY
I RACJONALNEGO WYKORZYSTANIA
ROLNICZEJ PRZESTRZENI PRODUKCYJNEJ W POLSCE
ORAZ KSZTAŁTOWANIA JAKOŚCI SUROWCÓW ROŚLINNYCH

Puławy 2016

INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

Dyrektor: *prof. dr hab. Wiesław Oleszek*

Redakcja naukowa:
prof. dr hab. Janusz Podleśny

Autorzy:
dr Barbara Abramczyk, dr Jolanta Bojarszczuk, dr Anna Gałązka, dr Renata Kieloch, prof. dr hab. Jerzy Księżak, prof. dr hab. Mariusz Kucharski, mgr Małgorzata Łyszcz, dr hab. Mariola Staniak, prof. nadzw.; dr hab. Anna Podleśna, prof. nadzw.; prof. dr hab. Janusz Podleśny

Recenzenci:
dr hab. Jerzy Grabiński, prof. nadzw.; dr Renata Kieloch, prof. dr hab. Mariusz Kucharski, prof. dr hab. Stefan Martyniuk, dr hab. Anna Podleśna, prof. nadzw.

Opracowanie redakcyjne i techniczne: *mgr Ewa Decka-Cywińska*
Okładka: krajobraz okolic Rogowa (fot. *dr Anna Nieróbca*)

ISBN 978-83-7562-234-8

Egzemplarz bezpłatny

Nakład 300 egz., B5, zam. 2/K/17
Dział Upowszechniania i Wydawnictw IUNG-PIB w Puławach
tel. (81) 47 86 720; fax (81) 47 86 721
e-mail: iung@pulawy.pl; http://www.iung.pulawy.pl

STUDIA I RAPORTY IUNG-PIB

SIEDLISKOWE I AGROTECHNICZNE UWARUNKOWANIA PRODUKCJI ROŚLINNEJ W POLSCE

ZESZYT 49(3) 2016

SPIS TREŚCI

Wstęp 7

1. R. K i e l o c h − Możliwości ograniczania niekorzystnego wpływu czynników siedliskowych na efektywność środków chwastobójczych..... 9

2. M. K u c h a r s k i − Wpływ agrotechniki i warunków pogodowych na zachowanie się herbicydów w środowisku 21

3. A. P o d l e ś n a , J. P o d l e ś n y − Wpływ warunków pogodowych i wybranych czynników agrotechnicznych na plonowanie bobiku..... 35

4. M. S t a n i a k , J. B o j a r s z c z u k , J. K s i ę ż a k − Zachwaszczenie łanu mieszanek roślin bobowatych ze zbożami 47

5. M. Ł y s z c z , A. G a ł ą z k a − Proces biologicznego wiązania azotu atmosferycznego..... 59

6. B. A b r a m c z y k , A. G a ł ą z k a − Pozytywny wpływ grzybów endofitycznych na roślinę gospodarza..... 71

Wstęp

Racjonalne wykorzystanie środowiska przyrodniczego jest jednym z najważniejszych celów stawianych współcześnie rolnictwu. Zagadnienie to wiąże się przede wszystkim z efektywnym wykorzystaniem glebowych zasobów składników pokarmowych oraz ze stosowaniem racjonalnego nawożenia, które powoduje uzyskanie odpowiednich plonów uprawianych roślin, a także utrzymanie żyzności gleby. Ważnym problemem jest tu także ograniczanie rozwoju i rozprzestrzeniania się patogenów. Obecnie, w związku z powszechnym stosowaniem chemicznej ochrony roślin, która może powodować niekorzystne zmiany w środowisku glebowym, jak również pogarszać jakość ziemiopłodów, dużo miejsca poświęca się rozsądnemu stosowaniu pestycydów, czego potwierdzeniem jest wprowadzenie w Polsce i innych krajach UE zasad integrowanej ochrony roślin (Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/128/WE z dnia 21 października 2009 r., ustanawiająca ramy wspólnotowego działania na rzecz zrównoważonego stosowania pestycydów (Dz. U. UE L 309 z 24.11.2009) i Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 kwietnia 2013 r. w sprawie wymagań integrowanej ochrony roślin (Dz. U. poz. 505)).

W optymalnym wykorzystaniu siedliska duże znaczenie ma utrzymanie odpowiednich właściwości mikrobiologicznych gleby. Szczególną uwagę przywiązuje się do organizmów symbiotycznych wiążących azot atmosferyczny, stanowiący główne źródło tego składnika dla rośliny żywiciela i będący zasobami azotu dla roślin następczych. Dużą uwagę skupia się także na produktach naturalnych wydzielanych przez grzyby endofityczne, które stanowią ważne źródło aktywnych związków mogących mieć zastosowanie w biologicznej ochronie roślin.

Oprócz fizycznych i chemicznych właściwości gleby, ważnym elementem siedliska są także warunki klimatyczne wpływające na wilgotność gleby i temperaturę powietrza. Czynniki te nabierają szczególnego znaczenia w związku z coraz częstszym występowaniem w naszej strefie klimatycznej ekstremalnych zjawisk pogodowych. Dlatego duże znaczenie ma odpowiedni dobór nie tylko gatunków, ale także odmian roślin uprawnych, uwzględniający różne ich wymagania w zakresie warunków klimatyczno-glebowych.

Odpowiednie wykorzystanie siedliska wiąże się także ze stosowaniem nowoczesnych technologii produkcji roślinnej, w tym zapewnienia roślinom optymalnej przestrzeni życiowej, a w przypadku siewów mieszanych warunków zapewniających wzrost kompensacyjny i rozwój poszczególnych gatunków oraz ograniczenie zachwaszczenia, co w sposób nieinwazyjny prowadzi do zwiększenia poziomu ich plonowania.

Niniejszy numer wydawnictwa „Studia i Raporty IUNG-PIB" zawiera prace ściśle związane z przedstawioną powyżej tematyką badawczą. Większość prac została przygotowana w ramach zadania 2.3 w programie wieloletnim IUNG-PIB „Ocena i wspieranie procesów wdrażania integrowanej produkcji i postępu technologicznego w produkcji roślinnej (zboża, rośliny pastewne, rośliny energetyczne)". Ponadto

w tym numerze zamieszczono dwie prace związane z problematyką zadania 1.4 „Ocena i kształtowanie bioróżnorodności środowiska glebowego oraz aktywności mikrobiologicznej gleb z uwzględnieniem różnych warunków siedliskowych i systemów gospodarowania”.

Składam serdeczne podziękowanie wszystkim Autorom prac, Recenzentom i Redakcji za udział w przygotowaniu i wydaniu niniejszej monografii.

Kierownik zadania 2.3
prof. dr hab. Janusz Podleśny

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

ZESZYT 49(3): 9-19 **2016**

Renata Kieloch

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach

MOŻLIWOŚCI OGRANICZANIA NIEKORZYSTNEGO WPŁYWU CZYNNIKÓW SIEDLISKOWYCH NA EFEKTYWNOŚĆ ŚRODKÓW CHWASTOBÓJCZYCH*

Słowa kluczowe: herbicyd, skuteczność, adiuwanty, warunki klimatyczno-glebowe

Wstęp

Ochrona upraw rolniczych przed chwastami jest jednym z ważniejszych zabiegów agrotechnicznych warunkujących uzyskanie wysokich i dobrej jakości plonów. Chwasty, spośród wszystkich agrofagów, w najsilniejszym stopniu przyczyniają się do strat w plonach, silnie konkurując z rośliną uprawną o światło, wodę i składniki pokarmowe. Obecnie poziom chemizacji rolnictwa sprawia, że dzięki szerokiemu asortymentowi herbicydów utrzymanie pól w stanie wolnym od chwastów nie powinno stanowić większego problemu. Każdy środek chwastobójczy cechuje się określonym spektrum zwalczanych gatunków chwastów, o czym informuje producent na etykiecie dołączonej do opakowania. Zgodnie z wytycznymi zawartymi w Rozporządzeniu Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 4 sierpnia 2004 r. (26), gatunki wrażliwe na dany środek to takie, które są niszczone na poziomie większym niż 85%. W praktyce jednak często można spotkać się z tym, że zastosowany środek wykaże dużo słabszy efekt chwastobójczy niż wynika to z opisu podanego w instrukcji stosowania herbicydu. Informacje w niej zawarte odnośnie wrażliwości chwastów dotyczą bowiem ich reakcji w takich warunkach klimatyczno-glebowych, które sprzyjają działaniu środka. Praktyka rolnicza oraz badania naukowe wskazują, że warunki siedliskowe mogą wywierać niekorzystny wpływ na skuteczność herbicydu. Jakkolwiek plantatorzy nie mają wpływu na przebieg pogody w okresie stosowania herbicydów, jednak mogą, na podstawie oceny stanu aktualnego oraz prognoz meteorologicznych, zrezygnować z zabiegu w danym momencie i wykonać go w terminie późniejszym, kiedy to warunki będą bardziej korzystne dla osiągnięcia

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.3 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

zadowalającej skuteczności środka. Takie działanie niesie jednak ze sobą ryzyko, że pomimo sprzyjającej pogody, efektywność oprysku będzie słabsza od oczekiwanej. Przesunięcie zabiegu nawet o kilka dni stwarza możliwość intensywnego wzrostu chwastów, na skutek czego mogą w bardzo krótkim czasie osiągnąć takie stadia rozwojowe, w których są mniej wrażliwe na zastosowany herbicyd. W związku z powyższym konieczne jest poszukiwanie rozwiązań mających na celu zminimalizowanie negatywnego wpływu warunków siedliskowych i (lub) zaawansowanej fazy rozwojowej na skuteczność środków chwastobójczych.

Wpływ warunków siedliskowych na skuteczność herbicydu

Ten sam środek chwastobójczy może wykazywać zróżnicowaną skuteczność, w zależności od warunków jego aplikacji. Zmiany w skuteczności herbicydów pod wpływem warunków środowiska są związane z ich retencją, pobieraniem, przemieszczaniem i rozkładem w tkankach roślin – kluczowymi procesami w kształtowaniu końcowego efektu działania środka chwastobójczego (6, 23). Procesy te są w znacznym stopniu determinowane, bezpośrednio lub pośrednio, przez czynniki środowiskowe. Wpływ bezpośredni dotyczy działania środka w momencie jego stosowania oraz w krótkim okresie po wykonaniu zabiegu poprzez modyfikację m.in. tempa parowania cieczy użytkowej z powierzchni blaszek liściowych czy też przemieszczania i rozkładu herbicydu w roślinie. Wpływ pośredni dotyczy natomiast warunków wzrostu chwastów, które kształtują cechy morfologiczne roślin odpowiedzialne za retencję i pobieranie herbicydów, np. grubość kutykuli, ilość i skład wosku epidermalnego, liczba i stan aparatów szparkowych, powierzchnia i kąt ustawienia blaszek liściowych oraz omszenie roślin (4, 5).

Herbicyd zastosowany w niesprzyjających warunkach klimatyczno-glebowych może wykazać tak słabą skuteczność, że gatunki chwastów, które w etykiecie stosowania herbicydu określone są jako wrażliwe na dany środek, w efekcie mogą być tylko lekko zahamowane we wzroście. Producenci środków ochrony roślin zazwyczaj podają szczegółowe informacje, aby danego środka nie stosować w mało sprzyjających warunkach, np. w czasie suszy, na określonych rodzajach gleb, przed spodziewanym deszczem lub przymrozkiem; niejednokrotnie podane też są zakresy wymaganych temperatur.

Czynnikami najsilniej wpływającymi na skuteczność zabiegu chwastobójczego są temperatura i wilgotność powietrza oraz wilgotność gleby. W mniejszym stopniu powodzenie oprysku zależy od intensywności nasłonecznienia, typu gleby czy też stanu uwilgotnienia roślin w momencie aplikacji środka. Powszechnie znany jest fakt, że niska temperatura i wilgotność powietrza czy też słabe uwilgotnienie gleby mogą skutkować ograniczeniem efektywności herbicydu. Przykładowo, zniszczenie włośnicy zielonej przez glufosynat było znacząco słabsze, gdy rośliny rosły w wilgotności powietrza 40%, w porównaniu z wilgotnością 90% (2). Ten sam środek

lepiej zwalczał również różne gatunki szarłatu w warunkach wyższej wilgotności. Już po upływie jednego dnia od momentu jego aplikacji, w wilgotności 90% zaobserwowano więdnięcie roślin, natomiast w wilgotności 35% więdnięcie nastąpiło po dwóch dniach i tylko po zastosowaniu wyższych dawek herbicydu (6). Słaba wilgotność gleby zmniejszyła skuteczność działania fluroksypyru w niszczeniu mietelnika żakuli oraz skuteczność fenoksapropu w stosunku do owsa głuchego (20, 33).

Niekorzystny wpływ warunków środowiska na efektywność herbicydów można w znacznym stopniu ograniczyć za pomocą „środków", które wpływają na poprawę retencji i pobierania. Główną rolę w tym względzie odgrywają adiuwanty i forma użytkowa herbicydu.

Adiuwanty

Obecnie adiuwanty są głównym narzędziem umożliwiającym ograniczenie negatywnego wpływu warunków środowiskowych na działanie herbicydów. Są to substancje chemiczne pochodzenia organicznego lub nieorganicznego, które w sposób bezpośredni lub pośredni wpływają na chwastobójcze działanie substancji czynnej herbicydu (adiuwanty aktywujące) lub zmieniają właściwości fizykochemiczne formy użytkowej preparatu i cieczy roboczej (adiuwanty modyfikujące). Głównym zadaniem adiuwantów aktywujących jest poprawa wnikania herbicydu do tkanek liści poprzez wzrost ilości cieczy opryskowej na powierzchni blaszek liściowych. Z kolei adiuwanty modyfikujące poprawiają właściwości cieczy roboczej poprzez m.in. ograniczenie pienienia i zwiewania cieczy roboczej (32). Głównym zadaniem adiuwantów jest poprawa skuteczności działania herbicydu poprzez wzrost retencji i absorpcji herbicydów (7, 16). Jest to możliwe dzięki temu, że adiuwanty powodują zmniejszenie napięcia powierzchniowego kropel cieczy użytkowej oraz dokładniejsze pokrycie nimi opryskiwanej powierzchni (1, 25). Ponadto adiuwanty zapobiegają krystalizacji cieczy użytkowej na powierzchni roślin oraz opóźniają jej wysychanie, powodują zwiększenie przyczepności i rozpuszczalności herbicydu oraz lepsze uwodnienie kutykuli, czyniąc ją bardziej przepuszczalną dla herbicydów (7, 30). Adiuwanty są środkami zróżnicowanymi pod względem budowy i sposobu działania. Można wyróżnić trzy grupy adiuwantów: surfaktanty, adiuwanty olejowe oraz adiuwanty mineralne.

Stosowanie herbicydów łącznie z adiuwantami pozwala na zniwelowanie ryzyka spadku skuteczności środka stosowanego w niekorzystnych warunkach środowiska, takich jak niska wilgotność czy temperatura powietrza lub opady deszczu występujące w krótkim czasie po wykonaniu zabiegu. Z tego względu należy rozważyć ten sposób aplikacji, gdy prognoza lub aktualny stan pogody jest niekorzystny dla działania konkretnego herbicydu (28, 18).

Znaczenie surfaktantów i adiuwantów olejowych w ograniczaniu niekorzystnego wpływu warunków siedliskowych na działanie herbicydów

Wpływ adiuwantów na poprawę skuteczności herbicydów stosowanych w niesprzyjających warunkach klimatyczno-glebowych nie zawsze jest jednakowy. Jest on wypadkową indywidualnej reakcji poszczególnych gatunków chwastów na herbicyd i różne czynniki klimatyczne i glebowe oraz działania samego adiuwanta. S t a g n a r i i i n . (27) wykazali, że dodatek surfaktanta nie wpłynął na efektywność chwastobójczą tribenuronu metylu w stosunku do maku polnego, natomiast znacząco ją poprawił w odniesieniu do przytulii czepnej. Również w badaniach prowadzonych przez A l i v e r d i e g o (1) dowiedziono lepsze działanie tribenuronu metylu na skutek łącznej aplikacji z surfaktantem, w których wykazano jednocześnie różnice gatunkowe w reakcji na ten środek.

W IUNG-PIB w Puławach wykonano kilka serii badań w zakresie omawianej tematyki. Przeprowadzono je w warunkach kontrolowanych, w komorach klimatycznych. Oceniano w nich wpływ różnych adiuwantów – surfaktanta (Trend 90 EC) i adiuwanta olejowego (Olbras 88 EC) na skuteczność herbicydu Granstar 75 WG (tribenuron metylu) stosowanego w zróżnicowanych warunkach termicznych i wilgotnościowych. W tabelach 1 i 2 przedstawiono skuteczność środka stosowanego samodzielnie lub z dodatkiem adiuwantów w zwalczaniu trzech gatunków chwastów. Zawarte w nich dane wskazują, że dodatek zarówno surfaktanta, jak również adiuwanta olejowego w zróżnicowany sposób wpływał na skuteczność herbicydu. W przypadku gwiazdnicy pospolitej, która okazała się wrażliwa na badany środek niezależnie od temperatury i wilgotności powietrza, dodatek adiuwanta nie był wymagany dla osiągnięcia zadowalającego efektu chwastobójczego. W przypadku maku polnego, każdy z badanych adiuwantów znacząco poprawił skuteczność herbicydu stosowanego w warunkach niskiej temperatury i wilgotności powietrza. Z kolei w przypadku mniej wrażliwej przytulii czepnej, dodatek adiuwanta znacząco poprawił skuteczność herbicydu niezależnie od warunków aplikacji.

Tabela 1

Wpływ surfaktanta i adiuwanta olejowego na skuteczność herbicydu Granstar 75 WG (tribenuron metylu) stosowanego w różnych zakresach temperatury powietrza

Herbicydy	Dawki (g/ha)	Mak polny		Gwiazdnica pospolita		Przytulia czepna	
		16/8°C	8/2°C	16/8°C	8/2°C	16/8°C	8/2°C
Granstar 75 WG	15	96	29	100	87	58	60
Granstar 75 WG + Trend 90 EC	15+0,05%	97	86	100	88	86	85
Granstar 75 WG + Olbras 88 EC	15+1,5 l	96	85	100	89	91	81

Źródło: badania własne

Tabela 2

Wpływ surfaktanta i adiuwanta olejowego na skuteczność herbicydu Granstar 75 WG (tribenuron metylu) stosowanego w różnych zakresach wilgotności powietrza

Herbicydy	Dawki (g/ha)	Mak polny		Gwiazdnica pospolita		Przytulia czepna	
		75%	50%	75%	50%	75%	50%
Granstar 75 WG	15	86	52	99	99	49	35
Granstar 75 WG + Trend 90 EC	15+0,05%	99	87	99	99	86	82
Granstar 75 WG + Olbras 88 EC	15+1,5 l	99	87	99	99	86	78

Źródło: badania własne

Badania z zakresu omawianej tematyki rozszerzono o aspekty uwzględniające współdziałanie czynników klimatycznych i fazy rozwojowej chwastów w momencie stosowania herbicydów. Jak wskazują dane w tabeli 3, każdy z badanych adiuwantów zniwelował niekorzystny wpływ niższych temperatur i zaawansowanej fazy rozwojowej chwastów na działanie środka w stosunku do maku polnego. Natomiast w przypadku rumianu polnego nie osiągnięto zadowalającej skuteczności, gdy herbicyd stosowano na chwasty wyrośnięte (w fazie 6-8 liści) w warunkach chłodniejszych. Można jednak stwierdzić, że działanie środka było znacznie lepsze w aplikacji łącznej z adiuwantami niż w samodzielnym zastosowaniu. Podobne rezultaty uzyskano w badaniach nad współdziałaniem wilgotności powietrza i fazy rozwojowej z tą różnicą, że dodatek surfaktanta skutkował osiągnięciem wysokiej skuteczności herbicydu w stosunku do obu gatunków chwastów, gdy zabieg wykonano w niższej temperaturze i na rośliny bardziej zaawansowane w rozwoju (tabela 4).

Tabela 3

Wpływ surfaktanta i adiuwanta olejowego na skuteczność herbicydu Granstar 75 WG (tribenuron metylu) stosowanego w różnych zakresach temperatury powietrza i fazy rozwojowej chwastów

Herbicydy	Dawki (g/ha)	Mak polny				Rumian polny			
		20/10°C		10/5°C		20/10°C		10/5°C	
		2-4 liście	6-8 liści	2-4 liście	6-8 liści	2-4 liście	6-8 liści	2-4 liście	6-8 liści
Granstar 75 WG	15	99	72	62	59	83	77	83	75
Granstar 75 WG + Trend 90 EC	15+0,05%	100	93	92	90	94	89	88	82
Granstar 75 WG + Olbras 88 EC	15+1,5 l	100	90	88	88	91	86	87	84

Źródło: badania własne

Tabela 4

Wpływ surfaktanta i adiuwanta olejowego na skuteczność herbicydu Granstar 75 WG (tribenuron metylu) stosowanego w różnych zakresach wilgotności powietrza i fazy rozwojowej chwastów

Herbicydy	Dawki (g/ha)	Mak polny				Rumian polny			
		75%		50%		75%		50%	
		2-4 liście	6-8 liści	2-4 liście	6-8 liści	2-4 liście	6-8 liści	2-4 liście	6-8 liści
Granstar 75 WG	15	88	53	59	55	90	71	75	69
Granstar 75 WG + Trend 90 EC	15+0,05%	98	97	98	94	99	86	99	86
Granstar 75 WG + Olbras 88 EC	15+1,5 l	95	95	99	94	99	88	99	83

Źródło: badania własne

W literaturze niewiele jest prac dotyczących wpływu typu gleby na skuteczność herbicydów, zwłaszcza stosowanych w zabiegach nalistnych. W badaniach własnych porównywano działanie tribenuronu metylu na czarnej ziemi i glebie płowej. Słabszy efekt chwastobójczy środka w stosunku do maku polnego i rumianu polnego rosnących na glebie płowej został zniwelowany po dodaniu surfaktanta i adiuwanta olejowego do herbicydu (12). Dodatek surfaktanta do tribenuronu metylu również znacząco poprawił efekt chwastobójczy środka w stosunku do przytulii czepnej i rumianu polnego w warunkach słabego uwilgotnienia gleby (13).

Łączna aplikacja herbicydu z adiuwantem pozwala znacznie skrócić długość okresu, który powinien być pozbawiony opadów deszczu od momentu opryskania roślin. Adiuwanty – surfaktant niejonowy, surfaktant anionowy i adiuwant olejowy, stosowane z tribenuronem metylu spowodowały, że środek ten szybciej wnikał do wnętrza roślin i był mniej wrażliwy na zmycie przez deszcz (22). W doświadczeniu tym zaobserwowano również różnice w działaniu herbicydu zależności od rodzaju dodanego adiuwanta, ale tylko w przypadku gdy opady deszczu wystąpiły po upływie 1 godziny od wykonania zabiegu. Zanotowano wtedy słabszy wpływ adiuwanta olejowego. Natomiast gdy opady miały miejsce po 2 i 4 godzinach od wykonania zabiegu, wszystkie adiuwanty w takim samym stopniu wpływały na skuteczność tribenuronu metylu. Obecnie powszechnie stosowaną przez producentów praktyką jest dodawanie adiuwanta do herbicydu już na etapie produkcji, co wydaje się tańszym rozwiązaniem. Jednak, na podstawie badań i obserwacji polowych, należy stwierdzić, że w wielu przypadkach ilość adiuwanta znajdująca się w formulacji środka jest zbyt mała dla uzyskania odpowiedniego efektu. Zastosowanie mieszaniny zbiornikowej herbicydu z odpowiednim adiuwantem jest więc bardziej korzystne. Niewielki koszt preparatów adiuwantowych dostępnych na rynku tylko nieznacznie podwyższa koszt ochrony plantacji, a może znacząco poprawić skuteczność zabiegu.

Znaczenie adiuwantów mineralnych w ograniczaniu niekorzystnego wpływu warunków siedliskowych na działanie herbicydów

Niektóre nawozy azotowe mogą pełnić rolę adiuwantów (adiuwanty mineralne) i w związku z tym dodaje się je do herbicydów w celu poprawy skuteczności zabiegu chwastobójczego. Najpopularniejsze z nich to: siarczan amonu, azotan amonu, roztwór saletrzano-mocznikowy (RSM) i mocznik. Często również dodawane są do mieszanek zbiornikowych herbicydów z surfaktantami lub adiuwantami olejowymi (9). Środki należące do tejże grupy wykazują działanie aktywująco-modyfikujące i dodatkowo kondycjonują wodę użytą do zabiegu. Obecnie coraz częściej sole amonowe włączane są na etapie ich produkcji jako jeden z komponentów adiuwantów wieloskładnikowych, o wielofunkcyjnym działaniu.

Nieznany jest dokładny mechanizm działania tych nawozów w aspekcie poprawy działania herbicydu, natomiast znany jest fakt, że ich dodatek zwiększa pobieranie herbicydu przez roślinę. Przypuszcza się, że jony amonowe zawarte w RSM wpływają korzystnie na przebieg absorpcji herbicydów przez błonę komórkową. Ponadto, RSM nie krystalizuje w szerokim przedziale wilgotności powietrza, co umożliwia dłuższą i pełniejszą absorpcję herbicydu (31). Dowiedziono również, że mocznik rozpuszcza kutykulę na powierzchni blaszek liściowych i tym samym zwiększa pobieranie herbicydu (29). Stosując tego rodzaju połączenia należy zachować ostrożność, aby nie doszło do uszkodzenia rośliny uprawnej. W praktyce, nawozy azotowe stosuje się często z herbicydami nieselektywnymi, tj. glifosat i glufosynat, aby wzmocnić ich fitotoksyczne działanie na rośliny.

Zastosowanie mocznika jako adiuwanta w większym stopniu poprawiło absorpcję acifluorfenu przez zaślaz pospolity niż gdy herbicyd zastosowano z adiuwantem olejowym, niezależnie od warunków termicznych i wilgotnościowych (8). W badaniach nad określeniem wymagań herbicydu zawierającego bispyribak sodu, odnośnie długości okresu wolnego od deszczu po opryskaniu roślin wykazano, że korzystna dla zredukowania tego okresu okazała się łączna aplikacja z różnymi adiuwantami oraz mocznikiem. Pozwoliło to skrócić krytyczny okres z 8 do 1 lub 4 godzin, w zależności od rodzaju adiuwanta (17). Również łączna aplikacja herbicydu zawierającego kletodym z innym nawozem azotowym – siarczanem amonu oraz z siarczanem i adiuwantem – okazała się korzystna dla działania środka – zwiększyła bowiem jego absorpcję (21). Dodatek siarczanu amonu do cieczy roboczej znacząco poprawił skuteczność glufosynatu w zwalczaniu przytulii czepnej w warunkach niskiej wilgotności powietrza (23). W przypadku stosowania foramsulfuronu, największą efektywność wykazano, gdy środek zastosowano łącznie z adiuwantem i nawozem azotowym. Dodatek nawozu miał większy wpływ na zniszczenie chwastów gdy herbicyd stosowano łącznie z surfaktantem bądź adiuwantem olejowym, niż z metylowanym olejem (3).

Znaczenie formy użytkowej w ograniczaniu niekorzystnego wpływu warunków siedliskowych na działanie herbicydów

Forma użytkowa decyduje o retencji herbicydu na powierzchni roślin zanim zostanie on pobrany przez roślinę i przemieszczony do miejsca jego działania. Z doniesień literaturowych wynika, że bardziej efektywne są formy ciekłe w porównaniu ze stałymi (10, 11). Wykazano, że w kukurydzy chwasty pobrały 2-3 razy więcej herbicydu w formie ciekłej w porównaniu z granulami (10).

Niewiele jest prac porównujących skuteczność różnych form użytkowych danego herbicydu w zależności od czynników klimatyczno-glebowych. W przeprowadzonych badaniach własnych nad działaniem dwóch form użytkowych herbicydu Atlantis, tj. WG (granule do sporządzania zawiesiny wodnej) i OD (zawiesina olejowa) wykazano, że skuteczność chwastobójcza zależała od stopnia wrażliwości badanych gatunków chwastów na substancje czynne herbicydu. Obie formy wykazały podobny efekt chwastobójczy tylko w sytuacji, gdy środek zastosowano do zwalczania miotły zbożowej. Z kolei w przypadku, gdy środek stosowano do zwalczania mniej wrażliwego wyczyńca polnego, forma użytkowa OD okazała się bardziej skuteczna niż WG. W badaniach porównujących skuteczność powyższego herbicydu w stosunku do wyczyńca polnego, stosowanego w różnych warunkach termicznych i wilgotnościowych (wilgotność powietrza), wykazano lepsze działanie formy OD niż WG w wyższej temperaturze (24/12°C) w porównaniu do warunków chłodniejszych tj. 12/6°C, natomiast w niższej temperaturze obie formy użytkowe wykazały zbliżony efekt chwastobójczy (14).

Podobną zależność odnotowano po zastosowaniu formy OD i WG mieszaniny jodosulfuronu methylosodowego z amidosulfuronem w różnych warunkach wilgotnościowych (tabela 5). W przypadku mniej wrażliwej przytulii czepnej znacznie skuteczniejsza okazała się forma olejowa, zwłaszcza w warunkach niskiej wilgotności powietrza, natomiast w zwalczaniu bardziej wrażliwych tobołków polnych różnice w działaniu obu form użytkowych były znacznie mniejsze.

Tabela 5

Wpływ formy użytkowej mieszaniny jodosulfuronu methylosodowego z amidosulfuronem na zniszczenie chwastów (%) w zależności od warunków wilgotnościowych

Forma użytkowa herbicydu	Wilgotność gleby				Wilgotność powietrza			
	przytulia czepna		tobołki polne		przytulia czepna		tobołki polne	
	30%	60%	30%	60%	40%	70%	40%	70%
OD	80	93	88	96	91	91	91	98
WG	72	83	84	91	70	82	87	96

Źródło: badania własne

Podsumowanie

Na podstawie dostępnej literatury można stwierdzić, że adiuwanty oraz forma użytkowa wywierają znaczący wpływ na działanie herbicydu. Łączna aplikacja herbicydu z adiuwantami może w znacznym stopniu poprawić działanie herbicydu stosowanego w niekorzystnych warunkach klimatyczno-glebowych. Należy przy tym mieć na uwadze fakt, że wpływ adiuwantów na poprawę efektu chwastobójczego zależy od rodzaju adiuwanta i herbicydu oraz indywidualnej reakcji zwalczanych gatunków chwastów. Im zwalczany gatunek jest bardziej tolerancyjny w stosunku do zastosowanego herbicydu, tym bardziej wyraźny jest korzystny wpływ adiuwanta na jego działanie. Obecnie coraz powszechniej stosowaną przez producentów praktyką jest dodawanie adiuwanta do herbicydu już na etapie produkcji, co znacznie ułatwia wykonanie zabiegu i jest tańszym rozwiązaniem dla producentów rolnych niż łączne zastosowanie herbicydu i adiuwanta. Jednak badania oraz obserwacje polowe pokazują, że w wielu przypadkach ilość adiuwanta znajdująca się w formulacji środka jest zbyt mała dla uzyskania odpowiedniego efektu chwastobójczego. Zastosowanie mieszaniny zbiornikowej herbicydu z odpowiednim adiuwantem jest więc bardziej korzystne. Koszt zakupu preparatów adiuwantowych dostępnych na rynku jest niewielki, natomiast korzyści wynikające z ich stosowania są znaczące.

Literatura

1. Aliverdi A., Mohassel M.H.R., Mahallati M.N.: Increased foliar activity of clodinafop-propargyl and/or tribenuron-methyl by surfactants and their synergistic action on wild oat (*Avena ludoviciana*) and wild mustard (*Sinapis arvensis*). Weed Biol. Manag., 2009, **9**: 292-299.
2. Anderson D.M., Swanton C.J., Hall J.C., Mersey B.G.: The influence oftemperature and relative humidity on the efficacy of glufosinate-amonium. Weed Res., 1993, **33**: 139-147.
3. Bunting J.A., Sprague C.L, Riechers D.E.: Proper adjuvant selection for foramsulfuron activity. Crop Prot., 2004, **23**: 361-366.
4. Chachalis D., Reddy K.N., Elmore C.D., Steele M.L.: Herbicide efficacy, leaf structure, and spray droplet contact angle among *Ipomoea* species and smallflower morningglory. Weed Sci., 2001 a, **49**: 628-634.
5. Chachalis D., Reddy K.N., Elmore C.D.: Characterization of leaf surface, wax composition, and control of redvine and trumpetcreeper with glyphosate. Weed Sci., 2001 b, **49**: 156-163.
6. Coetzer E., Al-Khatib K., Loughin T. M.: Glufosinate efficacy, absorption and translocation in amaranth as affected by relative humidity and temperature. Weed Sci., 2001, **49**: 8-13.
7. Harbour J.D., Messersmith C.G., Ramsdale B.K.: Surfactants affect herbicides on kochia (*Kochia scoparia*) and Russian thistle (*Salsola iberica*). Weed Sci., 2003, **51**: 430-434.
8. Hatterman-Valenti H., A. Pitty, Owen M.: Environmental effects on velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) epicuticular wax deposition and herbicide absorption. Weed Sci., 2011, **59**: 14-21.
9. Idziak R., Woźnica Z.: Skuteczność chwastobójcza herbicydu Callisto 100 SC stosowanego z adiuwantami i nawozem mineralnym. Acta Agrophys., 2008, **11**: 403-410.
10. Johnson M.D., Wyse D., Lueschen W.E.: The influence of herbicide formulation on weed control in four tillage systems. Weed Sci., 1989, **37**: 239-249.

11. Jordan D.L., Burns A.B., Barnes C.J., Barnett W., Herrick J.K.: Influence of adjuvants and formulation on Barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) control with propanil in Rice (*Oryza sativa*). Weed Technol., 1997, **11**: 762-766.
12. Kieloch R.: Wpływ niektórych warunków klimatycznych i glebowych na działanie tribenuronu metylu w zależności od wysokości dawki i sposobu aplikacji. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 2014, **54**: 38-43.
13. Kieloch R., Sadowski J., Domaradzki K.: Influence of selected soil-climatic parameters and application method of tribenuron methyl on biomass productivity and amino acids content in weeds. J. Plant Dis. Prot., 2014, **121**: 26-31.
14. Kieloch R., Domaradzki K.: The effectiveness of two formulations of the mixture iodosulfuron methylsodium + mesosulfuron methyl in *Apera spica-venti* L. and *Alopecurus myosuroides Huds*. control depending on air temperature and humidity. Annales Association Francaise de Protection des Plantes, 2009: 387-392.
15. Kieloch R., Kucharski M.: Weed species response to two formulations of iodosulfuron methyl sodium and amidosulfuron mixture applied at various environmental conditions. Polish J. Agron., 2012, **8**: 15-19.
16. Kierzek R., Ratajkiewicz H.: Wpływ adiuwantów i parametrów opryskiwania na retencję cieczy na liściach w wybranych roślinach jednoliściennych. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 2004, **44**: 828-831.
17. Koger C.H., Dodds D.M., Reynolds D.B.: Effect of adjuvants and urea ammonium nitrate on bispyribac efficacy, absorption, and translocation in Barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*). I. Efficacy, rainfastness, and soil moisture. Weed Sci., 2007, **55**: 399-405.
18. Kudsk P., Mathiassen S.K.: Analysis of adjuvants effects and their interactions with variable applications parameters. Crop Prot., 2007, **26**: 328-334.
19. Kudsk P.: Optimising herbicide dose: a straightforward approach to reduce the risk of side effects of herbicides. Environmentalist, 2008, **28**: 49-55.
20. Lubbers M.D., Stahlman P.W., Al-Khatib K.: Fluroxypyr efficacy is affected by relative humidity and soil moisture. Weed Sci., 2007, **55**: 260-263.
21. Nandula V.K., Poston D.H., Reddy K.N., Koger C.H.: Formulation and adjuvant effect on uptake and translocation of clethodim in bermudagrass (*Cynodon dactylon*). Weed Sci., 2007, **55**: 6-11.
22. Pannaci E., Mathiassen S.K., Kudsk P.: Effect of adjuvants on the rainfastness and performance of tribenuron-methyl on broad-leaved weeds. Weed Biolog. Manag., 2010, **10**: 126-131.
23. Petersen J., Hurle K.: Influence of climatic conditions and plant physiology on glufosinate-ammonium efficacy. Weed Res., 2001, **41**: 31-39.
24. Praczyk T.: Rozwój badań i zastosowań adiuwantów w Polsce. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 2001, **41(1)**: 110-113.
25. Praczyk T., Bączkowska E., Balcer G., Kulczyński J., Dorna J.: Nowy adiuwant wspomagający aktywność niektórych herbicydów i fungicydów. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 2008, **48**: 647-652.
26. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dn. 04.08.2004 r. (Dz. U., nr 183, poz. 1890) oraz z dn. 14.04. 2005 r. (Dz. U., Nr 76, poz. 670)
27. Stagnari F., Chiarini M., Pisante M.: Influence of fluorinated surfactants on the efficacy of some post-emergence sulfonylurea herbicides. J. Pest. Sci., 2007, **32**: 16-23.
28. Szeleźniak E.: Efektywność działania tralkoksydymu aplikowanego z surfaktantami w zróżnicowanych warunkach temperatury i wilgotności powietrza. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 2006, **46**: 233-236.
29. Thompson W.M., Nissen S.J., Masters R.A.: Adjuvant effects on imazethapyr, 2,4-D, and picloram absorption by leafy spurge (*Euphorbia esula*). Weed Sci., 1996, **44**: 469-475.
30. Wang C.J., Liu Z.Q.: Foliar uptake of pesticides – Present status and future challenge. Pest. Biochem. Physiol., 2007, **87**: 1-8.

31. Woźnica Z.: Wpływ adiuwantów na skuteczność chwastobójczą mezotrionu. PTPN Wydz. Nauk Roln. i Leśnych, 2005, **98/99**: 37-45.
32. Woźnica Z.: Herbologia. PWRiL, 2008, ss. 239.
33. Xie H.S., Hsiao A.I., Quick W.A.: 1997. Influence of drought on graminicide phytotoxicity in Wild oat (*Avena fatua*) grown under different temperature and humidity conditions. J. Plant Growth Regul., 1997, **16**: 233-237.

Adres do korespondencji:

dr Renata Kieloch
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli
IUNG-PIB
ul. Orzechowa 61, 50-540 Wrocław
tel. 71 3638707
*e-mail: r.kieloch@iung.wroclaw.p*l

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

ZESZYT 49(3): 21-34 **2016**

Mariusz Kucharski

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy w Puławach

WPŁYW AGROTECHNIKI I WARUNKÓW POGODOWYCH NA ZACHOWANIE SIĘ HERBICYDÓW W ŚRODOWISKU*

Słowa kluczowe: herbicydy, pozostałości, dynamika rozkładu, gleba, roślina

Wstęp

Pomimo wielu ograniczeń stosowanie chemicznej ochrony jest niezbędnym i trwałym elementem w technologiach uprawy roślin rolniczych. Prawidłowo stosowane środki ochrony roślin (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 czynnych zapewnia wyeliminowanie zagrożenia dla rośliny uprawnej.

Ocena ryzyka dla zdrowia konsumentów oraz środowiska ma zasadnicze znaczenie przy podejmowaniu decyzji o rejestracji środka ochrony roślin. Uzyskanie odpowiedniego zezwolenia umożliwia obrót i stosowanie danego preparatu w krajowej praktyce rolniczej. Dla oceny takiego ryzyka niezbędne są m.in. informacje o trwałości i szybkości rozkładu substancji czynnej środka oraz dane o poziomie pozostałości jakie mogą wystąpić w żywności, paszach czy środowisku w wyniku jego aplikacji. Dane takie uzyskuje się z kontrolowanych doświadczeń na wydzielonych uprawach roślin, z użyciem badanego środka zgodnie z przewidywaną instrukcją stosowania. W doświadczeniach tych muszą być uwzględnione przede wszystkim warunki ekstremalne, sprzyjające wystąpieniu najwyższych możliwych stężeń pozostałości. Zgodnie z definicją, pozostałości to część substancji czynnej preparatu i (lub) jego toksycznych metabolitów, która nie uległa rozkładowi.

Pestycydy mogą przedostawać się do środowiska w trakcie produkcji i transportu, podczas wykonywania zabiegu ochrony roślin, płukania i mycia sprzętu opryskujące-

*Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.3 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

go, jak również przez nieodpowiednie składowanie resztek i opakowań po preparatach. Herbicydy, podobnie jak i inne ś.o.r., po ich aplikacji, pod wpływem czynników środowiska ulegają rozkładowi. Poza rozkładem chemicznym i mikrobiologicznym, udział w procesie zanikania substancji czynnej w glebie ma sorpcja, przemieszczanie w głębsze warstwy gleby (poniżej strefy korzeniowej, a nawet do wód gruntowych) oraz pobieranie przez roślinę (9, 18, 28).

Dominacja poszczególnych procesów i ich szybkość zależą od rodzaju substancji czynnej, typu i aktywności biologicznej gleby oraz od warunków pogodowych i agrotechnicznych. Od ilości i szybkości zachodzących przemian, w efekcie końcowym, zależy poziom pozostałości poszczególnych substancji czynnych i ich metabolitów w roślinie, wodzie i glebie.

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

Na podstawie wyników badań prowadzonych zarówno w warunkach polowych, jak też kontrolowanych, można scharakteryzować wpływ poszczególnych parametrów wpływających na szybkość rozkładu i pozostałości substancji czynnych herbicydów w glebie i uprawianej roślinie.

Do głównych czynników wpływających na szybkość rozkładu, a tym samym poziom pozostałości herbicydu w glebie i materiale roślinnym należy zaliczyć: właściwości fizykochemiczne substancji czynnej, warunki glebowo-klimatyczne oraz agrotechnikę.

Jak wspomniano wcześniej, jednym z parametrów ograniczających przydatność środka ochrony roślin do stosowania w praktyce jest jego wpływ na środowisko rolnicze. Substancje persystentne, charakteryzujące się powolnym rozkładem w glebie nie są dopuszczane do stosowania w ochronie roślin (4). Z tego względu dla każdego herbicydu należy wyznaczyć czas połowicznego rozkładu związku w glebie (DT_{50}), który jest ważnym wskaźnikiem decydującym o bezpieczeństwie dla środowiska. W zależności od okresu półrozpadu w glebie (DT_{50}), stosowane w praktyce rolniczej agrochemikalia można podzielić na: mało trwałe (DT_{50}<20 dni), średnio trwałe (DT_{50} – 20-90 dni) i trwałe (DT_{50}>90 dni); (7).

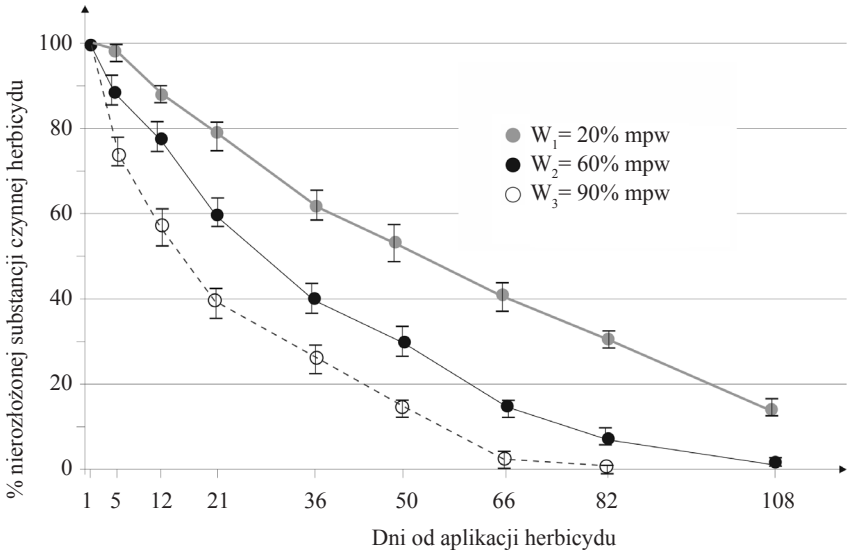
Prace nad wpływem typu gleby na rozkład substancji czynnej herbicydu wskazują, że przebieg i szybkość procesu zanikania są uzależnione od właściwości fizykochemicznych gleby oraz zawartości substancji organicznej (1, 6, 12). Jak wskazują wyniki badań (5, 8, 12, 29), na glebach zasobnych w substancję organiczną następuje szybszy rozkład herbicydów, czego skutkiem są niższe pozostałości oznaczane w czasie zbioru rośliny. Natomiast w glebach ubogich w substancję organiczną, jak również posiada-

jących w swym składzie wysoki udział frakcji piasku, obserwowany jest wolniejszy rozkład herbicydów. Gleby piaszczyste (lekkie) umożliwiają łatwiejszy transport herbicydu w profilu glebowym aż do wód gruntowych, co powoduje, że w warstwie ornej (w obszarze dostępności dla systemu korzeniowego rośliny) pozostałości są bardzo małe, co ogranicza też możliwość wystąpienia pozostałości w uprawianej roślinie. W przypadku gleb ciężkich obserwowane jest zjawisko sorpcji – molekuły substancji czynnej w wyniku reakcji fizykochemicznych zostają wbudowane w cząstki gleby i nie są one dostępne (lub dostęp jest ograniczony) dla roślin.

Główną rolę w procesie rozkładu substancji czynnej herbicydu odgrywają mikroorganizmy glebowe. Prace nad oddziaływaniem herbicydów na właściwości gleby i rozwój mikroflory nie wykazały, by związki te, stosowane w zalecanych dawkach, w sposób trwały, wpływały ujemnie na środowisko glebowe (20, 21, 22, 23, 24, 25). Obserwowane zmiany liczebności poszczególnych grup mikroorganizmów są na ogół okresowe i po pewnym czasie następuje powrót do stanu pierwotnego. Obecność i liczebność mikroorganizmów jest powiązana z właściwościami gleby. Większość substancji czynnych herbicydów rozkładana jest przy udziale mikroorganizmów, co wskazuje, że w glebach zasobnych w mikroorganizmy rozkład jest szybszy, a tym samym poziom pozostałości w glebie i uprawianej roślinie powinien być niższy.

Temperatura i wilgotność gleby

Wyższa temperatura i odpowiednia wilgotność gleby powodują, że rozkład herbicydu jest szybszy, a tym samym niższe są jego pozostałości (15, 26, 27). Odpowiednie warunki klimatyczne sprzyjają rozwojowi mikroorganizmów uczestniczących w rozkładzie biologicznym, jak również przyspieszają rozkład chemiczny. Na podstawie wyników uzyskanych z doświadczenia prowadzonego w warunkach kontrolowanych (15), w którym oceniano rozkład fluazifopu w glebie o różnej wilgotności stwierdzono, że najszybszy rozkład obserwowany był przy najwyższym uwilgotnieniu gleby [90% maksymalnej pojemności wodnej (mpw)] – rys. 1. Porównując wyniki tego doświadczenia można zauważyć, że różnice w czasie połowicznego rozkładu (DT_{50}) tej substancji, w zależności od wilgotności gleby sięgają 37 dni. DT_{50} dla wilgotności 20% mpw wynosił 54, dla wilgotności 60% mpw − 29, a dla wilgotności 90% mpw tylko 17 dni. Po 82 dniach od aplikacji herbicydu nie stwierdzono wykrywalnych pozostałości w glebie o wilgotności równej 90% mpw. Podobne wyniki uzyskali inni badacze. W a l k e r i A l l e n (30), badając rozkład propyzamidu, metrybuzyny i linuronu stwierdzili, że półokres rozpadu tych związków w glebie, w temperaturze 20°C i przy wilgotności równej połowie maksymalnej pojemności wodnej, wynosił dla propyzamidu – 35, metribuziny – 36 i linuronu – 74 dni, a przy niskiej wilgotności (20% mpw) odpowiednio 90, 97 i 142 dni.

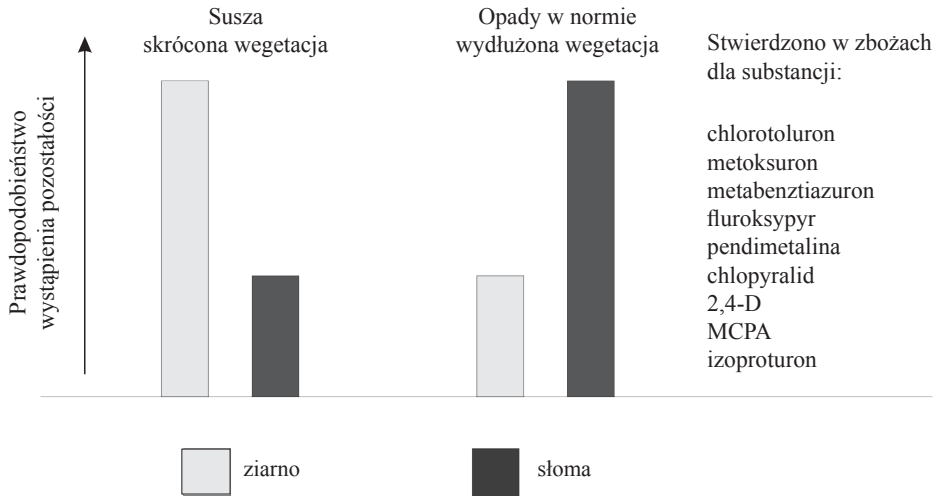


Rys. 1. Krzywe rozkładu fluazifopu. Pionowe odcinki reprezentują błąd standardowy wartości średniej dla 3 powtórzeń.

Źródło: badania własne (15)

Duże znaczenie na przebieg rozkładu i ewentualne „umiejscowienie" pozostałości mają okresowe, istotne niedobory wody w glebie. Niedostateczna wilgotność gleby w okresie wykonywania zabiegów herbicydowych może powodować słabe działanie preparatów. Rozwój roślin i chwastów jest wtedy znacząco spowolniony, środek jest pobierany w ograniczonym stopniu i ulega rozkładowi, co powoduje, że konieczne jest wykonanie zabiegów uzupełniających, wprowadzających dodatkową dawkę herbicydów do środowiska.

Jak wykazano w badaniach, wystąpienie suszy w okresie dojrzewania zbóż powoduje skrócenie okresu wegetacji i zwiększoną kumulację pozostałości herbicydów w ziarnie. W sezonach, gdzie nie obserwowano w tym okresie nadmiernego spadku wilgotności, czas wegetacji był wydłużony i pozostałości w ziarnie zbóż były znacząco niższe od tych, które wykrywano w glebie i słomie (rys. 2).

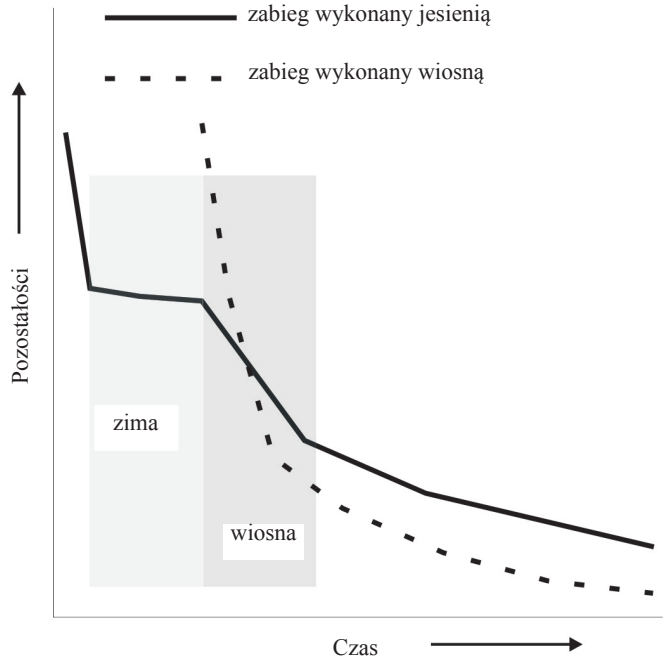


Rys. 2. Wpływ suszy na poziom i rozmieszczenie pozostałości

Źródło: rysunek poglądowy na podstawie badań własnych

Termin wykonania zabiegu herbicydowego

W uprawie ozimin istotny wpływ, na tempo rozkładu, ma także termin stosowania herbicydu (3, 10, 16). Po wykonaniu zabiegu w okresie jesiennym, w początkowym okresie większość preparatu dostaje się do gleby. Do momentu, gdy temperatura gleby jest dostatecznie wysoka, rozkład substancji biologicznie czynnej zachodzi stosunkowo szybko (rys. 3). W okresie zimowym, gdy temperatura gleby wyraźnie się obniża, procesy życiowe mikroorganizmów ulegają zahamowaniu, a rozkład herbicydu praktycznie zostaje zatrzymany. Wiosną w miarę ogrzewania się gleby, aktywność mikroorganizmów glebowych wzrasta i proces rozkładu herbicydu ponownie ulega przyspieszeniu. Jeżeli porównamy przebieg dynamiki rozkładu tej samej substancji czynnej herbicydu aplikowanego wiosną i jesienią, to można zauważyć, że herbicyd stosowany jesienią w okresie wiosny rozkłada się wolniej niż zastosowany wiosną. Powodowane jest to tym, że w okresie późnojesiennym i zimowym rozkład ulega zatrzymaniu, ale w tym czasie cząsteczki substancji czynnej w wyniku reakcji fizykochemicznych zostają wbudowane w cząstki gleby. Sprawia to, że na wiosnę są one trudniej dostępne dla mikroorganizmów. W takim przypadku, pomimo znacznie wcześniejszego terminu aplikacji herbicydu, pozostałości oznaczone w czasie zbioru rośliny nie muszą być znacząco różne. Z góry nie można założyć, że aplikacja jesienna będzie powodowała, że pozostałości będą niższe.



Rys. 3. Wpływ terminu wykonania zabiegu na rozkład herbicydu w glebie

Źródło: rysunek poglądowy na podstawie badań własnych

Na podstawie badań (17) prowadzonych w latach 2000-2002 na plantacjach pszenicy ozimej, gdzie aplikowano herbicydy zawierające chlorotoluron i izoproturon, powschodowo, jesienią i na obiektach opryskiwanych wiosną po ruszeniu wegetacji stwierdzono, że aplikacja wiosenna powodowała (w większości przypadków) znaczący wzrost stężenia substancji czynnych herbicydów w glebie w stosunku do obiektów, na których herbicyd aplikowano jesienią. W przypadku zabiegów wykonanych wiosną, okres od aplikacji herbicydu do zbioru jest o około 5-6 miesięcy krótszy, co powoduje, że substancja czynna herbicydu nie zdąży się rozłożyć w takim stopniu, jak po zabiegu wykonanym jesienią. Okres od jesiennej aplikacji do zbioru pszenicy ozimej jest na tyle długi, by spodziewać się, że analiza chemiczna nie wykaże pozostałości w glebie lub ich stężenie będzie na poziomie oznaczalności metody analitycznej.

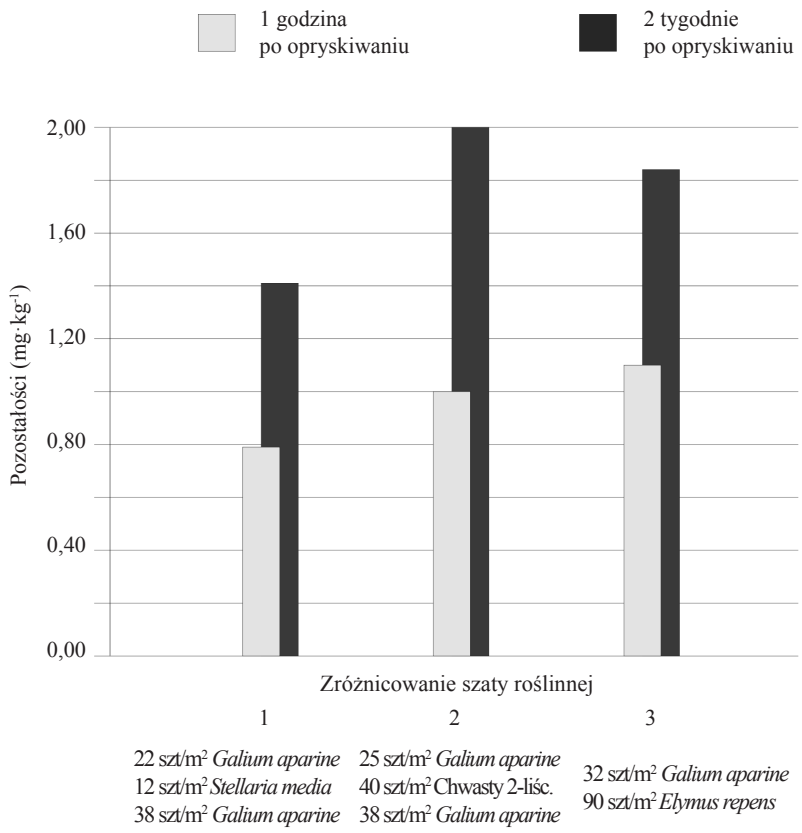
Jak wykazały przeprowadzone badania (2, 19), termin stosowania herbicydów może różnicować poziom pozostałości substancji czynnych w glebie, jednak głównym czynnikiem decydującym o wyborze odpowiedniego sposobu aplikacji jest skuteczność stosowanego środka w zwalczaniu chwastów.

Wpływ pokrywy roślinnej

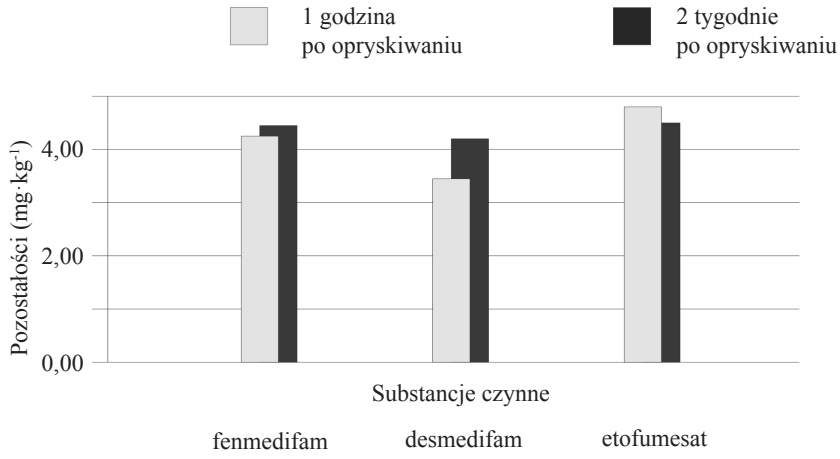
Różnice stanu i stopnia pokrycia gleby przez rośliny uprawne i chwasty w momencie aplikacji herbicydu powodują, że do gleby przedostają się różne ilości herbicydu. Różny jest też czas reakcji chwastów na działanie środka chwastobójczego, w zależności od substancji czynnej herbicydu i gatunku chwastów.

Krople cieczy użytkowej preparatu chwastobójczego padają na powierzchnię roślin i glebę. W przypadku niedostatecznej przyczepności do powierzchni rośliny część preparatu zostaje zmyta na glebę razem z kroplami rosy lub deszczu. Zróżnicowany stopień pokrycia gleby przez rośliny w momencie wykonywania zabiegu i właściwości cieczy użytkowej wpływają w znaczący sposób na ilość substancji czynnej, która dociera do powierzchni gleby. Na rysunku 4 przedstawiono wyniki oznaczeń zawartości w glebie chlorotoluronu stosowanego w formie preparatu Dicuran 80 WP w uprawie pszenicy. W zależności od występujących gatunków chwastów i ich liczby, do gleby docierają różne ilości substancji czynnej, pomimo jednakowych dawek herbicydu. Różnice sięgają 0,25 $mg \cdot kg^{-1}$. Jeszcze większe zróżnicowanie poziomu pozostałości w glebie obserwowano 2 tygodnie po opryskiwaniu. We wszystkich przypadkach odnotowano wzrost zawartości chlorotoluronu w glebie spowodowany zmywaniem preparatu z roślin. Poziom pozostałości wzrastał nawet o 1,0 $mg \cdot kg^{-1}$.

Efekt działania „parasola roślinnego" można zaobserwować również w innych uprawach. Na rysunku 5 przedstawiono wyniki oznaczeń fenmedifamu, desmedifamu i etofumesatu stosowanych w formie preparatu Betanal Progress AM 180 EC w uprawie buraka cukrowego. W przypadku zastosowania tego herbicydu jednorazowo w dawce 6 $l \cdot ha^{-1}$ w godzinę po aplikacji do gleby przedostaje się 4,21 $mg \cdot kg^{-1}$ fenmedifamu, 3,45 $mg \cdot kg^{-1}$ desmedifamu i 4,8 $mg \cdot kg^{-1}$ etofumesatu. W uprawie buraka cukrowego zmywanie z powierzchni roślin jest znikome i po dwóch tygodniach odnotowano zwiększenie pozostałości fenmedifamu o 0,2 $mg \cdot kg^{-1}$, desmedifamu o 0,8 $mg \cdot kg^{-1}$, a w przypadku etofumesatu nastąpiło zmniejszenie o 0,3 $mg \cdot kg^{-1}$.

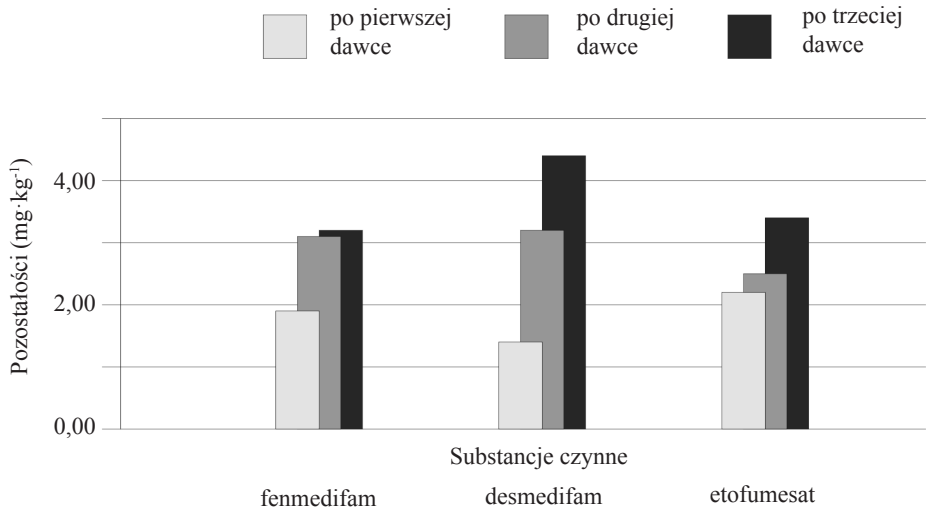


Rys. 4. Wpływ zróżnicowanej szaty roślinnej na pozostałości w glebie preparatu Dicuran 80 WP
Źródło: badania własne



Rys. 5. Wpływ terminu aplikacji na pozostałości w glebie składników preparatu Betanal Progress AM 180 EC
Źródło: badania własne

Bardzo wyraźny efekt działania okrywy roślinnej można zaobserwować, jeżeli herbicyd stosowany jest w kilku kolejnych zabiegach. Na rysunku 6 przedstawiono zmiany wielkości pozostałości w glebie po zastosowaniu herbicydu Betanal Progress AM 180 EC w trzech kolejnych zabiegach po 2,0 $l \cdot ha^{-1}$ każdy. Opryskiwanie kolejnymi dawkami wykonywano w odstępach dwutygodniowych. Po zastosowaniu pierwszej dawki do gleby przedostało się: 1,90 $mg \cdot kg^{-1}$ fenmedifamu, 1,40 $mg \cdot kg^{-1}$ desmedifamu i 2,20 $mg \cdot kg^{-1}$ etofumesatu. Zastosowanie drugiej dawki spowodowało wzrost zawartości tych substancji do: 3,10 $mg \cdot kg^{-1}$ fenmedifamu, 3,20 $mg \cdot kg^{-1}$ desmedifamu i 2,50 $mg \cdot kg^{-1}$ etofumesatu. Trzecia dawka herbicydu spowodowała wzrost pozostałości do: 3,20 $mg \cdot kg^{-1}$ fenmedifamu, 4,40 $mg \cdot kg^{-1}$ desmedifamu i 3,40 $mg \cdot kg^{-1}$ etofumesatu. Można zauważyć, że pomimo stosowania każdorazowo tej samej dawki herbicydu przyrost pozostałości w glebie maleje. Powodem tego jest wzrost roślin buraka. Kolejne zabiegi herbicydowe trafiają na coraz szczelniejszą pokrywę roślinną, która zatrzymuje na sobie krople preparatu. W przypadku stosowania dzielonych dawek herbicydu jedynie w pierwszym zabiegu do gleby docierają znaczne ilości preparatu. Kolejne zabiegi trafiają w większości na powierzchnię roślin. Jest to zjawisko korzystne zwłaszcza w przypadkach herbicydów o działaniu dolistnym. Herbicyd, który pozostał na roślinach wnika do ich wnętrza przez blaszki liściowe. Możliwe są również sytuacje, w których roślina nie pobiera substancji czynnej lub pobieranie jest znikome. Odporność rośliny na daną substancję determinują dwa czynniki: pobieranie i zdolność metabolizowania. Rośliny wrażliwe pobierają i nie metabolizują w dostatecznym stopniu i czasie substancji czynnej herbicydu. Następuje wówczas zakłócenie procesów życiowych i roślina ginie. Rośliny odporne nie pobierają lub pobierają i metabolizują substancję czynną herbicydu tak, by zniwelować jej wpływ na procesy życiowe. Opisany mechanizm powoduje, że poziom pozostałości w obu grupach roślin jest różny.

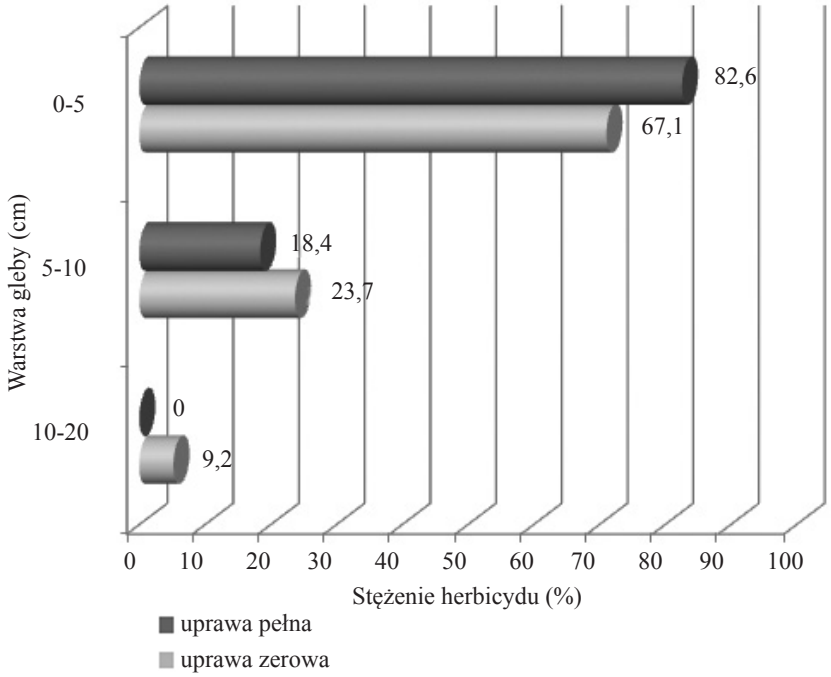


Rys. 6. Wpływ sposobu aplikacji na pozostałości w glebie preparatu Betanal Progress AM 180 EC
Źródło: badania własne

Uprawa roli

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

Dla oceny wpływu systemu uprawy na poziom i przemieszczanie się pozostałości herbicydu przeprowadzono doświadczenie, w którym wykorzystano glebę pobraną z pola podzielonego na dwie części. Jedną część pola uprawiano tradycyjnie z zastosowaniem orki, natomiast na drugiej części od trzech lat nie prowadzono zabiegów uprawowych, a roślina uprawna (kukurydza) była siana siewnikiem do siewu bezpośredniego. Próbki gleby z warstwy 0-20 cm pobrane zostały z zachowaniem ich profilu próbnikiem rdzeniowym Van der Horst'a do kolumn. Na powierzchnię naniesiono (w stacjonarnej komorze opryskowej) herbicyd Emblem 20 WP (bromoksynil). Po 20 godzinach po aplikacji herbicydu w komorze deszczowania przeprowadzono zabieg symulujący opad atmosferyczny (intensywności opadów – 15 $l \cdot m^{-2}$). Po upływie doby po deszczowaniu profile glebowe zostały wytłoczone i pocięte na fragmenty (0-5; 6-10 i 10-20 cm), w których oznaczono stężenie substancji czynnej herbicydu (analiza pozostałości). Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że w glebie poddawanej typowym zabiegom uprawowym, pod wpływem intensywnych opadów herbicyd jest mniej mobilny (wolniej przemieszcza się w profilu glebowym) – rys. 7. Taki mechanizm jest bardziej korzystny ze względu na fakt, że szczególnie herbicydy doglebowe powinny stosunkowo wolno migrować w glebie. Istotna jest warstwa powierzchniowa gleby (0-5 cm), gdyż jest to strefa, z której rośliny kiełkują i w pierwszym etapie wzrostu pobierają składniki. Dłuższe zaleganie herbicydu w tej warstwie gleby przyczynia się do lepszego pobrania substancji czynnej przez kiełkujące rośliny (chwasty), co w efekcie końcowym podnosi skuteczność chwastobójczą herbicydu. Taki efekt ma również znaczenie proekologiczne, gdyż ograniczenie mobilności herbicydów w glebie zmniejsza ryzyko przedostawania się tych substancji do wód powierzchniowych i gruntowych, które stanowią potencjalne źródło wody pitnej. W przypadku gleby poddawanej zabiegom uprawowym nie stwierdzono obecności herbicydu w warstwie poniżej 10 cm.



Rys. 7. Wpływ sposobu uprawy roli na przemieszczanie herbicydu w profilu glebowym

Źródło: badania własne

Obecność innych agrochemikaliów

Na szybkość i przebieg rozkładu, jak również pozostałości końcowe (w glebie i roślinie uprawnej) ma wpływ obecność innych substancji chemicznych, znajdujących się już w glebie lub zastosowanych w zabiegu łączonym z herbicydem. Do substancji takich należą fungicydy, insektycydy, inne herbicydy, nawozy i adiuwanty. Wpływ poszczególnych związków na pozostałości herbicydu jest zróżnicowany. W wielu badaniach udowodniono, że łączne stosowanie herbicydów z innymi agrochemikaliami, a w szczególności z adiuwantami, powoduje zahamowanie rozkładu i wzrost pozostałości w glebie i roślinie uprawnej (13, 14).

Ograniczanie dawek herbicydów

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 liczby zabiegów do niezbędnego minimum. Rozpoczęto intensywne badania naukowe, mające na celu wypracowanie (dla lokalnych warunków) właściwych metod umożliwiających

zmniejszenie zużycia środków, z jednoczesnym zachowaniem pożądanej skuteczności ich działania. Poszukiwanie rozwiązań proekologicznych ukierunkowane zostało w stronę zmian w asortymencie stosowanych herbicydów (nowa generacja substancji czynnych oparta o związki pochodne sulfonylomocznika, które stosowane są w dawkach rzędu 20-100 g·ha^{-1}, herbicydy wieloskładnikowe, itp.), zmian w technice i sposobie aplikacji środków chwastobójczych. Do najważniejszych działań umożliwiających redukcję sumarycznej dawki herbicydów wprowadzanej do środowiska należy wykorzystanie właściwości środków wspomagających (adiuwantów) oraz stosowanie systemu dawek dzielonych i mikrodawek.

Na podstawie uzyskanych wyników badań prowadzonych na plantacjach buraka cukrowego można stwierdzić, że stosowanie adiuwantów oraz systemu dawek dzielonych znacząco ogranicza sumaryczną ilość wprowadzanych do środowiska herbicydów bez straty poziomu skuteczności chwastobójczej i umożliwia obniżenie stężenia pozostałości tych substancji w glebie i korzeniach buraka nawet o 30-70%, w porównaniu z tradycyjnymi zabiegami ochrony roślin stosowanymi w tej uprawie (11, 19).

Podsumowanie

Jak przedstawiono powyżej elementy agrotechniki i warunki pogodowe wpływają na zachowanie się herbicydów w środowisku rolniczym i mogą być przyczyną zróżnicowania w wielkości pozostałości oznaczanych w glebie i materiale roślinnym. Znajomość tych zagadnień umożliwia wybór odpowiednich zabiegów agrotechnicznych w celu ograniczenia potencjalnego ryzyka wynikającego ze stosowania środków ochrony roślin. Decydującym elementem jest jednak przebieg pogody, na który nie mamy wpływu. Dzięki opisanym badaniom możemy z dużym prawdopodobieństwem przewidzieć skutki (wpływ na pozostałości) wystąpienia konkretnych zjawisk pogodowych.

Na podstawie badań monitoringowych prowadzonych na plantacjach głównych upraw rolniczych nie stwierdzono, by w roślinach tych wykryto pozostałości substancji czynnych herbicydów, w stężeniu przekraczającym wartości dopuszczalne, podane w normach.

Przestrzeganie zaleceń producentów środków ochrony roślin, jak również zasad dobrej praktyki rolniczej, znacząco ogranicza możliwości wystąpienia zanieczyszczeń, tą grupą środków, gleby, czy produktów roślinnych.

Literatura

1. Allen R., Walker A.: Influence of soil properties on the degradation rates of metamitron, metazachlor and metribuzin in soil. Pesti. Manag. Sci., 1987, **18(2)**: 95-111.
2. Badowski M., Kucharski M.: Graminicydy w uprawie rzepaku ozimego - wpływ terminu aplikacji na skuteczność i pozostałości. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2010, **50(2)**: 851-855.

3. Badowski M., Kucharski M.: Wpływ terminu aplikacji graminicydów na poziom pozostałości i skuteczność chwastobójczą w uprawie rzepaku ozimego. Rośl. Oleiste/Oilseed Crops, 2004, **25(1)**: 151-157.
4. Boesten J. J. T. I.: From laboratory to field: uses and limitations of pesticide behaviour models for the soil/plant system. Weed Res., 2000, **40(1)**: 123-138.
5. Forouzangohar M., Haghnia G.H., Koocheki A. Organic amendments to enhance atrazine and metamitron degradation in two contaminated soils with contrasting textures. J. Soil Contam., 2005, **14(4)**: 345-355.
6. Gowri P., Rajkannan B., Jayakumar R., George T.: Effect of soil properties on the persistence of fluchloralin. Pestic. Res. J., 2006, **18(1)**: 95-97.
7. Greenhalgh R.: Definition of persistence in pesticide chemistry. Pure Appl. Chem., 1980, **52**: 2563-2566.
8. Kucharski M.: Degradation of phenmedipham in soil under laboratory conditions. Veg. Crops Res. Bull., 2004, **60**: 63-70.
9. Kucharski M.: Pozostałości herbicydów w wodach powierzchniowych i gruntowych na terenach rolniczych. Pam. Puł., 2004, **138**: 89-97.
10. Kucharski M., Badowski M.: Pozostałości wybranych herbicydów w glebie i nasionach rzepaku ozimego. Rośl. Oleiste/Oilseed Crops, 2004, **25(1)**: 159-166.
11. 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. Rośl., 2008, **48(1)**: 281-286.
12. Kucharski M., Sadowski J.: Degradation of ethofumesate in soil under laboratory conditions. Pol. J. Environ. Stud., 2009, **18(2)**: 243-247.
13. Kucharski M., Sadowski J.: Wpływ adiuwantów na mobilność i pozostałości herbicydów w glebie. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl. 2007, **47(4)**: 58-61.
14. Kucharski M., Sadowski J.: Wpływ adiuwantów na poziom pozostałości metamitronu i chlorydazonu w glebie i roślinie buraka cukrowego. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2001, **41(2)**: 885-887.
15. Kucharski M., Sadowski J.: Wpływ wilgotności gleby na rozkład herbicydu – badania laboratoryjne. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2006, **46(2)**: 750-753.
16. Kucharski M., Sadowski J., Domaradzki K.: Pozostałości herbicydów w glebie i materiale roślinnym zależnie od techniki i terminu ich stosowania. Mat. IX Konf. Nauk. IUNG „Efektywne i Bezpieczne Technologie Produkcji Roślinnej", IUNG-PIB Puławy, 2005: 193-195.
17. Kucharski M., Sadowski J., Domaradzki K.: Pozostałości herbicydów w glebie i materiale roślinnym zależnie od techniki i terminu ich stosowania. Pam. Puł., 2006, **142**: 243-250.
18. Kucharski M., Sadowski J., Trajdos J.: Rozkład metamitronu w glebie w zależności od formulacji i sposobu aplikacji herbicydu. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2012, **52(1)**: 137-140.
19. 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.
20. Przybulewska K., Nowak A., Majchrzak A., Rola H., Rola J., Kucharski M.: Changes in the counts of main soil microflora taxonomic groups after multi-annual application of herbicides. Ecol. Chem. Eng. A, 2007, **14(8)**: 854-866.
21. Przybulewska K., Nowak A., Pruchniewicz A., Rola H., Rola J., Kucharski M.: Changes in the number of main microflora physiological groups in soil after long-term herbicide application. Ecol. Chem. Eng. A, 2008, **15(6)**: 573-582.
22. Rola H., Rola J., Kucharski M., Nowak A., Przybulewska K., Domaradzki K., Majchrzak A.: Influence of fourth years of simazine application on plant cover and soil microorganisms. Proc. 4th International Weed Science Congress, Durban, Republic of South Africa, 2004: 82-83.

23. Rola H., Rola J., Sadowski J., Kucharski M.: Wpływ 36-letniego stosowania atrazyny na florę segetalną i pozostałości w glebie. Ann. UMCS, Sect. E, 2000, vol. **LV**: 167-174.
24. Rola H., Rola J., Sadowski J., Kucharski M., Pietr S.: Influence of long-term application of triazine herbicides on ecosystem. Proc. of 3rd International Weed Science Congress, Foz do Iguassu, Brazil, 2000: 243-244.
25. Rola H., Sadowski J., Kucharski M.: Penetration of triazine herbicides into the soil profile after long term application. Phytoparasitica, 2000, **28(2)**: 170-178.
26. Sadowski J., Kucharski M., Domaradzki K. Wpływ wilgotności gleby na wymywanie i rozmieszczenie w glebie pozostałości herbicydów z grupy fenoksyalkanokarboksylowych. Zesz. Nauk. PTIE i PTG, 2010, **13**: 137-138.
27. Sadowski J., Kucharski M., Domaradzki K.: Wpływ wilgotności gleby na przemieszczanie herbicydów pochodnych fenoksykwasów. Rocz. Glebozn., 2010, **61(4)**: 136-141.
28. Sadowski J., Kucharski M., Rola H.: Pozostałości herbicydów w środowisku glebowo-wodnym. Biul. Nauk. UWM, 2001, **12**: 23-32.
29. Sadowski J., Kucharski M., Wujek B.: Wpływ typu gleby na rozkład metazachloru. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2012, **52(2)**: 437-440.
30. Walker A., Allen R.: Influence of soil and environmental factors on pesticide persistence. BCPC Monography, 1984, **27**: 36-49.

Adres do korespondencji:

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

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

ZESZYT 49(3): 35-46 **2016**

Anna Podleśna, Janusz Podleśny

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa-Państwowy Instytut Badawczy w Puławach

WPŁYW WARUNKÓW POGODOWYCH I WYBRANYCH CZYNNIKÓW AGROTECHNICZNYCH NA PLONOWANIE BOBIKU*

Słowa kluczowe: bobik, plon nasion, opady, temperatura, zasobność gleb, nawożenie

Wstęp

Bobik (*Vicia faba* L. *minor* Harz.) był użytkowany już w starożytności a obecnie jest jedną z ważniejszych pastewnych roślin strączkowych (4). Wprawdzie w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku nastąpił znaczny spadek produkcji bobiku i innych roślin strączkowych, ale ostatnio w Polsce obserwuje się powolną odbudowę areału tych upraw (9). Wzrost powierzchni przeznaczonej pod uprawę bobiku jest widoczny także w niektórych krajach UE (14). Trend ten wynika głównie z wielu zalet, którymi wyróżnia się on spośród roślin strączkowych. Bobik jest często uprawiany w plonie głównym na nasiona, które zawierają dużo białka ogólnego o wysokiej wartości biologicznej (20-41%). Ponadto zdolność do wiązania azotu atmosferycznego i pozostawiania go w glebie powoduje poprawę produktywności gleby lub przynajmniej jej utrzymanie na właściwym poziomie (1). Jest on przez to doskonałym przedplonem dla wielu roślin uprawnych, w tym także dla pszenicy (14). Zdaniem K u l i g a i Z a j ą c a (14) istotną zaletą uprawy bobiku jest również oddziaływanie fitosanitarne i fitomelioracyjne. Bobik uważany jest za najbardziej plenny gatunek wśród roślin strączkowych (9) ale w praktyce rolniczej jego potencjał plonotwórczy jest wykorzystywany zaledwie w 25% (16). Dużym problemem producentów bobiku jest również zawodność jego plonowania (19). Prowadzone badania wykazały, że uwarunkowania produkcyjne bobiku są wielorakie i mają podłoże biologiczne, siedliskowe jak i agrotechniczne (9, 23). Wcześniejsze badania N a l b o r c z y k a (15) wykazały, że bobik ma większe, niż rośliny nie strączkowe, wymagania pokarmowe względem fosforu, wapnia, siarki czy niektórych mikroelementów a inne prace potwierdzają korzystny wpływ fosforu (2) i potasu na plon nasion bobiku (3,16). Należy podkreślić, że czynnikiem

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.3 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

powodującym dużą zmienność produkcyjności bobiku w latach, jest w warunkach Polski przebieg pogody, a szczególnie ilość oraz rozkład opadów w okresie kwitnienia i zawiązywania strąków (19, 23).

Celem pracy była ocena plonowania bobiku w zależności od przebiegu warunków pogodowych oraz wybranych czynników agrotechnicznych.

Rys.1. Lokalizacja doświadczeń

Źródło: opracowanie własne

Materiał i metody

Materiał źródłowy opracowania stanowią wyniki doświadczeń polowych prowadzonych w latach 2010-2012, w Stacjach Oceny Odmian COBORU w następujących miejscowościach: Głubczyce (opolskie), Karżniczka (pomorskie), Kochcice i Pawłowice (śląskie), Przecław (podkarpackie), Radostowo (pomorskie), Rarwino (zachodniopomorskie), Wrócikowo (warmińsko-mazurskie) oraz Zybiszów (dolnośląskie); (rys.1.)

Przedplonem dla bobiku były najczęściej zboża, jedynie w miejscowości Przecław przedplon stanowiła gorczyca biała. Większość uprawianych odmian charakteryzuje się tradycyjnym typem wzrostu (Albus, Amulet, Bobas, Kastelan, Leo i Olga) a dwie z nich to odmiany o zdeterminowanym wzroście (Granit i Optimal). Bobik uprawiano najczęściej na glebach należących do bardzo dobrych kompleksów glebowych: pszennego bardzo dobrego i pszennego dobrego, rzadziej − żytniego bardzo dobrego (tab. 1). Siewy wykonywano w końcu marca lub na początku kwietnia. Zakładana

obsada roślin dla odmiany Bobas, Olga, Leo, Kasztelan i Amulet wynosiła 50 roślin/m^2, a dla odmian: Optimal i Granit – 70 roślin/m^2. Pojawiające się chwasty i szkodniki zwalczano stosując odpowiednie środki chemiczne.

Tabela 1

Warunki prowadzenia badań i wykonywane zabiegi agrotechniczne

Miejscowość	Przedplon	Kompleks glebowy	Zasobność gleby (mg na 100g gleby)			pH	Nawożenie (kg ha^{-1})			Razem NPK
			P_2O_5	K_2O	Mg		N	P	K	
Głubczyce	pszenica ozima	pszenny bardzo dobry	28,1	28,4	14,8	6,4	36,7	70,0	136,7	243,4
Karżniczka	pszenica ozima	żytni bardzo dobry	13,5	16,4	7,6	6,0	37,0	105,0	156,7	298,7
Kochcice	jęczmień jary	pszenny dobry	21,0	20,7	15,1	6,2	31,0	70,0	105,0	206,0
Pawłowice	pszenżyto ozime	pszenny dobry	10,8	18,9	5,4	6,4	28,8	80,0	150,0	258,8
Przecław	gorczyca biała	pszenny bardzo dobry	17,1	17,7	12,1	6,8	26,0	86,7	130,0	242,7
Radostowo	pszenica ozima	pszenny bardzo dobry	27,0	23,1	8,1	6,6	28,3	60,0	116,0	204,3
Rarwino	jęczmień jary	żytni bardzo dobry	20,1	13,5	2,3	6,6	26,7	53,3	120,0	200,0
Wrócikowo	jęczmień jary	pszenny dobry	31,4	23,7	10,3	6,3	30,0	37,5	110,0	177,5
Zybiszów	jęczmień jary	pszenny bardzo dobry	18,0	22,3	6,7	6,1	12,0	40,0	60,0	112,0
Średnia			17,1	20,5	9,2	6,4	28,5	66,9	120,5	215,9

Źródło: opracowanie własne

Przebieg warunków pogodowych w okresie badań przedstawia tabela 2. Zbiór nasion wykonywano jednoetapowo (tj. kombajnem) w fazie dojrzałości pełnej. Po zbiorze określano plon nasion. Wszystkie dane prezentowane w pracy stanowią wartości średnie omawianych parametrów z lat 2010-2012.

Tabela 2

Miesięczna suma opadów oraz średnie temperatury dobowe

Miejscowość	Opady (mm)						Temperatura (°C)					
	IV	V	VI	VII	VIII	Σ	IV	V	VI	VII	VIII	Σ
Głubczyce	47,0	88,6	100,2	147,5	76,8	460,1	8,5	13,6	17,2	19,2	18,8	58,5
Karżniczka	25,3	57,8	71,8	138,3	123,9	417,1	7,9	8,9	14,1	18,5	17,6	49,4
Kochcice	29,6	53,4	82,3	100,5	57,9	323,7	9,7	14,0	17,5	18,1	18,7	59,3
Pawłowice	46,8	102,4	58,2	61,0	59,3	327,7	9,4	14,0	17,7	22,0	19,2	63,1
Przecław	41,3	91,6	79,7	177,2	77,7	467,5	9,6	17,5	18,0	20,1	19,1	65,2
Radostowo	19,8	51,0	71,4	93,8	85,7	321,7	8,1	12,4	15,9	18,9	18,2	55,3
Rarwino	24,0	50,2	57,9	137,0	102,5	371,6	7,9	11,3	15,4	18,1	17,1	52,7
Wrócikowo	41,0	68,9	80,5	124,5	96,4	411,3	8,1	12,7	16,0	19,0	18,0	55,8
Zybiszów	33,4	69,7	54,1	139,2	70,5	366,9	10,1	13,2	18,0	19,8	19,3	61,1
Średnia	**34,2**	**70,4**	**72,9**	**122,1**	**83,4**	**383,0**	**8,8**	**13,1**	**16,6**	**21,9**	**18,4**	**60,4**
Potrzeby (mm/m-c)*	39,4	69,9	85,7	90,8	61,0	346,8	8,9[1]	13,2	16,2	18,1	18,1	74,5
Potrzeby (mm/m-c)**	-	80,0	110,0	80,0	50,0		6,0	11,5	-	15,0	16,5	

Według: * − Dzieżyca (8), ** − Demidowicza (6); [1] − wielolecie 1961-2004, Rokosz i Podsiadlo (22)

Źródło: opracowanie własne

Wyniki i dyskusja

Plonowanie bobiku w zależności od odmiany

Analizując uzyskane plony nasion bobiku (tab. 3) należy uznać je za wysokie, chociaż wg COBORU (24) średnie krajowe plony wzorca bobiku dla lat 2011 i 2012 wynosiły odpowiednio 5,52 i 4,54 t·ha^{-1}. F l o r e k i i n . (9) podają, że plon nasion bobiku w okresie lat 2003-2011 kształtował się w Polsce w zakresie 2,0-2,8 t·ha^{-1}. Natomiast S t ę p n i k i L e p i a r c z y k (23) uprawiali bobik odmiany tradycyjnej Start, który w latach 2005-2007 plonował odpowiednio na poziomie 6,04; 3,14 i 3,24 t·ha^{-1}.

Spośród odmian bobiku uwzględnionych w badaniach najwyższe, średnie dla wszystkich miejscowości, plony nasion stwierdzono w przypadku odmian Amulet i Bobas a najniższe dla odmiany Sonet (tab. 3). Jednakże w większości przypadków odmiany o tradycyjnym typie wzrostu plonowały wyżej niż odmiany Granit i Optimal należące do typu o szczytowym kwiatostanie. P o d l e ś n y (19) w doświadczeniu polowym uzyskał średnie plony 2,40 i 2,12 t·ha^{-1}, odpowiednio dla odmiany tradycyjnej Nadwiślański i odmiany Tim (typ samokończący). Z kolei w badaniach prowadzonych przez K o t e c k i e g o (13) odmiana Nadwiślanski, średnio za lata 1989-1991, plonowała na poziomie 4,31 t·ha^{-1} a rody samokończące plonowały w zakresie od 3,36 do 4,16 t·ha^{-1}.

Tabela 3

Plonowanie bobiku (t·ha^{-1}) w różnych miejscowościach Polski

Odmiana	Miejscowość*									**Średnio**	$NIR_{0,05}$ dla miejscowości
	A	B	C	D	E	F	G	H	I		
Albus (t)	4,85	3,81	4,39	3,68	4,73	5,68	3,85	5,21	5,31	4,61	0,36
Amulet (t)	5,19	3,82	4,74	4,02	4,88	6,02	4,40	5,51	5,47	4,90	0,27
Bobas (t)	5,40	3,91	4,48	3,67	5,30	6,05	4,07	5,56	5,48	4,88	0,31
Granit (s)	4,91	4,14	4,35	3,72	4,71	5,52	3,59	4,80	5,45	4,58	0,23
Kasztelan (t)	4,86	3,77	4,21	3,97	4,77	6,00	4,54	5,22	5,43	4,75	0,38
Leo (t)	4,82	3,58	3,83	3,99	4,71	6,03	4,21	4,94	5,16	4,59	0,21
Olga (t)	4,71	3,39	4,07	3,71	4,45	5,60	3,57	5,16	5,17	4,43	0,40
Optimal (s)	4,21	3,60	4,03	3,48	4,41	5,10	3,90	4,33	5,15	4,25	0,37
Sonet (t)	5,35	3,82	-	3,14	3,03	5,29	3,11	-	3,69	3,93	0,34
Średnio	4,92	3,76	4,26	3,71	4,56	5,7	3,92	5,09	5,14	4,48	0,35
$NIR_{0,05}$ dla odmian	0,32	0,26	0,21	0,31	0,23	0,24	0,30	0,32	0,18	0,21	

* A – Głubczyce, B – Karżniczka, C – Kochcice, D – Pawłowice, E - Przecław, F – Radostowo, G – Rarwino, H – Wrócikowo, I – Zybiszów; (t) − odmiana o tradycyjnym typie wzrostu, (s) − odmiana samokończąca (o zdeterminowanym typie wzrostu)
Źródło: opracowanie własne

Zdaniem wspomnianego autora uzyskane wyniki świadczą o małym potencjale produkcyjnym bobiku o szczytowym kwiatostanie, który wynika z niskich, w porównaniu do form tradycyjnych, wartości cech morfologicznych, mających bezpośredni wpływ na plony nasion. Należą do nich przede wszystkim: wysokość roślin, liczba węzłów na łodydze, liczba gron kwiatowych, liczba strąków na roślinie, liczba nasion w strąku i MTN. Potencjał plonotwórczy roślin wynika z ich możliwości produkcji

asymilatów, gdzie ważną rolę odgrywa aktywność fotosyntetyczna i powierzchnia liści oraz zdolności do pobierania z gleby składników pokarmowych i wody do czego niezbędny jest sprawny system korzeniowy. Potwierdzeniem tych założeń są badania P o d l e ś n e g o (19), w których wykazano, że bobik odmiany Nadwiślański (typ tradycyjny) wytwarzał większą masę łodyg oraz większą masę i powierzchnię liści niż bobik odmiany Tim (typ o zdeterminowanym wzroście). W okresie dojrzewania wielkość powierzchni liściowej bobiku zmniejszała się na skutek zasychania i opadania, przy czym proces ten przebiegał szybciej u odmiany Tim niż Nadwiślański. Rośliny odmiany tradycyjnej wytwarzały również większą masę korzeniową niż odmiana samokończąca. Stwierdzono także, że odmiana tradycyjna bobiku wykazuje o 6-9 dni dłuższy dłuższy okres wegetacji i o 11 dni dłuższy okres kwitnienia od odmian o szczytowym kwiatostanie (13).

Wpływ opadów atmosferycznych na plonowanie bobiku

Najwyższe plony nasion bobiku uzyskano w miejscowości Radostowo (5,7 $t \cdot ha^{-1}$), następnie w Zybiszowie (5,1 $t \cdot ha^{-1}$) i Wrócikowie (5,1 $t \cdot ha^{-1}$), a najniższe w miejscowości Pawłowice (3,71 $t \cdot ha^{-1}$), Karżniczka (3,76 $t \cdot ha^{-1}$) i Rarwino (3,92 $t \cdot ha^{-1}$) (tab. 3). Pewne poparcie prezentowanych wyników stanowią dane COBORU (24), które wskazują, że plony wzorca bobiku uzyskane w Radostowie w latach 2011 i 2012 wynosiły odpowiednio 5,96 i 6,34 $t \cdot ha^{-1}$, a w miejscowości Karżniczka 3,45 i 4,36 $t \cdot ha^{-1}$. To pokazuje, że uzyskiwane plony bobiku znacznie różnią się w obu tych miejscowościach pomimo tego, że znajdują się one w województwie pomorskim. Można zatem przypuszczać, że występują tam podobne warunki pogodowe. Zdaniem D e m i d o w i c z a (7) najbardziej stabilne warunki pogodowe dla plonowania bobiku występują m.in. w środkowej części Pojezierza Pomorskiego w obrębie którego umiejscowione jest Radostowo i na obszarze Wyżyny Śląskiej, gdzie znajdują się Głubczyce (rys. 1). Również Wrócikowo, w którym uzyskano jedne z najwyższych plonów badanych odmian jest położone w rejonie, w którym występują najkorzystniejsze warunki klimatyczne dla uzyskania przeciętnie wysokich plonów bobiku (7). Jednakże w wyznaczonych rejonach o stabilnych warunkach pogodowych dla uprawy tego gatunku znajdują się także Rarwino i Karżniczka, w których uzyskano niskie plony bobiku. W latach prowadzenia badań w obu tych miejscowościach zanotowano niskie opady, których wartość kształtuje się poniżej normy przyjętej w Polsce dla okresu IV-V, zarówno według B o g u c k i e j i W r ó b l a (4) jak i D z i e ż y c a (8). Z kolei w miejscowości Pawłowice, gdzie stwierdzono najniższe plony bobiku, wystąpiły niedobory opadów w czerwcu i lipcu poprzedzone zbyt dużą ich ilością w maju. Należy podkreślić, iż odpowiednie opady w kwietniu są ważne dla kształtowania przyszłego łanu bobiku, bowiem to one decydują o szybkości wschodów, a więc także o tempie wzrostu i rozwoju roślin. Bobik ma duże zapotrzebowanie na wodę i składniki pokarmowe także później czyli od maja aż do lipca (22). D e m i d o w i c z (6) twierdzi, że bobik wykazuje dużą

wrażliwość na zmiany uwilgotnienia środowiska. Reaguje ujemnie na niedobór wody w ciągu prawie całego okresu wegetacji a szczególnie w maju i czerwcu, natomiast w lipcu na jej nadmiar. W doświadczeniu P r u s i ń s k i e g o i i n . (21) końcowy plon bobiku był silnie kształtowany przez sumę opadów w okresie rozwoju generatywnego. Natomiast zdaniem P o d l e ś n e g o (19) o wielkości plonu bobiku w największym stopniu decyduje ilość opadów w czerwcu, czyli w okresie jego kwitnienia. Uważa się, że w końcu fazy kwitnienia przyrost biomasy bobiku osiąga swoje maksimum co jest spowodowane m.in. ograniczeniem pobierania składników pokarmowych w wyniku obniżenia aktywności systemu korzeniowego (18) oraz spadkiem aktywności fotosyntetycznej (15). Susza występująca w tym czasie silnie ogranicza powierzchnię liści (a powoduje wzrost ich temperatury) oraz przewodnictwo szparkowe i względną zawartość wody w liściu. W konsekwencji zmiany te zmniejszają intensywność fotosyntezy bobiku, co osłabia rozwój roślin i ma odbicie w późniejszych plonach nasion (1, 20). P o d l e ś n y (19) wykazał, że rośliny bobiku mogą w okresie suszy zrzucać kwiaty, a nawet zawiązane strąki oraz, że zniżka plonu nasion w latach o niekorzystnych warunkach pogody spowodowana była redukcją obsady strąków na roślinie i liczby nasion z rośliny. Zmniejszenie liczby nasion z rośliny w wyniku deficytu opadów było większe u odmiany Tim (o zdeterminowanym wzroście) niż u odmiany tradycyjnej Nadwiślański. Stwierdzono ponadto, że rośliny uprawiane w miejscowościach, w których uzyskano najniższe plony nasion (Karżniczka, Pawłowice i Rarwino) charakteryzowały się także najniższą wysokością w stosunku do bobiku z innych miejsc (tab. 4).

Tabela 4

Wysokość roślin bobiku w różnych rejonach Polski (cm)

Odmiana	Miejscowość*									Średnio
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
Albus (t)	110	80	112	98	126	111	107	139	100	109
Amulet (t)	114	81	105	107	120	118	107	137	107	111
Bobas (t)	116	85	123	110	125	123	115	140	116	117
Granit (s)	107	82	92	96	105	96	89	102	98	96
Kasztelan (t)	116	80	116	106	122	116	109	138	109	112
Leo (t)	117	81	119	116	127	125	117	138	113	117
Olga (t)	106	76	115	102	117	110	104	141	104	108
Optimal (s)	99	78	84	94	96	90	84	101	93	91
Sonet (t)	126	78	-	116	126	140	118	-	132	119
Średnio	112	80	108	105	118	114	105	130	108	109

* A – Głubczyce, B – Karzniczka, C – Kochcice, D – Pawłowice, E – Przecław, F – Radostowo, G – Rarwino, H – Wrócikowo, I – Zybiszów; (t) − odmiana o tradycyjnym typie wzrostu, (s) − odmiana samokończąca (o zdeterminowanym typie wzrostu)

Źródło: opracowanie własne

Wysokość roślin jest ważną cechą bowiem wskazuje na zaistnienie w okresie wegetacji silnego stresu, jednak reakcja bobiku może różnić się w zależności od jego odmiany. P o d l e ś n y (19) obserwował, że niedobór opadów w większym stopniu ograniczał wysokość bobiku odmiany Tim niż odmiany Nadwiślanski. Z cechą wysokości roślin bobiku wiąże się także problem wysokości osadzania pierwszych

strąków. B o g u c k a i W r ó b e l (4) stwierdzili, że w latach o niesprzyjających warunkach meteorologicznych odmiana bobiku Tim osiągnęła niższą, a w roku korzystnym wyższą wysokość (98 cm), od podawanej przez COBORU wysokości tej odmiany jako 94 cm. Oddziaływanie korzystnego przebiegu pogody spowodowało wyższe osadzenie pierwszych strąków, ale jednocześnie także wydłużenie produkcyjnej części łodygi (36,1 cm).

Jednakże dla bobiku niekorzystna jest także zbyt duża ilość opadów, szczególnie jeśli pojawi się po okresie przedłużonego ich deficytu jak to miało miejsce w przypadku miejscowości Karżniczka i Rarwino. Nadmiar wody zawsze odbija się negatywnie a zwłaszcza gdy wypadnie w lipcu, kiedy trwa faza zawiązywania i wypełniania strąków. Następuje wtedy niekorzystne przedłużanie wegetacji bobiku (4). Zdaniem C h m u r y i i n . (5) nadmierne opady wpływają na wysokość i jakość plonu ponieważ opóźniają dojrzewanie roślin, zwiększają porażenie chorobami grzybowymi, mogą także powodować zwiększone wyleganie bobiku oraz kiełkowanie nasion w strąkach. Jak ustalono nadmiary opadów powodują zniżki plonów roślin strączkowych w wysokości 21-40%.

Wpływ temperatury powietrza na plonowanie bobiku

Średnie temperatury powietrza dla okresu kwiecień-sierpień były zróżnicowane w poszczególnych miejscowościach (tab. 2). Generalnie można stwierdzić, iż w niektórych miejscach okres wegetacji wyróżniał się niższą, a w innych wyższą temperaturą danego miesiąca w stosunku do temperatury wielolecia. Temperatury niższe od średnich wieloletnich w okresie IV-V, oraz sporadycznie w VI, zanotowano w miejscowości Karżniczka, Radostowo, Rarwino oraz Wrócikowo, i w tych miejscach sumy temperatur były najniższe. Z kolei w miejscowościach Głubczyce, Kochcice, Pawłowice Przecław i Zybiszów średnie temperatury miesięczne osiągnęły wartości wyższe od średnich z wielolecia. Wydaje się zatem, że dane termiczne także mogą mieć wpływ na uzyskane plony bobiku. D e m i d o w i c z (6) oraz K u l i g i Z a j ą c (14) piszą, że bobik ma małe wymagania odnośnie temperatury. Jednakże dla całego okresu wegetacji optymalna średnia temperatura powietrza dla tego gatunku powinna kształtować się w zakresie 13,8-14,1^{o}C, natomiast temperatura maksymalna i minimalna powinna wynosić odpowiednio 18,9 i 9,3^{o}C. O korzystnym wpływie niskiej temperatury w kwietniu na plonowanie bobiku donosi D e m i d o w i c z (6), który wiąże te wymagania z prawdopodobieństwem wystąpienia jaryzacji a ponadto uważa, że wiosenne chłody decydują o powolnym formowaniu się masy wegetatywnej i dobrym wykształceniu systemu korzeniowego. Jego zdaniem okres wymagań niskiej temperatury przeciąga się również na maj, kiedy to często następuje nawrót chłodów wiosennych. Optymalna dla bobiku temperatura w maju mieści się w granicach 10,5-12,5^{o}C i jest niższa od średniej wartości dla tego miesiąca (7). Jednakże wpływ pogody w maju na plon bobiku można wyrazić interakcją temperatury z warunkami wilgotnościowymi co oznacza, że najkorzystniej na plon oddziałuje

temperatura optymalna przy średnim uwilgotnieniu gleby. Natomiast optymalna średnia dobowa temperatura w czasie kwitnienia może wahać się od 15 do 17°C. W tym przypadku tylko w miejscowości Karżniczka średnia temperatura czerwca była niższa i wynosiła 14,1°C.

Wpływ zasobności gleby i nawożenia mineralnego na plonowanie bobiku

Uprawę bobiku prowadzono na glebach należących do bardzo dobrych kompleksów glebowych: pszennego bardzo dobrego i pszennego dobrego oraz żytniego bardzo dobrego (tab.1). Najwyższe plony nasion uzyskano na glebach kompleksu pszennego bardzo dobrego, najniższe zaś na glebach kompleksu żytniego bardzo dobrego (w miejscowości Karżniczka i Rarwino) oraz pszennego dobrego (w Pawłowicach). Również B o c h n i a r z i i n . (2) na podstawie doświadczeń polowych stwierdzili, że warunki glebowe wywierają wpływ na plonowanie i efektywność nawożenia bobiku. Wymienieni autorzy wiązali tę zależność z zasobnością gleb w główne składniki pokarmowe. W prezentowanym doświadczeniu najbardziej plonotwórcze gleby kompleksu pszennego bardzo dobrego charakteryzowały się wysoką zawartością fosforu, potasu i magnezu (tab. 2). Z kolei gleby na których uzyskano najniższy plon nasion miały niską i bardzo niską zawartość tych składników. Także w innych badaniach (3) plonowanie bobiku było uzależnione od klasy gleby a plon nasion malał w miarę przechodzenia od gleb klasy II do klasy IVa. Na glebach klasy II (kompleksów pszennego bardzo dobrego i dobrego) o dobrej zasobności w przyswajalne formy potasu, fosforu i magnezu i o odczynie powyżej 6,0, brak było reakcji na nawożenie. Wraz ze wzrostem zasobności w fosfor wzrastał plon bobiku, ale malała reakcja na nawożenie azotem i potasem, ponieważ gleby o najwyższej zawartości fosforu zawierały też najwięcej potasu i magnezu. Najwyższe plony na obiekcie kontrolnym uzyskano na glebach o zawartości fosforu w granicach 8,6-15,2 mg P_2O_5 w 100 g (2). Natomiast na glebach najzasobniejszych w fosfor (powyżej 15 mg P_2O_5 w 100 g) stwierdzono największą reakcję na nawożenie azotem i fosforem. Dodatkowo, gleby te miały wyraźnie wyższy odczyn niż gleby o mniejszej zawartości fosforu, co w pewnym stopniu można zauważyć w doświadczeniu własnym. Bobik jest rośliną, która nawiązuje symbiozę z bakteriami z rodzaju *Rhizobium* a zatem wyższe pH gleby jest korzystniejsze dla rozwoju i działania tych bakterii. To z pewnością ma wpływ na zwiększone wiązanie azotu atmosferycznego i lepsze zaopatrzenie rośliny w ten składnik. Ponadto odpowiedni dostęp fosforu wpływa na prawidłowe ukorzenienie i krzewienie roślin, a więc rośliny lepiej sobie radzą z pobieraniem wody i składników pokarmowych już od wczesnych faz rozwojowych, co przekłada się na bardziej równomierne, i „wierniejsze" plony niezależnie od zmiennych warunków pogodowych (12).

Analiza wyników własnych wskazuje, że wysokie plony bobiku uzyskano na glebach zasobnych nie tylko w przyswajalne formy fosforu ale i potasu, co miało miejsce w Głubczycach, Radostowie, Wrócikowie i Zybiszowie (tab. 2 i 3).

Z wcześniejszych badań B o c h n i a r z a i i n . (3) wynika, że na glebach o dużej zasobności w przyswajalny potas nie stwierdza się dodatniej reakcji bobiku na nawożenie tym składnikiem. To wskazuje, że głównym źródłem potasu dla roślin jest gleba. Potas pełni w roślinach różne funkcje, z których najważniejszą jest udział w procesie fotosyntezy i ściśle z nim związana regulacja gospodarki wodnej. Składnik ten jest także aktywatorem wielu enzymów i ściśle współdziała z azotem. Jako pierwiastek wyjątkowo mobilny w roślinach jest kierowany do tkanek, w których bardzo aktywnie przebiegają procesy biochemiczne i często jest przemieszczany z organów starszych do młodszych i rozwijających się. Dlatego też najwyższą zawartością potasu charakteryzują się rośliny w początkowych fazach wzrostu oraz powstające, młode organy bobiku (16). Jego ważną funkcją jest udział w transporcie asymilatów do miejsc ich wykorzystania w roślinie, a w przypadku roślin strączkowych dodatkowo przemieszczanie ich do rozwijających się i już funkcjonujących brodawek korzeniowych (17). Obecność potasu pobudza transport azotu z korzeni do innych części rośliny niejako „odblokowując" brodawki i pozwalając na dalsze wiązanie N_2. W doświadczeniu wazonowym wykazano, że wzrost poziomu potasu w glebie zwiększał (o 22-31%) stopień wykorzystania potencjału plonotwórczego bobiku (17) przez co rośliny nawożone wyższą dawką potasu wytworzyły o 62-108% więcej nasion i wykazały ponad 100% wzrost plonu suchej masy w stosunku do roślin niedostatecznie zaopatrzonych w ten składnik. Natomiast niedobór potasu w podłożu powodował zmniejszenie liczby wykształconych strąków oraz liczby wypełnionych nasion w strąku jak również obniżał masę wykształconych nasion (16).

Wyniki badań własnych wskazują, że o niskich plonach bobiku może decydować także zasobność gleb w magnez. Szczególnie widać to w miejscowości Rarwino, w której uzyskano niski plon nasion podczas gdy zawartość fosforu i potasu oceniono odpowiednio jako wysoką i średnią a magnezu jako bardzo niską (2,3 mg w 100 g gleby). Także w doświadczeniach B o c h n i a r z a i i n . (2) z zawartością magnezu w glebach wiązano duże zróżnicowanie plonów bobiku i jego reakcji na nawożenie. W badaniach tych, znacznie niższy plon uzyskano na glebach o bardzo małej zasobności w ten składnik (do 4 mg w 100g), niż na glebach o zawartości 4,1-6,0 i powyżej 12 mg Mg w 100g. I chociaż na glebach o niskiej i średniej zasobności w magnez bobik istotnie reagował na nawożenie azotem i fosforem to najwyższe plony uzyskano na glebach najzasobniejszych w Mg (tj. powyżej 12 mg w 100g). Jednakże w obiektach tych nie stwierdzono już istotnej reakcji na nawożenie N i P, a jedynie tendencje do zwyżki plonu, szczególnie w wyniku zwiększenia dawki fosforu.

Jak wiadomo magnez obok wielu ważnych funkcji fizjologicznych jest niezbędny dla roślin motylkowatych żyjących w symbiozie z bakteriami glebowymi z rodzaju Rhizobium. W warunkach niedoboru Mg wiązanie azotu atmosferycznego ulega znacznemu ograniczeniu, co prawdopodobnie wynika z mechanizmu oddziaływania tego składnika na powstawanie i przemiany węglowodanów, które są źródłem energii dla wiązania azotu atmosferycznego (10).

Wymienione w metodyce plantacje bobiku były nawożone azotem, fosforem i potasem w postaci odpowiednich nawozów mineralnych (tab. 2) lecz uzyskane plony nasion nie potwierdziły skuteczności tego zabiegu w większości miejsc doświadczalnych. Na ogół większe plony uzyskano w miejscowościach, gdzie nawożenie mineralne było bardzo niskie (Wrócikowo) lub niskie (Radostowo i Rarwino). Wyjątkiem pozostają Głubczyce, gdzie zastosowano wysokie dawki NPK i uzyskano wysoki plon nasion oraz Karżniczka i Pawłowice, w których podano najwyższą dawkę nawozów a zebrano najniższe plony bobiku. Z kolei w miejscowości Rarwino zarówno poziom nawożenia jak i plonowania był niski. Pewnym zaskoczeniem jest także najwyższy plon stwierdzony w Radostowie, w którym bobik uprawiano na bardzo zasobnych glebach kompleksu pszennego bardzo dobrego ale jednocześnie zanotowano tam, trwający od kwietnia aż do czerwca, długi okres niedoboru opadów. Być może jest to związane z utrzymywaniem się w tym czasie stosunkowo niskiej temperatury, dzięki czemu deficyt wilgoci w glebie nie osiągnął wartości krytycznych. F l o r e k i n . (9) donoszą o znacznym ograniczeniu plonowania roślin strączkowych, które wystąpiło w warunkach długich okresów suszy wiosenno-letniej połączonych z wysokimi temperaturami. Zdaniem D e m i d o w i c z a (7) analiza udziału badanych czynników pogodowych w łącznym ich efekcie plonotwórczym wskazuje, że agroklimat dla uprawy bobiku w Polsce jest najsilniej różnicowany przez temperaturę.

Podsumowanie

Z przedstawionych analiz wynika, że efektywność zastosowanego nawożenia oraz plonowanie bobiku zależały od wielu czynników. Wśród najważniejszych należy uwzględnić kompleks glebowy i związaną z nim zasobność w składniki pokarmowe oraz odczyn gleby. Ściśle z nimi powiązany jest przebieg warunków pogodowych w okresie wegetacji, w tym głównie ilość i rozkład opadów oraz temperatura. Okazuje się, że dynamika pobierania fosforanów, nawet z gleb zasobnych w fosfor, ulega znacznej redukcji w warunkach niedoboru wody. Ponadto niska temperatura gleby i powietrza zmniejsza dostępność fosforu dla roślin. Dlatego niedostatecznie nagrzana gleba w okresie wczesnej wiosny jest jedną z przyczyn zaburzeń w pobieraniu fosforu nawet w stanowiskach zasobnych w ten składnik pokarmowy (11). Od warunków wilgotnościowych gleby uzależniona jest także reakcja bobiku na nawożenie potasem i azotem (3). Bobik należy do roślin o dużych potrzebach pokarmowych, ale w warunkach deficytu wody nie jest w stanie skorzystać ze składników obecnych w glebie ani też w nawozach. Uzyskane wyniki wskazują, że ma on duże wymagania względem kompleksu glebowego. Prawdopodobieństwo uzyskania wysokich i wiernych plonów bobiku jest znacznie większe jeśli uprawa jest prowadzona w warunkach gleb kompleksu pszennego bardzo dobrego lub pszennego dobrego niż kompleksu żytniego bardzo dobrego. Gleby te charakteryzują się wysoką zasobnością

w składniki pokarmowe oraz korzystnymi cechami fizycznymi, dzięki czemu mogą redukować negatywny wpływ deficytu opadów na wzrost i plonowanie tej rośliny.

Literatura

1. Alghamdi S.S., A-Shameri A.M., Migdadi H.M.,Ammar M.H., El-Harty E.H., Khan M.A., Farooq M.: Physiological and molecular characterization of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes for adaptation to drought stress. J. Agron. Crop Sci., 2015, **201:** 401-409.
2. Bochniarz J., Bochniarz M., Filipiak K.: Wpływ nawożenia fosforem i azotem na plonowanie bobiku (*Vicia faba minor*) uprawianego na nasiona. Pam. Puł., 1987a, **89:** 41-55.
3. Bochniarz J., Bochniarz M., Lenartowicz W.: Wpływ nawożenia potasem i azotem na plonowanie bobiku (*Vicia faba minor*) uprawianego na nasiona. Pam. Puł., 1987b, **89:** 57-67.
4. Bogucka B., Wróbel E.: Reakcja bobiku (*Vicia faba* L. *minor* Harz.) na sposób uprawy roli oraz gęstość siewu. Acta Sci. Pol., Agric., 2008, **7(2):** 11-19.
5. Chmura K., Chylinska E., Dmowski Z., Nowak L.: Rola czynnika wodnego w kształtowaniu plonu wybranych roślin polowych. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. 2009, **9:** 33-44.
6. Demidowicz G.: Wpływ warunków pogodowych na plonowanie bobiku odmiany Nadwiślański. Pam. Puł., 1990, **97:**159-170.
7. Demidowicz G.: Klimatyczne podstawy rejonizacji uprawy bobiku w Polsce. Pam. Puł., 1991, **98:** 131-138.
8. Dzieżyc J.: Potrzeby wodne roślin uprawnych. Warszawa, 1989, ss. 419.
9. Florek J., Czerwińska-Kayzer D., Jerzak M.A.: Aktualny stan i wykorzystanie produkcji upraw roślin strączkowych. Fragm. Agron., 2012, **29(4):** 45-55.
10. Gaj R.: Efektywne wykorzystanie składników mineralnych z nawozów we współczesnym rolnictwie. CDR w Brwinowie, Oddział w Poznaniu, Poznań 2013, ss. 39.
11. Grzebisz W.: Czynniki kształtujące pobieranie fosforu przez roślinę. J. Elementol., 2003, **8(3)** Suppl**.:** 47-59.
12. Grześkowiak A.: Vademecum nawożenia czyli zbiór podstawowych i praktycznych informacji o nawożeniu. Tarnów-Kędzierzyn-Police, 2013, ss. 116.
13. Kotecki A.: Charakterystyka rolnicza rodów bobiku o szczytowym kwiatostanie. Fragm. Agron., 1992, **2(34):** 12-21.
14. Kulig B., Zając T.: Biologiczne i agrotechniczne uwarunkowania produkcyjności bobiku. Post. Nauk Rol., 2007, **1:** 63-80.
15. Nalborczyk E.: Biologiczne uwarunkowania produktywności roślin strączkowych. Fragm. Agron., 1993, **4:**147-150.
16. Podleśna A.: Oddziaływanie stresu potasowego na realizację potencjału plonotwórczego bobiku. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 1999, **469:** 257-263.
17. Podleśna A., Głażewski S., Kocoń A., Wojcieska U.: Wpływ poziomu potasu w podłożu na kwitnienie i owocowanie bobiku. Materiały I Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej „Biologia kwitnienia, nektarowania i zapylania roślin", Lublin, 13-14.11.1997: 130-135.
18. Podleśna A., Wojcieska-Wyskupajtys U.: Dynamika pobierania mikroskładników przez groch w zależności od żywienia azotem. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 1996, **434:**13-17.
19. Podleśny J.: Wpływ ilości i rozkładu opadów w okresie wegetacji na wzrost, rozwój i plonowanie samokończących i tradycyjnych odmian bobiku. Acta Agroph., 2009, **14(2):** 413-425.
20. Podleśny J., Kocoń A.: Wpływ stresu suszy na rozwój i plonowanie dwóch genotypów bobiku. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 2006, **509:** 125-134.
21. Prusiński J., Borkowska M., Kaszkowiak E.: Wybrane wskaźniki produkcyjności roślin bobiku w warunkach wzrastającego nawożenia azotem. Biul. IHAR, 2008, **248:** 105-116.
22. Rokosz E., Podsiadło C.: Wpływ deszczowania, systemu uprawy i nawożenia mineralnego na plonowanie i właściwości fizyczne gleby lekkiej w uprawie odmian bobiku. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. 2015, **III(1):** 625-636.

23. Stępnik K., Lepiarczyk A.: Wpływ warunków pogodowych i systemów uprawy roli na produkcyjność bobiku (*Vicia faba* ssp. *minor* L.). Fragm. Agron., 2009, **26(1)**: 127-135.

24. www.coboru.pl/PlikiWynikow/1_2013_WPDO_14_BOS%20.pdf.

Adres do korespondencji:

dr hab. Anna Podleśna, prof. nadzw.
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. 81 4786 835
e-mail:ap@iung.pulawy.pl

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

ZESZYT 49(3): 47-58 **2016**

Mariola Staniak, Jolanta Bojarszczuk, Jerzy Księżak

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach

ZACHWASZCZENIE ŁANU MIESZANEK ROŚLIN BOBOWATYCH ZE ZBOŻAMI*

Słowa kluczowe: zboża, rośliny strączkowe, seradela, zachwaszczenie, mieszanka, międzyplon

Wstęp

Duży udział zbóż w strukturze zasiewów, który utrzymuje się od szeregu lat w naszym kraju (22), stwarza korzystne warunki dla rozwoju chwastów. Ograniczenie zachwaszczenia łanu zbóż metodami mechanicznymi jest mało skuteczne, zaś zgodnie z zasadami integrowanej ochrony roślin, stosowanie chemicznych środków ochrony powinno być ograniczane, między innymi na korzyść działań profilaktycznych, takich jak siewy mieszane czy poprawny płodozmian (1, 15, 65). Uprawa mieszanek zbóż jarych z roślinami strączkowymi uznawana jest za dobrą praktykę rolniczą w wielu krajach europejskich, zwłaszcza w ekologicznym i niskonakładowym systemie produkcji (ang. *low-input farming system*) (36, 62). Mieszanki przyczyniają się do komplementarnego wykorzystania zasobów siedliska i kompensacyjnego wzrostu poszczególnych gatunków wchodzących w ich skład, wpływając na zwiększenie wydajności i większą stabilizację plonowania (16, 40). Znacznie zredukowane jest również ryzyko wylegania roślin strączkowych. Mieszanki łagodzą ujemne skutki nadmiernego udziału zbóż w płodozmianie oraz stanowią dobry przedplon dla roślin następczych. Zapewniają bioróżnorodność wynikającą z odmiennych cech morfologicznych, fizjologicznych i wrażliwości poszczególnych komponentów. Korzystnie wpływają na żyzność gleby, wzbogacając ją w azot dzięki symbiozie roślin strączkowych z bakteriami brodawkowymi *Rhizobium* i *Bradyrhizobium* oraz w materię organiczną na skutek dużej ilości pozostawionych resztek pożniwnych (52). Dzięki wiązaniu wolnego azotu z powietrza atmosferycznego, mogą być zasilane znacznie mniejszymi dawkami nawozów azotowych w porównaniu z czystymi

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.3 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

zasiewami zbóż, co jest korzystne z ekonomicznego punktu widzenia. Zasiewy takie są również skutecznym sposobem regulacji zachwaszczenia oraz ograniczenia rozprzestrzeniania się chorób i szkodników, co ma bardzo duże znaczenie, zwłaszcza w gospodarstwach ekologicznych (10, 24, 26, 45).

Uprawa roślin w ekologicznym systemie gospodarowania związana jest z większym zachwaszczeniem, w porównaniu do integrowanego i konwencjonalnego systemu produkcji (14, 21, 50). Rolnicy postrzegają to jako duży problem agrotechniczny, który powoduje istotne zmniejszenie plonu roślin uprawnych. Istotną przyczyną masowego występowania chwastów w tych warunkach jest niedostatek odpowiednich narzędzi do ich niszczenia w łanie oraz stale powiększających się zasób diaspor w glebie (2). Regulacja zachwaszczenia w rolnictwie ekologicznym polega na stosowaniu metod bezpośrednich, polegających na działaniach interwencyjnych w łanie rośliny uprawnej, oraz metod pośrednich o charakterze profilaktycznym, takich jak: wielogatunkowy płodozmian, dobór odmian o większej konkurencyjności w stosunku do chwastów, poprawna agrotechnika, a także stosowanie wsiewek i zasiewów mieszanych (13, 18, 19, 23, 29). Mieszanki roślin strączkowych ze zbożami silniej konkurują z chwastami niż zasiewy jednogatunkowe, ale jest to uzależnione, przede wszystkim od składu mieszanki i udziału komponentów. Nie bez znaczenia jest również przebieg warunków pogodowych (58, 61).

Wpływ składu gatunkowego mieszanki na stan zachwaszczenia łanu

Zachwaszczenie zasiewów mieszanych zbóż z roślinami strączkowymi zależy, między innymi, od gatunków wchodzących w skład mieszanki. Zdaniem Cousens (11) oraz Creamer i in. (12) rośliny rosnące w łanie mieszanym lepiej wykorzystują przestrzeń produkcyjną niż te same gatunki w zasiewach jednogatunkowych, co sprzyja ograniczeniu liczebności chwastów w takim łanie. Według Idziaka i Michalskiego (31) oraz Parylak i in. (42) jest to związane z dużą konkurencyjnością gatunków wchodzących w skład mieszanek oraz lepszego zwarcia łanu i dokładniejszego pokrycia gleby, przez co zmniejszona zostaje ilość nisz dla chwastów.

Dobrym komponentem do mieszanek z grochem może być jęczmień jary, ze względu na podobne wymagania siedliskowe, zbliżoną długość wegetacji i dużą wartość paszową nasion takiej mieszanki. Z kolei na lepszych glebach groch można uprawiać z pszenicą jarą i pszenżytem jarym (49). Rośliny strączkowe i zboża charakteryzują się zróżnicowaną konkurencyjnością w stosunku do chwastów. Wyniki badań Šarūnaitė (2010) wskazują, że spośród czterech mieszanek pszenicy jarej z roślinami strączkowymi, tj. grochem, łubinem, wyką i bobikiem, najbardziej ograniczała zachwaszczenie mieszanka pszenicy z wyką, zaś najmniej konkurencyjna w stosunku do chwastów była mieszanka z łubinem. Największe zachwaszczenie zanotowano natomiast w czystych zasiewach łubinu i grochu. Zdaniem Buraczyńskiej (9) groch siewny charakteryzuje się większą konkurencyjnością

w stosunku do chwastów niż bobik. Wyniki badań autorki wykazały, że zachwaszczenie pszenżyta jarego uprawianego w mieszance z grochem siewnym było znacznie mniejsze niż pszenicy jarej uprawianej z bobikiem. O mniejszej podatności na zachwaszczenie pszenżyta niż pszenicy donoszą M a j d a i R a d o m s k a (38).

Na glebach średnich i słabszych cennym komponentem do mieszanek ze zbożami jest łubin żółty i wąskolistny (48). Badania przeprowadzone przez S t a n i a k i i n . (55) wykazały, że większą liczebnością chwastów oraz ich masą charakteryzowały się mieszanki łubinu z pszenicą, w porównaniu do mieszanek z jęczmieniem i pszenżytem, które okazały się bardziej konkurencyjne w stosunku do chwastów. W badaniach J ę d r u s z c z a k i i n . (34) uprawa łubinu wąskolistnego w mieszance z pszenżytem redukowała zachwaszczenie o 62% w porównaniu do czystego zasiewu rośliny zbożowej.

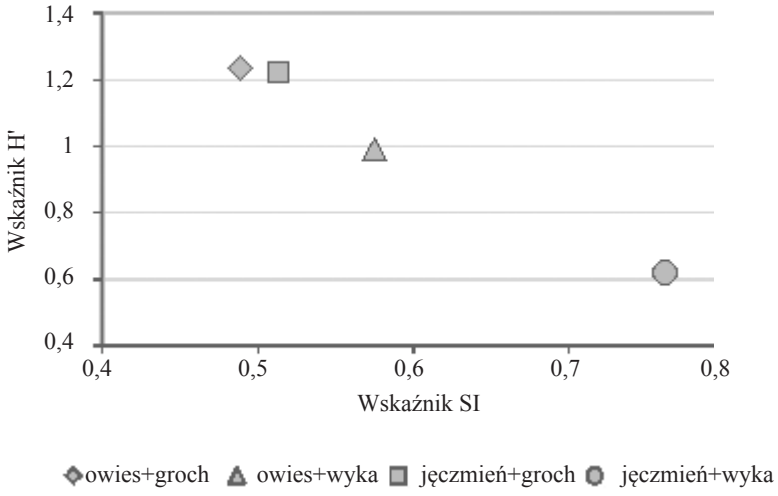
Owies uznawany jest za gatunek dobrze konkurujący z chwastami, co wynika z dynamiki narastania masy nadziemnej i korzeniowej, dłuższych źdźbeł i bogatego ulistnienia dobrze ocieniającego glebę (3). Zdaniem I d z i a k a i M i c h a l s k i e g o (32) oraz R u d n i c k i e g o (47) uprawa owsa w mieszankach jest lepszym wariantem niż siew jednogatunkowy, ponieważ konkurencja wewnątrzgatunkowa owsa jest silniejsza niż międzygatunkowa. Wyniki badań wykazały, że spośród czterech mieszanek strączkowo-zbożowych: owsa z grochem, owsa z wyką, jęczmienia z grochem i jęczmienia z wyką, o 50% udziale komponentów przy wysiewie, najbardziej zachwaszczona była mieszanka jęczmienia z grochem, o czym świadczyła największa świeża i sucha masa oraz liczebność chwastów (tab. 1); (53). Mieszanka ta charakteryzowała się także największą różnorodnością gatunkową chwastów, ocenianą za pomocą wskaźnika Shannona (H'). Najbardziej konkurencyjna w stosunku do chwastów była mieszanka owsa z wyką, zaś mieszanka jęczmienia z wyką wyróżniała się najuboższym składem gatunkowym chwastów, o czym świadczyła najwyższa wartość wskaźnika Simpsona (SI), wskazująca na wyraźną dominację jednego gatunku niepożądanego (rys. 1). Również badania przeprowadzone przez B u c z k a i i n . (8) wykazały, że mieszanka strączkowo-zbożowa z udziałem owsa była bardziej konkurencyjna w stosunku do chwastów niż z udziałem pszenicy i jęczmienia.

Tabela 1

Świeża i sucha masa oraz liczebność chwastów w zależności od składu mieszanki

Skład mieszanki	Świeża masa chwastów ($g \cdot m^{-2}$)	Sucha masa chwastów ($g \cdot m^{-2}$)	Liczebność chwastów ($szt. \cdot m^{-2}$)	Liczba gatunków chwastów
Owies + groch	83,1	17,4	20,7	11
Owies + wyka	53,8	11,9	19,9	10
Jęczmień + groch	355,2	37,8	46,1	16
Jęczmień + wyka	183,7	23,0	42,1	11

Źródło: Staniak i Księżak, 2010 (53)



Rys. 1. Wskaźnik różnorodności Shannona (H') i dominacji Simpsona (SI) dla flory zachwaszczającej w mieszankach strączkowo-zbożowych

Źródło: Staniak i Księżak, 2010 (53)

Komponenty mieszanek różnią się między sobą wielkością systemu korzeniowego, długością łodyg, rozmieszczeniem liści, podatnością na wyleganie i długością okresu wegetacyjnego. Ważne jest zatem, aby tak dobierać skład mieszanek, by dawały jak największy plon w danych warunkach siedliskowych. Wysokość komponentów mieszanki i ich pokrój określają architekturę łanu. Duże różnice w wysokości roślin prowadzą do warstwowej struktury łanu, która tworzy mniej korzystne warunki oświetlenia dla gatunków o krótszych łodygach, ale także dla chwastów (37).

Obecność różnych gatunków chwastów w łanie rośliny uprawnej zwiększa ogólną bioróżnorodność agroekosystemu, a przez to jego stabilność i trwałość. Nie udowodniono znaczącego wpływu doboru komponentów na skład gatunkowy chwastów (9, 55, 56, 64). W badaniach Staniak i in. (56) w mieszankach owsa i jęczmienia z wyką i grochem na ogół dominowały: gwiazdnica pospolita (*Stellaria media*) i komosa biała (*Chenopodium album*), ale też często spotykano żółtlicę drobnokwiatową (*Galinsoga parviflora*) i przymiotno kanadyjskie (*Erigeron canadensis*). Spośród gatunków jednoliściennych najczęściej występowała chwastnica jednostronna (*Echinochloa crus-galli*). Wojciechowski i in. (64) wskazują, jako dominujące gatunki w uprawie pszenżyta jarego z bobikiem: komosę białą (*Ch. album*), żółtlicę drobnokwiatową (*G. parviflora*), tobołki polne (*Thlaspi arvense*), tasznik pospolity (*Capsella bursa-pastoris*), przytulię czepną (*Galium aparine*) oraz fiołka polnego (*Viola arvensis*). Zdaniem Barankiewicza i Misiewicza (5) duże problemy w uprawie zbóż sprawiają, między innymi: żółtlica drobnokwiatowa (*G. parviflora*), tasznik pospolity (*C. bursa-pastoris*), gwiazdnica pospolita (*S. media*) i komosa biała (*Ch. album*), według Kapelusznego i Haliniarz (35)

– mlecz polny (*Sonchus arvensis*), komosa biała (*Ch. album*), chwastnica jednostronna (*E. crus-galli*) i skrzyp polny (*Equisetum arvense*), a zdaniem F e l e d y n - S z e w c z y k (20) – komosa biała (*Ch. album*) i gwiazdnica pospolita (*S. media*). Według R o l i i i n . (46) chwastnica jednostronna (*E. crus-galli*), komosa biała (*Ch. album*) i fiołek polny (*Viola arvensis)* należą do grupy pospolitych i uciążliwych w zwalczaniu chwastów występujących w roślinach uprawnych w Polsce. Zdaniem M a r s h a l a i i n . (39) komosa biała (*Ch. album*) i gwiazdnica pospolita (*S. media*) to gatunki, które odznaczają się umiarkowaną konkurencyjnością w stosunku do roślin uprawnych, ale spełniają też szereg pozytywnych funkcji w agroekosystemach, stanowiąc miejsce bytowania i pokarmu dla różnych gatunków zwierząt i przyczyniając się przez to do utrzymywania ogólnej bioróżnorodności w agrocenozach. Wielu autorów podkreśla, że wielogatunkowy płodozmian ma duże znacznie w stabilizacji zbiorowisk chwastów i przyczynia się do utrzymania większej różnorodności gatunkowej (27, 63).

Wpływ udziału komponentów w mieszance na stan zachwaszczenia łanu

Stopień zachwaszczenia mieszanek strączkowo-zbożowych zależy nie tylko od gatunków wchodzących w skład mieszanki, ale też od ich udziału. Im bardziej zwarty łan roślin uprawnych, tym bardziej konkurencyjny dla chwastów (51). Zwiększanie udziału rośliny strączkowej w mieszance powodowało wzrost zachwaszczenia, co świadczy o większej konkurencyjności zbóż w stosunku do chwastów, niż roślin strączkowych (9, 53, 55). W badaniach B o j a r s z c z u k i i n . (7) bardziej konkurencyjna w stosunku do chwastów była mieszanka pszenicy jarej z 40% udziałem grochu, w której zanotowano najmniejszą świeżą i suchą masę chwastów, w porównaniu do mieszanek z 60 i 80% udziałem rośliny strączkowej. Analiza zachwaszczenia mieszanek owsa z grochem również wykazała, iż zasiewy z 40% udziałem rośliny strączkowej charakteryzowały się mniejszą suchą masą chwastów natomiast wraz ze wzrostem udziału rośliny strączkowej do 60 i 80% w masie wysiewanych nasion liczba gatunków niepożądanych w łanie zwiększała się (tab. 2); (56). Z kolei wyniki badań uzyskane przez P ł a z ę i i n . (44) wykazywały, że znacznie mniej zachwaszczone były mieszanki pszenicy z 40 i 60% niż z 20 i 80% udziałem grochu oraz czystym siewem rośliny strączkowej.

Tabela 2

Sucha masa chwastów w zależności od udziału komponentów

Skład mieszanki	Lata badań			
	2011	2012	2013	Średnia
Owies 60% + groch 40%	65,3 a*	25,2 b	20,0 a	36,8 a
Owies 40% + groch 60%	53,7 a	13,5 a	24,9 a	30,7 a
Owies 20% + groch 80%	38,7 a	12,5 a	25,8 a	25,7 a

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

Źródło: Staniak i in., 2014 (56)

Stopień zachwaszczenia mieszanek zbóż jarych (pszenicy, pszenżyta i jęczmienia) z łubinem wąskolistnym był w małym stopniu uzależniony od gatunku zboża, natomiast zależał od udziału rośliny strączkowej w masie wysiewanych nasion. Najbardziej konkurencyjne w stosunku do chwastów były mieszanki z 40% udziałem łubinu, o czym świadczy najmniejsza świeża i sucha masa oraz liczebność chwastów. Zwiększanie udziału rośliny strączkowej w mieszance (do 60 i 80%) powodowało na ogół istotny wzrost zachwaszczenia (tab. 3); (55). Wyniki te są zbieżne z badaniami Buraczyńskiej (9) oraz Wojciechowskiego iin. (64), którzy wykazali istotne zmniejszenie liczby i masy chwastów w mieszankach owsa z łubinem oraz pszenżyta z bobikiem wraz ze zmniejszaniem się udziału rośliny strączkowej przy zasiewie.

Tabela 3

Świeża i sucha masa chwastów w zależności od gatunku zboża i udziału łubinu w mieszance

Gatunek zboża w mieszance	Udział łubinu (%)	Lata badań					
		2010	2011	2012	2010	2011	2012
		świeża masa ($g \cdot m^{-2}$)			sucha masa ($g \cdot m^{-2}$)		
Jęczmień	40	156	126	183	58	40	64
	60	138	284	338	49	54	100
	80	159	377	364	61	77	124
Pszenica	40	106	319	306	36	55	93
	60	165	314	440	57	74	125
	80	123	617	690	42	112	260
Pszenżyto	40	159	121	130	53	29	50
	60	175	100	325	67	25	132
	80	275	349	631	72	61	199
Średnia dla gatunku zboża w mieszance							
Jęczmień		151 a*	262 a	295 a	56 a	57 a	96 a
Pszenica		131 a	417 a	479 b	45 a	80 a	160 a
Pszenżyto		203 a	190 a	362 ab	64 a	38 a	127 a
Średnia dla udziału łubinu w mieszance (%)							
40		140 a	189 a	206 a	49 a	41 a	69 a
60		159 a	233 a	368 b	57 a	51 a	119 b
80		185 a	448 b	562 c	58 a	83 b	194 c

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

Źródło: Staniak i in., 2013 (55)

Wpływ międzyplonu z seradeli na stan zachwaszczenia łanu zbóż

Jednym z agrotechnicznych sposobów ograniczenia niekorzystnych zmian w agroekosystemach, będących wynikiem dużego udziału zbóż w strukturze zasiewów, jest uprawa międzyplonów. Biomasa międzyplonów stanowi znaczące źródło materii organicznej, a jednocześnie korzystnie wpływa na właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne gleby (17). Seradela jest gatunkiem jednorocznym, który dobrze plonuje na glebach słabych, o odczynie lekko kwaśnym. Jej uprawa daje szereg korzyści

dla zwierząt: dostarcza wartościowej, lekko strawnej paszy, dodatnio wpływa na wydajność mleczną krów, nie zawiera związków szkodliwych i jest chętnie zjadana przez zwierzęta (4, 25). Wsiewana w zboże, jako roślinę podporową, jest mniej zawodna w plonowaniu, mniej podatna na wyleganie i nie sprawia kłopotów w czasie zbioru kombajnowego. Pewnym ograniczeniem w uprawie seradeli jest wilgoć gleby, której braki w początkowych fazach wzrostu ujemnie wpływają na plonowanie tego gatunku (33). Uprawa seradeli ma również duże znaczenie ekologiczne. W resztkach pożniwnych tej rośliny pozostaje około 50 $kg \cdot ha^{-1}$ azotu, który w większości pochodzi z biologicznego wiązania. Uprawa zasiewów mieszanych stwarza też większą konkurencję dla chwastów, co pozwala na zmniejszenie, a w warunkach rolnictwa ekologicznego całkowitą rezygnację ze stosowania herbicydów (6, 23, 28, 41, 54). Zdaniem H r u s z k i (30) wsiewka seradeli skutecznie eliminowała chwasty z łanu bobiku, a jej zdolności ochrony plonu dorównywały herbicydom stosowanym dolistnie. Takie mieszanki mogą być zatem przydatne zarówno w ekologicznym, jak i zrównoważonym systemie produkcji. Ponadto seradela pełni rolę fitosanitarną, zmniejszając rozprzestrzenianie się chorób i szkodników, regeneruje stanowisko, poprawia bilans materii organicznej oraz żyzność gleby (43, 60)**.**

Badania przeprowadzone przez B o j a r s z c z u k i i n . (6) oraz S t a n i a k i i n . (57) nad oceną zachwaszczenia zbóż jarych (owies, jęczmień) i ozimych (żyto, pszenica orkisz) uprawianych w siewie czystym i z wsiewką seradeli wykazały, że zarówno gatunek zboża, jak i wsiewka miały znaczący wpływ na świeżą i suchą masę chwastów, a także ich liczebności i bogactwo gatunkowe. W przypadku czystych zasiewów zbóż najbardziej konkurencyjna w stosunku do chwastów była pszenica orkisz, a najmniej - owies. Wsiewka seradeli znacząco ograniczyła masę gatunków niepożądanych (średnio o 48%). Bardziej konkurencyjne w stosunku do masy chwastów były zasiewy mieszane z pszenicą orkisz i z owsem, niż z jęczmieniem i żytem (tab. 4). Także liczebność chwastów w łanie poszczególnych upraw była zróżnicowana. Zdecydowanie więcej gatunków niepożądanych na 1 m^2 wykazano w czystych zasiewach zbóż niż w uprawach z seradelą (rys. 2). Wsiewka ograniczyła liczebność chwastów średnio o 45%, przy czym bardziej konkurencyjne były zasiewy zbóż jarych (średnio 65%) w porównaniu do ozimych (średnio 25%). Zdaniem T y b u r s k i e g o i K o s t r z e w s k i e j (59) stare, lokalne odmiany roślin uprawnych, takie jak pszenica orkisz słabiej plonują od nowoczesnych intensywnych odmian, ale mają mniejsze wymagania agrotechniczne i są odporniejsze na niesprzyjające warunki siedliskowe, takie jak susza. Stąd ich duża przydatność w niskonakładowych i ekologicznych systemach produkcji.

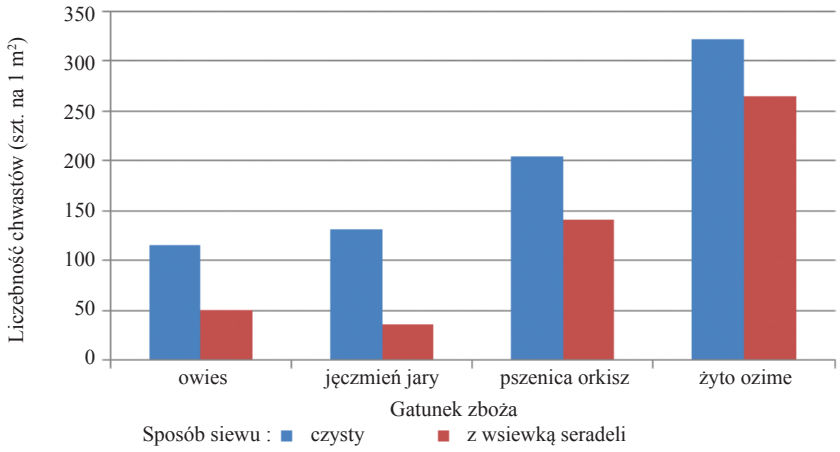
Tabela 4

Świeża i sucha masa chwastów w zależności od gatunku zboża i sposobu uprawy

Wyszczególnienie	Świeża masa (g·m^{-2})				Sucha masa (g·m^{-2})			
	2011	2012	2013	Średnio	2011	2012	2013	średnio
Owies	382 b	338 ab	425 b	381	74 a	127 b	126 b	109
Owies + seradela	78 a	162 a	168 a	136	20 a	44 a	53 a	39
Jęczmień	405 b*	488 b	210 ab	368	51 a	119 b	62 a	78
Jęczmień + seradela	170 ab	124 a	214 ab	169	50 a	35 a	64 a	50
Pszenica orkisz	-	276 ab	149 a	212	-	63 ab	61 a	62
Pszenica orkisz + seradela	-	178 ab	64 a	121	-	36 a	36 a	36
Żyto	-	490 b	188 a	339	-	116 b	75 a	95
Żyto + seradela	-	116 a	182 a	149	-	21 a	76 a	48

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

Źródło: Staniak i in., 2015 (57)



Rys. 2. Liczebność chwastów (szt. na 1 m^2), w zależności od gatunku zboża i sposobu uprawy (średnia z lat 2011-2013)

Źródło: Staniak i in., 2015 (57)

Jędruszczak i in. (34) w swoich badaniach wykazali, że zachwaszczenie jednogatunkowych zasiewów żyta było o 61% większe niż mieszanek z seradelą. Seradela wsiana w rośliny zbożowe ograniczała liczebność perzu właściwego (*Agropyron repens*) o około 53%, przymiotna kanadyjskiego (*Erigeron canadensis*) od 44 do 77% (w zależności od gatunku zboża), a sporka polnego (*Spergula arvensis*) o około 90% w porównaniu do zasiewów czystych zbóż. Cytowani autorzy stwierdzili również dużą zmienność liczebności gatunków niepożądanych w łanie w latach badań, przy czym zmienność ta była większa w zasiewach mieszanych niż czystych. O znacznym ograniczeniu liczebności dominujących gatunków flory zachwaszczającej po zastosowaniu wsiewek donoszą też inni autorzy (20, 23).

Podsumowanie

Skuteczne przeciwdziałanie zachwaszczeniu roślin uprawnych, zwłaszcza w ekologicznym i niskonakładowym systemie produkcji, jest zadaniem trudnym do realizacji i wymaga dalszych badań. Ich podstawą powinna być wiedza o biologii występujących gatunków, źródłach zachwaszczenia i regulacyjnych możliwościach roślin uprawnych. Zdaniem wielu autorów siewy mieszane, w połączeniu z poprawną agrotechniką i odpowiednim doborem gatunków mogą skutecznie ograniczać zachwaszczenie. Biorąc pod uwagę, że całkowita eliminacja chwastów nie jest konieczna, a jedynie do progu ekonomicznej szkodliwości, prowadzone badania wskazują, że uprawa roślin w formie zasiewów mieszanych jest możliwa bez zabiegów odchwaszczających, dzięki konkurencyjności roślin rosnących w mieszankach w stosunku do chwastów. Zdaniem niektórych autorów jednak duża liczebność pozostających w łanach chwastów oraz możliwość wydania przez nie diaspor mogą rzutować na stan zachwaszczenia pól w przyszłości, dlatego ograniczenie ich występowania będzie wymagało doboru szerszej gamy metod, gdyż zastosowanie samych zasiewów mieszanych może być niewystarczające.

Literatura

1. Adamczewski K., Dobrzański A.: Regulowanie zachwaszczenia w integrowanych programach uprawy roślin. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 1997, **37(1)**: 58-65.
2. Adamczewski K., Urban M.: Zasady zwalczania chwastów w gospodarstwach ekologicznych. Pam. Puł., 2000, **122**: 161-165.
3. Adamiak J., Zawiślak K.: Zmiany w zbiorowiskach chwastów w monokulturowej uprawie podstawowych zbóż i kukurydzy. W: Ekologiczne procesy w monokulturowych uprawach zbóż. Wyd. UAW Poznań, 1997: 47-75.
4. Andrzejewska J.: Wsiewki poplonowe seradeli w pszenżyto i żyto ozime uprawiane w monokulturze. Cz. I. Plony ziarna i słomy zbóż. Zesz. Nauk. ATR Bydgoszcz, Agric., 1993, **181(33)**: 61-70.
5. Barankiewicz A., Misiewicz J.: Specyfika zachwaszczenia zbóż w gospodarstwach ekologicznych na wybranych przykładach z terenu województwa kujawsko-pomorskiego. Pam. Puł., 2000, **122**: 77-82.
6. Bojarszczuk J., Staniak M., Księżak J.: Ocena zachwaszczenia zbóż ozimych uprawianych w siewie czystym i z wsiewką seradeli w systemie ekologicznym. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, 2013, 13, **2(42)**: 5-16.
7. Bojarszczuk J., Staniak M., Księżak J.: Weed infestation of mixture of pea with spring wheat cultivated in organic system. J. Res. Appl. Agric. Eng., 2013, **58(3)**: 33-40.
8. Buczek J., Tobiasz – Salach R., Bobrecka – Jamro D.: Ocena plonowania i odchwaszczajacego działania jarych mieszanek zbożowych. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2007, **516**, 11-18.
9. Buraczyńska D.: Zachwaszczenie mieszanek strączkowo-zbożowych przy zróżnicowanym składzie ilościowo-jakościowym. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2009, **49(2)**: 779-783.
10. Corre – Hellou G., Dibet A., Hauggaard - Nielsen H., Crozat Y., Gooding M., Ambus Per Dahlmann C., von Fragstein P., Pristeri A., Monti M., Jensen E. S.: The competitive ability of pea–barley intercrops against weeds and the interactions with crop productivity and soil N availability. Field Crop Res., 2011, **122(3)**: 264-272.

11. Cousens R. D.: Comparative growth of wheat, barley and annual reygrass (*Lolium rigidum*) in monoculture and mixture. Aust. J. Agric. Res.,1996, **47(3):** 449-464.
12. Cremer N. G., Bennett M. A., StInner B. R., Cardina J., Regnier E. E.: Mechanism of weed suppression in cover crop-based production systems. Hort. Sci., 1996, **31(3)**: 410-413.
13. Davies D. H. K., Welsh J. P.: Weed control in organic cereals and pulses. In: Organic cereals and pulses, Younie D., Taylor BR., Welsh JP, Wilkinson JM. (Eds.), Lincoln: Chalcombe Publications, 2001: 77-114.
14. Dąbkowska T., Stupnicka – Rodzynkiewicz E., Łabza T.: Zachwaszczenie upraw zbóż w gospodarstwach ekologicznym, konwencjonalnym i intensywnym na wybranych przykładach z Małopolski. Pam. Puł., 2007, **145:** 5-16.
15. Domaradzki K., Rola H.: Ekologiczno-agronomiczne aspekty stosowania niższych dawek herbicydów regulacji zachwaszczenia zbóż. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 2001, **41(1)**: 229-239.
16. Doré T., Makowski D., Malézieux E., Munier – Jolain N., Tchamitchi an M., Tittonell P.: Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: Revisiting methods, concepts and knowledge. Europ. J. Agron., 2011, **34(4):** 197-210.
17. Duer I.: Wpływ międzyplonu ścierniskowego na plonowanie i zachwaszczenie jęczmienia jarego. Frag. Agron., 1994**, 4(44):** 36-45.
18. Duer I.: Znaczenie chwastów i strategia ich ograniczania w gospodarstwie ekologicznym. W: Rolnictwo ekologiczne szansą na polską specjalność. Mat. szkol. IUNG Puławy, 2002, **86/02**: 21-26,.
19. Eisele J. A., Köpke U.: Choice of cultivars in organic forming: New criteria for winter wheat idiotypes. Pflanzenbauwissenschaften, 1997, **1**: 19-24.
20. Feledyn - Szewczyk B.: Zachwaszczenie odmian pszenicy jarej uprawianej w ekologicznym systemie produkcji. J. Res. Appl. Agric. Eng., 2011, **56(3):** 71-76.
21. Feledyn - Szewczyk B., Duer I., Staniak M.: Bioróżnorodność flory segetalnej w roślinach uprawianych w ekologicznym, integrowanym i konwencjonalnym systemie produkcji. Pam. Puł., 2007, **145**: 61-76.
22. GUS – Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, 2015.
23. Hauggaard – Nielsen H., Ambus P., Bellostas N., Boisen S., Brisson N., Corre – Hellou G., Crozat Y., Dahlmann C., Dibet A., Fragstein P., Goo ding M., Kasyanova E., Launay M., Monti M., Pristeri A., Jensen E. S.: Intercropping of pea and barley for increased production, weed control, improved product quality and prevention of nitrogen-loses in European organic farming system. Bibliotheca Fragm. Agron., 2006, **11(3):** 53-60.
24. Hauggaard – Nielsen H., Jørnsgaard B., Kinane J., Jensen E. S.: Grain legume–cereal intercropping: the practical application of diversity, competition and facilitation in arable and organic cropping systems. Renew. Agr. Food Syst., 2008, **23**: 3-12.
25. Harasimowicz – Herman G.: Łubin żółty i seradela perspektywicznymi roślinami w rolnictwie proekologicznym. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 1997, **446**: 307-311.
26. Haymes R., Lee H. C.: Competition between autumn and spring planted grain intercrops of wheat (*Triticum aestivum*) and field bean (*Vicia faba*). Field Crops Res., 1999, **62**: 167-176.
27. Heller K., Adamczewski K.: Zmiany w zachwaszczeniu wywołane zmianami w agrotechnice roślin I zmianami klimatycznymi. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2002, **42(1):** 349-357.
28. Hiltbrunner J., Jeanneret P., Liedgens M., Stamp P., Streit B.: Response of weed communities to legume living mulches in winter wheat. J. Agron. Crop Sci., 2007, **193**: 93-102.
29. Höft A., Gerowitt B.: Rewarding weeds in arable forming – traits, goals and concepts. J. Plant Dis. Protect., 2006, **20**: 517-526.
30. Hruszka M.: Wpływ sposobu regulacji zachwaszczenia na plonowanie i wartość paszową nasion bobiku. Pam. Puł., 2006, **142**: 137-145.
31. Idziak R., Michalski T.: Zachwaszczenie i plonowanie mieszanek jęczmienia jarego i owsa przy różnym udziale obu komponentów w zasiewie. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2003, 490: 99-104.
32. Idziak R., Michalski T.: Reakcja roślin jęczmienia jarego i owsa na uprawę w mieszankach. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2007, **516**: 45-53.

33. J a s k u l s k i D.: Effect of companion crops of catch crop on the productivity of crop-rotation link: spring barley – winter wheat. Acta Sci. Pol., Agric., 2004, **3(2):** 143-150.
34. J ę d r u s z c z a k M., D ą b e k – G a d M., O w c z a r c z u k A.: Chwasty zbóż w gospodarstwie ekologicznym oraz ich ograniczanie za pomocą wsiewek międzyplonowych i mieszanki zbożowo-strączkowej. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2006, **46(2):** 145-148.
35. K a p e l u s z n y J., H a l i n i a r z M.: Weed infestation of cereal crops grown on ecological farms in the Lublin region. Pam. Puł., 2000, **122**: 40-49.
36. K n u d s e n M. T., H a u g g a r d – N i e l s e n H., J e n s e n E. S.: Cereal-grain legume intercrops in organic farming – Danish survey. In: European Agriculture in global context: proceedings of VIII ESA Congress, 11-15 July 2004, Copenhagen, Denmark.
37. K s i ę ż a k J.: Zróżnicowanie cech morfologicznych wybranych odmian grochu siewnego uprawianych w mieszankach z jęczmieniem jarym. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1998, **463**: 389-398.
38. M a j d a J., R a d o m s k a M.: Dynamika zachwaszczenia pszenicy ozimej i pszenżyta uprawianych w monokulturze. Zesz. Nauk ATR Bydgoszcz. Rolnictwo. 1994, 187, **35**: 87-95.
39. M a r s h a l l E. J. P., B r o w n V. K., B o a t m a n N. D., L u t m a n P. J. W., S q u i r e G. R., W a r d L. K.: The role of weeds in supporting biological diversity within crop fields. Weed Res., 2003, **43(2):** 77-89.
40. N i g g l i U., S l a b A., S c h m i d O., H a l b e r g N., S c h l ü t e r M.: Vision for an Organic Food and Farming Research Agenda to 2025. Report IFOAM EU Group and FiBL, 2008.
41. O' D o n o w a n J. T., B l a c k s h a w R. E., H a r k e r K.N., C l a y t o n G.W., M o y e r J. R., D o s d a l l L.M., M a u r i c e D.C., T y r k i n g t o n T.K.: Integrated approaches to managing weeds in spring-sown crops in western Canada. Crop Protec. 2007, **26**: 390-398.
42. P a r y l a k D., Z a w i e j a J., J ę d r u s z c z a k M., S t u p n i c k a - R o d z y n k i e w i c z E., D ą b k o w s k a T., S n a r s k a K.: Wykorzystanie zasiewów mieszanych, właściwości odmian lub zjawiska allelopatii w ograniczeniu zachwaszczenia. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2006, **47(3):** 271-275.
43. P ł a z a A., C e g l a r e k F.: Wpływ wsiewek na zachwaszczenie jęczmienia jarego. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2008, **48(4):** 1463-1465.
44. P ł a z a A., C e g l a r e k F., B u r a c z y ń s k a D., R u d z i ń s k i R.: Ocena plonowania mieszanek grochu siewnego z pszenicą jarą uprawianych w rejonie Siedlec. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2007, **516**: 153-159.
45. P r i d h a m J. C., E n t z M. H.: Intercropping spring wheat with cereal grains, legumes, and oilseeds fails to improve productivity under organic management. Agron. J. 2008, **100(5):** 1436-1442.
46. R o l a H., R o l a J., Z a l e w s k i A.: Monitoring stanu i stopnia zachwaszczenia upraw rolniczych w Polsce. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 1999, **39(1):** 287-297.
47. R u d n i c k i F.: Biologiczne aspekty uprawy zbóż w mieszankach. Mat. Konf. Nauk. Stan i perspektywy uprawy mieszanek zbożowych, Poznań 2 grudnia 1994: 7-15.
48. R u d n i c k i F.: Potencjalna przydatność odmian łubinu żółtego i wąskolistnego do mieszanek ze zbożami jarymi. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1997, **446**: 407-413.
49. R u d n i c k i F., W e n d a - P i e s i k A.: Produkcyjność mieszanek zbóż jarych z grochem na glebie kompleksu żytniego bardzo dobrego. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2007, **516**: 181-193.
50. S k r z y c z y ń s k a J., R z y m o w s k a Z.: Zmiany w zachwaszczeniu zbóż w gospodarstwach ekologicznych i tradycyjnych Podlasia Zachodniego w latach 1999-2000 i 2005-2006. Pam. Puł., 2007, **145**: 186-198.
51. S o b k o w i c z P.: Ocena odchwaszczającego działania jarych mieszanek zbożowych. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 1999, **39(2)**: 687-690.
52. S o n g Y.N., Z h a n g F. S., M a r s c h n e r P., F a n F. L., G a o H. M., B a o X. G., L i L.: Effect of intercropping on crop yield and chemical and microbiological properties in rhizosphere of wheat (*Triticum aestivum* L.), maize (*Zea mays* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.). Biol. Fertil. Soils, 2007, **43**: 565-574.
53. S t a n i a k M., K s i ę ż a k J.: Zachwaszczenie mieszanek strączkowo-zbożowych uprawianych ekologicznie. J. Res. Appl. Agric. Eng., 2010, **55(4):** 121-125.
54. S t a n i a k M., B o j a r s z c z u k J., K s i ę ż a k J. Weed infestation of spring cereals cultivated in pure sowing and undersown with serradella (*Ornithopus sativus* L.) in organic farm. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, 2013, 13, **2(42)**: 121-131.

55. S t a n i a k M., B o j a r s z c z u k J., K s i ę ż a k J.: Zachwaszczenie mieszanek łubinu wąskolistnego ze zbożami jarymi w ekologicznym systemie gospodarowania. J. Res. Appl. Agric. Eng., 2013, **58(4)**: 155-160.
56. S t a n i a k M., B o j a r s z c z u k J., K s i ę ż a k J.: The assessment of weed infestation of oats-peas mixtures grown in organic farm farm. J. Res. Appl. Agric. Eng., 2014, **59(4)**: 83-88.
57. S t a n i a k M., K s i ę ż a k J., B o j a r s z c z u k J., F a r i a s z e w s k a A.: Evaluation of productivity of four cereals species with undersown serradella. J. Res. Appl. Agric. Eng., 2015, **60(4)**: 89-93.
58. Š a r ū n a i t ė L., D e v e i k y t ė I., K a d ž i u l i e n ė Ž.: Intercropping spring wheat with grain legume for increased production in an organic crop rotation. Žemdirbystė=Agriculture, 2010, **97(3)**: 51-58.
59. T y b u r s k i J., K o s t r z e w s k a M.: Biologiczna różnorodność ekosystemów rolnych oraz możliwości jej ochrony w gospodarstwach ekologicznych, Wyd. UWM, Olsztyn 2013, ss. 388.
60. W a n i c M., M a j c h r z a k B., W a l e r y ś Z.: Wsiewka międzyplonowa a plonowanie i choroby podstawy źdźbła jęczmienia jarego w wybranych stanowiskach. Frag. Agron., 2006, **2(90):**149-161.
61. W a s i l e w s k i P.: Wpływ sposobów zwalczania chwastów na zachwaszczenie i plonowanie mieszanek roślin w mieszankach. Mat. Konf. Nauk. „Przyrodnicze i produkcyjne aspekty uprawy mieszanek zbożowych", Poznań 2-3 grudnia 1999: 124-125.
62. W a t s o n C.A., A t k i n s o n D., G o s l i n g P., J a c k s o n L.R., R a y n s F. W.: Managing soil fertility in organic farming system. Soil Use Manage., 2002, **18**: 239-247.
63. W o j c i e c h o w s k i W., Z a w i e j a J.: Oddziaływanie płodozmianów specjalistycznych na dynamikę zachwaszczenia pól. Pam. Puł., 2007, **145**: 255-261.
64. W o j c i e c h o w s k i W., K o z a k M., B i a ł k o w s k a M., Ć w i e r t n i e w s k a M.: Wpływ mieszanek strączkowo-zbożowych na zachwaszczenie łanu. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl., 2013, **53(1):** 110-114.
65. Z a w i ś l a k K.: Regulacyjna funkcja płodozmianu wobec chwastów w agrofitocenozach zbóż. Acta Acad. Agric. Tech. Olst., Agric., 1997, **64**: 81-99.

Adres do korespondencji:

dr hab. Mariola Staniak, prof. nadzw.
Zakład Uprawy Roślin Pastewnych
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. 81 4786 795
e-mail: staniakm@iung.pulawy.pl

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

ZESZYT 49(3): 59-70 **2016**

Małgorzata Łyszcz, Anna Gałązka

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach

PROCES BIOLOGICZNEGO WIĄZANIA AZOTU ATMOSFERYCZNEGO*

Słowa kluczowe: symbioza, bakterie brodawkowe, ryzobia, azot, nitorgenaza

Wstęp

Spośród wszystkich znanych na świecie pierwiastków, rośliny najsilniej reagują na deficyt azotu w glebie, co objawia się – w zależności od gatunku – np. słabym ukorzenieniem, żółknięciem liści, sztywnością tkanek. Warunkuje prawidłowy rozwój roślin uprawnych, pobudza wzrost części podziemnych i nadziemnych roślin (6, 20). Azot jest istotnym elementem, potrzebnym do istnienia wszystkich form życia. Wchodzi w skład najważniejszych związków tworzących każdą żywą komórkę, a mianowicie białek i kwasów nukleinowych, niezbędnych do prawidłowego funkcjonowania organizmów żywych.

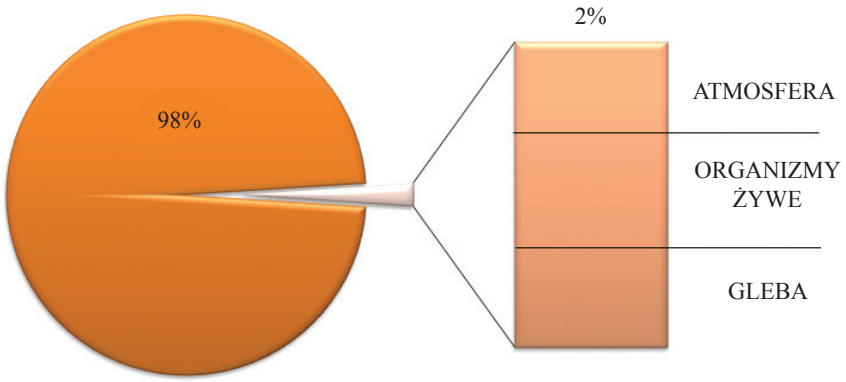
Białka stanowią najważniejszy składnik pożywienia człowieka i zwierząt, istotny element budulcowy, a także pełnią funkcję enzymów, ułatwiając wszelkie procesy komórkowe. Kwasy nukleinowe stanowią podstawowy budulec materiału genetycznego, są niezbędne w przechowywaniu i przekazywaniu informacji genetycznej (23).

W środowisku naturalnym całkowita ilość azotu szacowana jest na blisko $1{,}6 \times 10^{17}$ t, z czego 98% stanowi forma nieorganiczna (poza organizmami żywymi), natomiast 2% występuje w postaci biotycznej (w organizmach żywych i w ich biocenozach) (26, 52). W tych 2% znajduje się azot:

- w postaci gazowej, do którego zaliczamy azot atmosferyczny (N_2), który stanowi około 78% składu atmosfery, jednak dla większości organizmów żywych w takim stanie jest nieprzyswajalny, podtlenek azotu (N_2O), tlenek azotu (NO) oraz dwutlenek azotu (NO_2) ;

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.4 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

- występujący w organizmach żywych
- glebowy w postaci związków organicznych jak również w formie azotanów (NO_3), azotynów (NO_2) i jonów amonowych; (NH_4) (26, 52).



Rysunek 1. Wykres przedstawiający procentową zawartość from azotu w środowisku naturalnym
Źródło: opracowanie własne

Zasoby azotu są olbrzymie, jednak jest on niedostępny dla przeważającej części organizmów (33).

Należy podkreślić, że cząsteczka azotu atmosferycznego jest nadzwyczaj trwała, ponieważ pomiędzy atomami azotu występuje stabilne, potrójne wiązanie kowalencyjne, do rozerwania którego potrzebna jest szczególnie duża ilość energii. Wyjątkowo silne połączenie N≡N, którego energia wiązania wynosi 941 kJ (225 kcal) mol^{-1}, jest bardzo oporne na atak chemiczny. Na każdy mol zredukowanego azotu, potrzeba zużyć około 16 moli ATP. Aby podkreślić jego niereaktywność Lavoiser nadał gazowej formie N_2 nazwę „azot", co oznacza „bez życia" (47).

Często na glebach uprawianych rolniczo występuje niedobór azotu, który jest uzupełniany chemicznie, poprzez stosowanie nawozów syntetycznych. Jednak metoda taka wymaga wysokich nakładów energii, jest kosztowna oraz w sposób negatywny wpływa na środowisko (24, 40). Dlatego też proces biologicznego wiązania azotu jest ważny ze względów ekonomicznych i ekologicznych. Szacuje się, że ilość N_2 związanego przez mikroorganizmy przewyższa około 4-krotnie ilość azotu wyprodukowanego metodami przemysłowymi (24). W środowisku naturalnym to właśnie proces biologicznego wiązania azotu jest jedną z najlepszych metod wprowadzania do gleby zredukowanych związków azotowych, które są dostępne dla roślin. Zjawisko biologicznej redukcji azotu jest zgodne z założeniami ekologicznego rolnictwa, które dąży do zmniejszenia stosowania sztucznych nawozów mineralnych oraz chemicznych środków ochrony roślin. Proces przekształcenia azotu atmosferycznego do jonów amonowych, które mogą być przyswajane przez rośliny,

jest bardzo ważny zarówno ze względów ekonomicznych, jak i ekologicznych. Tylko nieliczne organizmy prokariotyczne posiadają zdolność do przeprowadzenia tego procesu. Mikroorganizmy te zostały nazwane diazotrofami (23, 24, 35, 36, 33).

Drobnoustroje wiążące azot atmosferyczny

Wśród drobnoustrojów wiążących azot wyróżnia się dwie grupy: (1) bakterie wiążące azot w stanie symbiotycznym i (2) bakterie wiążące N_2 w symbiozie z roślinami bobowatymi, tj. bakterie brodawkowe (ryzobia), np. *Rhiziobium* i *Bradyrhizobium,* oraz promieniowce z rodzaju *Frankia,* żyjące w symbiozie z roślinami drzewiastymi m.in. z olszą – *Alnus* (25, 38) .

Tabela 1

Najważniejsze rodzaje drobnoustrojów wiążących azot atmosferyczny

Niesymbiotyczne bakterie	Symbiotyczne bakterie	Sinice
• *Clostridium* • *Azospirillum* • *Azotobacter* • *Desulfovibrio* • *Azomonas* • *Bacillus* • *Beijerinckia* • *Rhodobacter* • *Rhodospirillum*	z bobowatymi: • *Rhizobium* • *Bradyrhizobium* • *Sinorhizobium* • *Mesorhizobium* z innymi roślinami: • *Frankia*	• *Anabena* • *Nodularia* • *Nostoc* • *Calothrix* • *Aphanothece* • *Plectonema* • *Gleocapsa* • *Rivularia* • *Gleotrichia* • *Myxosarcina* • *Tolypothrix* • *Oscillatoria* • *Mastigocladus* • *Trichodesmium* • *Pseudoanabena* • *Microcoleus* • *Scytonema*

Źródło: Krupka, 1984 (27); Klama, 2004 (20); Martyniuk, 2012 (37)

Najlepiej poznana symbioza, podczas której zachodzi wiązanie azotu, występuje pomiędzy roślinami bobowatymi (*Fabaceae*) oraz bakteriami brodawkowymi (ryzobia). Przypuszcza się, że proces biologicznego wiązania azotu atmosferycznego dostarcza corocznie do gleb uprawnych około 139-170 mln t azotu (18, 37, 45). Ilość azotu związanego przez mikroorganizmy występujące w układach symbiotycznych i stanowi od około 70 do 80%, natomiast pozostałe 20-30% azotu wiązane jest przez mikroorganizmy niesymbiotyczne (5, 24, 37). Wydajność wiązania N_2 przez prokariota wolno żyjące jest mała i wynosi od około 1 do 50 kg $N_2 \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$. W układach symbiotycznych wydajność wiązania azotu osiąga wartość od 200 do nawet 500 kg $N_2 \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ (24, 25, 31, 33).

Czasami obserwujemy oddziaływania pomiędzy osobnikami należącymi do różnych gatunków, ale współistniejących ze sobą w tych samych niszach ekologicznych. Istnienie tego zjawiska budzi ciekawość odnośnie stopnia złożoności oddziaływania, ich specyficzności, mechanizmów kontrolujących interakcję i komunikację międzygatunkową. Dodatkowym aspektem interesującym człowieka jest jego znaczenie ekonomiczne dla rolnictwa. Oddziaływania międzygatunkowe mogą decydować o żywotności i produktywności ekosystemów. Charakterystyczną cechą wszystkich układów symbiotycznych jest ich trwałość. Oznacza to, że powinny one trwać w symbiozie przynajmniej przez większą część życia.

W przypadku układów symbiotycznych, tworzonych przez bakterie i rośliny obserwujemy wysoki stopień specyficzności np. *Enisfer meliloti* zakaża lucernę, nostrzyk i kozieradkę, podczas gdy *Rhizobium leguminosarum* bv. *trifolii* – koniczynę (33, 34). Oznacza to, że symbioza ryzobiów z roślinami bobowatymi jest swoistym procesem, który charakteryzuje się tym, że dany gatunek bakterii zakaża tylko określone gatunki roślin (22). Niektóre ryzobia mogą indukować tworzenie brodawek u jednego lub kilku gatunków roślin bobowatych, a inne wykazują szeroki zakres gospodarzy roślinnych (19).

Tabela 2

Wybrane bakterie brodawkowe i ich symbiotyczni gospodarze roślinni

Roślina	Bakteria	Referencje
Rodzaj – *Rhizobium*		
Wyka	*R. leguminosarum biowar viciae*	Frank, 1889
Koniczyna	*R. leguminosarum biowar trifoli*	Frank, 1889
Fasola	*R. leguminosarum biowar phaseoli*	Frank, 1889
Lucerna siewna	*R. daejeonense*	Quan i wsp., 2005
Rutwica lekarska, rutwica wschodnia	*R. galegae*	Lindström, 1989
Indygowiec	*R. indigoferae*	Wei i wsp., 2002
Traganek, lespedeza	*R. loessense*	Wei i wsp., 2003
Rodzaj – *Ensifer* (dawniej *Sinorhizobium*)		
Lucerna, nostrzyk, kozieradka	*E. meliloti*	Dangeard, 1926; de Lajudie i wsp., 1994; Young, 2003
Akacja, turi	*E. saheli*	de Lajudie i wsp., 1994; Young, 2003
Soja warzywna	*E. xinjiangense*	Chen i wsp., 1988; Peng i wsp., 2002; Young, 2003
Lucerna	*E. medicae*	Rome i wsp., 1996; Young, 2003
Akacja	*E. americanum*	Toledo i wsp., 2003

Tabela 2 cd.

Rodzaj – *Mesorhizobium*		
Astragalus sinicus	*M. huakuii*	Chen i wsp., 1991; Jarvis i wsp., 1997
Komonica, przelot, łubin	*M. loti*	Jarvis i wsp., 1982; Jarvis i wsp., 1997
Ciecierzyca	*M. ciceri*	Jarvis i wsp., 1997

Źródło: (Brockwell i in., 2005 (4); Willems, 2006 (53); http://www.bacterio.cict.fr/ (15); http://www.rhizobia.co.nz/ (17); Young i in., 2004 (56)

Przykładem oddziaływania organizmów prokariotycznych z eukariotycznymi jest zjawisko symbiozy bakterii brodawkowych z roślinami bobowatymi. W tym przypadku mikroorganizm nazywamy *mikrosymbiontem* a organizm wyższy – *makrosymbiontem* (33). Wzajemna współzależność pomiędzy roślinami bobowatymi a bakteriami brodawkowymi to współżycie dwóch organizmów, z którego oba wynoszą korzyść. Mikrosymbiont przekształca azot atmosferyczny w amoniak, zaopatrując tkanki roślin w aminokwasy i białka. W zamian gospodarz roślinny dostarcza bakteriom powstające w fotosyntezie cukry i inne substancje (23).

Kompleks enzymatyczny – nitrogenaza

Kompleks enzymatyczny umożliwiający wiązanie azotu cząsteczkowego zwany jest nitrogenezą. Składa się ona z dwóch białek żelazowo-siarkowych, będących multimetrami. Pierwsze z nich to białko żelazowe (Fe-proteina) zwane także reduktazą dinitrogenazy, w obrębie którego następuje wiązanie ATP, i które dostarcza elektrony o wysokim potencjale redukcyjnym. Metaloproteina Fe kodowana jest przez gen *nif*H. Jest ona dimerem zawierającym dwie identyczne podjednostki o masie cząsteczkowej około 30 kDa, które połączone są ugrupowaniem 4Fe-4S. Drugie białko to białko molibdenowo-żelazowe (Mo-Fe-proteina), inaczej dinitrogenaza, w obrębie którego następuje wiązanie i redukcja N_2. Jego masa cząsteczkowa wynosi 240 kDa. Jest tetramerem złożonym z dwóch podjednostek α i dwóch podjednostek β. Zawiera dwa centra aktywne zwane: kofaktorem-FeMo oraz centrum-P. Heterotetramer Mo-Fe kodowany jest przez geny *nif*D i *nif*K. Należy wspomnieć, że nitrogeneza jest enzymem niezwykle wrażliwym na działanie tlenu. Nawet śladowe ilości cząsteczkowego O_2 mogą prowadzić do jej nieodwracalnego uszkodzenia (2, 24, 25,33, 28, 47).

Biologiczne wiązanie azotu to redukcja azotu atmosferycznego do NH_3 przy udziale kompleksu nitrogenazy. Proces ten można sumarycznie przedstawić następująco:

$$8H^+ + N_2 + 8e^- + 16\ MgATP \rightarrow 2NH_3 + H_2 + 16MgADP + 16P_i$$

(25, 47).

Elektrony dostarczane są z procesów energiotwórczych np. z procesów oksydacyjnych czy fotosyntezy, przenoszone są na nitrogenzaę za pośrednictwem flawodoksyny i ferrodoksyny – w pierwszym etapie do reduktazy dinitrogenazowej, a następnie z równoczesnym zużyciem 16 moli ATP do dinitrogenezy.

Bakterie z rodzaju *Azospirillum* spp. i *Rhizobium* spp.

Jedną z najczęściej opisywanych grup bakterii wolnożyjących i wiążących azot są bakterie z rodzaju *Azospirillum* spp. Bakterie te są Gram-ujemne i należą do klasy α- *Proteobacteria*, w której znajdują się także inne grupy mikroorganizmów wiążących azot, takie jak *Rhizobium* czy *Bradyrhizobium* (1, 24, 43). *Azospirillum* są szeroko rozpowszechnione na całym świecie i występują w dużych ilościach (nawet do 10^7 komórek/g gleby ryzosferowej) (13) oraz w asocjacji z korzeniami, łodygami i liśćmi różnych roślin (głownie zboża i trawy), uprawianych zarówno w klimacie umiarkowanym, jak i tropikalnym (43, 24, 13, 1). Bakterie te są jednymi z najlepiej zbadanych bakterii występujących w strefie korzeniowej roślin i stymulujących ich wzrost. Należą one to grupy bakterii PGPR (ang. *plant growth-promoting rhizobacteria*). Obecnie znanych jest 18 gatunków *Azospirillum*, (w kolejności odkrycia): *A. lipoferum A. brasilense, A. amazonense, A. halopraeferens, A. irakense, A. largimobile, A. doebereinerae, A. oryzae, A. melinis, A. canadense, A. zeae, A. rugosum, A. picis, A. thiophilum, A. formosense, A. fermentarium, A. himalayense A. humicireducens* (16, 43). Spośród nich gatunki *A. brasilense* i *A. lipoferum* są najlepiej przebadanymi i dobrze opisanymi gatunkami. Bakterie te są szeroko rozpowszechnione na świecie, występują w klimacie umiarkowanym, tropikalnym i zwrotnikowym. Bakterie z rodzaju *Azospirillum* występują w strefie korzeniowej roślin lub jako endofity w powierzchniowych tkankach roślinnych (24). Niewątpliwe odgrywają one znaczącą rolę uprawie roślin, ponieważ wiążą wolny azot atmosferyczny przy udziale kompleksu nitrogenazy (ang. *biological nitrogen fixation* – BNF). Dodatkowo należy wspomnieć, iż jest to ważna grupa bakterii, także ze względu na możliwość uruchamiania przez nie mechanizmów zwalczających patogeny roślinne (bioprotektanty), poprawiających pobieranie składników pokarmowych (bionawozy) oraz zdolności do produkcji hormonów roślinnych (biostymulatory); (43).

Bakterie brodawkowe, zwane ryzobiami, zaliczane są do dobrze znanej grupy bakterii glebowych, które – współżyjąc z roślinami bobowatymi – powodują powstawanie na nich brodawek korzeniowych, w których zachodzi procesie wiązania azotu atmosferycznego. W tych układach symbiotycznych dochodzi do przekształcenia azotu do formy przyswajalnej dla gospodarza roślinnego (29, 30, 54). Podobnie jak rośliny, które są gospodarzami dla mikrosymbiontów, również rizobia nie stanowią, z punktu widzenia systematyki, jednolitej grupy o wspólnej filogenezie (44, 53, 56, 53).

Wśród symbiotycznych bakterii wiążących azot najczęściej opisywaną grupą są bakterie z rodzaju *Rhizobium* spp. Zaliczane są one do Gram-ujemnych, tlenowych, urzęsionych pałeczek, które nie tworzą form przetrwalnych. Sklasyfikowane są do klasy α-*Proteobacteria*. *Rhizobium* po łacinie oznacza „żyjący w korzeniu". Do rodzaju *Rhizobium* zaliczanych jest obecnie 93 gatunków. Wykazują one zdolność do nawiązywania symbiozy z korzeniami roślin bobowatych, np. fasolą, grochem, wyką (9, 11, 17, 51).

Ogólna charakterystyka poszczególnych etapów procesu symbiozy

Nawiązanie symbiozy między rizobiami a roślinami bobowatymi jest złożonym procesem, w wyniku którego dochodzi do wytworzenia efektywnej brodawki korzeniowej wiążącej azot atmosferyczny (31, 34, 31).

A) Wzajemne rozpoznanie partnerów symbiozy

Proces powstawania efektywnej brodawki korzeniowej rozpoczyna się od wymiany cząsteczek sygnałowych pomiędzy rośliną i bakteriami symbiotycznymi (48). Korzenie rośliny wydzielają dużą ilość substancji, będących atraktantami dla odpowiednich mikrosymbiotycznych partnerów. Spośród szeregu związków najważniejsze dla procesu symbiozy są flawonoidy. Ich zadaniem jest ograniczenie wzrostu bakterii konkurujących z ryzobiami oraz indukcja u bakterii brodawkowych ekspresji genów (*nod*, *nol* i *noe*), zwanych ogólnie genami *nod* (ang. *nodulation genes*) (8, 48, 49, 52). Z kolei bakterie, w odpowiedzi na sygnały roślinne, uaktywniają geny NOD. Geny te odpowiedzialne są za kodowanie białek biorących udział w bakteryjnej syntezie i eksporcie czynnika Nod (10). Czynnik Nod jest lipochitooligosacharydem sygnalnym (41, 42, 48).

B) Adsorpcja bakterii brodawkowych do powierzchni młodych włośników korzeniowych

Po zasiedleniu strefy ryzosferowej przez bakterie brodawkowe następuje ich adsorpcja do młodych włośników korzeniowych. Badania mikroskopowe koniczyny szczepionej *R. leguminosarum* bv. *trifolii* wykazały, że proces adsorpcji zachodzi w dwóch etapach. W pierwszym etapie (mechanizm niespecyficzny, adhezja odwracalna) adsorbuje się jedynie niewielka liczba bakterii, zarówno specyficznych, jak i niespecyficznych wobec gospodarza roślinnego. Natomiast w etapie drugim (mechanizm specyficzny, adhezja nieodwracalna) następuje adsorpcja tylko bakterii specyficznych w stosunku do gospodarza roślinnego (12, 34, 46, 48).

C) Zniekształcenie włośników korzeniowych

W wyniku odpowiedzi na obecność zaadsorbowanych do powierzchni włośnika korzeniowego bakterii dochodzi do zmiany kierunku jego wzrostu i do deformacji. Zniekształcenie to jest wywołane zahamowaniem wzrostu ściany w miejscu, w którym przyczepiona jest komórka bakteryjna, co powoduje zagięcie i skręcenie włośnika, a także powstanie struktury zwanej „laską pasterza" (ang. *shepard's crook*) (3, 34, 48).

D) Rozwój nici infekcyjnej

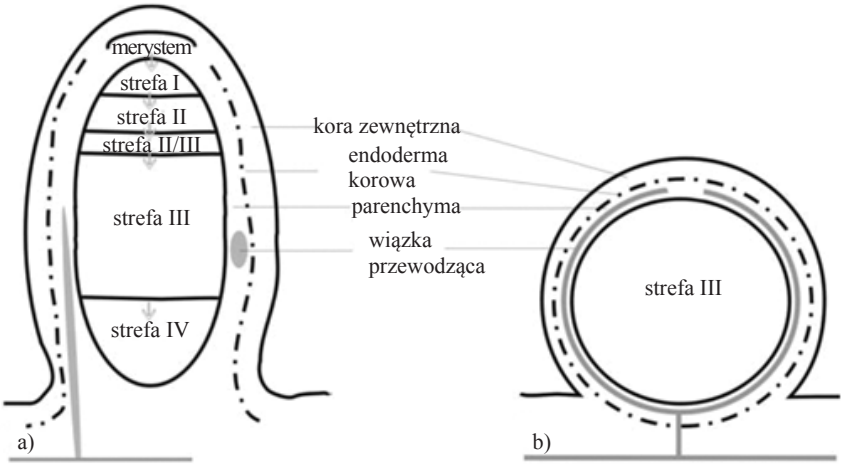
W wyniku obrony rośliny przed infekcją, bakteria zostaje unieruchomiona pomiędzy roślinnymi ścianami komórkowymi i elementami błony cytoplazmatycznej wygiętego włośnika. W skręconym włośniku bakterie rosną i dzielą się w strukturach zwanych nićmi infekcyjnymi (ang. *infection threads*) (14, 48). Zadaniem nici infekcyjnej jest wprowadzenie bakterii do tworzących się brodawek. Równocześnie powstaje tzw. prymordium (zawiązek) brodawki korzeniowej z dzielących się komórek miękiszu kory pierwotnej (8, 31, 34, 48, 50, 52).

Po utworzeniu przez nić infekcyjną prymordium brodawki korzeniowej zachodzi uwolnienie bakterii na drodze endocytozy ze szczytu nici do wnętrza komórek roślinnych. Podczas uwalniania bakterie brodawkowe zostają otoczone błoną perybakteroidalną-PBM (ang. *peribacteroid membrane*) pochodzenia roślinnego. Zadaniem tej struktury jest mechaniczna ochrona przed reakcją obronną gospodarza oraz wymiana substancji między partnerami. Bakterie otoczone błoną perybakteroidalną tworzą tzw. symbiosomy. W obrębie symbiosomów dochodzi do różnicowania się ryzobiów i powstają tzw. bakteroidy wiążące azot atmosferyczny. Natomiast z tetraploidalnych komórek kory korzenia powstają brodawki korzeniowe. Bakteroidy znajdujące się w brodawkach posiadają zdolność wiązania azotu atmosferycznego z udziałem kompleksu enzymatycznego – nitrogenezy (8, 21, 31, 34).

Brodawki korzeniowe roślin bobowatych to organy o złożonej strukturze, których zadaniem jest stworzenie odpowiednich warunków do redukcji azotu atmosferycznego przez bakterie brodawkowe. Generalnie u roślin motylkowatych można wyróżnić dwa rodzaje brodawek, różniących się morfologią i sposobem powstawania (rys. 2).

- Brodawki zdeterminowane czyli ograniczone – występują u roślin pochodzących ze strefy tropikalnej np. soja, fasola, komonica. Są kształtu kulistego (sferycznego). Brodawki te charakteryzują się ograniczonym wzrostem, co spowodowane jest krótkotrwałą aktywnością merystemu (funkcjonuje zaledwie kilka dni). W przeciwieństwie do brodawek niezdeterminowanych, tkanka bakterioidalna brodawek zdeterminowanych nie jest zróżnicowana na strefy, a ich wiązki przewodzące tworzą system zamknięty. Rozmiary brodawki powiększają się w wyniku rozrastania się komórek, a nie ich podziałów. Brodawka eksportuje zredukowany azot w postaci ureidów, czyli pochodnych mocznika (Rys. 2); (10, 14, 31, 32).
- Brodawki niezdeterminowane czyli nieograniczone – występują u roślin pochodzących ze strefy umiarkowanej np. koniczyna, groch, lucerna czy wyka. Mają kształt cylindryczny. Tkanka merystematyczna może funkcjonować przez cały okres wegetacji (rys. 2).

W dojrzałej tkance brodawki nieograniczonej można wyróżnić strefy (rys. 2):
I. Strefa merystematyczna – utworzona przez dzielące się komórki merystematyczne.
II. Strefa infekcji – w jej obrębie dochodzi do uwolnienia bakterii z nici infekcyjnej do komórek roślinnych oraz do powstania symbiosomów.
II/III. Strefa przejściowa - dochodzi w niej do różnicowania się bakteroidów.
III. Strefa symbiotyczna – w niej zachodzi proces wiązania atmosferycznego azotu; bakteroidy mają kształt liter: T, X i Y.
IV. Strefa starzenia się – komórki roślinne i bakteroidalne ulęgają degeneracji.



Rysunek 2. Schemat przedstawiający brodawki a) typu niezdeterminowanego i b) typu zdeterminowanego

Źródło: Sujkowska, 2009 (48)

Wiązki przewodzące w brodawce niezdeterminowanej rozrastają się i tworzą system otwarty, a zredukowany azot transportowany jest do różnych części rośliny w formie amidów (7, 10, 14, 28, 31, 32).

W zewnętrznej części obu typów brodawek znajduje się kora zewnętrzna, której funkcją jest ochrona brodawki przed inwazją mikroorganizmów z ryzosfery i przed wysychaniem. Uznaje się ją za element bariery tlenowej ograniczającej dyfuzję tlenu do wnętrza brodawki. Po wewnętrznej stronie endodermy korowej znajdują się wiązki przewodzące, które wnikają do endodermy korzenia, a ich funkcja związana jest z transportowaniem produktów asymilacji (31, 39).

Podsumowanie

Azot (N_2) stanowi około 80% ziemskiej atmosfery. Niestety, w formie gazowej jest nieprzyswajalny dla większości organizmów żywych. Dlatego rośliny, zwierzęta

i mikroorganizmy mogą doświadczać tzw. „głodu azotowego", mimo że w atmosferze występuje on w tak dużych ilościach. Wszystkie organizmy żywe wykorzystują azot do budowy aminokwasów, białek, kwasów nukleinowych i innych składników niezbędnych do życia.

Biologiczne wiązanie azotu jest procesem, który zmienia obojętny N_2 w biologicznie użyteczny NH_3. Proces ten zachodzi w naturze jedynie przy udziale mikroorganizmów prokariotycznych nazwanych diazotrofami. Pod względem ekologicznym można wyróżnić dwie grupy bakterii wiążących azot atmosferyczny: wolnożyjące np. *Azotobacter* spp., *Azospirillum* spp. oraz bakterie wiążące azot w układach symbiotycznych z roślinami bobrowatymi, np. *Rhizobium* spp.

Redukcja azotu atmosferycznego jest złożonym procesem, którego efektem jest powstanie brodawki korzeniowej, w której zachodzi proces wiązania azotu. Jednak wymaga on dużego nakładu energii. Mikroorganizmy wiążące azot potrzebują 16 moli adenozynotrójfosforanu (ATP) dla zredukowania 1 mola azotu. Badania potwierdzają, że symbioza bakterii brodawkowych i roślin bobowatych w znaczący sposób zmniejszyła zapotrzebowanie roślin na syntetyczne nawozy mineralne i przyczynia się do powstawania upraw ekologicznych.

Literatura

1. Bashan Y., Levanony H.: Current status of *Azospirillum* inoculation technology: *Azospirillum* as a challenge for agriculture. Can. J. Microbiol., 1990, **36**: 591-608.
2. Bothe H., Schmitz O., Yates M.G., Newton W.E., Nitrogen Fixation and Hydrogen Metabolism in Cyanobacteria. Microbiol. Mol. Biol. Rev., 2010, **74**, **4**: 529-551.
3. Brewin N. J.: Plant cell wall remodelling in the Rhizobium-Legume symbiosis. Crit. Rev. Plant Sci., 2004, **23**: 293-316.
4. Brockwell J., Searle S. D., Jeavons A. C., Waayers M.: Nitrogen Fixation in Acacias: an Untapped Resource for Sustainable Plantations. Farm Forestry and Land Reclamation. ACIAR Monograph., 2005: 115 - 132.
5. Cheng Q.: Perspectives in biological nitrogen fixation research. J. Integr. Plant Biol., 2008, **50(7)**: 784-796.
6. Chodań J., Grzesiuk W., Mirowski Z.: Zarys gleboznawstwa i chemii rolnej. PWN Warszawa, 1980.
7. Crespi M., Gálvez S.: Molecular mechanisms in root nodule development. J. Plant Growth Regul., 2000, **19**: 155-166.
8. Deakin W. J., Broughton W. J.: Symbiotic use of pathogenic strategies: rhizobial protein secretion system. Nat. Rev. Microbiol., 2009, **7**: 312- 320.
9. Doyle J. J.: Phylogenetic perspectives on nodulation: evolving views of plants and symbiotic bacteria. Trends Plant Sci., 1998, **3**: 473-478.
10. Gage D. J.: Infection and invasion of roots by symbiotic, nitrogen-fixing *Rhizobia* during nodulation of temperate legumes. Microbiol. Mol. Biol. Rev. 2004, **68**: 280-300.
11. Garrity G. M., Bell J., Lilburn T. G.: Taxonomic outline of the Procaryotes. Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, Second Edition, Release 5.0. Springer-Verlag, New York, 2004.
12. Głowacka M., Szyprowska S.: Rola lipopolisacharydów *Rhizobium* w tworzeniu efektywnej symbiozy. Post. Mikrobiol., 1996, **35**: 451-452.

13. Hartmann A., Baldani J.I.: The Genus *Azospirillum*. Prokaryotes, 2006, **5**: 115-140.
14. Hirsch A. M., Lum M. R., Downie J. A.: What makes the rhizobia-legume symbiosis so special? Plant. Physiol., 2001, **127**: 1484-1492.
15. http://www.bacterio.cict.fr/
16. http://www.bacterio.net/azospirillum.html
17. http://www.rhizobia.co.nz/
18. Ishizuka J.: Trends in biological nitrogen fixation research and application. Plant Soil., 1992, **141(1-2)**:197-209.
19. Jakubowska A., Kowalczyk K.: Biochemiczne i molekularne podstawy symbiotycznych oddziaływań bakterii i roślin. Post. Bioch., 1998, **44(1)**:73-82.
20. Klama J.: Współżycie endofitów bakteryjnych z roślinami. Acta Sci. Pol., Agric., 2004, **3(1)**: 19-28.
21. Komaniecka I., Choma A.: Składniki lipidowe *Rhizobiaceae*. Post. Mikrobiol., 2001, **40, 1**: 7-30.
22. Kopcińska J., Golinowski W.: Czynnik nod – cząsteczka sygnałowa w interakcji rośliny motylkowate-*Rhizobium*. Kosmos, 1995, **44**: 579-587.
23. Kretowicz W.: Przemiany azotu w roślinach, PWRiL, Warszawa, 1977.
24. Król M.: *Azospirillum* – asocjacyjne bakterie wiążące azot. Monografie i rozprawy naukowe, IUNG-PIB, Puławy, 2006, **15**: 45-55, 66-74.
25. Król M. J., Zielewicz - Dukowska J.: Genetyczne aspekty wiązania N_2 bakterii z rodzaju *Azospirillum*. Post. Mikrobiol., 2005, **44, 1**: 47-56.
26. Krug E. C., Winstanley D.: The need for comprehensive and consistent treatment of the nitrogen cycle in nitrogen cycling mass balance studies: I. Terrestial nitrogen cycle. Sci Total. Environ., 2002, **293**: 1-29.
27. Krupka H.M.: Wybrane problemy biologicznego wiązania azotu atmosferycznego. Wiad. Ekol., 1984, **30(3)**: 249-270.
28. Księżak J., Staniak M., Bojarszczuk J.: The regional differentiation of legumes croppingarea in Poland between 2001 and 2007. Polish J. Agron., 2009,**1**: 25-31.
29. Laguerre G., Louvrier P., Allard M. R., Amarger N.: Compatibility of rhizobial genotypes within natural populations of *Rhizobium leguminosarum* biovar *viciae* for nodulation of host legumes. Appl. Environ. Microb., 2003, **69**: 2276-2283.
30. Liu J., Wang E. T., Chen W. X.: Diverse rhizobia associated with woody legumes *Wisteria sinensis*, *Cercis racemosa* and *Amorpha fruticosa* grown in the temperate zone of China. Syst. Appl. Microbiol., 2005, **28**: 465-477.
31. Łotocka B.: Anatomia rozwojowa i ultrastruktura brodawek korzeniowych o nieograniczonym wzroście i jej specyfika u roślin z plemienia *Genisteae*. Rozprawy Naukowe i Monografie, Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 2008, ss. 226.
32. Łotocka B., Golimowski W.: Powstawanie i rozwój brodawek korzeniowych roślin motylkowatych. Kosmos, 1995, **44**: 569-578.
33. Mądrzak C. J.: Molekularne mechanizmy symbiozy *Rhizobiaceae* z roślinami motylkowatymi. Rozprawa habilitacyjna, Wydawnictwo AR w Poznaniu, 1995, Poznań, ss.232.
34. Małek W., Kontrola genetyczna symbiozy *Rhizobium meliloti* z *Medicago sativa*. Rozprawa habilitacyjna XLVI.Wydawnictwo UMCS Lublin, 1992, ss.158.
35. Mancinelli R. L.: The nature of nitrogen: an overview. Life Support Biosph. Sci., 1996, **3**: 17-24.
36. Mancinelli R. L., Smernoff D. T., White M. R.: Controlling denitrification in closed artificial ecosystems. Adv. Space. Res., 1999, **24**: 329-334.
37. Martyniuk S.: Naukowe i praktyczne aspekty symbiozy roślin strączkowych z bakteriami brodawkowymi. Polish J. Agron. 2012, **9**: 17–22.
38. Martyniuk S.: Znaczenie biologicznego wiązania azotu atmosferycznego w rolnictwie ekologicznym. J. Res. Appl. Agric. Engin., 2008, **53(4)**: 9-14.
39. Minchin F. R.: Regulation of oxygen diffusion in legume nodules. Soil Biol. Biochem., 1997, **29**: 881- 888.

40. Napora A., Kacprzak M., Nowak K., Grobelak A.: Wpływ bakterii endofitycznych na promowanie wzrostu roślin w warunkach stresowych. Post. Biochem., 2015, **61(4)**: 398-402.
41. Oldroyd G. E. D., Downie J. A.: Calcium, kinases and nodulation signalling in legumes. Natl. Rev. Mol. Cell Biol. 2004, **5**: 566-576.
42. Perret X., Staehelin C., Broughton W. J.: Molecular basis of symbiotic Promiscuity. Microbiol. Mol. Biol. Rev., 2000, **64**: 180-201.
43. Rodrigues A.C., Bonifacio A., de Araujo F. F., Lira Junior M.A., Figueiredo M.B.: *Azospirillum* sp. as a Challenge for Agriculture. In: Bacterial Metabolites in Sustainable Agroecosystem, D.K. Maheshwari (Editor), Springer International Publishing Switzerland, 2015: 29-51.
44. Sawada H., Kuykendall L. D., Young J. M.: Changing concepts in the systematics of bacterial nitrogen – fixing legume symbionts. J. Gen. Appl. Microbiol., 2003, **49**: 155-179.
45. Sawicka A.: Czynniki ograniczające wiązanie azotu atmosferycznego u roślin motylkowatych i traw. Biul. Oceny Odmian, 1997, **29**: 53-58.
46. Smit G., Swart S., Lugtenberg B. J., Kijnej W.: Molecular mechanisms of attachment of *Rhizobium* bacteria to plant roots. Mol. Microbiol., 1992, **6**: 2897–903.
47. Stryer L. , Berg J. M., Tymoczko J. L.: Biochemia, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2009, Warszawa.
48. Sujkowska M.: Przebieg procesu infekcji w układzie symbiotycznym rośliny motylkowate – *Rhizobium*. Wiadomości Botaniczne, 2009, **53(1/2)**: 35 -53.
49. Turska-Szewczuk A., Russa R.: Charakterystyka lipopolisacharydów *Rhizobium* i ich znaczenie w procesie symbiozy. Post. Mikrobiol., 2004, **43, 4**: 434-458.
50. Tylman I., Kowalczyk S.: Receptory i szlaki sygnałowe regulujące symbiozę brodawkową i mikoryzę arbuskularną. Post. Biol. Komórki, 2012, **39, 3**: 429-458.
51. Weir B. S., Turner S. J., Silvester W. B., Park D.-C., Young J. M.: Unexpectedly Diverse *Mesorhizobium Strains* and *Rhizobium leguminosarum* Nodulate Native Legume Genera of New Zealand, while Introduced Legume Weeds Are Nodulated by *Bradyrhizobium* Species. Appl. Environ. Microb., 2004, **70**: 5980-5987.
52. Wielbo J., Skorupska A.: Ewolucja układu symbiotycznego *Rhizobium* – rośliny motylkowate. Post. Mikrobiol., 2003, **42, 3**: 263-283.
53. Willems A.: The taxonomy of rhizobia: an overview. Plant Soil, 2006, **287**: 3-14.
54. Wolde-Meskel E., Terefework Z., Frostegard A., Lindstrom K.: Genetic diversity and phylogeny of rhizobia isolated from agroforestry legume species in southern Ethiopia. Int. J. Syst. Evol. Micr., 2005, **55**: 1439-1452.
55. Young J. M., Park D. C., Weir B. S.: Diversity of 16S rDNA sequences of *Rhizobium* spp. implications for species determinations. FEMS Microbiol. Lett., 2004, **238**: 125-131.

Adres do korespondencji:

mgr Małgorzata Łyszcz
Zakład Mikrobiologii Rolniczej
IUNG-PIB, Puławy
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. 81 4786960
e-mail: mlyszcz@iung.pulawy.pl

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

ZESZYT 49(3): 71-82 **2016**

Barbara Abramczyk, Anna Gałązka

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa-Państwowy Instytut Badawczy w Puławach

POZYTYWNY WPŁYW GRZYBÓW ENDOFITYCZNYCH NA ROŚLINĘ GOSPODARZA*

Słowa kluczowe: fitopatogen, endofit, grzyb, roślina, metabolity wtórne

Wstęp

Na przestrzeni kilku ostatnich dekad, naukowcy dostrzegli ogromny potencjał roślin jako skarbca niezliczonych ilości organizmów zwanych endofitami.

Słowo endofit pochodzi od dwóch greckich słów: *endon* – oznacza wewnątrz, a *phyton* – roślinę. Przypuszcza się, że wszystkie rośliny wyższe są gospodarzami dla jednego lub większej liczby drobnoustrojów endofitycznych. Te drobnoustroje obejmują zarówno grzyby, bakterie jak i promieniowce (4, 14).

Po raz pierwszy o endofitach wspomniał D e B a r y w XIX wieku (11), określając tym mianem wszystkie organizmy występujące w tkankach roślinnych. Natomiast W i l s o n (54), określił endofity jako grzyby, które żyją wewnątrz rośliny, nie powodując objawów przynajmniej przez część swojego cyklu życiowego. Grzyby endofityczne, które bezobjawowo kolonizują tkanki roślinne, mogą wywodzić się z gatunków patogenicznych, które utrzymują ciągłą równowagę między patogenicznością w stosunku do rośliny żywicielskiej, a mechanizmami obronnymi tejże rośliny (37, 26, 18).

Wiele roślin uprawnych zdolnych jest do nawiązania asocjacji z endofitami, dzięki którym poprawia się ich wzrost, zwiększa plonowanie, a także odporność na różnego rodzaju czynniki stresowe (25).

Większość grzybów endofitycznych jest rozprzestrzenianych na sąsiednie rośliny na drodze tzw. transmisji poziomej, za pomocą zarodników. Niektóre natomiast przenoszą się na kolejne pokolenia roślin wraz z nasionami (transmisja pionowa), przy czym grzyby te mogą nie wykazywać zdolności do życia poza rośliną żywicielską (21).

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.4 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

Mimo, że wzrost endofitów jest ściśle ograniczany przez rośliny, to wykorzystują one wiele mechanizmów, dzięki którym stopniowo dostosowują się do swojego środowiska życia (13).

Grzyby endofityczne wpływają bardzo korzystnie na roślinę żywicielską indukując odporność na stres (28, 32), promują jej wzrost (8) oraz chronią przed szkodnikami, patogenami oraz nicieniami (24, 21, 25, 14).

Opracowanie najnowszych technologii ujawniło ogromny potencjał endofitów jako ważnego źródła biologicznie aktywnych związków oraz możliwość ich zastosowania w aspekcie biologicznej ochrony roślin (57, 2).

Wykazano bowiem, że większość produktów naturalnych wydzielanych przez grzyby endofityczne posiada aktywność przeciwbakteryjną, a w wielu przypadkach biorą one również udział w ochronie roślin gospodarzy przed fitopatogenami grzybowymi (19).

Zakres roślin gospodarzy

Badania ostatnich 20 lat, które dotyczyły przeglądu grzybów zasiedlających różne rośliny żywicielskie, wykazały wszechobecną kolonizację roślin lądowych przez endofity. Izolowano je z roślin bytujących w różnorodnych siedliskach, począwszy od arktycznych, górskich czy pustynnych, a skończywszy na tropikalnych lasach. Grzyby endofityczne wyosobniono z mchów i wątrobowców, paproci, licznych roślin okrytonasiennych i nagonasiennych (57).

Większość grzybów endofitycznych uważa się za gatunkowo-specyficzne, to znaczy kolonizujące określony gatunek rośliny gospodarza. Zjawisko to może wynikać z wpływu danego mikroklimatu (3, 22, 37). Istnieją również gatunki polifagiczne, należące głównie do rodzaju *Phomopsis, Phoma, Colletotrichum* i *Phyllosticta*, które posiadają szeroki zakres roślin gospodarzy, często niespokrewnionych taksonomicznie (34, 23, 33, 42). Wskazuje to na wykształcone zdolności adaptacyjne do pokonywania zróżnicowanych mechanizmów obronnych rośliny gospodarza (51).

Izolacja endofitów

Grzyby endofityczne pozyskuje się z różnych organów wielu gatunków roślin, w związku z tym kluczowe jest poznanie zasad dotyczących wyboru odpowiedniej rośliny i sposobu izolowania endofitów. Jako potencjalne źródło endofitów wybieramy gatunki roślin interesujące pod względem swojej unikalnej biologii, wieku, etnobotanicznej historii czy też uwarunkowania środowiskowego. Ponadto dowiedziono również, że rośliny wieloletnie rosnące w tropikalnych i subtropikalnych regionach świata są zasiedlane przez większą różnorodność endofitów niż te rosnące w suchych lub chłodniejszych rejonach o mniejszym zróżnicowaniu pod względem roślinnym. Jest to ważny krok w całym procesie pozyskiwania i studiowania endofitów,

ponieważ stanowi biologiczne uzasadnienie w doborze roślin i eliminuje całkowicie nadmiar pracy związany z losowym sposobem przeszukiwania wszystkich roślin na danym obszarze (48).

Do wykrywania i identyfikacji grzybów w tkankach roślinnych stosuje się obecnie cztery metody:

(1) obserwacja morfologiczna w połączeniu z metodami molekularnymi;

(2) wykładanie materiału roślinnego poddanego sterylizacji na selektywnych pożywkach wzrostowych i identyfikacja wyrastających grzybów;

(3) identyfikacja na podstawie określonych testów biochemicznych, np. metody immunologiczne;

(4) bezpośrednia amplifikacja DNA pochodzącego z grzybów kolonizujących tkanki roślinne po uprzednim stwierdzeniu, że na powierzchni badanych roślin nie ma żadnych pozostałości grzybów (38).

Najbardziej znaną i standardową procedurę izolacji opisują S t r o b e l (48) oraz A b d a l l a i M a t a s y o h (1). Po wybraniu odpowiedniej rośliny pobierany jest jej mały fragment, umieszczany jest w worku z tworzywa sztucznego i przechowywany do dalszych badań w temperaturze 4 °C. Następnie materiał roślinny poddawany jest sterylizacji powierzchniowej w 70% etanolu, przemywany sterylną wodą destylowaną i przetrzymywany aż do wyschnięcia pod wyciągiem laminarnym. Następnie, przy użyciu sterylnego skalpela, usuwane są z próbek tkanki zewnętrzne i ostrożnie wycinany fragment tkanki wewnętrznej, który następnie umieszcza się w szalkach z pożywką agarową. Po kilku dniach inkubacji wyrosłe strzępki grzybów są przeszczepiane do szalek z zestaloną pożywką, np. glukozowo-ziemniaczaną (PDA); (48, 1).

Warto zauważyć, że różne metody izolacji, w tym dobór odpowiedniej pożywki, wielkość fragmentów tkanek rośliny żywicielskiej, czas jaki upłynął od pozyskania materiału roślinnego a nawet warunki uprawy, mogą w znacznym stopniu wpływać na skuteczność izolacji oraz różnorodność uzyskanych endofitów (3, 50).

Wykazano, że liczba gatunków grzybów endofitycznych izolowanych z tkanki liściowej znacznie wzrosła, gdy liść został pokrojony na mniejsze kawałki.

Najczęściej opisywane endofity grzybowe izolowane z roślin należą do typu *Ascomycota* lub stanowią jego anamorfy (46, 25). Istnieje jedynie kilka doniesień o grzybach endofitycznych typu *Basidiomycota* i są to najczęściej gatunki tworzące mykoryzę z roślinami z rodziny *Orchidiaceae* (36). R o d r i g u e z i i n . (35) podzielił grzyby endofityczne na dwie grupy: Clavicipitaceous (C), które zasiedlają trawy i Non-Clavicipitaceous (NC-endofity), które żyją bezobjawowo w tkankach różnych roślin. NC-endofity reprezentują trzy różne klasy funkcjonalne wydzielone na podstawie sposobu kolonizacji i transmisji w roślinie żywicielskiej, bioróżnorodności w roślinie oraz korzyści jakie oferują swojemu gospodarzowi (35).

Wpływ endofitów na roślinę gospodarza

Endofity mogą wpływać na zasiedlaną przez siebie roślinę w sposób pośredni i bezpośredni. Pośredni wpływ endofita na odporność rośliny związany jest z indukowaniem w roślinie mechanizmów obronnych, takich jak indukcja odporności lub synteza metabolitów wtórnych. Wpływ ten może być również związany z konkurencją między endofitem a patogenem o niszę ekologiczną. Z kolei bezpośrednie oddziaływanie grzybów endofitycznych na roślinę gospodarza polega na syntezie przez endofita różnych związków o działaniu owadobójczym, fungicydalnym lub nicieniobójczym. Są to między innymi terpenoidy, alkaloidy, związki aromatyczne, a także enzymy lityczne, zdolne do rozkładu chityny, białek, celulozy, hemicelulozy lub DNA (16, 25).

Metabolity syntezowane przez grzyby endofityczne

Badania chemiczne ostatnich lat wykazały, że grzyby endofityczne stanowią źródło cennych metabolitów wtórnych (tab.1). Niektóre z tych związków wpływają na wzrost i rozwój rośliny żywicielskiej, a inne wykazują właściwości owadobójcze, przeciwgrzybicze oraz przeciwbakteryjne (19, 21, 2, 14).

Tabela 1

Grzyby izolowane jako endofity z różnych roślin gospodarzy oraz wydzielane przez nie metabolity wykazujące aktywność biologiczną

Endofit	Roślina gospodarz	Metabolit	Działanie	Źródło
Neotyphodium spp.	*Lolium perenne*, *Festuca pratensis*	peramina	toksyczna dla szkodników, jednocześnie nie wywiera wpływu na zwierzęta gospodarcze	Spiering i in., 2002 (45)
Neotyphodium uncinatum,	*Festuca pratensis*	lolina	owadobójcze	Blankenship i in., 2001 (6)
Cryptosporiopsis quercina (anamorfa: *Pezicula cinamomea*)	*Tripterigeum wilfordii*	różne związki	antygrzybowe m.in. w stosunku do *Cryptosporiopsis albicans*	Strobel i in., 1999 (47)
Talaromyces flavus	*Sonnertia apetala*	talaroperoides AD	antygrzybowe	Li i in., 2011 (30)
Pestalotiopsis microspora	*Terminalia* spp.	pestacin, isopestacin	antydrobnoustrojowe, antyoksydacyjne	Harper i in., 2003 (20)
Botrytis sp.	korzenie powietrzne *Ficus benghalensis*	amylaza, lakaza,alkaloidy, flawonoidy, saponiny, steroidy, terpenoidy	hamująco na *E. coli* i *Klebsiella*	Senthilmurugan i in., 2013 (40)
Phomopsis phaseoli	Liście drzew tropikalnych	3-hydroxypropionic acid	nicieniobójcze	Schwarz i in., 2004 (39)

Acremonium zeae	*Zea maidis*	alkaloidy	*Aspergillus flavus, Fusarium verticillioides*	Webber, 1981 (53)
Nodulisporium sp.	*Juniperus cedre*	flawonoidy, steroidy	antybakteryjne *Bacillus megaterium, Microbotryum violaceum, Septoria tritici*	Dai i in., 2006 (9)
Colletotrichum sp.	*Artemisia annua*	steroidy	antygrzybowe *(Phytophthora capsici, Rhizoctonia cerealis, Gaeumanomyces graminis var. tritici, Helminthosporium sativum)*	Lu i in., 2000 (31)
Phomopsis cassiae	*Cassia spectabilis*	terpenoidy	antygrzybowe *(Cladosporium sphaerospermum, C. cladosporioides)*	Silva i in., 2006 (43)
Cytospora sp.	*Conocarpus erecta*	cytosporon (A-E)	antygrzybowe, antybakteryjne, cytotoksyczne	Brady i in., 2000 (7)
Melanconium betulinium	*Betula pendula*	3-hydroxypropionic acid	nicieniobójcze	Schwarz i in., 2004 (39)

Źródło: opracowanie własne

Prawdopodobnie Webber (53) jako pierwszy podał przykład endofitycznego grzyba, *Phomopsis oblonga,* zasiedlającego tkanki wiązów (*Ulmus*) i wykazał jego ochronne działanie przed tzw. holenderską chorobą wiązu, powodowaną przez grzyba *Ceratocystis ulmi. P. oblonga* poprzez produkcję mykotoksyn i alkaloidów ograniczał występowanie wektora patogenu, którym jest chrząszcz (*Physocnemum brevilineum*).

Z kolei Daisy i in. (10) wyizolowali z rośliny *Paullinia paullinioides* endofityczny szczep *Muscodor vitigenus*, wydzielający naftalen, który może być stosowany jako typowy środek przeciw molom. Obiecujące okazały się również wstępne wyniki, które wykazały repelentne działanie naftalenu w stosunku do błonkówki *Cephus cinctus* na pszenicy (10).

Endofity z rodzaju *Neotyphodium* zasiedlające kostrzewy i życicę trwałą syntetyzują peraminę, która jest toksyczna dla szkodników, jednocześnie nie wywiera wpływu na zwierzęta gospodarcze (25).

Grzyby endofityczne znane są również ze swoich właściwości antygrzybowych. Kumar in. (27), zbadali aktywność biologiczną endofitycznych grzybów, takich jak *Dothideomycetes* sp., *Alternaria tenuissima*, *Thielavia subthermophila*, *Alternaria*

sp., *Nigrospora oryzae*, *Colletotrichum truncatum* i *Chaetomium* sp., wyizolowanych z leczniczej rośliny *Tylophora indica*, w stosunku do *Sclerotinia sclerotiorum* i *Fusarium oxysporum*. Gatunki tych grzybów endofitycznych zdecydowanie wykazywały właściwości antygrzybowe, hamując wzrost i rozwój grzybów fitpatogeniczych.

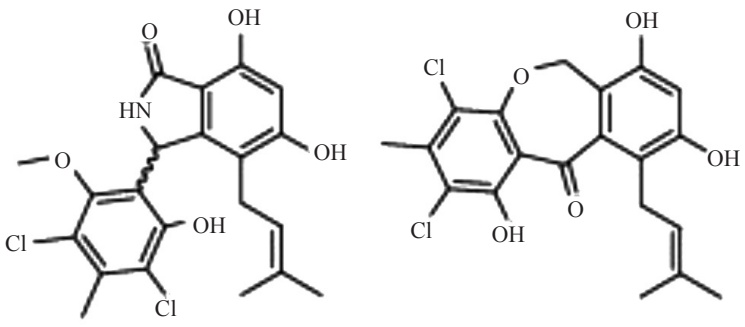
Endofity kolonizujące tkanki roślinne produkują enzymy hydrolizujące ściany komórkowe jak: β-1,3- glukanazy, chitynazy czy celulazy, dzięki którym dostają się do wnętrza tkanek roślin. Enzymy te również bezpośrednio oddziaływają na fitopatogeny degradując ich ściany komórkowe (17). Wiele komercyjnie ważnych enzymów wytwarzanych jest przez mikroorganizmy glebowe. Poszukiwania alternatywnych źródeł tych związków doprowadziły do odkrycia cennych enzymów produkowanych przez endofity (40, 5)

Senthilmurugan i in. (40) wyizolowali endofityczny *Botrytis* sp. z korzeni powietrznych figowca bengalskiego w Indiach. Kultury tego grzyba produkowały enzymy: amylazę i lakazę., które wraz z innymi bioaktywnymi substancjami wydzielanymi przez *Botrytis* sp. takimi jak: alkaloidy, flawonoidy, saponiny, steroidy i terpeny, hamowały *E. coli* i *Klebsiella*.

Grzyby endofityczne, takie jak: *Acremonium terricola*, *Aspergillus japonicas*, *Cladosporium cladosporioides*, *Cladosporium sphaerospermum*, *Fusarium lateritium*, *Monodictys castaneae*, *Nigrospora sphaerica*, *Penicillium aurantiogriseum, Penicillium glandicola, Pestalotiopsis guepinii, Phoma tropica, Phomopsis archeri, Tetraploa aristata, Xylaria sp.* i wiele innych niezidentyfikowanych gatunków izolowanych z *Opuntia ficus-indica* Mill. wykazały obiecujący potencjał wdrożeniowy wytwarzania pektynazy, celulazy, ksylanazy i proteazy (5).

Wtórne produkty metabolizmu mikroorganizmów, które działając wybiórczo w niskich stężeniach wpływają na struktury komórkowe lub procesy metaboliczne innych mikroorganizmów, hamując ich wzrost i podziały to antybiotyki (12).

Dwa nowe antybiotyki, pestalachloride A i B, pozyskane z endofitycznego grzyba *Pestalotiopsis adusta*, wykazały znaczącą bioaktywność wobec trzech fitopatogenów *Fusarium culmorum, Gibberella zeae* i *Verticillium albo atrum*); (rys. 1); (20).

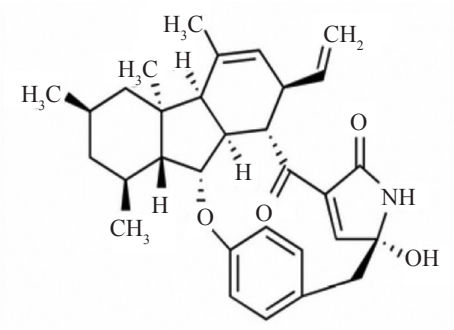


Pestalachloride A Pestalachloride B

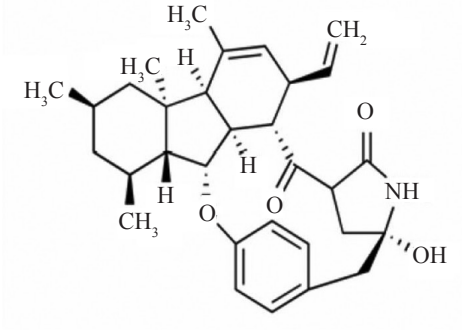
Rys. 1. Struktura chemiczna pestalachloride A i B wyizolowanych z *Pestalotiopsis adusta*

Źródło: Li i in., 2008 (29)

Ponadto, antybiotyki pyrrocidine A i B wytwarzane przez endofit kukurydzy *Acremonium zeae* wykazały aktywność przeciwko groźnym patogenom kukurydzy *Aspergillus flavus* i *Fusarium verticillioides* (rys. 2).



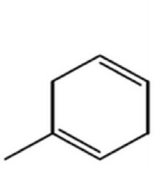
Pyrrocidine A



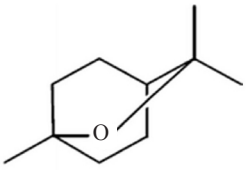
Pyrrocidine B

Rys. 2. Struktura chemiczna pyrrocidine A i B wyizolowanych z *Acremonium zeae*
Źródło: Wicklow i in., 2005 (54)

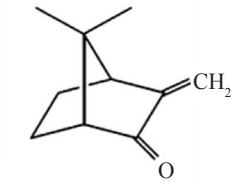
Hypoxylon sp. jest endofitycznym grzybem wyizolowanym z *Persea indica,* który wytwarza imponujące spektrum lotnych związków organicznych, zwłaszcza 1,8-cineole, 1-methyl-1,4-cyclohexadiene oraz wstępnie określone alpha-methylene-alpha-fenchocamphorone i wiele innych, jeszcze niezidentyfikowanych. Związki te wykazują bardzo wysoką bioaktywność wobec *Botrytis cinerea, Phytophthora cinnamomi, Cercospora beticola i Sclerotinia*. Przypuszczalnie, mogą odgrywać pewną rolę w biologii endofitu i mieć wpływ na jego przeżycie w roślinie gospodarzu (rys. 3); (52).



1-methyl-1,4-cyclohexadiene



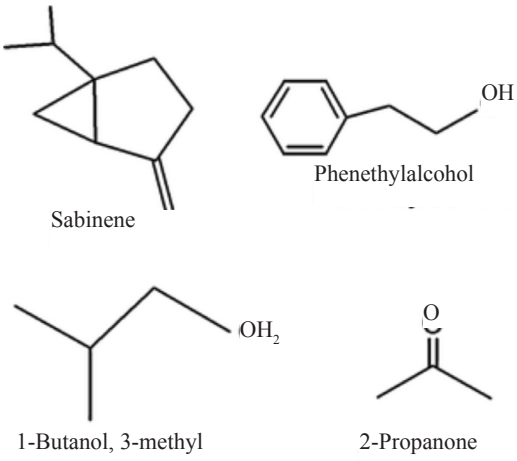
1,8-cineole



(+)-.alpha.-methylene-.alpha.-fenchocamphorone

Rys. 3. Struktura chemiczna wybranych lotnych związków organicznych wyizolowanych z *Hypoxylon* sp.
Źródło: Tomsheck i in., 2010 (52)

Phomopsis sp. szczep (EC-4) wyizolowano jako endofit z *Odontoglossum* sp. (f. *Orchidaceae*) w rezerwacie leśnym w Północnym Ekwadorze. Grzyb ten tworzy unikalną mieszankę lotnych związków organicznych w tym sabinene (monoterpen o zapachu pieprzu) notowany wcześniej tylko u roślin wyższych (rys. 4); (44). Przy pomocy chromatografii gazowej zarejestrowano, że *Phomopsis* sp. (EC-4) wytwarza oprócz sabinene jeszcze inne substancje, takie jak: 1-butanol, 3 methyl, 1-propanol, 2-methyl- i benzenethanol, 2-propanone, które mogą być wykorzystywane do produkcji paliw (44). Badacze dowiedli, że wspomniane związki lotne posiadają również właściwości antygrzybowe wobec szerokiego zakresu fitopatogenów: m.in.: *Pythium, Phytophthora, Sclerotinia, Rhizoctonia, Fusarium, Botrytis, Verticillium* i *Colletotrichum* (44).



Rys. 4. Struktura chemiczna wybranych lotnych związków organicznych wyizolowanych z *Phomopsis* sp. (EC-4)
Źródło: Singh i in., 2011 (44)

Muscodor albus to endofityczny grzyb wyizolowany z małych konarów drzewa cynamonowego *Cinnamomum zeylanicum* (56). Należący do rodziny Xylariaceae (nie zarodnikujący) grzyb wytwarza mieszaninę związków lotnych, dzięki którym skutecznie hamuje a nawet zabija niektóre grzyby i bakterie (49). Większość z tych związków została zidentyfikowana metodą chromatografii gazowej. Następnie sporządzono sztuczną mieszaninę, imitującą antybiotyczny efekt lotnych związków wytwarzanych przez grzyba (49). Każdy z pięciu klas związków lotnych wytwarzanych przez grzyba wykazywał pewne działanie hamujące przeciw grzybom i bakteriom testowym, ale żaden nie był śmiertelny. Jednak wspólnie działały synergicznie, przyczyniając się do śmierci szerokiego spektrum patogenów roślin i ludzi.

Najbardziej skutecznym, hamującym związkiem był octan izoamylu, który wykazał największą bioaktywność. Efekty ekologiczne i potencjalne praktyczne korzyści z „mykofumigacji" *M. albus* są bardzo obiecujące w zastosowaniu rolniczym (48).

Oprócz patogenów i szkodników atakujących uprawy rolnicze, dużym problemem są również nicienie. Ze względu na swoje znaczne zróżnicowanie i zakres roślin żywicielskich, w stosunku do różnych gatunków należy stosować różnorodną ochronę, zarówno chemiczną, jak i biologiczną, co wymaga specjalistycznej wiedzy i nakładów finansowych. Dlatego grzyby endofityczne mogą stanowić alternatywę w ochronie roślin przed tymi organizmami (25).

Shahasi i in. (41) wyizolowali 9 endofitycznych szczepów *F. oxysporum*, które następnie przebadali pod kątem produkcji drugorzędnych metabolitów antagonistycznych w stosunku do *Radopholus similis* w warunkach laboratoryjnych. Wyniki potwierdziły możliwość stosowania endofitycznych szczepów *F. oxysporum* jako potencjalnego środka nicieniobójczego (41).

Z kolei w badaniach Yan i in. (57) wykazano, że spośród 294 izolatów grzybów endofitycznych pozyskanych z sadzonek ogórka, 23 odznaczało się hamującym działaniem w stosunku do nicienia *Meloidogyne incognita* w warunkach szklarniowych. Wśród najskuteczniejszych znalazły się: *Fusarium, Trichoderma, Chaetomium, Acremonium, Paecilomyces i Phyllosticta.* Natomiast *Chaetomium* Ch1001 wykazał największy potencjał jako środek biologiczny do zaprawiania nasion przeciwko *M. incognita*.

Podsumowanie

Z uwagi na korzyści jakie płyną z symbiozy grzybów endofitycznych z roślinami, oraz fakt, iż są one źródłem cennych metabolitów wykazujących aktywność biologiczną wobec różnych fitofagów, cieszą się dużym zainteresowaniem w aspekcie integrowanej ochrony roślin.

Obecnie szacuje się, że każdy z prawie 300 000 istniejących gatunków roślin na świecie jest gospodarzem dla co najmniej jednego szczepu endofitycznego. Wykorzystanie tych mikroorganizmów m.in. na potrzeby integrowanej ochrony roślin wymaga jednak jeszcze wielu lat badań nad skomplikowanymi zależnościami pomiędzy rośliną, endofitem a fitofagiem, ale obserwowany obecnie intensywny rozwój metod badawczych przyczyni się być może do szybszego poznania tych interakcji i oceny możliwości ich zastosowania w praktyce rolniczej.

Literatura

1. Abdalla M.A., Matasyoh J.C.: Endophytes as producers of peptides: an overview about the recently discovered peptides from endophytic microbes. Nat. Prod. Bioprospect., 2014, **4(5)**: 257-70.
2. Aly A.H., Debbab A., Kjer J., Proksch P.: Fungal endophytes from higher plants: a prolific source of phytochemicals and other bioactive natural products. Fungal Divers., 2010, **(41)**: 1-16.
3. Arnold A.E.: Understanding the diversity of foliar fungal endophytes: progress, challenges, and frontiers. Fungal Biol. Rev., 2007, **21**: 51-66.
4. Bacon C.W., White J.F.: Microbial Endophytes. Marcel Deker Inc.,NewYork, 2000.

5. Bezerra J.D.P., Santos M.G.S., Svedese V.M., Lima D.M.M., Fernandes M.J.S., Paiva L.M., Souza-Motta C.M.: Richness of endophytic fungi isolated from *Opuntia ficus-indica* Mill. (*Cactaceae*) and preliminary screening for enzyme production. World J. Microb.Biot., 2012, **28(5)**: 1989.
6. Blankenship J.D., Spiering M.J., Wilkinson H.H., Fannin F.F., Bush L.P., Schardl C.L.: Production of loline alkaloids by the grass endophyte, *Neotyphodium uncinatum*, in defined media. Phytochemistry, 2001, **58**: 395-401.
7. Brady S.F., Singh M.P., Janso J.E., Clardy J.J.: Guanacastepene, a fungal-derived diterpene antibiotic with a new carbon skeleton. J. Am. Chem. Soc., 2000, **122**: 2116-2117.
8. Dai C.C., Yu B.Y., Li X.: Screening of endophytic fungi that promote the growth of *Euphorbia pekinensis*. Afr. J. Biot., 2008, **7**: 3505-3509.
9. Dai J.Q., Krohn K., Flörke U., Draeger S., Schulz B., Kiss-Szikszai A.: Metabolites from the endophytic fungus *Nodulisporium* sp. from *Juniperus cedre*. Eur. J. Org. Chem, 2006: 3498-3506.
10. Daisy B.H., Strobel G.A., Castillo U., Sears J., Weaver D.K., Runyon J.B.: Naphthalene production by *Muscodor vitigenus*, a novel endophytic fungus. Microbiology, 2002, **148**: 3737-3741.
11. De Bary A.: Morphologie und Physiologie Pilze, Flechten, und myxomyceten. Hofmeister's Handbook of Physiological Botany, Leipzig, 1866, Vol. 2.
12. Demain A.L.: Industrial microbiology. Science, 1981, **214**: 987-994.
13. Dudeja S.S., Giri R., Saini R., Suneja-Madan P., Kothe E.: Interaction of endophytic microbes with legumes. J. Basic Microb., 2012, **52**: 248-260.
14. Dutta D., Puzari K. C., Gogoi R., Dutta P.: Endophytes: Exploitation as a tool in plant protection. Braz. Arch. Biol. Technol., 2014, **57(5)**: 621-629.
15. Gamboa M.A., Laureano S., Bayman P.: Measuring diversity of endophytic fungi in leaf fragments: does size. matter? Mycopathologia, 2002, **156**: 41-45.
16. Gao F., Dai Ch., Liu X.: Mechanisms of fungal endophytes in plant protection against pathogens. Afr. J. Microb. Res., 2010, **4(13)**: 1346-1351.
17. Gao R., Gao C., Tian X., Yu X., Di X., Xiao H., Zhang X: Insecticidal activity of deoxypodophyllotoxin, isolated from *Juniperus sabina* L, and related lignans against larvae of *Oieris rapae* L. Pest. Manag. Sci., 2004, **60(11)**: 1131-1136
18. Gimenez C., Cabrera R., Reina M. Gonzalez-Coloma A.: Fungal endophytes and their role in plant protection. Curr. Org. Chem., 2007, **11**: 707-720.
19. Gunatilaka A. A. L.: Natural products from plant associated microorganisms: distribution, structural diversity, bioactivity, and implications of their occurrence. J. Nat. Prod., 2006, **69**: 509-526.
20. Harper J. K., Ford E. J., Strobel G. A., Arif A., Grant D. M., Porco J., Tomer D. P., Oneill K.: Pestacin: a 1,3-dihydro isobenzofuran from *Pestalotiopsis microspora* possessing antioxidant and antimycotic activities. Tetrahedron, 2003, **59**: 2471-2476.
21. Hartley S.E., Gange A.C.: Impacts of plant symbiotic fungi on insect herbivores: Mutualism in a multitrophic context. Ann. Rev. Entomol., 2009, **54**: 323-342.
22. Higgins K.L., Arnold A.E., Miadlikowska J., Sarvate S.D., Lutzoni F.: Phylogenetic relationships, host affinity, and geographic structure of boreal and arctic endophytes from three major plant lineages. Mol. Phylogenet. Evol., 2007, **42**: 543-555.
23. Jeewon R., Liew E.C.Y., Hyde K.D.: Phylogenetic evaluation of species nomenclature of *Pestalotiopsis* in relation to host association. Fungal Diversity, 2004, **17**: 39-55.
24. Klama J.: Współżycie endofitów bakteryjnych z roślinami (artykuł przeglądowy). Acta Scient. Pol., Agric., 2004, **3(1)**: 19-28.
25. Koczwara K., Pańka D., Lisiecki K., Juda M.: Możliwość wykorzystania endofitów w biologicznej ochronie roślin = The possibility of use of endophytes in biological plant protection. J. Education, Health and Sport., 2015, **5(6)**: 333-340.

26. Kogel K.H., Franken P., Hückelhoven R.: Endophyte or parasite – what decides? Curr. Opin. Plant. Biol., 2006, **9**: 358-363.
27. Kumar S., Kaushik N., Edrada-Ebel R., Ebel R., Proksch P.: Isolation, characterization, and bioactivity of endophytic fungi of *Tylophora indica*. World J. Microb. Biot., 2011, **27(3)**: 571-577.
28. Lewis G.C.: Effects of biotic and abiotic stress on the growth of three genotypes of *Lolium perenne* with and without infection by the fungal endophyte *Neotyphodium lolii*. Ann. Appl. Biol., 2004, **144**: 53-63.
29. Li E.W., Jiang L.H., Guo L.D,, Zhang H, Che Y.S.: Pestalachlorides A-C, antifungal metabolites from the plant endophytic fungus *Pestalotiopsis adusta*. Bioorg. Med. Chem., 2008, **16**: 7894-7899.
30. Li H., Haang H., Saho C., Huang H., Jiang J., Zhu X.: Cytotoxic norsesquiterpene peroxides from endophytic fungus *Talaromyces flavus* isolated from mangrove plant *Sonneralia apetala*. J. Nat. Prod., 2011, **74(8)**: 1230-1235.
31. Lu H., Zou W.X., Meng J.C., Hu J., Tan R.X.: New bioactive metabolites produced by *Colletotrichum* sp., an endophytic fungus in *Artemisia annua.* Plant Sci., 2000, **151**: 67-73.
32. Malinowski D.P., Zuo H., Belesky D.P, Alloush G.A.: Evidence for copper binding by extracellular root exudates of tall fescue but not perennial ryegrass infected with *Neotyphodium* spp. endophytes. Plant Soil, 2004, **267**: 1-12.
33. Murali T.S., Suryanarayanan T.S., Geeta R.: Endophytic *Phomopsis* species: host range and implications for diversity estimates. Can. J. Microb., 2006, **52**: 673-680.
34. Pandey A.K., Reddy M.S., Suryanarayanan T.S.: ITS-RFLP and ITS sequence analysis of a foliar endophytic *Phyllosticta* from different tropical trees. Mycol. Res., 2003, **107:** 439-444.
35. Rodriguez R.J., White Jr. J.F., Arnold A.E., Redman R.S.: Fungal endophytes: diversity and functional roles, New Phytologist, 2009, **182(2)**: 314-330.
36. Rungjindamai N., Pinruan U., Choeyklin R., Hattori T., Jones E.B.G.: Molecular characterization of basidiomycetous endophytes isolated from leaves, rachis and petioles of the oil palm, *Elaeis guineensis*, in Thailand. Fungal Divers., 2008, **33**: 139-161.
37. Saikkonen K., Faeth S.H., Helander M., Sullivan T.J.: Fungal endophytes: a continuum of interactions with host plants. Ann. Rev. Ecol. Syst. 1998, **29**: 319-343.
38. Schulz B., Boyle C.: The endophytic continuum. Mycol. Res., 2005, **109**: 661-687.
39. Schwarz M., Kopcke B., Weber R.W.S., Sterner O., Anke H.: 3-Hydroxypropionic acid as a nematicidal principle in endophytic fungi. Phytochemistry, 2004, **65**: 2239-2245.
40. Senthilmurugan V.G., Sekar R., Kuru S., Balamurugan S.: Phytochemical screening, enzyme and antibacterial activity analysis of endophytic fungi *Botrytis* sp. isolated from *Ficus benghalensis* (L.). Int. J. Pharm. Res. Biol. Sci. 2013: **2(4)**: 264-273.
41. Shahasi A., Dubois Y., Viljoen A., Nico L., Ragama P., Niere B.: *In vitro* antagonism of endophytic *Fusarium oxysporum* isolates against the burrowing nematode *Radopholus similis*. Nematology, 2006, **8(4)**: 627-636.
42. Sieber T.J.: Endophytic fungi in forest trees: are they mutualists? Fungal Biol. Rev., 2007, **21**: 75-89.
43. Silva G.H., Teles H.L., Zanardi L.M.: Cadinane sesquiterpenoids of *Phomopsis cassiae*, an endophytic fungus associated with *Cassia spectabilis* (Leguminosae). Phytochemistry, 2006, **67**: 1964-1969.
44. Singh S.K., Strobel G.A., Knighton B., Geary B., Sears J., Ezra D.: An endophytic *Phomopsis* sp. possessing bioactivity and fuel potential with its volatile organic compounds. Microb. Ecol., 2011, **61**: 729-739.
45. Spiering M.J., Davies E., Tapper B.A., Schmid J., Lane G.A.: Simplified extraction of ergovaline and peramine for analysis of tissue distribution in endophyte-infected grass tillers. J. Agric. Food Chem., 2002, **50**:5856-5862.

46. Stone J. K., Bacon C. W., White Jr J. F.: An overview of endophytic microbes: endophytism defined in microbial endophytes, ed. by C.W. Bacon, J.F. White Jr. Marcel Dekker, Inc, New York, 2000: 3-29.
47. Strobel G. A., Miller R.V., Martinez-Miller C., Condron M.M., Teplow D.B., Hess W.M. Cryptocandin a potent and antimycotic from the endophytic fungus *Cryptosporiopsis* cf. *quercina.* Microbiology, 1999, **145**: 1919-1926.
48. Strobel G.A.: Endophytes as sources of bioactive products. Microbes Infect., 2003, **5**: 535-544.
49. Strobel G.A., Dirkse E., Sears J., Markworth C.: Volatile antimicrobials from *Muscodor albus*, a novel endophytic fungus. Microbiology, 2001, **147(11)**: 2943-50.
50. Sun X., Guo L.D., Hyde K.D.: Community composition of endophytic fungi in *Acer truncatum* and their role in decomposition. Fungal Diversity, 2011, **47**: 85-95.
51. Suryanarayanan T.S., Thirunavukkarasu N., Govindarajulu M.B., Sasse F., Jansen R., Murali T.S.: Fungal endophytes and bioprospecting. Fungal Biol. Rev., 2009, **23**: 9-19.
52. Tomsheck A. R., Strobel G.A., Booth E., Geary B., Spakowicz D., Knighton B., Floerchinger C., Sears J., Liarzi O., Ezra D.: *Hypoxylon* sp., an endophyte of *Persea indica*, producing 1,8-cineole and other bioactive volatiles with fuel potential. Microb. Ecol., 2010, **60(4)**: 903-914.
53. Webber J.F.: A natural control of Dutch elm disease. Nature, 1981, **292**: 449-451.
54. Wicklow D.T., Roth S,, Deyrup S.T., Gloer J.B.: A protective endophyte of maize: *Acremonium zeae* antibiotics inhibitory to *Aspergillus flavus* and *Fusarium verticillioides*. Mycological Research, 2005, **109(5)**: 610-618.
55. Wilson D.: Endophyte-the evolution of a term, a clarification of its use and definition. Oikos, 1995, **73**: 274-276.
56. Worapong, J., Strobel G.A., Ford E.J., Li J.Y., Baird G., Hess W.M.: *Muscodor albus* gen. et sp. nov., an endophyte from *Cinnamomum zeylanicum*. Mycotaxon, 2001,**79**: 67-79.
57. Yan X., Sikora R.A., Zheng J. : Potential use of Cucumber (*Cucumis sativus* L.) Endophytic Fungi as Seed Treatment Agents against Root-Knot Nematode *Meloidogyne incognita*. J. Zhejiang Univ.- Sc. B, 2011, **12.3**: 219-225.
58. Zhang H.W., Song Y.C., Tan R.X.: Biology and chemistry of endophytes. Nat. Pro. Rep., 2006, **23**: 753-771.

Adres do korespondencji:

dr Barbara Abramczyk
Zakład Mikrobiologii Rolniczej
IUNG-PIB, Puławy
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy,
tel. 81 4786 960,
e-mail: babramczyk@iung.pulawy.pl

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

1. *Wybrane aspekty agrochemicznych badań gleby.* Puławy, 2006.

2. *Zasady wprowadzania nawozów do obrotu.* Puławy, 2006.

3. *Regionalne zróżnicowanie produkcji rolniczej w Polsce*. Puławy, 2006.

4. *Monitoring skutków środowiskowych planu rozwoju obszarów wiejskich.* Puławy, 2007.

5. *Sprawdzenie przydatności wskaźników do oceny zrównoważonego gospodarowania zasobami środowiska rolniczego w wybranych gospodarstwach, gminach i województwach.* Puławy, 2007.

6. *Możliwości rozwoju rolnictwa ekologicznego w Polsce.* Puławy, 2007.

7. *Współczesne uwarunkowania organizacji produkcji w gospodarstwach rolniczych.* Puławy, 2007.

8. *Efektywne i bezpieczne metody regulacji zachwaszczenia, nawożenia i uprawy roli.* Puławy, 2007.

9. *Wybrane elementy technologii produkcji roślinnej.* Puławy, 2007.

10. *Problem erozji gleb w procesie przemian strukturalnych na obszarach wiejskich.* Puławy, 2008.

11. *Uprawa roślin energetycznych a wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce.* Puławy, 2008.

12. *Wybrane zagadnienia systemów informacji przestrzennej i obszarów problemowych rolnictwa w Polsce*. Puławy, 2008.

13. *Tworzenie postępu biologicznego w hodowli tytoniu i chmielu.* Puławy, 2008.

14. *Kierunki zmian w produkcji roślinnej w Polsce do roku 2020.* Puławy, 2009.

15. *Wybrane elementy regionalnego zróżnicowania rolnictwa w Polsce.* Puławy, 2009.

16. *Systemy wspomagania decyzji w zrównoważonej produkcji roślinnej.* Puławy, 2009.

17. *Stan i kierunki zmian w produkcji rolniczej (wybrane zagadnienia).* Puławy, 2009.

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.

36(10). *Zmiany w technologiach produkcji roślinnej – oceny i wpływ na środowisko rolnicze.* Puławy, 2014.

37(11). *Dobre praktyki w nawożeniu.* Puławy, 2014.

38(12). *Jakość informacji w systemach wspomagania decyzji.* Puławy, 2014.

39(13). *Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii pochodzenia rolniczego i ich wpływ na środowisko.* Puławy, 2014.

40(14). *Wybrane problemy rolnictwa polskiego z uwzględnieniem stanu jego zrównoważenia.* Puławy, 2014.

41(15). *Technologie produkcji zbóż i roślin pastewnych warunkujące wysoki plon i dobrą jakość.* Puławy, 2014.

42(16). *Podstawy nowoczesnego doradztwa nawozowego w Polsce.* Puławy, 2015.

43(17). *Wybrane problemy produkcji rolniczej z uwzględnieniem aspektu dóbr publicznych.* Puławy, 2015.

44(18). *Wybrane zagadnienia produkcji roślinnej w Polsce.* Puławy, 2015.

45(19). *Kształtowanie żyzności gleby*. Puławy, 2015.

46(20). *Wybrane zagadnienia związane z ochroną gleb przed degradacją*. Puławy, 2015.

47(1). *Problemy produkcji rolniczej w Polsce w kontekście ich oddziaływania na środowisko.* Puławy, 2016.

48(2). *Innowacje w nawożeniu.* Puławy, 2016.

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