



Pola doświadczalne w Małyszynie
Fot. Gabriela Wodzyńska-Lapińska

BIULETYN
INSTYTUTU HODOWLI
I AKLIMATYZACJI ROŚLIN
Nr 256/2010



Pola doświadczalne w Małyszynie. Fot. Gabriela Wodzyńska-Łapińska

RADZIKÓW 2010
INSTYTUT HODOWLI I AKLIMATYZACJI ROŚLIN
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY — RADZIKÓW
05-870 BŁONIE pod WARSZAWĄ

INSTYTUT HODOWLI I AKLIMATYZACJI ROŚLIN
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

Dyrektor: Prof. dr hab. Edward Arseniuk

Komitet Redakcyjny:

Editorial Committee:

HENRYK J. CZEMBOR (Przewodniczący — Editor-in Chief),
DANUTA BOROS, WIESŁAW MĄDRY, WOJCIECH NOWACKI,
STANISŁAWA ROZTROPOWICZ-SZKUBEL, BARBARA ZAGDAŃSKA,
GABRIELA WODZYŃSKA-ŁAPIŃSKA (Sekretarz Redakcji — Editorial Secretary)

CZASOPISMO UKAZUJE SIĘ OD 1951 ROKU

Redaktor techniczny i skład komputerowy
GABRIELA WODZYŃSKA-ŁAPIŃSKA

Druk: PWR Sp. z o.o

ANDRZEJ ANIOŁ

Zakład Biochemii i Fizjologii Roślin

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Radzików

Wpływ biotechnologii i procesów globalizacji w gospodarce na hodowlę roślin i wspierające ten sektor badania naukowe

The impact of biotechnology and globalization processes on plant breeding and its R&D component

Na tle spektakularnych osiągnięć hodowli roślin w drugiej połowie ubiegłego wieku, których kulminacją była zielona rewolucja, przedstawiono oddziaływanie na sektor hodowlano-nasienny wraz z jego zapleczem badawczym dwóch nowych czynników jakimi są: nowe metody biologii molekularnej związane z biotechnologią oraz procesy globalizacji w gospodarce. Omówiono wpływ tych czynników na finansowanie badań i prac hodowlanych, strukturę przedsiębiorstw nasiennych oraz przepływ informacji naukowej i materiałów wyjściowych do hodowli między placówkami badawczymi i sektorem hodowlano-nasiennym

Słowa kluczowe: agrobiotechnologia, finansowanie badań i hodowli, konsolidacja firm, konwencja UPOV, patenty, własność intelektualna

The influence of biotechnology and globalization processes on plant breeding sector and its R&D component is discussed on the background of spectacular achievements of plant breeding during the second half of XX century, symbolized by green revolution. The impact of the above factors on plant breeding methodology and relations between science and plant breeding is described. The importance of biotechnology and of dominance of private funds in plant breeding and research for the structure of plant breeding businesses and information exchange and availability of pre-breeding materials is discussed.

Key words: agrobiotechnology, financing of plant breeding programs and research, intellectual property, merging of plant breeding businesses, patents, UPOV convention

I. CZYNNIKI GLOBALIZACJI GOSPODARKI WPŁYWAJĄCE NA HODOWLĘ ROŚLIN

1. Czy konieczna jest intensyfikacja i wzrost produkcji żywności?

Hodowla roślin związana z ich udomowieniem i uprawą odegrała istotną rolę w powstaniu i rozwoju rolnictwa. Wzrost wydajności w produkcji żywności powodował, że coraz większy segment społeczeństwa mógł wykorzystywać swą energię i pomysłowość na inne działania niż zdobywanie żywności. I w tym sensie decydował o rozwoju

cywilizacji. Im mniej ludzi potrzeba do wytworzenia dostatecznej ilości żywności, tym szybszy może być rozwój cywilizacyjny i mniejsze ryzyko niepokojów społecznych, które zawsze towarzyszą głodowi (Crossie i in., 2006).

Techniki i procesy produkcji w rolnictwie w różnych epokach historycznych były kształtowane przez dwa dominujące czynniki: poziom wiedzy przyrodniczej i możliwości techniczne oraz strukturę społeczną i stopień zamożności ludności pozarolniczej. Oba te czynniki i tym samym i system rolniczy ulegały bardzo powolnym zmianom do czasów nowożytnych, kiedy to efekty rewolucji przemysłowej i burzliwego rozwoju nauk przyrodniczych znalazły również odzwierciedlenie w zmianach w systemie produkcji w rolnictwie.

Powstała w Anglii w XVIII wieku teoria, opracowana przez pastora Tomasza Malthusa zakładająca, że liczebność populacji rośnie w postępie geometrycznym, a zasoby żywności, co najwyżej w postępie arytmetycznym, uzasadniała nieuchronność głodu i tym samym walki o byt. W oparciu o tę teorię Darwin sformułował fundamentalną do dziś w biologii teorię ewolucji organizmów żywych, według której głównym mechanizmem ewolucji biologicznej jest selekcja, polegająca na przeżywaniu i wydawaniu potomstwa w każdym kolejnym pokoleniu przez osobniki najlepiej przystosowane do danych warunków środowiska.

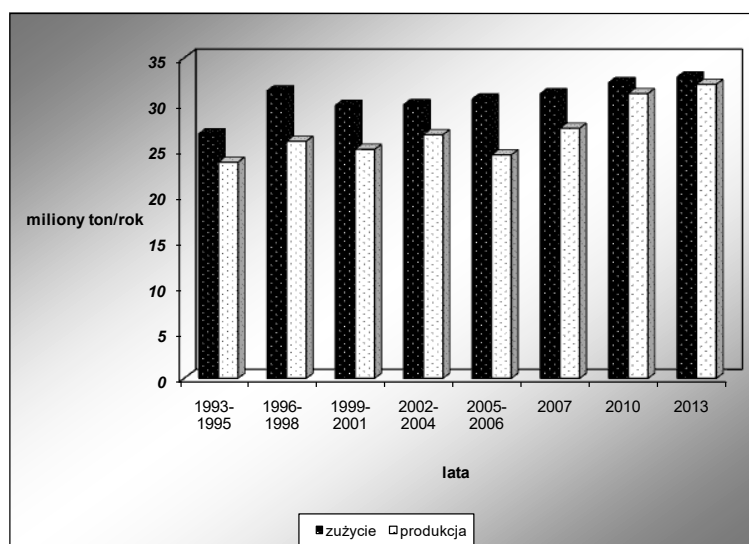
Jednak historia gospodarcza Europy i Ameryki ostatnich dwustu lat zdaje się dowodzić, że teoria Malthusa nie jest prawdziwa, przynajmniej w odniesieniu do ludzi — wzrost produkcji żywności był proporcjonalny do wzrostu populacji, a w pewnych okresach i krajach nawet był istotnie wyższy (Pinstrup-Andersen i in., 1999). Dzięki rozwojowi nauk przyrodniczych i rolniczych udawało się w krajach rozwiniętych wymknąć z tzw. pułapki Malthusa.

Począwszy od lat 50. XX wieku dzięki dopływowi energii spoza rolnictwa (mechaniczna uprawa, nawożenie, chemiczna walka z chorobami i chwastami, nawadnianie) oraz zastosowaniu genetyki w nowoczesnej hodowli roślin rolniczych nastąpił znaczny wzrost wydajności produkcji rolniczej zwany często „zieloną rewolucją”. Dzięki tym procesom udało się utrzymać wzrost produkcji żywności zaspakajający, a nawet niekiedy wyprzedzający wzrost liczebności populacji, zwiększającej się w tempie 1,8% rocznie w skali globu (Borlaug, 2000). Skalę osiągnięć można zilustrować następująco: gdyby wydajność z 1 ha „zamrozić” na poziomie plonów z 1961 roku, wówczas wyprodukowanie żywności wystarczającej do wykarmienia 6 miliardowej populacji z 2000 roku wymagałoby dodatkowych 850 mln ha dobrej ziemi ornej, której po prostu nie ma. Jednak osiągnięcia „zielonej rewolucji” mają swoją cenę. Wielu ekspertów skłania się do wniosku, że dalszy wzrost wydajności produkcji na tej drodze nie jest możliwy, a w niektórych krajach Europy Zachodniej postulowane jest zmniejszenie dotychczas stosowanych nakładów na produkcję.

Rozpowszechniane w mediach przekonanie o nadprodukcji żywności potwierdza fakt interwencji państw na rynkach produktów rolnych, która to interwencja pochłania znaczne kwoty z budżetów poszczególnych krajów europejskich, jak i budżetu UE. Mimo nadwyżek w produkcji zbóż w niektórych krajach UE lub zrównoważenia produkcji ze zużyciem jak np. w Polsce (rys. 1) ogólny bilans produkcji roślinnej w Europie jest

zdecydowanie ujemny, jeśli uwzględnić import ponad 30 mln ton śruty sojowej rocznie, w tym około 2 mln ton do Polski. Zaowocowało to osiągnięciem samowystarczalności w produkcji zbóż na początku lat 80. ubiegłego wieku przez kraje dawnej 15 UE, a w następnych latach do produkcji nadwyżek, obecnie sięgających 117% zapotrzebowania na zboża. Nadwyżki te nie rekompensują jednak znacznego deficytu w produkcji roślinnego białka paszowego, produkcja w krajach UE pokrywa zaledwie 22% przemysłu paszowego.

Tymczasem dane FAO wskazują, że „zielona rewolucja” pozwoliła tylko na ograniczone w czasie „wymknięcie” się z maltuzjańskiej pułapki (Conoway, 1999). Prognozy przewidują dalszy wzrost populacji o około 2 miliardy do roku 2040. Wyżywienie takiej populacji wymaga wzrostu produkcji ziarna zbóż o prawie 40% i wzrost ten jest praktycznie możliwy tylko poprzez wzrost plonów, ponieważ rezerwy ziemi ornej są bardzo ograniczone. Dalsza ekspansja rolnictwa mogłaby się dokonać tylko kosztem lasów, w tym tropikalnych. Jest to scenariusz nie do zaakceptowania. Jednak trudno będzie znaleźć rząd, który zgodzi się na wprowadzenie reżimów ochrony środowiska kosztem biedy i niedożywienia własnego społeczeństwa. Wyzwania, jakie stawia wiek XXI przed producentami żywności, wynikają ze wzrostu globalnej populacji z 6 miliardów w 1999 roku do 9 miliardów ludzi w 2050 roku, z tego 90% w 2050 roku będzie zamieszkiwało kraje rozwijającego się południa, w tym ponad połowa będzie żyła w miastach przy jednoczesnym zmniejszaniu się ilość ziemi ornej jaka przypada na mieszkańca z 0,45 ha w 1966 roku do 0,25 ha w 1998 i przewidywanego 0,15 ha w 2050 roku (Matson, Kon, 2006).



Źródło: Opracowanie na podstawie danych publikowanych w Analizach Rynkowych IERiGŻ. (doc. dr hab. Jadwiga Seremak-Bulge, dr inż. Ewa Rosiak, prof. dr hab. Roman Urban IERiGŻ-PIB, Warszawa); According to the published in „Analizy Rynkowe IERiGŻ”

Rys. 1. Produkcja i zużycie zbóż w Polsce
Fig. 1. Production and consumption of cereal grains in Poland

Nadzieja na odpowiedni do wzrostu populacji wzrost produkcji żywności tkwi we wzroście wydajności z jednostki powierzchni (Prakash, 2001), osiągniany dzięki lepszemu wykorzystaniu potencjału biologicznego, a więc postępów w hodowli wydajnych odmian roślin uprawnych. Osiągnięcia i perspektywy inżynierii genetycznej otwierają takie możliwości. A są one duże; szacuje się, że różnica między tzw. plonem potencjalnym obecnych odmian roślin uprawnych tzn. uzyskiwanym w optymalnych warunkach środowiska a plonem realnym obniżanym przez choroby, szkodniki, niekorzystne warunki klimatyczne (susza, mróz) sięga 70% (tab. 1). Nowe metody hodowli roślin, wykorzystujące osiągnięcia biologii molekularnej, mogą umożliwić uzyskanie odmian znacząco odporniejszych na te stresy (Trewavas, 2001).

Tabela 1

Wpływ stresów abiotycznych na plony
The effect of biotic and abiotic stresses on yield

Roślina Crop	Plon (q/ha) Yield		Średnie straty (q/ha) Average yield losses		Średnie straty w % plonu rekordowego Average yield losses in per cent of record yield
	rekordowy record	średni average	stresy biotyczne biotic stresses	stresy abiotyczne abiotic stresses	
Kukurydza Maize	193,0	46,0	19,5	12,7	65,8
Pszenica Wheat	148,0	18,8	7,26	11,9	82,1
Owies Oats	106,0	17,2	9,24	7,96	75,1
Jęczmień Barley	114,0	20,5	7,65	8,59	75,4
Ziemniaki Potato	941,0	283,0	177,75	509,0	54,1
Buraki cukrowe Sugar beets	1210,0	426,0	174,0	613	50,7

Za: Acevedo E., E. Fereras. 1993

2. SKUTKI EKONOMICZNE I SPOŁECZNE ROZWOJU INTENSYWNEGO ROLNICTWA

Procesy intensyfikacji produkcji w rolnictwie nabrały tempa po I. Wojnie Światowej w USA, a w Europie po II. Wojnie Światowej i trwają do dziś. Nowe technologie wprowadzone do rolnictwa doprowadziły do gruntownych zmian w organizacji, sposobie produkcji i strukturze agrarnej wsi. Najważniejsze zmiany dotyczą zatrudnienia, cen produktów rolnych i struktury zbytu.

— Zatrudnienie

Zmiany ilustrują dane dla 15 krajów (starej) UE: 100 lat temu w tych krajach ponad 50% ludności zawodowo czynnej było zatrudnione w rolnictwie, obecnie jest to poniżej 7%, z czego tylko 25% czerpie dochody wyłącznie z działalności rolniczej. Przy czym, należy pamiętać, że są to wartości średnie, procesy te przebiegały i przebiegają w różnym tempie w różnych krajach w zależności od wielu uwarunkowań historycznych przyrodniczych i ekonomicznych, np. w Wielkiej Brytanii wskaźnik ten wynosi poniżej 1%, a w Grecji około 20%.

— Ceny płacone producentom rolnym ciągle spadają: w ciągu 10-lecia 1990–2000 w krajach Unii Europejskiej średnio spadły o 30% (3% rocznie). Spadki te są różne w zależności od produktu i wyniosły około 50% w przypadku żywca wieprzowego, a w przypadku drobiu tylko 15%. Równocześnie maleje udział ceny producenta w ogólnym koszcie w sprzedaży detalicznej, np. w Niemczech w 1975 roku 60% ceny detalicznej mleka trafiało do producenta, a 20 lat później w 1995 roku już tylko 46%; w przypadku mięsa wskaźnik ten spadł odpowiednio z 51% do 30%. W USA, zaledwie 10 centów z każdego dolara wydanego na żywność trafia do farmera.

— Koncentracja przetwórstwa i sieci dystrybucji detalicznej

Sieci super i hipermarketów w coraz większym stopniu dominują w handlu detalicznym produktów rolnych i tym samym w znacznym stopniu wpływają na ceny i wymagania jakościowe surowców produkowanych w rolnictwie. Proces ten przebiega jednak bardzo różnie w poszczególnych krajach UE, i tak w Skandynawii ponad 90% handlu detalicznego żywnością znajduje się we władaniu 5. sieci supermarketów, podczas gdy w Grecji jest to zaledwie 17% (Anonim 1, 2000).

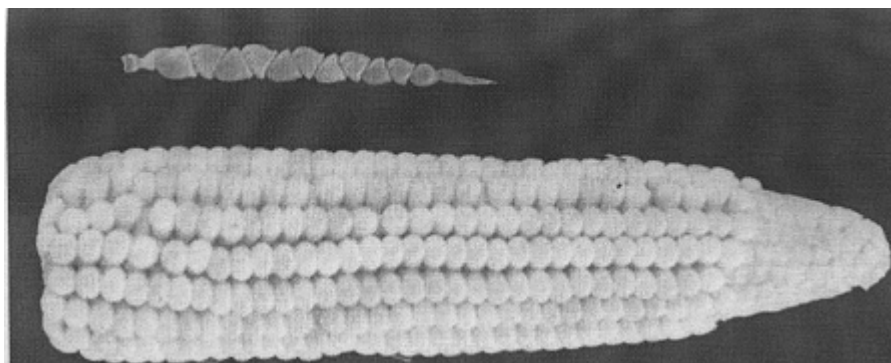
Powyższe uwarunkowania stanowią presję ekonomiczną w kierunku redukcji kosztów produkcji i zwiększania wielkości gospodarstw i w konsekwencji prowadzi to do maksymalnego uproszczenia w systemach produkcji, często, niestety, kosztem dobrych praktyk rolniczych, wynikających z przyrodniczych warunków gospodarowania (płodzin, nawożenia organiczne itp.). Taka sytuacja spowodowała interwencję państw UE w formie subwencji do produkcji, co z kolei jest przedmiotem sporów w ramach GATT i WTO. W krajach UE odpowiedzią na wyzwania rynku w rolnictwie jest Wspólna Polityka Rolna (Common Agricultural Policy = CAP)

3. HODOWLA ROŚLIN WOBEC WYZWAŃ EKONOMICZNYCH I TECHNOLOGICZNYCH XXI WIEKU

„Hodowla roślin jest nauką, rzemiosłem i działalnością gospodarczą, której celem jest przekształcanie roślin w kierunku zaspakajającym potrzeby człowieka” (Crosbie, 2006). Powyższa definicja hodowli roślin zwięźle określa skomplikowany charakter tej działalności. Od zarania rolnictwa aż po czasy nowożytne hodowla roślin była integralną częścią systemu uprawy i polegała na wyborze do wysiewu najdorodniejszych nasion z poprzedniego zbioru, pochodzących z roślin o pożądanym cechach. Zatem hodowla oparta była na selekcji fenotypów wybranych na podstawie oceny wizualnej. W ciągu tysięcy lat, bez znajomości zasad dziedziczenia, posługując się wyłącznie ostrym okiem rolnika wyselekcjonowane zostały główne gatunki uprawne, które stanowią podstawę żywienia ludzi i zwierząt po dziś dzień. Przy czym różnice w systemach uprawy między rolnictwem Starego i Nowego Świata znalazły wyrażne odzwierciedlenie w typie i stopniu zmodyfikowania wytworzonych roślin uprawnych. W rolnictwie Starego Świata dominowała masowa selekcja fenotypów; siew i zbiór przeprowadzano na większych czy mniejszych polach uprawnych traktując uprawiane rośliny jako jednorodny zbiór osobników z których po omłotach wybierano do siewu najdorodniejsze nasiona. W rezultacie formy uprawne, jakkolwiek zmodyfikowane w stosunku do formy dzikiej, zachowały jednak w

ogólnym kształcie pokrój form wyjściowych np. dzikie i prymitywne formy zbóż są na tyle podobne do obecnie uprawianych odmian, że bez trudu można dostrzec ich podobieństwa.

Natomiast, rolnictwo Nowego Świata pozbawione siły pociągowej udomowionych zwierząt, stosowało „ogrodniczy” typ uprawy; rośliny traktowano indywidualnie, plon zbierano przez cały okres wegetacji w miarę dojrzewania. Umożliwiało to selekcję potomstwa indywidualnych roślin i w rezultacie prowadziło do wykształcenia się form uprawnych tak silnie zmodyfikowanych, że znalezienie podobieństwa między nimi i formami wyjściowymi jest bardzo trudne (np. współczesna kukurydza i *teosinte*), (rys. 2).



Fot. E. Nowacki; Photo made by E. Nowacki

Rys. 2. Porównanie kolb współczesnej kukurydzy i jej dzikiego przodka *teosinte*
Fig. 2. The cob of modern maize and its ancestor species *teosinte*

Nowoczesna hodowla roślin jest w porównaniu z poprzednim etapem, działalnością nową, umownie datuje się jej narodziny równolegle z odkryciem przez Mendla praw dziedziczenia, czyli na drugą połowę XIX wieku. Wówczas to w Europie (we Francji w Villmorin i Szwecji w Svalof) powstały specjalne instytucje zajmujące się hodowlą nowych odmian roślin w oparciu o wielowiekowe doświadczenie i wiedzę generowaną przez dynamicznie rozwijające się nauki przyrodnicze. W tym okresie historii hodowli roślin, zarówno badania naukowe, jak i praktyczna hodowla roślin rolniczych była finansowana głównie z funduszy publicznych. Symboliczną kulminacją tych procesów było wprowadzenie do produkcji serii uniwersalnych odmian zbóż, o radykalnie zwiększonym potencjale plonowania w warunkach intensywnej uprawy zwane potocznie „zieloną rewolucją”.

W połowie lat 80. ubiegłego wieku wkroczyliśmy w nową erę rozwoju hodowli roślin, w której dzięki zastosowaniu metod biologii molekularnej, stała się możliwa selekcja na poziomie DNA, czyli selekcja genów w odróżnieniu od dotychczasowej selekcji fenotypów.

Omówione w poprzednim podrozdziale procesy globalizacji w gospodarce oraz włączenie metod biotechnologicznych do hodowli roślin prowadzą do dużych zmian w organizacji i funkcjonowaniu tego sektora, których najważniejsze elementy zostaną poniżej przedstawione.

a. Radykalna zmiana sposobu finansowania

Sukcesy "zielonej rewolucji" i powstające okresowo i regionalnie nadwyżki w produkcji żywności spowodowały ograniczenia w finansowaniu badań rolniczych, w tym i badań na hodowlę, z funduszy publicznych, szczególnie w krajach rozwiniętych i uprzemysłowionych, gdzie nadprodukcja w rolnictwie stała się dokuczliwym problemem dla polityków. Połowa lat 90. stała się cezurą, wtedy nakłady z funduszy prywatnych na badania rolnicze, w tym badania w zakresie hodowli roślin przekroczyły analogiczne nakłady z funduszy publicznych. Ta zmiana sposobu finansowania wiąże się z pojawieniem się metod biotechnologicznych w hodowli roślin, głównie w krajach uprzemysłowionych. W USA w latach 1960–1996 wydatki na hodowlę roślin z funduszy publicznych oscylują wokół tej samej kwoty 200–250 mln dolarów, podczas gdy w tym samym okresie nakłady na badania z funduszy prywatnych rosły od 30 mln w 1960 roku do 550 mln w 1996 roku, i były ponad dwukrotnie wyższe niż nakłady z funduszy publicznych (tab. 2). Natomiast w krajach rozwijających się sytuacja jest odmienna, podobnie jak w krajach rozwiniętych na początku XX wieku: wydatki na badania naukowe w zakresie rolnictwa są prawie o połowę niższe niż w krajach uprzemysłowionych i w ponad 90% pochodzą z funduszy publicznych (tab. 3).

Tabela 2

Struktura nakładów na badania rolnicze w tym R&D hodowli roślin w USA
Financing of agricultural research and plant breeding research in the USA

Rok Year	Źródła finansowania — Origin of resources			
	publiczne — public		prywatne — private	
	badania rolnicze agric. res. mld USD	hodowla roślin plant breeding mln USD	badania rolnicze agric. res. mld USD	hodowla roślin plant breeding mln USD
1960		240		30
1970		250	2,0	100
1980	2,5	200		250
1990	2,5	200		400
1996	2,5	250	4,2	550

Źródło; Source: Morris M. i in. 2006

Tabela 3

Globalne wydatki na badania rolnicze w połowie lat 90. ubiegłego wieku
Global public and private agricultural R&D spending in the middle nineties of XX century

	Wydatki — spendings			Udział (%) % — of total		
	publiczne public	prywatne private	ogółem total	publiczne public	prywatne private	ogółem total
Kraje rozwijające się Developing countries	11,469	672	12,141	94,5	5,5	100,0
Kraje uprzemysłowione Industrialized countries	10,215	10,829	21,044	48,5	51,5	100,0
Razem Total	21,692	11,511	33,204	65,3	34,7	100,0

W jednostkach międzynarodowych — milionach dolarów z 1993 r.; in millions of US dollars

Źródło; Source: P.G. Pardey, N. M. Beintema, 2001. Slow Magic: Agricultural R&D a Century after Mendel. International Ford Policy Research Institute, Washington D.C.

Zmianom w formie finansowania badań i hodowli towarzyszą duże zmiany w strukturze firm hodowlanych w kierunku konsolidacji i koncentracji. Szczególnie wyraźnie tendencja ta przejawia się w gatunkach w których uzyskano odmiany transgeniczne w wyniku zastosowania metod biotechnologicznych. Cztery firmy hodowlane z silnym sektorem biotechnologicznym powiązane z innymi dziedzinami przemysłu, głównie farmaceutycznym i chemicznym w zaledwie kilku latach zdominowały rynek nasion kukurydzy i soi. Dane w tabeli 4 są sprzed 10. lat, należy przypuszczać, że obecnie koncentracja jest jeszcze większa.

Tabela 4

Udział w rynku nasiennym soi i kukurydzy czterech największych firm hodowlanych w USA
The participation of four big seed companies in seed market of maize and soybean in the USA

Gatunek uprawny / Firma Crop / Company	Procentowy udział w rynku Share in the seed market in per cent
Kukurydza — Maize:	69
Pionier Hi-Bred	42
Monsanto	14
Novartis	9
Dow/Mycogen	4
Soja, Soybean	47
Pioneer Hi-Bred	19
Monsanto	19
Novartis	5
Dow/Mycogen	4

Źródło; Source: C. E. Pray, A. Naseem, 2003

b. Wpływ agrobiotechnologii

Agrobiotechnologia otwiera przed hodowcami nowe możliwości tworzenie odmian roślin o właściwościach dotąd nieosiągalnych. Budzi to tyleż nadziei, co i obaw związanych z tak głęboką ingerencją w żywy organizm. Preferowane kierunki działań w tym zakresie to:

- opracowanie nowych metod i technologii w zakresie jakości produkcji roślinnej i kosztów jej wytwarzania,
- zmniejszenie wpływu czynników środowiskowych na rolnictwo,
- produkcja rolnictwa na potrzeby energetyki, przemysłu i medycyny.

Wysokie koszty nowych technik oraz dramatycznie duże koszty związane z restrykcyjnymi regulacjami prawnymi, dopuszczającymi do uprawy odmiany transgeniczne, były i są powodem koncentracji nowoczesnych metod hodowli w wielkich międzynarodowych koncernach, będących jednocześnie wielkimi organizacjami gospodarczymi w innych dziedzinach. Jednak wraz z rozwojem metod molekularnych ich koszty maleją; ilustrują to koszty sekwencjonowania lub syntezy nukleotydu, które zmalały z kilkudziesięciu dolarów w 1990 do kilku w 2003 roku w przypadku sekwencjonowania i z 1 dolara do 11 centów w przypadku syntezy. Daje to nadzieję na dostępność tych metod dla średnich i małych firm hodowlanych. Mimo dużych możliwości lepszego wykorzystania potencjału biologicznego roślin w produkcji żywności i surowców agrobiotechnologia, a szczególnie tworzenie odmian transgenicznych, budzi duże opory społeczne, szczególnie w Europie.

Wydaje się, że przyszłość tej technologii nie jest jeszcze rozstrzygnięta i możliwe są przynajmniej trzy scenariusze:

- 1. dynamiczny rozwój, podobny do rozwoju informatyki w XX wieku, wzrost produkcji żywności, zwiększenie możliwości wyboru metod produkcji,
- 2. kontynuacja *status quo* dynamiczny rozwój agrobiotechnologii w jednych krajach i zakaz stosowania tej technologii w innych,
- 3. marginalizacja znaczenia zielonej biotechnologii (Anonim 2, 2006; Preparing for the Future).

Dyskusja na temat biotechnologii w rolnictwie jest dlatego tak skomplikowana, że jest częścią znacznie szerszej kontrowersji światopoglądowej naszych czasów, której główne elementy to:

- w dotychczasowej tradycji zachodniej cywilizacji — naturalne środowisko jest niedoskonałe i człowiek dzięki swej inwencji pokonuje bariery klimatu i konkurujących organizmów budując cywilizację ułatwiającą mu życie i osiąganie innych celów w tym również ochronę przyrody,
- filozofia postindustrialna traktuje naturę jako doskonały organizm, idealnie przystosowany do osiągania swych celów. Człowiek winien minimalizować swoje oddziaływanie na ten organizm,
- biotechnologia jest emanacją tego pierwszego podejścia do przyrody, natomiast przeciwnicy tej technologii są w większości zwolennikami tego drugiego podejścia.

c. Kształtowanie się systemów ochrony własności intelektualnej w sektorze hodowli roślin

W procesie tym można wyróżnić dwa etapy:

I. Do lat 30. XX wieku:

- finansowanie placówek badań i rozwoju z funduszy publicznych,
- swobodny dostęp do wyników badań i zasobów genowych,
- hodowle prywatne finansowane z dochodów firm nasiennych.

II. Od wprowadzenia odmian mieszańcowych kukurydzy do naszych czasów:

- rosnący udział prywatnego kapitału w finansowaniu badań i rozwoju w zakresie hodowli roślin,
- wprowadzanie formalnych systemów prawnej ochrony własności intelektualnej.

Zmiany w systemach ochrony własności intelektualnej w sektorze hodowlanym są ściśle zależne od udziału kapitału prywatnego w finansowaniu badań i hodowli, jego przewaga w nowoczesnych firmach powoduje, że tworzenie szczelnego systemu egzekwowania IPR = Intellectual Property Rights (Prawo Własności Intelektualnej) staje się najistotniejszym warunkiem opłacalności inwestowania w tę działalność (Delmer i in., 2003). Z tego punktu widzenia wprowadzenie odmian mieszańcowych kukurydzy w latach 30. XX wieku było w istocie zastosowaniem w praktyce biologicznego systemu ochrony własności intelektualnej hodowcy. Metody molekularne w hodowli pozwalają na wprowadzenie innego systemu tego typu tzw. technologii terminatora, która polega na wprowadzeniu do odmiany genów, powodujących sterylność uzyskiwanych w plonie nasion przy zachowaniu niezmiennych parametrów żywieniowych i technologicznych, co zmusza producenta do corocznego zakupu oryginalnych nasion od hodowcy (Anonim

3, 2006). Technika ta, jakkolwiek możliwa do zastosowania, nie jest dotąd wdrożona ze względu na bardzo negatywny odbiór społeczny. Nowe regulacje w zakresie IPR tworzą nową, w stosunku do uregulowań UPOW sytuację, bezpośrednio oddziałującą na hodowlę. Najważniejsze problemy wynikające z prywatyzacji nie tylko hodowli, ale i badań ją wspierających to:

- niedostępność materiałów wyjściowych ze względu na wysokie koszty,
- rozcłonkowanie jednej technologii na szereg etapów oddzielnie patentowanych („golden rice” — 40 patentów). Dla wykorzystania ważny jest nie tyle pojedynczy patent co ich zbiór obejmujący całą technologię, (tzw. FTO = freedom to operate),
- skomplikowana sytuacja prawna,
- powszechne przekonanie, że ochrona patentowa nie obejmuje korzystania w badaniach podstawowych (tzw. experimental use) zostało obalone w rozstrzygnięciu sądu w sprawie *Madey v Duke*.
- patentowanie i ochrona własności intelektualnej ma wpływ na dostęp do zasobów genowych:
 - a, zasoby genowe traktowane jako bogactwo narodowe w centrach pochodzenia i centrach zmienności,
 - b, patentowanie genów i procedur ich wykorzystanie w tworzeniu materiałów wyjściowych.

d. Kształcenie kadr dla hodowli roślin

Pozostaje ważnym zadaniem instytucji publicznych, głównie uniwersytetów. Dane za ubiegłe trzydziestolecie w USA wskazują na tendencję spadkową w ilości absolwentów kończących uczelnie z dyplomem z zakresu hodowli roślin. Między rokiem 1994 a 2001 istotnie zmalała liczba hodowców zatrudnionych w instytucjach publicznych i to we wszystkich specjalnościach takich jak: podstawy hodowli, prace nad zasobami genowymi i hodowlą nowych odmian. W sektorze prywatnym obserwowano podobną tendencję, za wyjątkiem podstaw hodowli. Istotną różnicą między tymi instytucjami był fakt ponad dwukrotnie większego zatrudnienia w zakresie biotechnologii w sektorze prywatnym w porównaniu z publicznym (Coors, 2006). Liczebność hodowców zajmujących się poszczególnymi gatunkami podlegała podobnym wahaniom w obu sektorach: malała liczba hodowców zajmujących się owocami, warzywami i roślinami ozdobnymi, oleistymi i cukrowymi.

PODSUMOWANIE

Przedstawione wyżej procesy w sektorze hodowli i nasiennictwa powodowane globalizacyjnymi tendencjami w gospodarce i dominującym udziałem kapitału prywatnego w badaniach i hodowli skłoniły decydentów po obu stronach Atlantyku do korekty dotychczasowej polityki w zakresie finansowania badań rolniczych. W USA określono następujące priorytety badawcze w zakresie hodowli roślin dla instytucji publicznych:

1. badania podstawowe w zakresie produktywności roślin uprawnych,
2. kształcenie kadr dla hodowli roślin,
3. gromadzenie i utrzymywanie zasobów genowych roślin uprawnych,

4. prace badawcze w zakresie: bioróżnorodności, bezpieczeństwa biologicznego, zrównoważonych systemów produkcji i systemów marketingowych,
5. hodowla nowych odmian gatunków ważnych dla zrównoważonych systemów produkcji rolniczej a jednocześnie mało atrakcyjnych dla inwestorów prywatnych (Anonim 2, 2006).

Również UE określiła wyzwania jakie rozwój rynku stawia przed sektorem nasiennym, sprostanie którym wymaga finansowania ze środków publicznych.

Powyższe działania sugerują, że gwałtowne wycofywanie się państwa z finansowania badań na rzecz hodowli, jakie miało miejsce w ostatnich dekadach XX w., to przeszłość i rola funduszy publicznych będzie ponownie istotna w przyszłości dla hodowli roślin i rolnictwa. Kryzys na rynku artykułów rolnych w 2007 roku, którego objawem był gwałtowny wzrost cen pszenicy, spowodowany przeznaczeniem znacznych ilości ziarna kukurydzy na produkcję biopaliwa w USA wykazał, jak wąski jest przedział między nadprodukcją a niedoborem zbóż na rynku światowym. Ostatni kryzys wskazuje na konieczność dalszego zwiększania produktywności rolnictwa.

LITERATURA

- Acevedo E., Fereras E. 1993. Resistance to abiotic stresses. In: Plant breeding: principles and prospects. Hayward M. D., Bosemark N. O., Romagosa I. (Eds), Chapman & Hall: 406 — 421.
- Anonim.1. 2000. Agriculture toward 2015/30: FAO Raport.
- Anonim 2. 2006. Preparing for the future USDA. Advisory Committee on Biotechnology and 21st Century Agriculture Report, Washington.
- Anonim 3. 2006. Gene switching and GURTs: what, how and why? <http://www.isaaa.org/kc/Publications/htm/pocketks/pocketk21.htm>.
- Anonim 4. 2005. Situation Outlook Cereal, Oilseeds and Protein Crops. CAP 2000 Working Document. European Commission, Directorate General for Agriculture (DGVI).
- Borlaug Norman E. 2000. Ending world hunger: the promise of biotechnology and thread of antiscience zealotry. *Plant Physiol.* 124: 487 — 490.
- Conway G., Toenniessen G. 1999. Feeding the world in the twenty-first century. *Nature* 402: 2 December.
- Coors J. G. 2006. Who are plant breeders. What do they do and why? Lamkey K. R., Lee M. (Eds), *Plant Breeding: The Arnel R. Hallauer International Symposium*. Blackwell Publishing.
- Crosbie T. M. 2006. Plant breeding: past, present and future. K. R. Lamkey M. Lee (Eds), *Plant Breeding: The Arnel R. Hallauer International Symposium* Blackwell Publishing.
- Delmer D. P., Nottenburg C., Graff G. D., Bennett A. B. 2003. Intellectual property resources for international development in agriculture. *Plant Physiology* 133: 1666 — 1670.
- Mattson J. W., Koo W. W. 2006. Forces Reshaping World Agriculture. North Dakota State Univ. Fargo: 1 — 34.
- Morris M., Edmeades G., Pehu E. 2006. The Global Need for Plant Breeding Capacity: What roles for public and private sectors? *HortScience* 41: 30 — 39.
- Pinstrup-Andersen Per, Rajul Pandya-Lorch, Mark Rosegrant W. 1999. World food prospects: critical issues for the early twenty-first century. International Food Policy Research Institute, Washington D. C., October 1999.
- Prakash Ch. S. 2001. The genetically modified crop debate in the context of agricultural evolution. *Plant Physiol.* 126: 8 — 15.
- Pray C. E. Anwar Naseem. 2003. The Economics of Agricultural Biotechnology Research. ESA Working Paper No.03-07.
- Trewavas Anthony J. 2001. The population/biodiversity paradox. Agricultural efficiency to save wilderness. *Plant Physiol.* 125: 174 — 179.

JACEK WAGA

Zakład Roślin Zbożowych

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB w Krakowie

Charakterystyka oraz dziedziczenie białek gliadynowych pszenicy ozimej pochodzącej z Nepalu

Characteristics and inheritance of gliadin proteins in winter wheat genotype coming from Nepal

W pracy przedstawiono charakterystykę kilku specyficznych frakcji białek gliadynowych obserwowanych u pszenicy ozimej pochodzącej z Nepalu. Wykonano kombinacje krzyżowań pomiędzy linią Nepal 1 (zawierającą nowe kombinacje gliadyn), a genotypem wzorcowym KBH 499 (zawierającym frakcje zidentyfikowane). Na podstawie analizy rozszczepienia genów w pokoleniu F₂ opisano cztery bloki białkowe kontrolowane chromosomami: 1B, 1D, 6B i 6D. Oznaczono je symbolami: *Gli B1-7*, *Gli D1-1.3*, *Gli B2-5*, *Gli D2-4* zgodnie z nomenklaturą zastosowaną we wcześniejszych pracach. Nowe bloki białek gliadynowych przedstawione w postaci graficznej zostały wprowadzone do katalogu opracowanego w Zakładzie Roślin Zbożowych IHAR-PIB (ZRZb IHAR-PIB).

Słowa kluczowe: elektroforeza A-PAGE, pszenica, bloki białek gliadynowych, analiza rozszczepienia genów

In the present work a set of specific proteins, observed in winter wheat genotype imported from Nepal, was characterized. F₂ generation coming from the cross combination between wheat line Nepal 1 (containing specific, investigated protein variants) and Polish winter wheat KBH 499 (containing standards of precisely characterized proteins) was obtained. Based on segregation analysis of gliadin genes in hybrid population some new gliadin blocks were identified. They are controlled by the chromosomes 1B, 1D, 6B, 6D and described by the symbols: *Gli B1-7*, *Gli D1-1.3*, *Gli B2-5*, *Gli D2-4*. Novel proteins were plotted and introduced into the existing catalogue of gliadin protein blocks, worked out at the Cereals Department of Plant Breeding and Acclimatization Institute.

Key words: A-PAGE, wheat, gliadin protein blocks, segregant analysis

WSTĘP

Gliadyny stanowią silnie zróżnicowaną grupę białek zapasowych pszenicy warunkowanych przez poligeniczne *loci* na chromosomach 1A, 1B, 1D, 6A, 6B i 6D (*Gli-1* oraz *Gli-2*). Każdy *locus* zbudowany jest z kilkunastu, niekiedy kilku do kilkunastu genów tworzących serie alleli wielokrotnych, kontrolujących syntezę polipeptydów

określanych jako bloki białek gliadynowych (Sozinov i Poperella, 1980; Payne, 1987). W pracach genetycznych bloki są identyfikowane na podstawie obrazów uzyskanych metodą elektroforezy w żelu poliakrylamidowym w środowisku kwaśnym bez form mleczanowo-glinowego (A-PAGE: Acid Polyacrylamide Gel Electrophoresis), a następnie archiwizowane w postaci katalogów. Katalog opracowany przez Metakowskiego obejmuje ponad 100 wariantów białkowych dla chromosomów pierwszej i szóstej grupy homeologicznej (Metakovsky, 1991 a). Biorąc pod uwagę, iż allele białek gliadynowych zlokalizowane na różnych chromosomach dziedziczą się w sposób niezależny, liczba wszystkich możliwych kombinacji sześciu bloków przekracza 300 milionów. Oznacza to, iż na podstawie katalogu Metakowskiego można opisać ponad 300 milionów genotypów pszenicy (Metakovsky i Graybosch, 2006). Tak szeroki zakres zmienności, niezależnej od warunków środowiska, pozwala efektywnie stosować metodę elektroforezy A-PAGE w badaniach genetycznych i hodowlanych. Udowodniony związek niektórych bloków z cechami jakościowymi daje możliwość wykorzystania allelicznych wariantów gliadyn w programach krzyżowań jako markerów wspomagających selekcję korzystnych mieszańców pod względem właściwości technologicznych (Sozinov i Poperella, 1980; Waga i Węgrzyn, 2000).

W ZRZb IHAR-PIB w Krakowie opracowano własną wersję katalogu bloków białek gliadynowych. Jego pierwotnym założeniem była charakterystyka bloków najczęściej obserwowanych wśród polskich odmian i rodów pszenicy (Waga, 2007). Jednakże genotypy wytwarzane w procesie hodowli nowych odmian zawierają niejednokrotnie specyficzne, nie obserwowane wcześniej kombinacje białek. Warunkiem wprowadzenia ich do katalogu jest ściśle zdefiniowanie, które spośród sześciu chromosomów pierwszej i szóstej grupy homeologicznej kontrolują syntezę poszczególnych prążków obrazu elektroforetycznego, oraz które z obserwowanych prążków tworzą bloki białkowe. Uzyskanie tych informacji jest możliwe na podstawie analizy rozszczenia genów w pokoleniu F₂ lub F₃. Komponenty rodzicielskie używane do krzyżowań w ramach badań nad identyfikacją nowych bloków powinny różnić się składem frakcji gliadynowych w taki sposób, aby jeden z nich zawierał prążki możliwie jak najdokładniej poznane, scharakteryzowane i opisane, natomiast drugi - prążki specyficzne, będące przedmiotem analizy. W późniejszych pokoleniach analiza mieszańców, a w szczególności blisko spokrewnionych biotypów, różniących się jedną parą alleli określonego genu, pozwala uściślić obraz białek w obrębie zidentyfikowanych bloków (Metakovsky, 1991 b). Ocena zróżnicowania gliadyn na podstawie analizy porównawczej biotypów pozwala dodatkowo zweryfikować poprawność identyfikacji bloków. Taka procedura jest najbardziej obiektywną i wiarygodną metodą klasyfikacji gliadyn (ICC Standard 143, 1995).

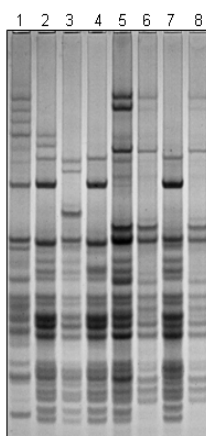
Aktualnie w ZRZb IHAR — PIB realizowane są prace nad rozszerzeniem istniejącego katalogu o frakcje specyficzne obserwowane u starych form pszenicy oraz w populacjach lokalnych pochodzących z innych kontynentów. Formy takie są ważnym źródłem zmienności genetycznej oraz mają szczególne znaczenie w pracach nad oceną i zachowaniem bioróżnorodności (Metakovsky i in., 2000). Analiza lokalnej populacji pszenicy ozimej uprawianej w Nepalu wykazała obecność nietypowych frakcji gliadynowych, których nie obserwowano dotychczas wśród materiałów hodowlanych badanych w Polsce. Celem niniejszej pracy było określenie sposobu dziedziczenia genów warunkujących

syntezę tych specyficznych białek, a także identyfikacja oraz charakterystyka nowych bloków, które zilustrowane w postaci graficznej mogłyby zostać włączone do katalogu utworzonego w trakcie wcześniejszych badań.

MATERIAŁ I METODY

Material roślinny

Materiał do badań uzyskano z Krajowego Centrum Roślinnych Zasobów Genowych IHAR — PIB w Radzikowie. Próbkę ziarniaków pszenicy ozimej z Nepalu poddano wstępnej analizie z wykorzystaniem elektroforezy A-PAGE, która wykazała znaczny stopień polimorfizmu badanej formy (rys. 1 a).



Rys. 1 a. Polimorfizm białek gliadynowych u pszenicy ozimej z Nepalu, obserwowany na podstawie elektroforezy A-PAGE pojedynczych ziarniaków. Linia czysta wytworzona na bazie genotypu przedstawionego w pozycji 7 została użyta w badaniach jako komponent rodzicielski do krzyżowań
Fig. 1 a. Polymorphism of gliadin proteins observed among winter wheat genotype coming from Nepal, based on A-PAGE of individual kernels. Pure line obtained from genotype 7 was used as parental component for cross combinations

Na podstawie uzyskanych obrazów elektroforetycznych wykonano selekcję pojedynczych ziarniaków, które w 2005 roku rozmnożono na poletkach ZRZb IHAR. Z uwagi na wciąż obserwowane zróżnicowanie obrazów elektroforetycznych gliadyn w obrębie wytwarzanych linii, wykonano dwukrotnie reSelekcję pojedynczych. W roku 2007 uzyskano stabilny genetycznie biotyp (określony jako „Nepal 1”) zawierający kombinację prążków oznaczoną numerem 7 (rys. 1 a), który przekrzyżowano z linią KBH 499 wytworzoną w latach wcześniejszych w ramach badań statutowych w ZRZb IHAR-PIB, i charakteryzowaną pod kątem składu frakcji gliadyn. Linia KBH 499, która jest mieszańcem orkisz (odmiana Oberkummler Rotkorn) oraz pszenicy zwyczajnej (ród LAD 480), wykazuje charakterystyczny brak kilku prążków w strefie β -gliadyn. W kontekście analizy rozszczepienia genów jest to cecha ułatwiająca obserwację badanego potomstwa pod

kątem zróżnicowania obrazów elektroforetycznych przez co zwiększa się wiarygodność uzyskiwanych wyników. Wytworzony materiał badawczy: ziarniaki pokolenia F₂ przeznaczono do analiz z wykorzystaniem elektroforezy A-PAGE.

Elektroforeza

Analizy elektroforetyczne w systemie A-PAGE wykonywano zgodnie ze standardową procedurą opracowaną przez Bushuka i Zillmana (1978). Drobne modyfikacje pozwalające dostosować metodykę rozdziału do warunków laboratoryjnych ZRZb IHAR opisano we wcześniejszych pracach (Waga, 2000; Waga i Węgrzyn, 2000). Analizowano połówki ziarniaków F₂ uzyskane z kombinacji KBH 499 × Nepal 1. Białka ekstrahowano z bielma natomiast zarodki pozostawiano w rezerwie. Takie podejście umożliwia wykonanie analizy elektroforetycznej bez utraty cennych genotypów zawierających nietypowe kombinacje białek, co pozwala na ich rozmnożenie z przeznaczeniem do innych badań.

Interpretacja obrazów elektroforetycznych

Prążki elektroforetyczne charakterystyczne dla komponentów rodzicielskich: linii Nepal 1 oraz KBH 499 oznaczono odpowiednio skrótami „Nep” oraz „Sp”, i numerowano cyframi arabskimi zgodnie z rosnącą prędkością migracji białka w żelu (wartość „1” przyjęto dla prążków migrujących najwolniej). Analizując częstotliwość mieszańców zawierających określone grupy prążków używano także skrótów „Nep” oraz „Sp” w połączeniu z kolejnymi numerami rozpatrywanych frakcji.

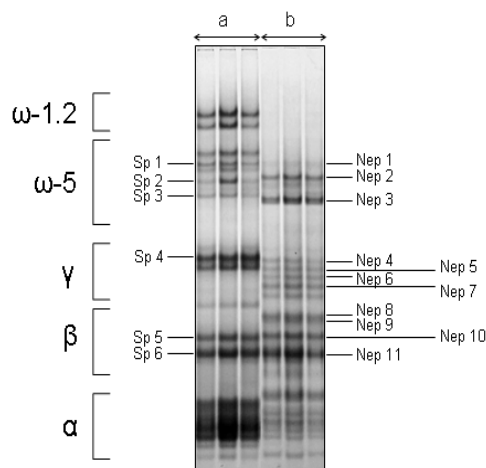
Identyfikacja bloków białek gliadynowych

Obrazy elektroforetyczne mieszańców klasyfikowano przyjmując jako kryterium podziału obecność lub brak określonych prążków elektroforetycznych, dla których założono, iż mogą stanowić jeden blok białkowy. Analizowane genotypy dzielono na grupy osobników homozygotycznych, w których rozpatrywane kombinacje prążków były identyczne jak w liniach Nepal 1 lub KBH 499, oraz osobników heterozygotycznych łączących — zgodnie z teorią dziedziczenia białek zapasowych — prążki obu komponentów rodzicielskich (Sobko i in., 1986). Zgodność obserwowanych liczebności w trzech grupach mieszańców z teoretycznie zakładanym stosunkiem rozszczepień 1:2:1 dla dwóch alleli jednego genu oszacowano na podstawie testu χ^2 . Analizując dwa geny zlokalizowane na różnych chromosomach, reprezentowane przez cztery alleliczne warianty białkowe, założono teoretyczny stosunek rozszczepień 1:2:1:2:4:2:1:2:1 dla modelu dziedziczenia niezależnego.

Celem zilustrowania nowych frakcji białkowych na tle uprzednio skatalogowanych bloków obliczano współczynniki R_m zgodnie z zasadą przedstawioną we wcześniejszej pracy (Waga, 2000). Wzorcem dla identyfikacji nowych bloków był prążek odniesienia znajdujący się w centralnej strefie obrazu elektroforetycznego każdego genotypu pszenicy, z którym porównywano prążki będące przedmiotem badań, mierząc odległość od punktu startowego elektroforezy do miejsca ich lokalizacji. Nowe bloki zidentyfikowane na podstawie analizy rozszczepienia genów i opisane na podstawie względnej prędkości migracji, wprowadzono do katalogu opracowanego w ZRZb IHAR (Waga, 2007).

WYNIKI I DYSKUSJA

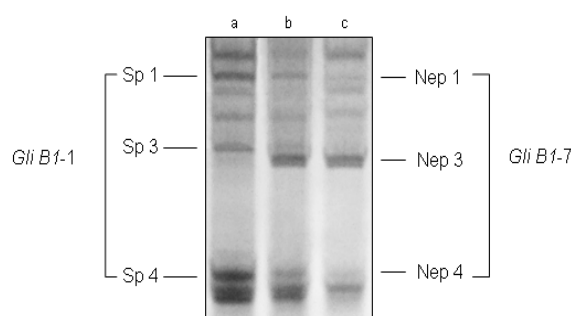
Komponenty rodzicielskie użyte do krzyżowań zawierały specyficzne frakcje białkowe, których nie obserwowano w trakcie dotychczasowych badań nad polimorfizmem gliadyn (rys. 1 b). Na szczególną uwagę zasługuje prążek Nep 3 w linii Nepal 1, który sądząc na podstawie jego lokalizacji w strefie ω -5 obrazu elektroforetycznego może być warunkowany chromosomem 1B. W drugiej formie rodzicielskiej linii — KBH 499 — chromosom 1B kontroluje blok *Gli B1-1* (prążki Sp 1, 3 i 4), szeroko rozpowszechniony wśród polskich odmian i rodów pszenicy. Interesujące kombinacje prążków obserwowano także w strefie β obu rodziców, w której nakładają się białka różnych chromosomów, głównie 6B i 6D. W tej części obrazu linia Nepal 1 zawiera cztery prążki: Nep 8, 9, 10 i 11, natomiast linia KBH 499 dwa prążki: Sp 5 i 6 zajmujące identyczną pozycję z Nep 10 i 11. Prążki Nep 8 i 9 pozwalają jednoznacznie odróżnić linię KBH 499 od Nepal 1 — linia KBH 499 w analogicznej strefie obrazu tworzy pustą przestrzeń co znacznie ułatwia obserwację prążków Nep 8 i 9 w potomstwie F₂. Charakterystyczną cechą linii Nepal 1 jest także brak kilku prążków w strefie ω -1.2, w której zazwyczaj występują białka kontrolowane chromosomem 1D. Świadczy to o obecności null allele w *locus Gli D1*. Linia KBH 499 w analogicznej strefie obrazu zawiera blok *Gli D1-1.2*.



Rys. 1 b. Białka gliadynowe form rodzicielskich. a. linia KBH 499. b. linia Nepal 1. Obraz elektroforetyczny uzyskany metodą A-PAGE. Wybrane frakcje gliadyn, będące przedmiotem badań, zaznaczono i opisano symbolami: „Sp” (białka linii KBH 499) oraz „Nep” (białka linii Nepal 1). Podział na grupy: α , β , γ , ω -5 i ω -1.2 różniące się prędkością migracji w żelu zaznaczono z lewej strony elektroforegramu

Fig. 1 b. Gliadin proteins of parental forms separated by A-PAGE. a. line KBH 499. b. line Nepal 1. Gliadin fractions scrutinized in this work were marked and described by the symbols: „Sp” (proteins of the line KBH 499) and „Nep” (proteins of the line Nepal 1). Distribution of gliadins differentiated in regard of electrophoretic mobility (α , β , γ , ω -5 and ω -1.2) are shown on the left hand side of the electrophoregram

Analizując badaną populację mieszańców F_2 pod względem liczebności osobników zawierających frakcję Nep 3 przyjęto, iż jest ona kontrolowana allelicznym wariantem genu frakcji Sp 3 i stanowi jeden z elementów bloku *Gli B1-1*. Mieszańce podzielono na trzy grupy osobników: zawierających prążek Nep 3 (homozygoty typu Nepal 1), zawierających prążek Sp3 (homozygoty typu KBH 499) oraz łączących prążki Nep 3 i Sp 3 w jednym genotypie (heterozygoty) (rys. 2).



Rys. 2. Obrazy elektroforetyczne frakcji ω -5 białek gliadynowych u mieszańców F_2 pochodzących z kombinacji krzyżowań linii Nepal 1 (Nep) i KBH 499 (Sp)

a. homozygota typu KBH 499; b. heterozygota; c. homozygota typu Nepal 1. Prążki zaznaczone po lewej i prawej stronie elektroforegramu tworzą bloki białek gliadynowych *Gli B1-1* oraz *Gli B1-7*.

Fig. 2. Electrophoregrams of ω -5 gliadin protein fractions observed in F_2 hybrid genotypes coming from cross combination between lines Nepal 1 and KBH 499

a. homozygote of type KBH 499 (Sp 1, 2 and 3). b. heterozygote. c. homozygote of type Nepal 1 (Nep 1, 2 and 3). Protein bands marked on the left and right side of the electrophoregrams are components of the gliadin blocks *Gli B1-1* and *Gli B1-7*, respectively

Na podstawie testu χ^2 stwierdzono zgodność obserwowanych liczebności w utworzonych grupach mieszańców z teoretycznie oczekiwanym stosunkiem 1:2:1 co potwierdza hipotezę, że frakcje Nep 3 i Sp 3 są warunkowane dwoma allelami jednego genu w *locus Gli B1* (tab. 1).

Ponadto stwierdzono, iż wszystkie osobniki zawierające Nep 3 występują w połączeniu z prążkiem Nep 1. Prążek Nep 1 zajmuje identyczną pozycję z Sp 1 (kolejnym składnikiem bloku *Gli B1-1*), jednak różni się od niego znacznie słabszym wybarwieniem, co świadczy o mniejszej zawartości białka Nep 1 w linii Nepal 1. Różnice intensywności wybarwienia obu prążków umożliwiają ich jednoznaczną identyfikację w genotypach homozygotycznych typu Nepal 1 i KBH 499. W heterozygotach obserwowano natomiast prążek o intensywności pośredniej między Nep 1 i Sp 1. Przytoczone fakty dowodzą, iż Nep 1 oraz Nep 3 stanowią (podobnie jak Sp 1 i Sp 3) jeden blok białkowy kontrolowany chromosomem 1B, któremu nadano symbol *Gli B1-7*. Dodatkowym elementem tego bloku jest prążek Nep 4, jeden z dwóch centralnie zlokalizowanych prążków, obecnych w większości bloków z grupy chromosomu 1B. Zazwyczaj są one mocno wybarwione, jednakże w linii Nepal 1 intensywność prążka Nep 4 jest znacznie mniejsza niż w innych genotypach, co stanowi kolejną, specyficzną cechę bloku *Gli B1-7*.

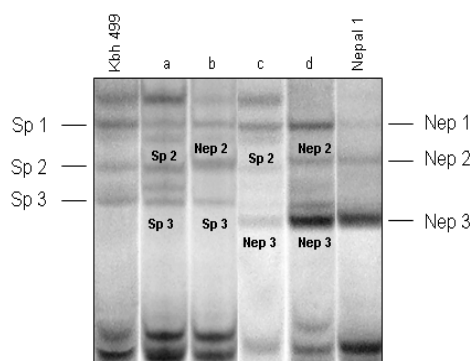
Tabela 1

Test zgodności (χ^2) dla mieszańców zróżnicowanych pod względem gliadyn Nep 3 i Sp 3, z teoretycznie zakładanym stosunkiem rozszczepień jednej pary alleli gliadynowych

Conformance test (χ^2) for hybrid genotypes, differentiated in regard of Nep 3 and Sp 3 protein fractions, with theoretically assumed segregation for one pair of gliadin alleles

Gliadyny Gliadins	Rozszczepienie Segregation	Liczebność oczekiwana Expected	Liczebność obserwowana Observed	χ^2	P
Nep 3	1	50	46	0,320	0,20–0,30
Nep 3 + Sp 3	2	100	111	1,210	
Sp 3	1	50	43	0,980	
		200	200	2,510	

W strefie ω -5 pojawia się także prążek Nep 2 zlokalizowany pomiędzy Nep 1 i Nep 3. Jego pozycja jest zbliżona do frakcji Sp 2 linii KBH 499. Jednak prędkość migracji Sp 2 jest nieznacznie większa od Nep 2. Taki sposób lokalizacji prążków u form rodzicielskich utrudnia ich obserwację w potomstwie mieszańcowym, a tym samym analizę genetyczną. Niemniej, w badanej populacji udało się zidentyfikować mieszańce, w których Nep 3 występuje łącznie z Sp 2, natomiast Nep 2 z Sp 3 (rys. 3). Obserwowane rekombinanty dowodzą, że Nep 2 i Nep 3 nie tworzą jednego bloku białkowego, lecz są kontrolowane genami, które ulegają rozszczepieniu się w F_2 . Jednak specyficzna lokalizacja obu prążków uniemożliwia stwierdzenie niezależnego dziedziczenia genów kodujących obie frakcje białkowe. Potwierdzenie lub odrzucenie takiej hipotezy wymaga dodatkowych badań z wykorzystaniem innego zestawu komponentów rodzicielskich.

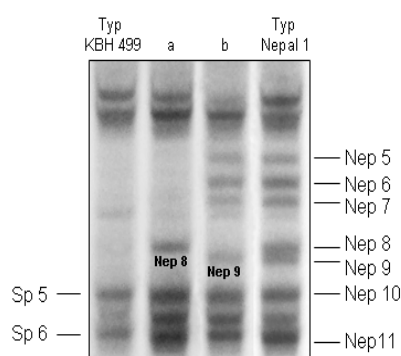


Rys. 3. Obrazy elektroforetyczne frakcji ω -5 białek gliadynowych u mieszańców F_2 pochodzących z kombinacji krzyżowań linii Nepal 1 (Nep) i KBH 499 (Sp). Rozdziały „b” i „c” ilustrują rekombinację genów kontrolujących frakcje Sp 2 i Sp 3 (typ KBH 499) oraz Nep 2 i Nep 3 (typ Nepal 1)

Fig. 3. Electrophoregrams of ω -5 gliadin protein fractions observed in F_2 hybrid genotypes coming from cross combination between lines Nepal 1 and KBH 499. Lines „b” and „c” show protein patterns of recombinant genotypes containing genes coding for Nep2/Sp3 and Sp2/Nep3 gliadin fractions

Identyfikacja β -gliadyn stanowi bardziej złożony problem w porównaniu z identyfikacją w pozostałych grupach białek gliadynowych. W strefie β występuje szereg

nakładających się prążków o zbliżonej bądź identycznej prędkości migracji, co znacznie utrudnia analizę genetyczną. Są one kontrolowane różnymi chromosomami, głównie 6B i 6D. W opisywanych badaniach problem ten został częściowo rozwiązany poprzez dobór odpowiednio zróżnicowanych komponentów rodzicielskich, z których jeden (Nepal 1) zawiera między innymi prążki Nep 8 i Nep 9, natomiast drugi (linia KBH 499) tworzy pustą przestrzeń w analogicznej pozycji na obrazie elektroforetycznym. Specyfika zróżnicowania obu rodziców pozwala jednoznacznie stwierdzić, że Nep 8 i 9 są kontrolowane genami, które ulegają rozszczepieniu w pokoleniu F₂. Dowodzi tego obecność mieszańców, z których jedne zawierają prążek Nep 8, a inne Nep 9 (rys. 4).



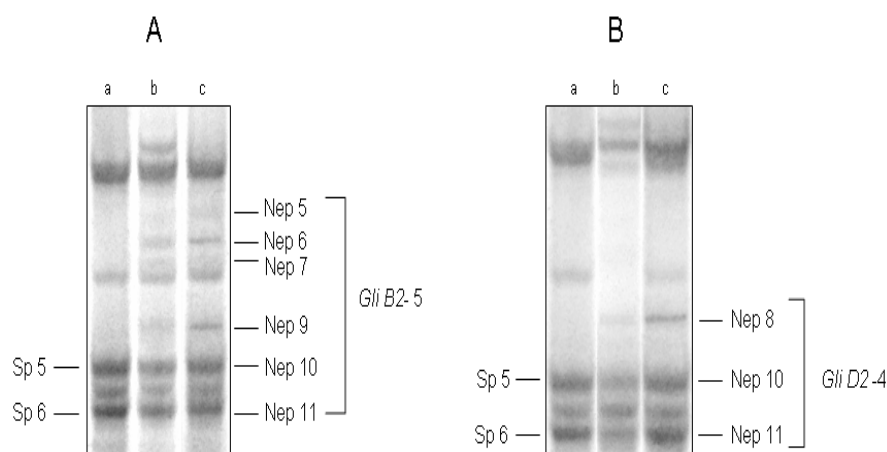
Rys. 4. Obrazy elektroforetyczne frakcji β i γ białek gliadynowych u mieszańców F₂ pochodzących z kombinacji krzyżowań linii Nepal 1 (Nep) i KBH 499 (Sp). Rozdziały „a” i „b” pokazują rozszczepienie genów kontrolujących frakcje Nep 8 i Nep 9

Fig. 4. Electrophoregrams of β - and γ -gliadin protein fractions observed in F₂ hybrid genotypes coming from cross combination between lines Nepal 1 and KBH 499. Lines „a” and „b” show segregation of genes coding for Nep 8 and Nep 9 protein fractions

Przyjęto założenie, iż grupy prążków Nep 5, 6, 7, 9, 10 i 11 oraz Sp 5 i 6 są kontrolowane allelicznymi wariantami genu na chromosomie 6B. Zakładając taką hipotezę wzorowano się na katalogu Metakowskiego, zgodnie z którym prążki w strefie γ -gliadyn (w tym przypadku Nep 5, 6 i 7) są komponentami bloków z grupy chromosomu 6B. Wśród badanych mieszańców obserwowano osobniki zawierające kombinacje identyczne jak u rodziców, co pozwala uznać je za homozygoty. Obserwowano też osobniki, w których prążki Nep 5, 6, 7 i 9 były znacznie słabiej wybarwione niż w homozygotach, i w związku z tym zostały zakwalifikowane jako heterozygoty (rys. 5 A). Analiza liczebności opisanych mieszańców wykazała zgodność z teoretycznym stosunkiem 1:2:1 co potwierdza, iż grupa prążków Nep 5, 6, 7, 9, 10 i 11 tworzy blok białkowy, któremu nadano symbol *Gli B2-5* (tab. 2).

W drugim przypadku założono, iż prążek Nep 8 wspólnie z Nep 10 i 11 tworzą blok warunkowany chromosomem 6D. W pokoleniu F₂ obserwowano trzy grupy mieszańców

zawierających: (1) intensywnie wybarwiony prążek Nep 8, (2) słabo wybarwiony prążek Nep 8 oraz (3) pustą przestrzeń w strefie zajmowanej przez Nep 8 (rys. 5 B). Wszystkie formy mieszańcowe zawierające Nep 8 występowały łącznie z Sp 5 i 6 (analogi Nep 10 i 11). Przyjęto, iż pierwsze dwie klasy odpowiadają typowi homozygoty zaś trzecia stanowi heterozygotę. Na podstawie testu χ^2 wykazano zgodność obserwowanych liczebności w trzech grupach mieszańców z teoretycznym stosunkiem 1:2:1 co dowodzi, że prążki Nep 8, 10 i 11 tworzą blok białkowy kontrolowany chromosomem 6D, któremu nadano symbol *Gli D2-4* (tab. 3).



Rys. 5. Obrazy elektroforetyczne frakcji β i γ -gliadyn u mieszańców F_2 pochodzących z kombinacji krzyżowań linii Nepal 1 (Nep) i KBH 499 (Sp). a. homozygota typu KBH 499; b. heterozygota; c. homozygota typu Nepal 1. A. Prążki zaznaczone po prawej stronie elektroforegramu tworzą blok *Gli B2-5*. B. Prążki zaznaczone po prawej stronie elektroforegramu tworzą blok *Gli D2-4*

Fig. 5. Electrophoregrams of β - and γ -gliadin protein fractions observed in F_2 hybrid genotypes coming from cross combination between lines Nepal 1 and KBH 499. a. homozygote of type KBH 499 (Sp 1, 2 and 3). b. heterozygote. c. homozygote of type Nepal 1 (Nep 1, 2 and 3). A. Protein bands marked on the right side of the electrophoregrams are components of the gliadin block *Gli B2-5*. B. Protein bands marked on the right side of the electrophoregrams are components of the gliadin block *Gli D2-4*

Tabela 2

Test zgodności (χ^2) dla mieszańców zróżnicowanych pod względem gliadyn Nep 5,6,7,9,10,11 i Sp 5,6 z teoretycznie zakładanym stosunkiem rozszczepień jednej pary alleli gliadynowych

Conformance test (χ^2) for hybrid genotypes, differentiated in regard of Nep 5,6,7,9,10,11 and Sp 5,6 protein fractions, with theoretically assumed segregation for one pair of gliadin alleles

Gliadyny Gliadins	Rozszczepienie Segregation	Liczebność oczekiwana Expected	Liczebność obserwowana Observed	χ^2	P
Nep 5,6,7,9,10,11	1	64	59	0,391	0,5–0,9
Nep 5,6,7,9,10,11 + Sp 5,6	2	128	132	0,125	
Sp 5,6	1	64	65	0,016	
		256	256	0,532	

Tabela 3

Test zgodności (χ^2) dla mieszańców zróżnicowanych pod względem gliadyn Nep 8,10,11 i Sp 5,6 z teoretycznie zakładanym stosunkiem rozszczepień jednej pary alleli gliadynowych
Conformance test (χ^2) for hybrid genotypes, differentiated in regard of Nep 8,10,11 and Sp 5,6 protein fractions, with theoretically assumed segregation for one pair of gliadin alleles

Gliadyny Gliadins	Rozszczepienie Segregation	Liczebność oczekiwana Expected	Liczebność obserwowana Observed	χ^2	P
Nep 8,10,11	1	64	59	0,391	0,3 - 0,5
Nep 8,10,11 + Sp 5,6	2	128	139	0,945	
Sp 5,6	1	64	58	0,563	
		256	256	0,532	

Identyfikacja rekombinantów, w których prążki Nep 7 i 8 występują oddzielnie, dała podstawę do wykonania analizy potwierdzającej, że bloki zidentyfikowane w strefie β są kontrolowane genami na różnych chromosomach i dziedziczą się niezależnie. W tym celu populację mieszańców podzielono na 9 klas oczekując, iż liczebności w tych klasach będą zgodne z teoretycznym stosunkiem rozszczepień 1:2:1:2:4:2:1:2:1 dla dwóch *loci*: *Gli B2* oraz *Gli D2* (tab. 4). Wynik testu χ^2 potwierdził hipotezę o niezależnym dziedziczeniu obu genów.

Tabela 4

Test zgodności (χ^2) dla mieszańców zróżnicowanych pod względem gliadyn Nep 5,6,7,9,10,11, Nep 8,10,11 i Sp 5,6 z teoretycznie zakładanym stosunkiem rozszczepień dla dwóch par alleli gliadynowych
Conformance test (χ^2) for hybrid genotypes, differentiated in regard of Nep 5,6,7,9,10,11, Nep 8,10,11 and Sp 5,6 protein fractions, with theoretically assumed segregation for two pairs of gliadin alleles

Locus Gli B2	Locus Gli B1	Rozszczepienie Segregation	Liczebność oczekiwana Expected	Liczebność obserwowana Observed	χ^2	P
Nep 5,6,7,9,10,11	Nep 8,10,11	1	16	13	0,563	0,3–0,5
Nep 5,6,7,9,10,11	Nep 8,10,11 + Sp 5,6	2	32	34	0,125	
Nep 5,6,7,9,10,11	Sp 5,6	1	16	12	1,000	
Nep 5,6,7,9,10,11 + Sp 5,6	Nep 8,10,11	2	32	28	0,500	
Nep 5,6,7,9,10,11 + Sp 5,6	Nep 8,10,11 + Sp 5,6	4	64	70	1,000	
Nep 5,6,7,9,10,11 + Sp 5,6	Sp 5,6	2	32	34	0,125	
Sp 5,6	Nep 8,10,11	1	16	18	0,250	
Sp 5,6	Nep 8,10,11 + Sp 5,6	2	32	35	0,281	
Sp 5,6	Sp 5,6	1	16	12	1,000	
			256	256	4,844	

Locus na chromosomie 1D w linii Nepal 1 tworzy null allel czyli gen, którego ekspresja została zablokowana — prawdopodobnie — w wyniku mutacji punktowej zmieniającej kodon glutaminy (CAA lub CAG) w stop kodon (UAA lub UAG) (Anderson i in., 2009). Mimo fizycznej obecności na chromosomie zablokowany gen nie ulega ekspresji uniemożliwiając syntezę białek. Efektem fenotypowym null alleli są puste obszary na obrazie elektroforetycznym w strefach odpowiadających *locus*, w którym wystąpiła mutacja. Wśród badanych mieszańców obserwowano genotypy zawierające: null allel na chromosomie 1D, blok *Gli D1-1.2* (homozygoty) oraz formy wykazujące pośrednią

intensywność prążków odpowiadające genotypowi heterozygoty (*Gli D1-1.2* + null) (rys. 6 A). Jednakże w wykonanym doświadczeniu częstotliwości obserwowane dla poszczególnych wariantów znacznie odbiegały od stosunku 1:2:1 przy niemal dwukrotnie większej liczbie homozygot typu *Gli D1-1.2* niż heterozygot i null alleli łącznie (tab. 5).

Tabela 5

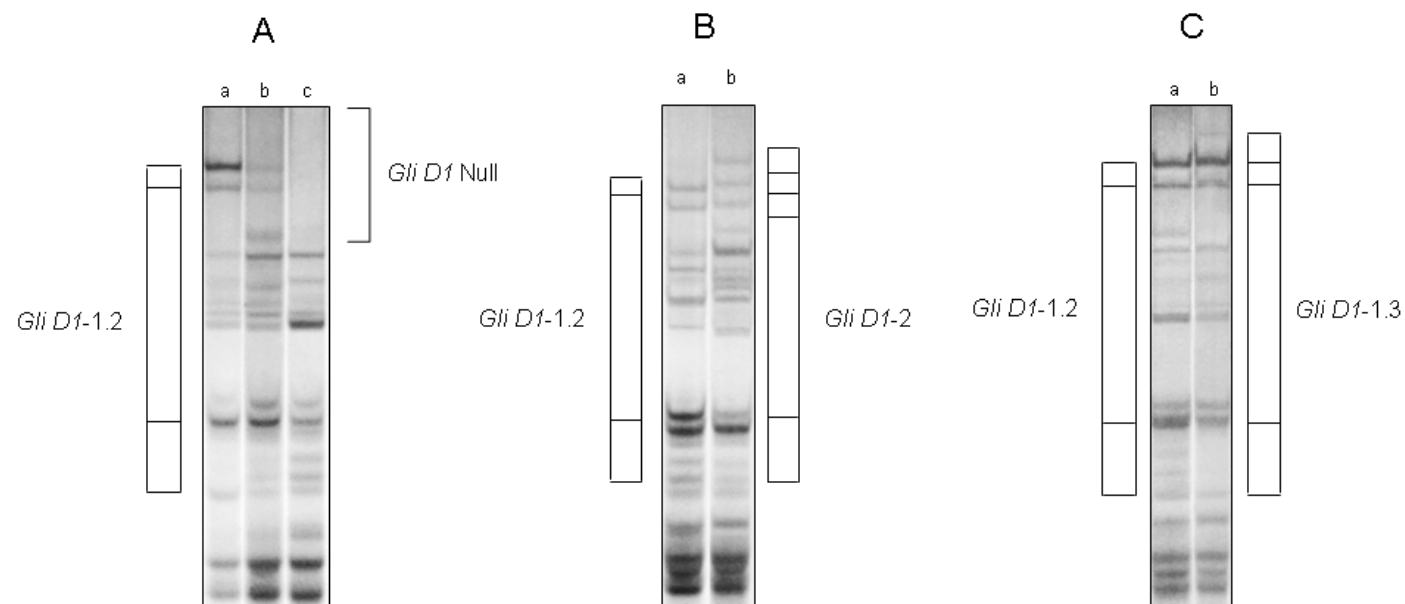
Procentowy udział genotypów mieszańcowych zróżnicowanych pod względem gliadyn warunkowanych chromosomem 1D

Contribution of genotypes differentiated in regard of gliadin proteins coded by the chromosome 1D in analyzed hybrid population

<i>Locus Gli D1</i>	Procent populacji Percentage of population
<i>Gli D1-1.2</i>	60,51
<i>Gli D1-1.2</i> + <i>Gli D1</i> -null	16,30
<i>Gli D1</i> - null	15,58
<i>Gli D1-1.3</i>	5,80
<i>Gli D1-2</i>	1,81
	100

Na podstawie uzyskanych wyników trudno byłoby jednoznacznie stwierdzić, jakie są przyczyny tak znacznego odstępstwa od mendlowskiego stosunku rozszczepień. Teoretycznie można przyjąć hipotezę, iż w badaniach obserwowano funkcjonowanie mechanizmu naprawczego, który znosi efekt mutacji i wtórnie przekształca „stop kodon” w kodon właściwy dla glutaminy, dzięki czemu następuje odblokowanie biosyntezy białek. Podobny przypadek został opisany w pracy innych autorów (Hsia i Anderson, 2001). Za słuszością przedstawionej hipotezy przemawia też znacznie podwyższona częstotliwość homozygot zawierających wariant kodujący czyli blok *Gli D1-1.2*. Inną przyczyną obserwowanego zjawiska mogą być daleko posunięte zmiany w budowie genu (być może nawet chromosomu), których efektem są zaburzenia mejozy i — w konsekwencji — stwierdzone odstępstwa od teoretycznego stosunku rozszczepień.

Wśród mieszańców pojawiały się także białka niespecyficzne dla użytych komponentów rodzicielskich. Były to: blok *Gli D1-2* (rys. 6 B) oraz nowa kombinacja białek, w której frakcje ω -1.2 charakterystyczne dla bloku *Gli D1-1* występowały łącznie z frakcją γ typową dla bloku *Gli D1-1.2* (rys. 6 C). Obserwowane układy białek są prawdopodobnie efektem rekombinacji wewnątrzgenowej. Jej pojawienia się można oczekiwać wśród materiałów hodowlanych, dlatego nową kombinację prążków w grupie chromosomu 1D wprowadzono do katalogu i oznaczono symbolem *Gli D1-1.3*. Wymienione, niespecyficzne bloki występowały w pojedynczych przypadkach co mogłoby sugerować, iż stanowią one domieszkę obcych materiałów. Taką możliwość wyklucza jednak specyfika pozostałych fragmentów elektroforegramu, w których obserwowane frakcje gliadyn były typowe dla form rodzicielskich.



Rys. 6. Obrazy elektroforetyczne białek gliadynowych u mieszańców F₂ pochodzących z kombinacji krzyżowań linii Nepal 1 (Nep) i KBH 499 (Sp). A. Zróżnicowanie białek kontrolowanych chromosomem 1D. a. homozygota *Gli D1* -1.2; b. heterozygota (*Gli D1* -1.2 + *Gli D1* -null); c. homozygota *Gli D1* -null. B i C. Porównanie ω-gliadyn. a. blok *Gli D1* -1.2 (linia KBH 499); b. niespecyficzne dla użytych komponentów rodzicielskich bloki *Gli D1* -2 (B) oraz *Gli D1* -1.3 (C)

Fig. 6. Electrophoregrams of gliadin proteins observed in F₂ hybrid genotypes coming from cross combination between lines Nepal 1 and KBH 499. A. differentiation of proteins coded by the locus on the chromosome 1D. a. homozygote *Gli D1* -1.2; b. heterozygote (*Gli D1* -1.2 + *Gli D1* -null); c. homozygote *Gli D1* -null. B and C. Comparison of ω-gliadins. a. gliadin block *Gli D1*-1.2 (line KBH 499). b. gliadin blocks *Gli D1*-2 (B) and *Gli D1* -1.3 (C) do not appear in any of the parental lines

Wszystkie prążki w obrębie nowych bloków scharakteryzowano na podstawie wskaźnika R_m , który informuje o względnej prędkości migracji badanych białek w stosunku do prążka stanowiącego punkt odniesienia (tab. 6). Znajduje się on w centralnej strefie obrazu i jest składnikiem bloków kontrolowanych chromosomem 1D. U większości form pszenicy heksapolidalnej występuje w identycznej pozycji co znacznie ułatwia określenie lokalizacji innych prążków na schematach graficznych. W przyjętej metodzie obliczania R_m frakcje znajdujące się powyżej punktu odniesienia przyjmują wartości mniejsze, zaś poniżej — wartości większe od jedności co oznacza, że wartość wskaźnika R_m rośnie proporcjonalnie wraz ze wzrostem prędkości migracji białek.

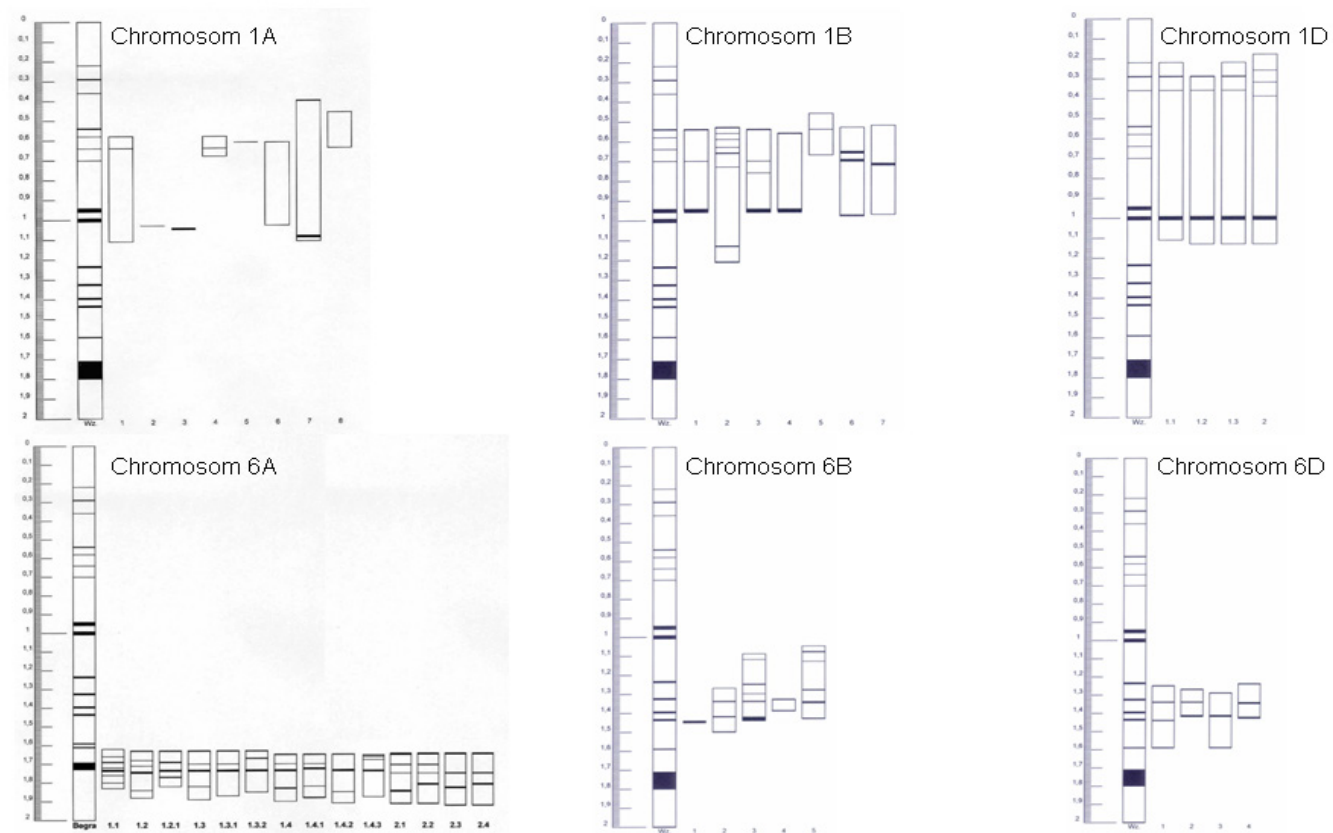
Tabela 6

Charakterystyka zidentyfikowanych bloków białek gliadynowych na podstawie współczynnika względnej prędkości elektroforetycznej frakcji (R_m)
Characteristics of gliadin blocks based on relative electrophoretic mobilities of analyzed protein bands (R_m)

<i>Locus</i>	Numer bloku gliadyn Number of gliadin block	Symbol prążka Symbol of the band	R_m
<i>Gli B1</i>	7	Nep 1	0,52
<i>Gli B1</i>	7	Nep 3	0,72
<i>Gli B1</i>	7	Nep 4	0,97
<i>Gli B2</i>	5	Nep 5	1,05
<i>Gli B2</i>	5	Nep 6	1,08
<i>Gli B2</i>	5	Nep 7	1,13
<i>Gli B2</i>	5	Nep 9	1,28
<i>Gli B2</i>	5	Nep 10	1,35
<i>Gli B2</i>	5	Nep 11	1,43
<i>Gli D2</i>	4	Nep 8	1,24
<i>Gli D2</i>	4	Nep 10	1,35
<i>Gli D2</i>	4	Nep 11	1,43

Nowe bloki, zidentyfikowane w trakcie opisanych badań wprowadzono do katalogu, zwiększając tym samym zakres zmienności alleli gliadynowych w loci *Gli B1*, *Gli D1*, *Gli B2* oraz *Gli D2* (rys. 7). Frakcje wchodzące w skład nowych bloków są nietypowe dla odmian i rodów pszenicy badanych w Polsce, a nawet w Europie. Na szczególną uwagę zasługuje blok *Gli B1-7*, którego budowa znacznie odbiega od innych wariantów białkowych w grupie chromosomu 1B. Stanowi to cechę korzystną, ułatwiającą jego identyfikację wśród materiałów hodowlanych. Unikalny charakter *Gli B1-7* dodatkowo potwierdza fakt, iż nie znalazł się on w katalogu Metakowskiego, który stanowi — obecnie — najliczniejszy zbiór bloków opisanych na podstawie analizy genetycznej (Metakovsky, 1991 a).

Charakterystyka nowych kombinacji białek gliadynowych jest pierwszym etapem badań nad określeniem ich związku ze zmiennością cech użytkowych — głównie cech jakości technologicznej odmian i rodów pszenicy. Stwierdzenie takich zależności ma kluczowe znaczenie z punktu widzenia możliwości praktycznego zastosowania bloków gliadyn i decyduje o tym czy obraz elektroforetyczny będzie tylko miernikiem zmienności genetycznej w populacjach mieszańcowych, czy też będzie efektywnym markerem biochemicznym, ułatwiającym wybór korzystnych genotypów na wczesnych etapach hodowli.



Rys. 7. Katalog bloków białek gliadynowych. Nowe bloki opisane w pracy znajdują się w grupach chromosomów 1B (*Gli B1 -7*), 1D (*Gli D1 -1.3*, 6B (*Gli B2 -5*) oraz 6D (*Gli D2 -4*). Dla każdej rodziny bloków zaznaczono skalę wartości wskaźnika Rm obok schematu odmiany wzorcowej Begra

Fig. 7. Catalogue of gliadin protein blocks. Novel gliadin blocks described in the paper are placed in groups of chromosomes 1B (*Gli B1 -7*), 1D (*Gli D1 -1.3*, 6B (*Gli B2 -5*) and 6D (*Gli D2 -4*). Scale of relative mobility values (Rm) and the patterns of electrophoretic bands for cultivar Begra are referred to each family of the blocks

LITERATURA

- Anderson O. D., Gu Y. Q., Kong X., Lazo G. R., Wu J. 2009. The wheat ω -gliadin genes: structure and EST analysis. *Funct. Integr. Genomics* 9: 397 — 410.
- Bushuk W., Zillman R. R. 1978. Wheat cultivar identification by gliadin electrophoregrams. I. Apparatus, method and nomenclature. *Can J. Plant Sci.* 58: 505 — 515.
- Hsia C. C., Anderson O. D. 2001. Isolation and characterization of wheat ω -gliadin genes. *Theor. Appl. Genet.* 103: 37 — 44.
- ICC (International Association for Cereal Science and Technology). 1995. Wheat — identification of varieties by electrophoresis. ICC Standard No.143. pp: 1 — 13.
- Metakovsky E. V. 1991 a. Gliadin allele identification in common wheat. II. Catalogue of gliadin alleles in common wheat. *J. Genet. & Breed.* 45: 325 — 344.
- Metakovsky E. V. 1991 b. The value of gliadin biotypes in commercial cultivars of wheat. *Proc. 4th Int. Workshop on Gluten Proteins* (Winnipeg, Canada, 1991) W. Bushuk and R. Tkachuk, Eds. AACC, St. Paul, Minnesota: 558 — 568.
- Metakovsky E. V., Gomez M., Vazquwz J. F., Carillo J. M. 2000. High genetic diversity of Spanish common wheats as judged from gliadin alleles. *Plant Breed.* 119: 37 — 42.
- Metakovsky E. V., Graybosch R. A. 2006. Gliadin alleles in wheat: Identification and applications. In: *Gliadin and Glutenin — the unique balance of wheat quality*. Wrigley C., Bekes F. and Bushuk W. Eds. AACC Int. St. Paul, Minnesota, USA: 85 — 114.
- Payne P. I., 1987, Genetics of wheat storage proteins and the effect of allelic variation on bread-making quality. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 38: 141 — 152.
- Sobko T. A., Poperelya F. A., Rybalka A. I., Sozinov A. A. 1986. Inheritance and mapping of storage protein genes on the chromosome 1A of common wheat. *Tsitol. Genet.* 20: 372 — 376 (in Russian).
- Sozinov A. A., Poperella F. A. 1980, Genetic classification of prolamins and its use for plant breeding. *Ann. Techn. Agric.* 28: 229 — 245.
- Waga J. 2000. Syntetyczna metoda klasyfikacji białek gliadynowych. *Biul. IHAR* 215: 35 — 60.
- Waga J. 2007. Katalog bloków białek gliadynowych polskich odmian i rodów pszenicy zwyczajnej. *Biul. IHAR* 243: 3 — 23.
- Waga J., Węgrzyn S. 2000. Powiązanie wybranych frakcji białek gliadynowych ze zmiennością cech użytkowych odmian i rodów pszenicy ozimej. *Biul. IHAR* 215: 61 — 76.

ALEKSANDRA PIETRUSIŃSKA

Pracownia Genetyki Stosowanej

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy, Radzików

Wykorzystanie markerów molekularnych do wprowadzania genów odporności na rdzę brunatną (*Puccinia recondita* f. sp. *tritici*) i mączniaka prawdziwego (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*) do pszenicy ozimej*

The use of molecular markers for introduction of leaf rust (*Puccinia recondita* f. sp. *tritici*) and powdery mildew (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*) resistance genes in winter wheat (*Triticum aestivum*)

Wykorzystując selekcję wspomaganą markerami molekularnymi do odmiany pszenicy Lexus wprowadzono geny odporności *Lr41* na rdzę brunatną oraz *Pm21* na mączniaka prawdziwego. Jako źródło odporności na rdzę brunatną w badaniach wykorzystano heksaploidalną linię WGR10, warunkowaną dominującym genem *Lr41* pochodzącym z diploidalnej dzikiej pszenicy *Triticum tauschii* (syn. *Aegilops squarrosa*). Jako źródło odporności na mączniaka prawdziwego w badaniach zastosowano linię translokacyjną 6VS/6AL Yangmai 5 z dominującym genem *Pm21* pochodzącym od *Dasypyrum villosum* (syn. *Haynaldia villosa*). Do identyfikacji genu *Lr41* wykorzystano pięć markerów mikrosatelitarnych SSR: *Gdm35*, *Barc124*, *Gwm261*, *Gwm296* oraz *Gwm210*. Natomiast w celu wyselekcjonowania obiektów roślinnych posiadających gen *Pm21* posłużono się dwoma markerami SCAR (*SCAR1250*, *SCAR1400*) oraz markerem *NAU/xibao*. Ponadto, dla pierwszego pokolenia populacji mieszańcowej, za pomocą markerów AFLP, losowo rozproszonych w genomie pszenicy, oszacowano procentową zawartość genomu rodzica wypierającego (selekcja tła genetycznego). Dodatkowo w drugim oraz w trzecim pokoleniu populacji mieszańcowej do oceny reakcji na zakażenie przez *P. recondita* f. sp. *tritici* i *B. graminis* f. sp. *tritici* użyto jednozarodnikowych izolatów, wirulentnych do odmiany Lexus, natomiast awirulentnych do linii odpowiednio z genem *Lr41* i *Pm21*. Przeprowadzona selekcja wspomaganą markerami oraz selekcja fenotypowa pozwoliły na uzyskanie linii homozygotycznych pod względem odporności na oba patogeny.

Słowa kluczowe: *Blumeria graminis*, *Lr41*, piramidowanie genów, *Pm21*, *Puccinia recondita*

The aim of the presented research was to use genetic markers in process of introduction of effective resistance genes to the wheat. A leaf rust resistance gene *Lr41* derived from *Triticum tauschii* (syn.

* Praca doktorska została częściowo sfinansowana ze środków 6 Programu ramowego UE BioExploit oraz grantu promotorskiego Nr NN310 147035

Aegilops squarrosa) and powdery mildew resistance gene *Pm21* derived from *Dasypyrum villosum* (syn. *Haynaldia villosa*) were introgressed into the best German variety. Line WGRC10 was used as the resistance source of *Lr41* for leaf rust, whereas the 6VS/6AL translocation line Yangmai 5 was used as the resistance source of *Pm21* for powdery mildew. In foreground selection several molecular markers for *Lr41* and *Pm21* were applied. For the detection of gene *Lr41* in breeding materials with leaf rust resistance five SSR markers: *Gdm35*, *Barc124*, *Gwm261*, *Gwm296* and *Gwm210* were used. To detect the *Pm21* gene three molecular markers: *SCAR₁₂₅₀*, *SCAR₁₄₀₀* and *NAU/xibao* were development. After the first backcrosses background selection was conducted using the AFLP markers. For the greenhouse screening of the second and the third generations of plants for leaf rust and powdery mildew resistance, plants of selected lines were inoculated at the three-leaf stage with natural pathogen populations of *B. graminis* and *P. recondita*. The marker-assisted selection and pathology test allowed to obtain homozygous lines carrying the genes resistance to leaf rust and powdery mildew of winter wheat.

Key words: *Blumeria graminis*, *Lr41*, *Pm21*, *Puccinia recondita*, pyramiding breeding

WSTĘP

Do jednych z istotniejszych czynników wpływających na wielkość uzyskanego plonu pszenicy należą powszechnie występujące choroby zbóż, z których najważniejsze to: rdza brunatna (*Puccinia recondita* f. sp. *tritici*), mączniak prawdziwy traw (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*), septorioza (*Stagonospora nodorum* syn. *Septoria nodorum*) i fuzarioza (*Fusarium* spp.). W zależności od warunków pogodowych, choroby te z różnym nasileniem występują zarówno na pszenicy jarej jak i ozimej, we wszystkich rejonach Polski. Odmiany pszenicy ozimej dopuszczone do uprawy w Polsce oraz nowe, będące w badaniach rejestrowych, pod względem odporności na porażenie przez grzyby *Blumeria graminis* i *Puccinia recondita* oceniane są jako średnio podatne i podatne w stadium siewek, a w warunkach polowych, w zależności od roku jako mniej lub bardziej wrażliwe.

W celu zwiększenia odporności na choroby grzybowe pszenic, hodowla nowych odmian skierowana jest na pozyskiwanie nowych, efektywnych źródeł odporności i wprowadzaniu ich do programów hodowlanych. Najważniejszym i najcenniejszym źródłem genów odporności na rdzę brunatną oraz mączniaka prawdziwego pszenicy są przede wszystkim gatunki dzikie pszenic oraz gatunki im pokrewne, tj.: *T. monococcum*, *T. spelta*, *T. dicoccum*, *T. dicoccoides*, *T. timopheevii*, *T. durum*, *T. carthlicum*, *T. sphaerococcum*, *T. tauschii* (syn. *Aegilops squarrosa*), *Ae. speltoides*, *Ae. longissima*, *Ae. ovata*, *H. villosa* (syn. *Dasypyrum villosum* L. Candargy) oraz żyto (*Secale cereale*) (McIntosh, 1998; Górny, 2004; Chełkowski i in., 2005 b).

W ogólnie przyjętej nomenklaturze wszystkim genom odporności na rdzę brunatną przypisano symbol *Lr* (ang. *Leaf rust* – *Lr* genes). Aktualnie zidentyfikowano około 70 genów warunkujących odporność na populację *Puccinia recondita*. Natomiast genom odporności na mączniaka prawdziwego pszenicy przyporządkowano symbol *Pm* (ang. *Powdery mildew* — *Pm* genes). Z literaturowych doniesień wynika, że obecnie poznanych jest 57 genów *Pm* (Xue i in., 2009). Większość z genów odporności na rdzę brunatną i mączniaka prawdziwego, są to geny główne, nazywane również genami R (ang. Major Resistance Genes), warunkujące odporność monogeniczną, opartą na teorii „Flora „gen na gen”, gdzie produkty genów awirulencji patogena współdziałają pośrednio lub

bezpośrednio z produktami genów R (Flor, 1955; Bennett, 1984; McIntosh i in., 1995; Huang i Röder, 2004; Górny, 2004; Tyrka i Chełkowski, 2003; Chełkowski i Koczyka, 2005 a; Chen i in., 2005; Perugii i in., 2008).

W celu poprawienia odporności na grzyb *P. recondita* f. sp. *tritici* oraz *B. graminis* f. sp. *tritici* w odmianach powszechnie uprawianych, możliwe jest równoczesne wprowadzenie do jednego genotypu różnych kombinacji efektywnych genów odporności. Piramidowanie kilku genów R w jednym genotypie, zwiększa skuteczność i trwałość odporności uprawianych odmian. Z czasem odporne odmiany zostają porażone przez patotypy wirulentne, pojawiające się w wyniku presji selekcyjnej na populację patogena. Dlatego też, bardzo ważnym kierunkiem w hodowli odpornościowej jest poszukiwanie nowych, efektywnych źródeł odporności na wszystkie choroby pszenicy. Za wysoce efektywne, zarówno na świecie jak i w Polsce, uważa się geny *Lr*: *Lr9*, *Lr12*, *Lr19*, *Lr23*, *Lr24*, *Lr25*, *Lr28*, *Lr29*, *Lr36*, *Lr37*, *Lr41*, *Lr42*, *Lr47*, *Lr50*, *Lr55* (Mesterházy i in., 2000; Woźniak-Strzembicka, 2003; Chełkowski i in., 2005b; Shamanin i Morgounov, 2009). W polskich odmian pszenic ozimych i jarych najczęściej spotykanymi kombinacjami genów odporności na mączniaka prawdziwego, w przeszłości jak i obecnie, są: *Pm2 + Pm5*, *Pm2 + Pm6*, *Pm3d + Pm4b*, *Pm3d + Pm8*, *Pm3d + Pm* nieokreślony, *Pm5 + Pm8*, *Pm1 + Pm2 + Pm* nieokreślony, *Pm1 + Pm3d + Pm4b*, *Pm2 + Pm3d + Pm4b*, *Pm2 + Pm6 + Pm* nieokreślony, *Pm3d + Pm4b + Pm* nieokreślony oraz *Pm1 + Pm2 + Pm9 + Pm4b* (Kowalczyk i in., 1998; www.pin.org.pl).

Wykorzystywanie markerów molekularnych w genetyce i hodowli roślin uprawnych stanowi obecnie bardzo dogodne, czasami niezbędne i jedyne nadrzędzie diagnostyczne w selekcji korzystnych genotypów. Wspomagają prace hodowlane podczas selekcji wprowadzanego(ych) genu(ów) (ang. Foreground Selection) lub też w selekcji tła genetycznego (ang. Background Selection). Do najważniejszych korzyści MAS można niewątpliwie zaliczyć fakt, że selekcja materiału hodowlanego jest przede wszystkim niezależna od fazy rozwojowej badanych roślin oraz czynników zewnętrznych, co jest istotne w przypadku konieczności przeprowadzanie krzyżowań wypierających.

Celem niniejszej pracy było spiramidowanie dwóch genów odporności *Lr41* na rdzę brunatną (*Puccinia recondita* f. sp. *tritici*) i *Pm21* na mączniaka prawdziwego (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*) w odmianie pszenicy ozimej Lexus, dobrze przystosowanej do polskich warunków przyrodniczych. Końcowym etapem przeprowadzonych prac było wyprowadzenie linii homozygotycznych pod względem odporności na oba patogeny.

MATERIAŁ I METODY

Materiał badawczy stanowiła elitarna niemiecka odmiana Lexus (pszenica ozima) (Hodowla A. Jackobi, W. von Borries-Eckendorf), dobrze przystosowana do polskich warunków klimatycznych, o wysokim potencjale plonowania, jednak podatna na *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* oraz *Blumeria graminis* f. sp. *tritici*. Jako źródła odporności wykorzystano dwie linie pszenicy ozimej, wyprowadzone na Uniwersytecie w Kansas (Wheat Genetic and Genomic Resources Center). Pierwsze źródło odporności stanowiła linia KS90WGRC10 (oznaczona jako linia *Lr41*) z genem odporności na rdzę brunatną

Lr41, pochodzącym z diploidalnego dzikiego gatunku *Triticum tauschii* (syn. *Aegilops tauschii*, *Ae. squarrosa* L.). Jako źródło odporności na mączniaka prawdziwego wykorzystano translokacyjną linię 6VS/6AL Yangmai 5 (oznaczona jako linia *Pm21*) z genem odporności *Pm21*, pochodzącym z dzikiego diploidalnego gatunku *Haynaldia villosa* (syn. *Dasypyrum villosum*). W celu eliminacji niekorzystnych cech z punktu widzenia rolniczego, przeprowadzono krzyżowanie wypierające linią pszenicy ozimej RAH979 o wysokim potencjale plonowania, wcześniej uzyskaną w Pracowni Genetyki Stosowanej IHAR.

Do oceny reakcji na zakażenie przez *P. recondita* f. sp. *tritici* i *B. graminis* f. sp. *tritici* użyto jednozarodnikowych izolatów, odpowiednio izolat Pt2902 i Witon 2 (*P. recondita*) oraz Bgt28 (*B. graminis*), wirulentnych w stosunku do odmiany Lexus, a awirulentnych odpowiednio *Lr41* lub *Pm21*. Test fitopatologiczny przeprowadzono w kontrolowanych warunkach, przy fotoperiodzie 16 godz. światła 8 godz. ciemności i temperaturze w zakresie 16–22°C. Materiał roślinny zakażono zawiesiną zarodników *P. recondita* f. sp. *tritici*, zawierającej 1–2 kropli środka zmniejszającego napięcie powierzchniowe Tween-20. Po 8–10 dniach od inokulacji oceniono reakcję roślin w pięciostopniowej skali Levine i Cherewick (Kopahnke i in., 2004). Po upływie 3–4 dni od zakażenia izolatami *P. recondita*, przeprowadzono inokulację roślin izolatem *B. graminis* f. sp. *tritici* (Bgt28). Doświadczenie infekcyjne polegało na strząsaniu nad materiałem roślinnym zarodników konidialnych z roślin porażonych mączniakiem. Po 8–10 dniach od drugiej infekcji, oceniono reakcje roślin w pięciostopniowej skali wg Mainsa i Dietza (Czembor, 2008).

W zależności od selekcji materiału roślinnego (selekcja genów, selekcja tła genetycznego) do ekstrakcji DNA wykorzystano dwie różne metody izolacji DNA.

Do selekcji genu(ów) posłużono się metodyką opracowaną i opisaną przez Higgins i zespół (Higgins i in., 2000) z drobnymi modyfikacjami. Z każdego obiektu roślinnego pobrano 150 mg tkanki roślinnej. Pocięty materiał roślinny następnie umieszczono w 2 ml probówce uzupełnionej 1 ml buforu ekstrakcyjnego TPS (100 mM Tris-HCl pH 8.0, 1 M KCl, 10 mM EDTA). Całość wirowano przez 2 min. przy 12.000 obr./min. a następnie całość homogenizowano przy użyciu młynka miksującego MM301 (Retsch, Verder, Katowice, Polska) i częstotliwości wytrząsania 30 tys./min. w dwóch cyklach pięciominutowych. Po zakończeniu tego etapu izolacji, procedura przebiegała według procedury opracowanej przez Higginsa i zespół (Higgins i in., 2000).

Do selekcji tła genetycznego przeprowadzonej w pierwszym pokoleniu populacji mieszańcowej, wyizolowano genomowe DNA wykorzystując zestaw DNeasy Plant Mini Kit (Qiagen, USA). Z każdego obiektu pobrano 200 mg tkanki roślinnej, którą homogenizowano w buforze ekstrakcyjnym przy użyciu młynka miksującego MM301 (Retsch, Polska) i częstotliwości wytrząsania 30 tys./min. w dwóch cyklach pięciominutowych. Po zakończeniu pierwszego etapu izolacji, procedura przebiegała zgodnie z zaleceniami podanymi przez producenta zestawu DNeasy Plant Mini Kit (Qiagen). Stężenie genomowego DNA oznaczono spektrofotometrycznie zgodnie z instrukcją fluorymetru NanoDrop 3300 (ThermoScientific, USA).

W celu określenia występowania genu *Lr41*, w selekcyjonowanym materiale roślinnym wykorzystano pięć *loci* mikrosatelitarnych: *Gdm35* (170 pz — par zasad), *Barc124* (250

pz), *Gwm210* (182 pz), *Gwm296* (135 pz) oraz *Gwm261* (160-200 pz). W tabeli 1 przedstawiono sekwencje nukleotydowe pięciu starterów użytych do selekcji genu *Lr41* (Röder i in., 1998; Pestsova i in., 2000; Singh i in., 2004; Somers i in., 2004; Song i in., 2005). Wszystkie wymienione startery zsyntetyzowano w Sigma-Genosys (Sigma-Genosys, W. Brytania). W każdej parze starterów jeden ze starterów na końcu 5' wyznakowano jednym z trzech barwników fluorescencyjnych ABI (FAM — niebieski, HEX — żółty lub TET — zielony). Reakcję amplifikacji przeprowadzono w probówkach (MJ Research, USA) w termocyklerze Mastercycler ep (Eppendorf AG, Niemcy). Reakcje PCR przeprowadzono w układzie zawierającym w objętości 8 µl następujące komponenty: 1,5 µl supernatantu otrzymanego po ekstrakcji za pomocą buforu TPS, 1 × bufor (MBI Fermentas, Litwa), 2,5 mM MgCl₂, 0,2 mM dNTPs, 0,5 µM startera i 1 jednostka polimerazy *Taq* (MBI Fermentas, Litwa). W zależności od temperatury przyłączania się starterów do matrycy zastosowano dwa profile termiczne reakcji PCR. Dla markerów *Barc124* oraz *Gdm35* warunki amplifikacji przebiegały według następującego programu: 94°C/2min. denaturacji wstępnej, 10 cykli składających się z: 94°C/30 sek., 55°C/30 sek., 72°C/1 min., a także 30 cykli 90°C/30 sek., 55°C/30 sek., 72°C/1 min. Dla markerów *Gwm296* oraz *Gwm261* profil reakcji PCR różnił się jedynie temperaturą hybrydyzacji, która wynosiła 60°C/30 sek. W ostatnim cyklu reakcji amplifikacji, etap elongacji został wydłużony do 5 min. Dla markera *Gwm210* amplifikację prowadzono jednostopniowo według następującego profilu: 94°C/3min. denaturacji wstępnej, 45 cykli składających się z: 94°C/1 min., 60°C/1 min., 72°C/2 min., końcowe wydłużanie łańcucha DNA przedłużono do 10 min. Temperatura pokryw grzewczej w termocyklerze, we wszystkich zastosowanych programach, wynosiła 105°C.

Tabela 1

Sekwencje nukleotydowych starterów wykorzystywanych do selekcji genu *Lr41*
The sequences of the primers used to detect *Lr41* gene

Starter Primer	Sekwencja 5' – 3' Sequence 5' – 3'	
	Forward (For)	Reverse (Rev)
<i>Gdm35</i>	CCTGCTCTGCCCTAGATACG	ATGTGAATGTGATGCATGCA
<i>Barc124</i>	TGCACCCCTTCCAAATCT	TGCGAGTCGTGGTTGT
<i>Gwm210</i>	TGAGAGGAAGGCTCACACCT	TGCATCAAGAATAGTGTGGAAG
<i>Gwm296</i>	GCCTAATAAACTGAAAACGAG	AATTCAACCTACCAATCTCTG
<i>Gwm261</i>	CTCGCGCTACTAGCCATTG	CTCCCTGTACGCCAAGGC

Produkty PCR przed naniesieniem na żel polyakrylamidowy (Cambrex Bio Science Rockland, USA) denaturowano w obecności formamidu (Sigma-Aldrich, Polska) z temperaturą pokryw grzewczej ustawioną na 105°C i temperaturą bloku 95°C przez 3 min., wykorzystując do tego termocykler UNO II (Biometria, Niemcy). Rozdział produktów amplifikacji PCR przeprowadzono na sekwenatorze DNA ABI 377XL (Applied Biosystems, USA) na 4,75% denaturującym żelu polyakrylamidowym. Rozdział elektroforetyczny prowadzono w buforze 1 × TBE (0,1 M Tris, 90 mM H₃BO₃, 9 mM EDTA).

Do selekcji materiału roślinnego pod kątem obecności genu *Pm21* wykorzystano system markerów SCAR: *SCAR₁₂₅₀* (1250 pz), *SCAR₁₄₀₀* (1400 pz) (Liu i in., 1999; Yildirim i in., 2004), a także marker o nazwie *NAU/xibao* (902 pz) (Cao i in., 2006). W tabeli 2 przedstawiono sekwencje nukleotydowe trzech starterów użytych do selekcji genu *Pm21*. Wszystkie wymienione startery również zsyntetyzowano przez Sigma-Genosys (Sigma-Genosys, W. Brytania). Powielanie fragmentów DNA dla markerów *SCAR₁₂₅₀* oraz *SCAR₁₄₀₀*, przeprowadzono w cienkościennych probówkach w 10 µl mieszaniny reakcyjnej, w skład której wchodziły następujące komponenty: 4 µl supernatantu pochodzącego po ekstrakcji za pomocą buforu TPS, 1 × bufor (MBI Fermentas, Litwa), 2,5 mM MgCl₂, 0,2 mM dNTPs, 0,5 µM startera i 1 jednostka polimerazy *Taq* (MBI Fermentas, Litwa). W termocyklerze Mastercycler ep, z pokrywą grzewczą ustawioną na 105°C, mieszaninę reakcyjną poddano następującemu profilowi termicznemu: 94°C/3min. denaturacji wstępnej, 40 cykli składających się z: 94°C/1 min., 55°C/1 min., 72°C/2 min., w ostatnim cyklu reakcji etap elongacji trwał 5 min. Objętość mieszaniny reakcyjnej w amplifikacji z udziałem markera *NAU/xibao* wynosiła 8 µl, a w jej skład wchodziły następujące komponenty: 1,5 µl supernatantu po izolacji metodą TPS, 1 × bufor (MBI Fermentas, Litwa), 2,5 mM MgCl₂, 0,2 mM dNTPs, 0,5 µM startera i 1 jednostka polimerazy *Taq* (MBI Fermentas, Litwa). Powielanie fragmentów DNA przeprowadzono również w termocyklerze Mastercycler ep według następującego profilu reakcji PCR: 94°C/3min. denaturacji wstępnej, 32 cykli składających się z: 94°C/30 sek., 55°C/30 sek., 72°C/2 min., końcowy etap amplifikacji trwał 5 min.

Tabela 2

Sekwencje nukleotydowych starterów wykorzystywanych do selekcji genu *Pm21*
The sequences of the primers used to detect *Pm21* gene

Starter Primer	Sekwencja 5' – 3' Sequence 5' – 3'	
	Forward (For)	Reverse (Rev)
<i>SCAR₁₂₅₀</i>	GTTTGTTCACGTTGAATGAATTC	CACTCTCCTCCACTAACAGAGG
<i>SCAR₁₄₀₀</i>	CACTCTCCTCAAACCTTGCAAG	CACTCTCCTCCACTAACAGAGG
<i>NAU/xibao</i>	AGATCCAACACCAGTTCAAG	ATGTTATGGAGGCTTGTC

Rozdział produktów amplifikacji dla trzech markerów wykorzystywanych przy selekcji materiału roślinnego na obecność genu *Pm21*, przeprowadzono na 1,5% żelu agarozowym przy napięciu 240 V, przez 4 godz. w buforze 0,5 × TBE. Otrzymany obraz rozdziału produktów amplifikacji wizualizowano przy użyciu bromku etydy, wykorzystując system Gel Logic 200 (Eastman Kodak Company, USA).

Do procentowego oszacowania genomu rodzica wypierającego (selekcja tła genetycznego) w pierwszym pokoleniu mieszańcowym wykorzystano technikę AFLP. Do tego celu, wykorzystano pięć kombinacji starterowych: *P38/T43* (P-ACT/T-CAT), *P41/T41* (P-AGG/T-CAC), *P39/T41* (P-AGA/T-CAC), *P35/T43* (P-ACA/T-CAT), *P36/T46* (P-ACC/T-CCG). Technikę AFLP wykonano w firmie KeyGene w Holandii (Keygene N.V., Holandia) zgodnie z protokołem opracowanym przez Vos i zespół (Vos i in., 1995). Ponadto w zależności od kombinacji jeden ze starterów AFLP wyznakowany

był jednym z dwóch barwników fluorescencyjnych (FAM — niebieski oraz JOE — zielony).

Rozdział produktów AFLP przeprowadzono za pomocą elektroforezy kapilarnej na sekwenatorze typu MegaBACE 1000 (AME Bioscience, Norwegia). Detekcja w wolnym buforze przebiegała w systemie dwóch różnych sygnałów fluorescencyjnych pochodzących z dwóch płytek jednocześnie (każda płytka 96 próbek) w czasie około 1,5 godzinowego cyklu.

Procentowy udział genomu rodzica wypierającego oszacowano za pomocą następującego wzoru:

$$\%RP = [A / (A + H + B)] \times 100$$

gdzie:

- %RP – procentowy udział genomu rodzica wypierającego (Lexus),
- A – homozygota typu rodzic wypierający,
- H – heterozygota,
- B – homozygota typu dawca odporności (linia *Lr41* lub linia *Pm21*).

Do konstrukcji map sprzężeń i oszacowania dystansu genetycznego w centymorganach (cM) wykorzystano oprogramowanie JoinMap 4.0. (Plant Research International, Holandia) przy wartości krytycznej LOD 3.0.

Otrzymane obrazy map genetycznych wygenerowano za pomocą programu komputerowego MapChart 2.2. (Plant Research International, Holandia).

WYNIKI

W pierwszym etapie pracy otrzymano dwie odrębne populacje, uzyskane po skrzyżowaniu odmiany pszenicy Lexus ze źródłem odporności na rdzę brunatną — linią *Lr41* (oznaczenie populacji: Lexus × *Lr41*), oraz odmiany Lexus ze źródłem odporności na mączniaka prawdziwego — linią *Pm21* (oznaczenie populacji: Lexus × *Pm21*).

Uzyskane rośliny F₁ populacji (Lexus × *Lr41*) i F₁ (Lexus × *Pm21*), przekrzyżowano między sobą. W wyniku tego, otrzymano populację mieszańcową krzyżowania zbieżnego ((Lexus × *Lr41*) × (Lexus × *Pm21*)) w liczbie 55 obiektów roślinnych. W badanej populacji ((Lexus × *Lr41*) × (Lexus × *Pm21*)) przeprowadzono selekcję molekularną na obecność dwóch *loci* odporności w jednym genotypie. Wśród 55 roślin z populacji ((Lexus × *Lr41*) × (Lexus × *Pm21*)) dokonano selekcji molekularnej pod względem obecności dwóch *loci* odporności, w wyniku czego do pierwszego krzyżowania z linią RAH979 wybrano 14 obiektów roślinnych (tab. 3). Dla pozostałych 41 obiektów roślinnych otrzymano niewystarczającą liczbę alleli *loci* mikrosatelitarnych dla genu *Lr41*, a w przypadku genu *Pm21* analizowane obiekty nie amplifikowały w reakcji PCR dla *locus* odporności. Dlatego też, zdecydowano, o wyeliminowaniu ich z kolejnego etapu badań.

W następnym etapie skrzyżowano 14 wyselekcjonowanych roślin z linią RAH979 i otrzymano pierwsze pokolenie populacji mieszańcowej [((Lexus × *Lr41*) × (Lexus × *Pm21*)) × RAH979] w liczbie 121 roślin. W analizowanej populacji mieszańcowej [((Lexus × *Lr41*) × (Lexus × *Pm21*)) × RAH979] przeprowadzono selekcję molekularną na obecność dwóch *loci* odporności w jednym genotypie. Na podstawie analizy molekularnej wybrano

do dalszych badań 29 roślin do analizy tła genetycznego (tab. 4). Pozostałe 92 rośliny, nie spełniły kryteriów selekcji molekularnej, dlatego też, wyeliminowano je z następnego etapu badań.

Tabela 3

Analiza molekularna (selekcja genów) genów odporności na rdzę brunatną (*Lr41*) i mączniaka prawdziwego (*Pm21*) dla populacji mieszańcowej ((*Lexus* × *Lr41*) × (*Lexus* × *Pm21*))
Molecular analysis (foreground selection) of the leaf rust (*Lr41*) and powdery mildew (*Pm21*) resistance genes for the ((*Lexus* × *Lr41*) × (*Lexus* × *Pm21*)) population

Nr rośliny Plant number	Selekcja molekularna na obecność genu odporności na rdzę brunatną <i>Lr41</i> Molecular selection for the presence of leaf rust resistance gene <i>Lr41</i>			Selekcja molekularna na obecność genu odporności na mączniaka prawdziwego <i>Pm21</i> Molecular selection for the presence of powdery mildew resistance gene <i>Pm21</i>	
	<i>Gdm35</i>	<i>Barc124</i>	<i>Gwm210</i>	<i>SCAR₁₂₆₅</i>	<i>SCAR₁₄₀₀</i>
840	+	+	-*	+	+
848	+	-	-	+	+
850	+	+	-	+	+
851	+	+	-	+	+
853	+	-	+	+	+
854	+	-	+	+	+
855	+	+	-	+	+
858	+	+	+	+	+
860	+	-	+	+	+
864	+	+	+	+	+
866	+	+	+	+	+
871	+	+	+	+	+
883	+	+	+	+	+
887	+	-	-	+	+

* - (-), (+) – brak lub obecność produktów amplifikacji; presence or absence of amplification products

Wyniki selekcji tła genetycznego zestawiono w tabeli 5. W analizie tła uzyskano łącznie 20 polimorficznych profili markerowych AFLP: *P35/T43-119.25*, *P35/T43-212.58*, *P35/T43-282.98*, *P36/T46-099.45*, *P36/T46-122.73*, *P36/T46-186.41*, *P36/T46-278.63*, *P36/T46-358.13*, *P36/T46-393.19*, *P36/T46-550.36*, *P38/T43-347.41*, *P39/T41-222.24*, *P39/T41-336.26*, *P41/T41-132.30*, *P41/T41-147.60*, *P41/T41-165.01*, *P41/T41-324.07*, *P41/T41-380.22*, *P38/T43-346.18*, *P38/T43-386.94*. Dla każdego z analizowanych obiektów, w stosunku do każdej wygenerowanej pary markerów AFLP, określono segregację populacji [((*Lexus* × *Lr41*) × (*Lexus* × *Pm21*)) × RAH979]. W zależności od typu otrzymanych prążków AFLP, rozróżniono homozygoty pod względem rodzica wypierającego (RAH979) oraz heterozygoty, a następnie badanym obiektom przypisano odpowiednie profile genetyczne. W badanym materiale roślinnym oszacowano procentowy udział genomu rodzica wypierającego. Dla analizowanej populacji, oscylował on w granicach 20–78,6%, odpowiednio dla rośliny numer 707 przypadło 78,6% genomu rodzica wypierającego, a 20% dla rośliny 684 (tab. 5).

Tabela 4

Analiza molekularna (selekcja genów) genów odporności na rdzę brunatną (*Lr41*) i mączniaka prawdziwego (*Pm21*) dla populacji mieszańcowej [((*Lexus* × *Lr41*) × (*Lexus* × *Pm21*)) × RAH979]
Molecular analysis (foreground selection) of the leaf rust (*Lr41*) and powdery mildew (*Pm21*) resistance genes for the [((*Lexus* × *Lr41*) × (*Lexus* × *Pm21*)) × RAH979] population

Nr rośliny Plant number	Selekcja molekularna na obecność genu odporności na rdzę brunatną <i>Lr41</i> Molecular selection for the presence of leaf rust resistance gene <i>Lr41</i>				Selekcja molekularna na obecność genu odporności na mączniaka prawdziwego <i>Pm21</i> Molecular selection for the presence of powdery mildew resistance gene <i>Pm21</i>
	<i>Gdm35</i>	<i>Barc124</i>	<i>Gwm261</i>	<i>Gwm296</i>	<i>NAU/xibao</i>
601	+	+	+	+	+
602	+	+	-*	+	+
604	+	+	-	+	+
607	+	+	+	-	+
608	+	+	-	+	+
609	+	+	+	+	+
614	+	+	-	+	+
619	+	+	-	+	+
620	+	+	+	+	+
627	+	+	-	-	+
632	+	+	+	-	+
644	+	+	+	-	+
658	+	+	+	+	+
661	+	+	+	+	+
664	+	+	+	+	+
668	+	+	+	+	+
669	+	+	+	+	+
676	+	+	-	+	+
684	+	+	+	+	+
686	+	-	-	-	+
695	+	+	+	+	+
698	+	+	+	+	+
703	+	+	-	+	+
705	+	-	-	+	+
707	+	-	-	+	+
708	+	+	+	+	+
713	+	+	-	+	+
716	+	-	-	-	+
718	+	+	+	+	+

* - (-), (+) – brak lub obecność produktów amplifikacji; presence or absence of amplification products

W celu uzyskania drugiego pokolenia populacji mieszańcowej [((*Lexus* × *Lr41*) × (*Lexus* × *Pm21*)) × RAH979], po przeprowadzonej selekcji genów oraz analizie tła genetycznego, do kolejnego rozmnożenia wybrano 12 roślin. Wyniki oceny molekularnej i fenotypowej dla wybranych roślin potomnych przedstawiono w tabeli 6. Oceniono zgodność między oceną selekcji molekularnej a oceną selekcji fenotypowej. Dla części obiektów uzyskano niejednoznaczne wyniki. Niektóre rośliny według oceny fenotypowej były odporne na oba patogeny, natomiast podczas oceny molekularnej, nie wykryto specyficznych alleli *loci* mikrosatelitarnych dla *locus* odporności *Lr41* i/lub brak translokacji *Pm21*.

Tabela 5

Procentowe oszacowanie udziału genomu rodzica wypierającego (% RP) dla populacji [(Lexus x *Lr41*) x (Lexus x *Pm21*)] x RAH979]
 The percentage of recurrent parent (% RP) for the [(Lexus x *Lr41*) x (Lexus x *Pm21*)] x RAH979] population

	Markery AFLP AFLP Markers	P35/T43-119.25	P35/T43-212.58	P35/T43-282.98	P36/T46-099.45	P36/T46-122.73	P36/T46-186.41	P36/T46-278.63	P36/T46-358.13	P36/T46-393.19	P36/T46-550.36	P38/T43-347.41	P39/T41-222.24	P39/T41-336.26	P41/T41-132.30	P41/T41-147.60	P41/T41-165.01	P41/T41-324.07	P41/T41-380.22	P38/T43-346.18	P38/T43-386.94	Razem A All A	Razem H All H	Razem U All U	Razem B All B	SUMA SUM	A+H+B	%RP
Rodzic wypierający Recurrent parent	RAH979	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	20	0	0	0	20	20	100,0
	Lexus	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	20	0	0	0	20	20	100,0
Dawca odporności Donor parent	Pm21	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	0	0	0	20	20	20	0,0
	Lr41	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	0	0	0	20	20	20	0,0
Nr rośliny Plant number	707	A	A	A	H	A	A	A	H	U	A	U	U	U	A	H	A	A	A	U	U	11	3	6	0	20	14	78,6
	619	A	A	A	A	A	A	A	H	A	A	A	H	H	A	H	A	A	A	H	H	14	6	0	0	20	20	70,0
	609	H	A	A	H	A	H	A	A	A	A	H	U	U	H	H	A	A	H	A	A	11	7	2	0	20	18	61,1
	686	A	A	A	H	H	A	A	A	H	H	H	U	U	A	H	A	A	A	H	H	10	8	2	0	20	18	55,6
	602	H	A	H	H	H	H	A	H	A	A	H	H	A	A	H	A	A	A	A	A	11	9	0	0	20	20	55,0
	668	H	A	H	H	U	U	U	U	U	U	H	H	H	A	A	A	A	H	A	A	7	7	6	0	20	14	50,0
	607	H	A	H	H	A	A	H	A	A	A	H	H	H	H	H	A	A	H	A	A	10	10	0	0	20	20	50,0
	658	H	U	A	H	A	A	A	H	A	A	H	H	H	H	H	A	H	H	A	A	9	10	1	0	20	19	47,4
	614	H	A	H	H	H	H	H	A	H	A	H	H	A	A	A	H	A	H	A	A	9	11	0	0	20	20	45,0
	632	A	H	A	H	H	A	A	A	A	H	A	H	H	A	H	A	H	A	H	H	9	11	0	0	20	20	45,0
	716	H	H	H	H	H	A	H	A	H	H	H	H	A	A	A	A	A	H	A	A	9	11	0	0	20	20	45,0
	676	H	U	H	H	H	A	H	A	H	H	H	H	A	A	H	A	A	H	A	A	8	11	1	0	20	19	42,1
	620	A	H	A	A	A	H	H	A	H	A	H	H	H	H	H	A	A	U	H	H	8	11	1	0	20	19	42,1
	695	U	H	H	H	A	H	H	A	H	H	H	U	U	A	H	A	H	A	A	A	7	10	3	0	20	17	41,2
	601	H	H	H	U	U	U	U	U	U	U	H	H	A	A	H	A	H	H	A	A	5	8	7	0	20	13	38,5
Nr roślin F ₁ BC ₁	698	U	H	H	H	H	A	U	A	H	H	H	U	U	H	H	A	A	H	A	A	6	10	4	0	20	16	37,5
Nr roślin F ₁ BC ₁	604	H	H	H	H	H	A	A	H	H	A	H	H	H	A	H	H	A	H	A	A	7	13	0	0	20	20	35,0

c.d. Tabela 5

	Markery AFLP AFLP Markers	P35/T43-119.25	P35/T43-212.58	P35/T43-282.98	P36/T46-099.45	P36/T46-122.73	P36/T46-186.41	P36/T46-278.63	P36/T46-358.13	P36/T46-393.19	P36/T46-550.36	P38/T43-347.41	P39/T41-222.24	P39/T41-336.26	P41/T41-132.30	P41/T41-147.60	P41/T41-165.01	P41/T41-324.07	P41/T41-380.22	P38/T43-346.18	P38/T43-386.94	Razem A All A	Razem H All H	Razem U All U	Razem B All B	SUMA SUM	A+H+B	%RP
Rodzic wypierający Recurrent parent	RAH979	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	20	0	0	0	20	20	100,0
	Lexus	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	20	0	0	0	20	20	100,0
Dawca odporności Donor parent	Pm21	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	0	0	0	20	20	20	0,0
	Lr41	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	0	0	0	20	20	20	0,0
Nr rośliny Plant number	669	H	H	H	H	H	A	H	A	H	H	H	H	A	H	H	A	H	A	A	A	7	13	0	0	20	20	35,0
	661	H	A	H	H	H	A	A	H	H	A	U	U	U	H	H	A	H	H	U	U	5	10	5	0	20	15	33,3
	608	H	H	H	H	H	H	H	H	A	A	H	H	H	A	U	A	H	H	A	A	6	13	1	0	20	19	31,6
	627	H	H	H	H	H	H	H	A	H	A	H	H	A	H	H	H	A	U	A	A	6	13	1	0	20	19	31,6
	644	H	H	A	H	H	A	H	A	A	H	H	H	H	H	H	H	H	A	A	A	6	14	0	0	20	20	30,0
	718	H	H	H	H	A	A	H	H	A	A	H	H	H	H	H	H	H	H	A	A	6	14	0	0	20	20	30,0
	703	H	H	H	H	H	A	H	H	H	H	H	U	U	H	A	A	H	H	A	A	5	13	2	0	20	18	27,8
	705	H	H	H	H	H	H	A	H	H	H	H	U	U	H	H	A	H	A	A	A	5	13	2	0	20	18	27,8
	664	H	U	H	H	H	A	A	H	H	A	H	H	H	H	H	H	H	H	A	A	5	14	1	0	20	19	26,3
	713	H	H	H	H	A	H	U	H	H	H	H	H	H	H	A	H	H	H	A	A	4	15	1	0	20	19	21,1
	684	H	U	H	H	A	H	H	H	U	H	U	H	A	H	H	A	H	H	U	U	3	12	5	0	20	15	20,0

Wśród 176 analizowanych osobników drugiego pokolenia populacji mieszańcowej $[(\text{Lexus} \times \text{Lr41}) \times (\text{Lexus} \times \text{Pm21})] \times \text{RAH979}$, 156 obiektów roślinnych nie spełniło kryteriów selekcji molekularnej i dlatego też, odrzucono je z kolejnego etapu badań.

Wykorzystując wyniki oceny molekularnej w połączeniu z wynikami oceny fenotypowej, do trzeciego rozmnożenia z populacji wybrano 19 roślin odpornych wykazujących zgodność oceny molekularnej i fenotypowej (tab. 6).

Tabela 6

Analiza molekularna (selekcja genów) oraz ocena odporności dla F₂ populacji mieszańcowej $[(\text{Lexus} \times \text{Lr41}) \times (\text{Lexus} \times \text{Pm21})] \times \text{RAH979}$

Molecular analysis (foreground selection) and reaction of $[(\text{Lexus} \times \text{Lr41}) \times (\text{Lexus} \times \text{Pm21})] \times \text{RAH979}$ F₂ population to leaf rust (Lr41) and powdery mildew (Pm21) resistance

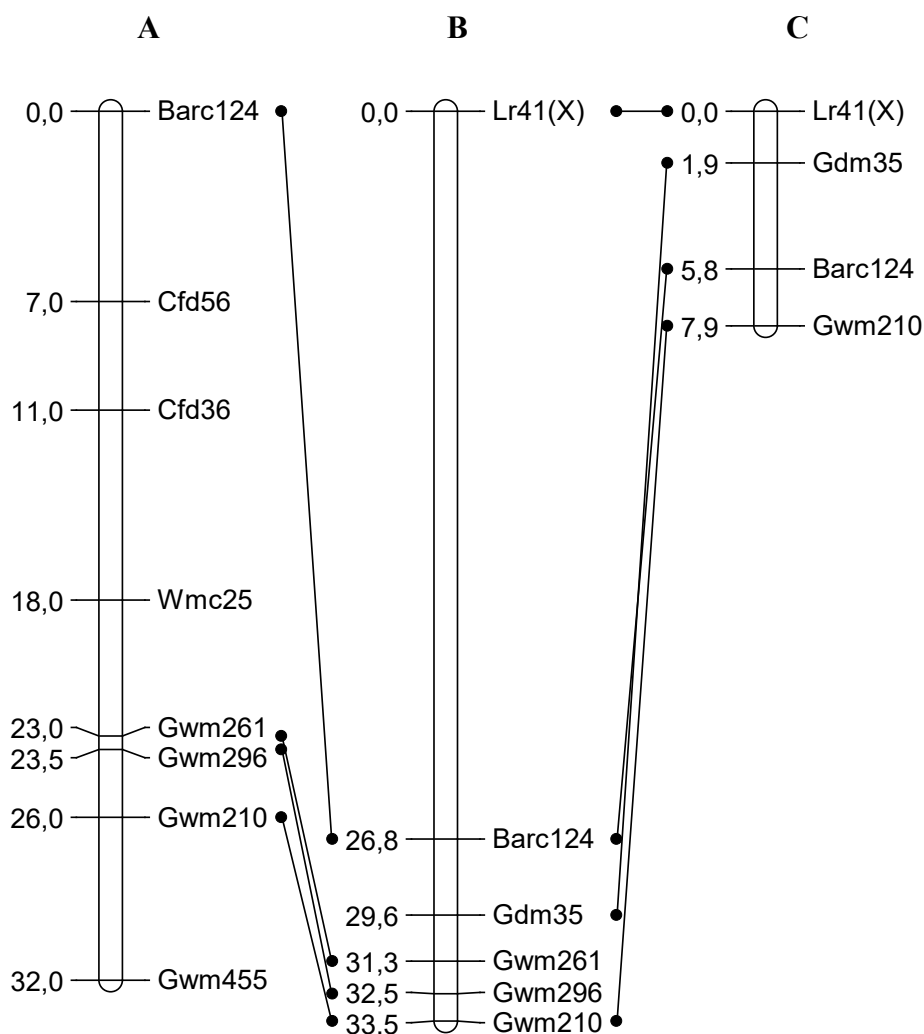
Rośliny F ₁ Plants F ₁		Selekcja genów i ocena fenotypowa Foreground selection and leaf rust and powdery mildew test									
nr rośliny plant number	%RP	nr rośliny populacji F ₂ plant number in F ₂ generation	selekcja molekularna na obecność genów odporności molecular selection for the presence of the resistance genes						ocena fenotypowa resistance test		
			Lr41						Pm21	rdza brunatna leaf rust	mączniak prawdziwy powdery mildew
			Gdm35	Barc124	Gwm261	Gwm296	Gwm210	NAU/xibao			
602	55,0	602/664	+	+	+	+	+	+	O**	O	
		602/666	+	+	-*	-	+	+	O	O	
		602/676	+	+	-	-	+	+	O	O	
		602/677	+	+	+	+	-	+	O	O	
607	50,0	607/706	+	+	+	+	+	+	O	O	
		609/611	+	+	-	-	-	+	O	O	
609	61,1	609/612	+	+	+	-	-	+	O	O	
		609/613	+	+	+	-	-	+	O	O	
		609/615	+	+	+	-	-	+	O	O	
		609/618	+	+	+	-	-	+	O	O	
		609/620	+	+	+	-	-	+	O	O	
		609/623	+	+	+	-	-	+	O	O	
		609/626	+	+	+	+	+	+	O	O	
614	45,0	614/715	+	+	+	+	+	+	O	O	
		614/716	+	+	+	+	+	+	O	O	
		614/717	+	+	+	+	+	+	O	O	
		614/720	+	+	-	-	+	+	O	O	
658	47,4	658/684	+	+	-	-	-	+	O	O	
		658/688	+	+	-	-	-	+	O	O	

* - (-); (+) – brak lub obecność produktów amplifikacji, presence or absence of amplification products

** O - rośliny odporne na podstawie oceny fenotypowej, plant resistant to leaf rust and powdery mildew

Na podstawie oceny molekularnej i fenotypowej drugiego pokolenia populacji mieszańcowej $[(\text{Lexus} \times \text{Lr41}) \times (\text{Lexus} \times \text{Pm21})] \times \text{RAH979}$, skonstruowano mapę genetyczną (rys. 1). Utworzono grupy homologiczne w obrębie trzech map genetycznych, za pomocą których porównano kolejność położenia markerów na zbudowanej mapie w stosunku do map źródłowych (referencyjnych). Rozmieszczenie markerów na skonstruowanej mapie dla populacji mieszańcowej różnił się nieznacznie z położeniem markerów na dwóch mapach referencyjnymi. Kolejność położenia markerów od *locus* odporności *Lr41(X)* (0,0cM) na chromosomie 2DS pszenicy dla populacji $[(\text{Lexus} \times \text{Lr41}) \times (\text{Lexus}$

$\times Pm21)) \times RAH979]$ była następująca: *Barc124*, *Gdm35*, *Gwm261*, *Gwm296*, *Gwm210*, oddalone odpowiednio o 26,8cM; 29,6cM; 31,3cM; 32,5cM; 33,5cM od *locus* odporności.



Rys. 1. Porównanie skonstruowanej mapy genetycznej (B) z mapami referencyjnymi: wg Somers i in. (2004) (A) i wg Singh i in. (2004) (C). A - mapa zbiorcza dla czterech populacji mapujących: Synthetic / Opata, RL4452 / AC Domain, Wuhan / Maringa, Superb / BW278; B - F₂ [(*Lexus* $\times$ *Lr41*) $\times$ (*Lexus* $\times$ *Pm21*)] $\times$ RAH979], C - WGRC10 / TAM 107

Fig. 1. Comparison of elaborated *Lr41* genetic map (B) with reference maps by Somers et al. (2004) (A) and Singh et al. (2004) (C). A - Consensus map which contains four mapping populations: Synthetic / Opata, RL4452 / AC Domain, Wuhan / Maringa, Superb / BW278; B - F₂ [(*Lexus* $\times$ *Lr41*) $\times$ (*Lexus* $\times$ *Pm21*)] $\times$ RAH979], C - WGRC10 / TAM 107

W pokoleniu F₃ w ocenie fenotypowej wśród 312 roślin, równoczesną odporność (na oba patogeny) stwierdzono u 113 roślin (tab. 7).

Tabela 7

Reakcja populacji mieszańcowej [(Lexus × *Lr4I*) × (Lexus × *Pm2I*)] × RAH979] na rdzę brunatną i mączniaka prawdziwego po inokulacji izolatami *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* i *Blumeria graminis* f. sp. *tritici*

Reaction of [(Lexus × *Lr4I*) × (Lexus × *Pm2I*)] × RAH979] population for leaf rust and powdery mildew after inoculation with isolates with *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* and *Blumeria graminis* f. sp. *tritici*

Rośliny F ₁ — Plants F ₁		Nr rośliny populacji F ₂ Plant number in F ₂ generation	Nr rośliny populacji F ₃ Plant number in F ₃ generation	Ocena fenotypowa — Resistance test	
nr rośliny plant number	%RP			rdza brunatna leaf rust	mączniak prawdziwy powdery mildew
602	55,0	602/664	602/664/1	O**	O
			602/664/2	O	O
			602/664/3	O	O
			602/664/4	O	O
			602/664/5	O	O
			602/664/6	O	O
			602/664/7	O	O
			602/664/8	O	O
			602/664/9	O	O
			602/664/10	O	O
			602/664/11	O	O
			602/664/12	O	O
			602/664/13	O	O
			602/664/14	O	O
			602/664/15	O	O
			602/664/16	Roślina wypadła — Missing plant	
			602/664/17	O	O
			602/664/18	O	O
			602/664/19	O	O
			602/664/20	O	O
609	61,1	609/611	609/611/1	O	O
			609/611/2	O	O
			609/611/3	O	O
			609/611/4	O	O
			609/611/5	O	O
			609/611/6	O	O
			609/611/7	O	O
			609/611/8	O	O
			609/611/9	O	O
			609/611/10	O	O
			609/611/11	O	O
			609/611/12	O	O
			609/611/13	O	O
			609/611/14	O	O
			609/611/15	O	O
			609/611/16	O	O
			609/611/17	O	O
			609/611/18	O	O
			609/611/19	O	O
			609/611/20	O	O
		609/613	609/613/1	O	O
			609/613/2	O	O

c.d. Tabela 7

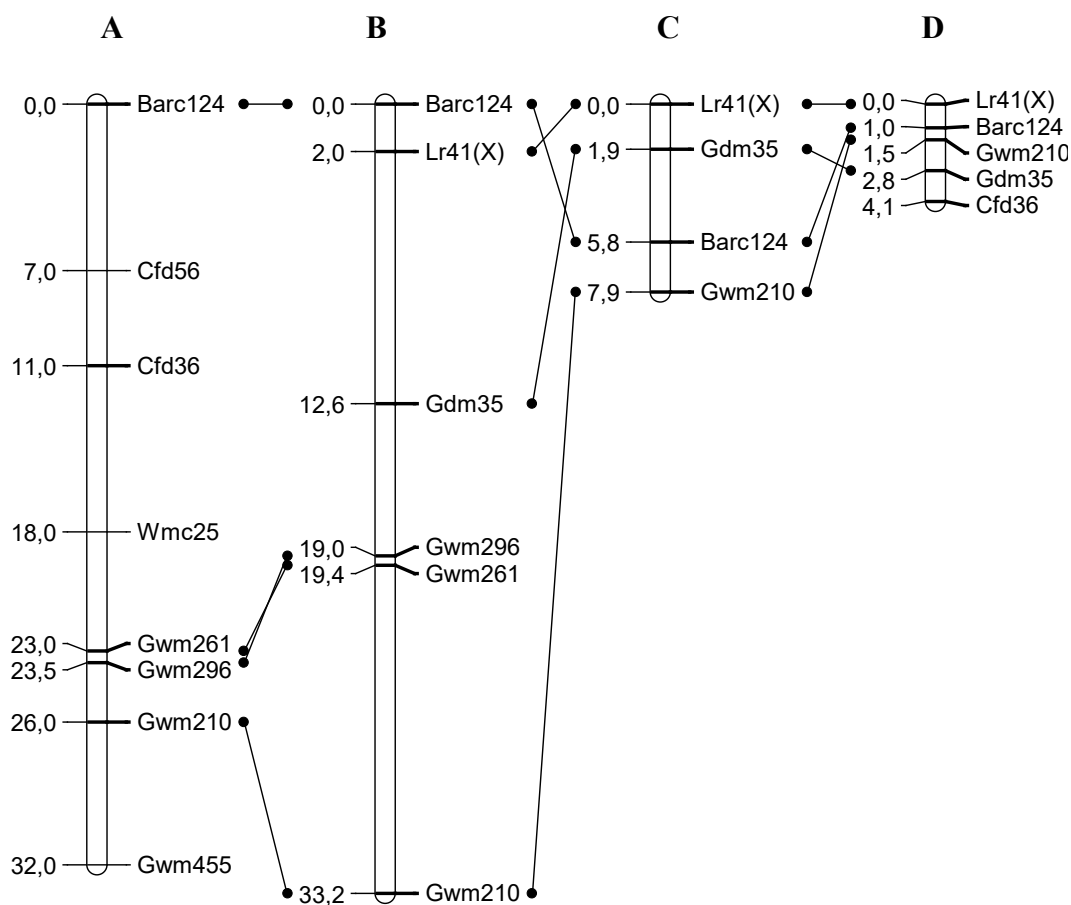
Rośliny F ₁ — Plants F ₁		Nr rośliny populacji F ₂ Plant number in F ₂ generation	Nr rośliny populacji F ₃ Plant number in F ₃ generation	Ocena fenotypowa — Resistance test	
nr rośliny plant number	%RP			rdza brunatna leaf rust	mączniak prawdziwy powdery mildew
609	61,1	609/613	609/613/3	O	O
			609/613/4	O	O
			609/613/5	O	O
			609/613/6	O	O
			609/613/7	O	O
			609/613/8	O	O
			609/613/9	O	O
			609/613/10	O	O
			609/613/11	O	O
			609/613/12	O	O
			609/613/13	O	O
			609/613/14	O	O
			609/613/15	O	O
			609/613/16	O	O
			609/613/17	O	O
			609/613/18	O	O
			609/613/19	O	O
			609/613/20	O	O
		609/615	609/615/1	Roślina wypadła — Missing plant	
			609/615/2	Roślina wypadła — Missing plant	
			609/615/3	O	O
			609/615/4	O	O
			609/615/5	Roślina wypadła — Missing plant	
			609/615/6	O	O
			609/615/7	O	O
			609/615/8	O	O
			609/615/9	O	O
			609/615/10	Roślina wypadła — Missing plant	
			609/615/11	O	O
			609/615/12	Roślina wypadła — Missing plant	
			609/615/13	Roślina wypadła — Missing plant	
			609/615/14	Roślina wypadła — Missing plant	
			609/615/15	O	O
			609/615/16	O	O
			609/615/17	Roślina wypadła — Missing plant	
			609/615/18	O	O
		609/618	609/618/1	O	O
			609/618/2	O	O
			609/618/3	O	O
			609/618/4	O	O
			609/618/5	O	O
			609/618/6	O	O
			609/618/7	O	O
			609/618/8	O	O
			609/618/9	O	O
			609/618/10	O	O
			609/618/11	O	O
			609/618/12	O	O
			609/618/13	O	O
			609/618/14	O	O

c. d. Tabela 7

Rośliny F ₁ — Plants F ₁		Nr rośliny populacji F ₂ plant number in F ₂ generation	Nr rośliny populacji F ₃ plant number in F ₃ generation	Ocena fenotypowa — Resistance test	
nr rośliny plant number	%RP			rdza brunatna leaf rust	mączniak prawdziwy powdery mildew
609	61,1	609/618	609/618/15	O	O
			609/618/16	O	O
			609/618/17	O	O
			609/618/18	O	O
			609/618/19	O	O
			609/618/20	O	O
		609/626	609/626/1	O	O
			609/626/2	O	O
			609/626/3	O	O
			609/626/4	O	O
			609/626/5	Roślina wypadła — Missing plant	
			609/626/6	O	O
			609/626/7	O	O
			609/626/8	O	O
			609/626/9	Roślina wypadła — Missing plant	
			609/626/10	O	O
			609/626/11	Roślina wypadła — Missing plant	
			609/626/12	O	O
			609/626/13	Roślina wypadła — Missing plant	
			609/626/14	Roślina wypadła — Missing plant	
			609/626/15	O	O
614	45,0	614/720	614/720/1	O	O
			614/720/2	O	O
			614/720/3	O	O
			614/720/4	O	O
			614/720/5	O	O
			614/720/6	O	O
			614/720/7	O	O
			614/720/8	O	O
			614/720/9	O	O
			614/720/10	O	O
			614/720/11	O	O
			614/720/12	O	O
			614/720/13	O	O
			614/720/14	O	O

** O - rośliny odporne na podstawie oceny fenotypowej; plant resistant to leaf rust and powdery mildew

Analizie molekularnej poddano 93 rośliny z wybranych 113, z czego 20 roślin wypadło z powodu wyginiecia. Na podstawie uzyskanych wyników oceny fenotypowej i molekularnej skonstruowano mapę genetyczną (rys. 2). W obrębie czterech map stworzono grupy homologiczne, za pomocą których porównano ułożenie markerów na zbudowanej mapie w stosunku do trzech map referencyjnych, jak również pomiędzy samymi mapami źródłowymi. Kolejność markerów na chromosomie dla populacji $[(\text{Lexus} \times \text{Lr41}) \times (\text{Lexus} \times \text{Pm21}) \times \text{RAH979}]$, w porównaniu do trzech map referencyjnych znacznie się różniła. Układ markerów na skonstruowanej mapie genetycznej dla populacji $[(\text{Lexus} \times \text{Lr41}) \times (\text{Lexus} \times \text{Pm21}) \times \text{RAH979}]$ oraz ocena fitopatologiczna były najważniejszym kryterium, jakim kierowano się przy selekcji materiału roślinnego.



Rys. 2. Porównanie skonstruowanej mapy genetycznej (B) z mapami referencyjnymi: wg Somers i in. (2004) (A), wg Singh i in. (2004) (C) oraz wg Sun i in. (2009) (D). A - mapa zbiorcza czterech populacji mapujących: Synthetic / Opata, RL4452 / AC Domain, Wuhan / Maringa, Superb / BW278; B – F_3 [((Lexus x *Lr41*) x (Lexus x *Pm21*)) x RAH979], C - WGRC10 / TAM 107, D – KS93U62 x OK92G205/206

Fig. 2. Comparison of the elaborated *Lr41* genetic map (B) with two reference maps obtained from Somers et al. (2004) (A), Singh et al. (2004) (C) and Sun et al. (2009) (D). A - consensus map which contains four mapping populations: Synthetic / Opata, RL4452 / AC Domain, Wuhan / Maringa, Superb / BW278; B – F_3 [((Lexus x *Lr41*) x (Lexus x *Pm21*)) x RAH979], C - WGRC10 / TAM 107

Kolejność markerów wraz z *locus* odporności *Lr41* zlokalizowanych na chromosomie 2DS dla analizowanej populacji była następująca: *Barc124* (0,0cM), *Lr41*(X) (2,0cM), *Gdm35*, (12,6cM), *Gwm296* (19,0cM), *Gwm261* (19,4cM), *Gwm210* (33,2cM). Każda z roślin wyznaczonych do dalszego etapu prac hodowanych musiała posiadać następujący układ markerowy: *Barc124* (0,0cM), *Gdm35* (12,6cM), *NAU/xibao*. Przeprowadzona selekcja molekularna wykazała, że spośród 93 zanalizowanych obiektów roślinnych

populacji $[(\text{Lexus} \times \text{Lr41}) \times (\text{Lexus} \times \text{Pm21})] \times \text{RAH979}$, do kolejnego rozmnożenia wybrano 23 homozygotycznych linii pod względem odporności na oba patogeny (tab.8).

Tabela 8

Analiza molekularna (selekcja genów) oraz ocena odporności dla F₃ populacji mieszańcowej $[(\text{Lexus} \times \text{Lr41}) \times (\text{Lexus} \times \text{Pm21})] \times \text{RAH979}$
Molecular analysis (foreground selection) and resistance of $[(\text{Lexus} \times \text{Lr41}) \times (\text{Lexus} \times \text{Pm21})] \times \text{RAH979}$ F₃ population to leaf rust (*Lr41*) and powdery mildew (*Pm21*)

Rośliny F ₁ Plants F ₁		Nr rośliny populacji F ₂ plant number in F ₂ generation	Selekcja genów i ocena fenotypowa Foreground selection and leaf rust and powdery mildew test								
nr rośliny plant number	%RP		nr rośliny populacji F ₃ plant number in F ₃ generation	selekcja molekularna na obecność genów odporności molecular selection for the presence of the resistance genes						ocena fenotypowa resistance test	
				<i>Lr41</i>					<i>Pm21</i>	rdza brunatna leaf rust	mączniak prawdziwy powdery mildew
				<i>Barc124</i>	<i>Gdm35</i>	<i>Gwm296</i>	<i>Gwm261</i>	<i>Gwm210</i>	<i>NAU/xibao</i>		
602	55	602/664	602/664/2	+	+	-	-	+	+	O**	O
			602/664/4	+	+	-	-	-	+	O	O
			602/664/5	+	+	-	-	+	+	O	O
			602/664/8	+	+	-	-	+	+	O	O
			602/664/13	+	+	-	-	-	+	O	O
			602/664/19	+	+	-	-	+	+	O	O
			602/664/20	+	+	-	-	+	+	O	O
609	61,1	609/613	609/613/3	+	+	-	-	-	+	O	O
			609/613/9	+	+	-	-	-	+	O	O
			609/613/15	+	+	-	-	-	+	O	O
			609/613/16	+	+	-	-	-	+	O	O
			609/613/17	+	+	-	-	-	+	O	O
			609/613/18	+	+	-	-	+	+	O	O
		609/615	609/615/3	+	+	-	-	+	+	O	O
		609/618	609/618/3	+	+	-	-	-	+	O	O
			609/618/4	+	+	-	-	-	+	O	O
			609/618/6	+	+	-	-	+	+	O	O
			609/618/16	+	+	-	-	+	+	O	O
			609/618/20	+	+	+	+	+	+	O	O
			609/626/2	+	+	-	-	-	+	O	O
		609/626	609/626/12	+	+	+	+	+	+	O	O
			609/626/15	+	+	+	+	+	+	O	O
614	45	614/720	614/720/1	+	+	+	+	+	+	O	O

* - (-); (+) – brak lub obecność produktów amplifikacji; presence or absence of amplification products

** O - rośliny odporne na podstawie oceny fenotypowej; plant resistant to leaf rust and powdery mildew

DYSKUSJA

Wzbogacanie pul genowych pszenicy prowadzone na drodze krzyżowań jest zabiegiem hodowlanym, dzięki któremu dochodzi do połączenia efektywnych genów odporności na szerokie spektrum ras jednego lub kilku patogenów (Liu i in., 2000; Chełkowski i in., 2005b). Kumulacja różnych kombinacji genów warunkujących odporność na ważne z punktu widzenia rolniczego choroby, w tym również genów o charakterze ilościowym, jest obecnie metodą powszechnie stosowaną w programach hodowlanych na całym świecie.

Istnieje wiele przykładów wprowadzania efektywnych genów odporności do jednego genotypu. Przykładem są prace prowadzone przez zespół Liu (Liu i in., 2000), którzy wprowadzili dwa geny odporności na mączniaka prawdziwego w kombinacjach: *Pm4a* + *Pm21* oraz *Pm2* + *Pm21* do chińskiej odmiany pszenicy Yang158. Jednak brak jest doniesień literaturowych dotyczących wprowadzenia kombinacji *Lr41* + *Pm21*, czego podjęto się w pracach prowadzonych w Pracowni Genetyki Stosowanej Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB w Radzikowie.

Wybór pożądanych genotypów przy użyciu technik molekularnych, jest nieporównywalnie szybszą i w większości przypadków skuteczniejszą metodą selekcji materiału roślinnego. Dlatego też, w celu selekcji korzystnych genotypów pod względem obecności genu(ów) odporności na rdzę brunatną i mączniaka prawdziwego, po każdym wykonanym krzyżowaniu przeprowadzono analizę molekularną. W początkowym etapie badań do selekcji materiału roślinnego pod kątem obecności genu *Lr41* wykorzystano trzy markery mikrosatelitarne SSR, sprzężone z genem *Lr41*: *Gdm35*, *Barc124* oraz *Gwm210*. W przeciwieństwie do wyników uzyskanych przez Singha i zespół (Singh i in., 2004) oraz Sun i zespół (Sun i in., 2009), markery te, nie potwierdziły w pełni swojego praktycznego zastosowania podczas selekcji materiału roślinnego pod względem obecności genu *Lr41*. Interpretacja otrzymanych obrazów elektroforetycznych, czyli produktów reakcji PCR, przy użyciu wspomnianych markerów SSR, była niekiedy trudna i problematyczna. Dlatego też, aby selekcja materiału roślinnego była bardziej rzetelna i dokładniejsza, zdecydowano się na zastosowanie dodatkowych markerów mikrosatelitarnych. W tym celu posłużono się mapą referencyjną wg Somers i zespół (Somers i in., 2004). Wybrano dwa polimorficzne markery SSR: *Gwm261* oraz *Gwm296*, zlokalizowane na krótkim ramieniu chromosomu 2DS, które wg Somers położone są najbliżej literaturowych mikrosatelit. Nadal istnieją pewne niejasności dotyczące prawidłowego doboru markerów molekularnych do selekcji genu *Lr41*. Singh z zespołem (Singh i in., 2004) uważają, że do selekcji materiału roślinnego, wystarczy wykorzystać tylko marker *Gdm35*, najbardziej sprzężony z *locus* odporności (1,9cM od *locus* *Lr41*). Z tego też względu, na przełomie ostatnich dwóch lat, selekcja pszenic pod względem obecności genu *Lr41*, prowadzana w amerykańskich programach hodowlanych opierała się tylko na wspomnianym markerze. Okazało się jednak, że nie jest on na tyle wiarygodnym i uniwersalnym, aby można go było wykorzystywać na szeroką skalę w selekcji wspomaganej markerami (MAS) (Sun i in., 2009). Natomiast z wyników otrzymanych przez Sun i zespół (Sun i in., 2009) można wywnioskować, że do selekcji genu *Lr41*, należy posłużyć się czterema markerami: *Barc124*, *Gwm210*, *Gdm35* oraz *Cfd36*. Jednak autorzy tych badań wyraźnie podkreślają, że prawidłowy dobór markerów do selekcji materiału roślinnego powinien być poprzedzony bardzo dokładną analizą źródła pochodzenia odporności (dawcy odporności). Sugerują oni, że selekcja materiału roślinnego może być oparta tylko na podstawie jednego markera *Gdm35* tylko wtedy, kiedy dawcą odporności na rdzę brunatną jest amerykańska odmiana Thunderbolt (źródło pochodzenia: Abilene/KS90WGRC10). Innym przykładem prawidłowego wykorzystania markerów podczas selekcji genu *Lr41* jest zestaw *Barc124* oraz *Gdm35*, gdy źródło odporności pochodzi z linii KS93U62 (źródło pochodzenia: Century*3/TA2460) (Sun i in., 2009). Wspomniane przykłady świadczą o trudnościach i

problemach, jakie często występują podczas selekcji materiału roślinnego pod względem obecności genu *Lr41*. Dla selekcji wspomaganej markerami (prowadzonej na szeroką skalę) stanowi to bardzo poważny problem, bowiem MAS powinna opierać się o markery, które bez względu na źródło pochodzenia, są powtarzalne oraz generują łatwe do interpretacji wyniki.

W selekcji genotypów pod względem obecności genu odporności *Pm21*, po każdym wykonanym krzyżowaniu posłużono się, w zależności od etapu przeprowadzonych badań, trzema markerami molekularnymi: *SCAR₁₂₅₀*, *SCAR₁₄₀₀* oraz *NAU/Xibao*. W początkowej fazie selekcja materiału roślinnego oparta była na markerach *SCAR₁₂₅₀* oraz *SCAR₁₄₀₀*. Otrzymane rozmiary produktów reakcji PCR w pełni pokryły się z polimorfizmem DNA otrzymanym przez Liu i zespół (Liu i in., 1999). W dalszej fazie badań do selekcji *Pm21* wykorzystano nowy marker *NAU/Xibao*. Uzyskane wyniki, również potwierdziły się z pracą Cao i zespół (Cao i in., 2006). Wszystkie wspomniane trzy markery generowały powtarzalne, łatwe do interpretacji wyniki, i w pełni potwierdziły swoje praktyczne zastosowanie podczas selekcji wspomaganej markerami. Innym przykładem wykorzystania markerów do wykrycia genu *Pm21* w selekcyjonowanym materiale roślinnym są prace Liu z zespołem (Liu i in., 2000), którzy użyli marker RFLP o nazwie *Psr113*. Jednak ograniczeniem tego systemu markerowego do wykorzystania w selekcji materiału roślinnego na szeroką skalę jest wysoki koszt analizy oraz długotrwała procedura (Tanskley i in., 1989). Dlatego też, czynniki te eliminują markery RFLP w selekcji wspomaganej markerami.

W niniejszej pracy przeprowadzono jedno krzyżowanie z linią RAH979. Zastosowanie tego modelu krzyżowania miało na celu wykorzystanie linii o wysokiej wartości gospodarczej i wprowadzeniu korzystnych innych cech do analizowanej populacji mieszańcowej. Główną ideą tego rodzaju krzyżowania było oszacowania za pomocą markerów molekularnych, zawartości genomu biorcy (ang. Recipient Genome Content — RGC), a następnie wybór do kolejnych krzyżowań osobników zawierających największą liczbę alleli rodzica wypierającego. Selekcja tła genetycznego kontrolowana przez markery molekularne przyczynia się w sposób znaczący do przyspieszenia powrotu do rodzica wypierającego. Na podstawie doniesień literaturowych wykazano, że do kontroli tła genetycznego potrzeba od 2 do 4 polimorficznych markerów (Hospital i in., 1992; Serwin i Hospital, 2002). W tym celu najczęściej wykorzystuje się markery SSR oraz AFLP. Przy zastosowaniu dwóch markerów optymalnie oddalonych od telomeru, odpowiednio 18,6 oraz 27,5cM, na chromosomie o długości 100cM, zawartość genomu rodzica wypierającego, szacowana po pierwszym krzyżowaniu wstecznym, jest rzędu 93,4%. W przypadku metod konwencjonalnych wartość ta jest znacznie niższa i wynosi 75%. Przy kontroli tła genetycznego za pomocą trzech markerów, oddalonych od telomeru o 8,4cM i 18,3cM, uważa się, że zawartość genomu szacowana po pierwszym krzyżowaniu wypierającym, wynosi 97,1%. Podczas gdy, dla klasycznych metod, wartość ta wynosi 87,7%, w przypadku zastosowania czterech markerów oddalonych od telomeru odpowiednio o 4,5cM i 13,6cM, wartość genomu rodzica wypierającego, również szacowana po pierwszym krzyżowaniu wstecznym, wynosi 98,5%. Natomiast dla tradycyjnej hodowli, nie wspomaganej markerami molekularnymi, wartość ta wynosi

93,3% (Ribaut i Hoisington, 1998; Serwin i Hospital, 2002). Dlatego też, w obecnych badaniach podjęto próbę, procentowego oszacowania genomu rodzica wypierającego w pierwszym pokoleniu mieszańcowym za pomocą pięciu polimorficznych kombinacji markerów AFLP, losowo rozproszonych po całym genomie pszenicy. Uzyskane wyniki kształtowały się dla populacji mieszańcowej $[(\text{Lexus} \times \text{Lr41}) \times (\text{Lexus} \times \text{Pm21})] \times \text{RAH979}$ w przedziale 78,6%–20,0% podobieństwa genetycznego. Uzyskane szacunkowe wartości nie w pełni pokryły się z wynikami otrzymanymi przez Chen i zespół (Chen i in., 2001), którzy do selekcji tła genetycznego wykorzystali dziesięć par markerów AFLP. Zawartość genomu rodzica wypierającego szacowali oni po pierwszym, drugim oraz trzecim krzyżowaniu wypierającym. W badaniach tych dla populacji mieszańcowej F_1BC_1 udział genomu rodzica wypierającego wynosił 92,25%, dla F_1BC_2 — 97,67%, a dla F_1BC_3 — 98,8% podobieństwa genetycznego (Chen i in., 2001). Gupta z zespołem (<http://ses.library.usyd.edu.au/bitstream>) selekcję tła genetycznego przeprowadzili dopiero po trzecim krzyżowaniu wstecznym. Do tego celu wykorzystali 35 markerów SSR oraz 12 kombinacji markerów AFLP. Uzyskane wyniki pozwoliły na oszacowanie podobieństwa genetycznego, które kształtowało się w przedziale od 94,3%–97% (<http://ses.library.usyd.edu.au/bitstream>). Różnice wynikające z szacunkowych pomiarów podobieństwa genetycznego, przeprowadzonych dla populacji mieszańcowej $[(\text{Lexus} \times \text{Lr41}) \times (\text{Lexus} \times \text{Pm21})] \times \text{RAH979}$ mogą wynikać z różnych sposobów określania tej wartości, często w publikacjach nie wyjaśnionych ani nie opisanych, jak również z różnej liczby markerów molekularnych wykorzystanych do selekcji tła genetycznego.

W niniejszej pracy przeprowadzono również ocenę reakcji materiału roślinnego na populację *P. recondita* f. sp. *tritici* i *B. graminis* f. sp. *tritici*. Do tego celu użyto jednozarodnikowych izolatów, wirulentnych w stosunku do odmian wypierających, natomiast awirulentnych do linii odpowiednio z genem *Lr41* i *Pm21*. Wyniki testów fitopatologicznych w połączeniu z oceną molekularną były czynnikami, decydującymi o wyborze korzystnych genotypów. Dla populacji mieszańcowej wyniki testu patogeniczności nie pokryły się we wszystkich przypadkach z oceną molekularną. Wyodrębniono obiekty, które według oceny fenotypowej były odporne na izolaty rdzy brunatnej, a według oceny molekularnej były podatne i nieamplifikowały w reakcji PCR produktów w oczekiwanej wielkości (par zasad) dla *locus* odporności *Lr41*. Fakt ten potwierdza opinię, iż selekcja genu *Lr41* za pomocą samych markerów molekularnych może być niewystarczająca i nawet w niektórych przypadkach niestety błędna. Dlatego przeprowadzenie testu fitopatologicznego jest wciąż niezbędnym kryterium selekcji materiału roślinnego w programach hodowlanych. Dodatkowym utrudnieniem jest fakt, że selekcja korzystnych obiektów za pomocą wspomnianych markerów molekularnych, w tym samym programie hodowlanym, powinna zawsze być przeprowadzana o te same wielkości produktów amplifikacji (par zasad). W przeciwnym razie, można prowadzić selekcję materiału hodowlanego błędnie i wybierać materiał roślinny pod względem innych cech użytkowych.

W trakcie piramidowania genów *Lr41* i *Pm21* w jednym genotypie pszenicy dla populacji mieszańcowej sporządzono (F_2 oraz F_3) mapy molekularne. Porównując ułożenie markerów w obrębie populacji mieszańcowej, stwierdzono, że lokalizacja markerów

sprzężonych z *locus* odporności *Lr41* jest zmienna. Ponieważ, zaobserwowano na mapach różnice wynikające z lokalizacji poszczególnych markerów względem *locus* *Lr41*, otrzymane wyniki porównano z wynikami uzyskanymi przez Singha i zespół (Singh i in., 2004) oraz Sun i zespół (Sun i in., 2009). Na otrzymanej przez Singha i zespół mapie kolejność markerów względem *locus* odporności była następująca: *Gdm35*, *Barc124*, *Gwm210* (Singh i in., 2004). Na mapie zbudowanej przez Sun z zespołem (Sun i in., 2009) kolejność markerów względem genu *Lr41* była zachowana według następującej kolejności: *Barc124*, *Gwm210*, *Gdm35*, *Cfd36*. Kolejność markerów względem siebie na mapach genetycznych znacznie się różniła co było potwierdzeniem innych badań (Sun i in., 2009). Ponadto wg mapy referencyjnej na chromosomie 2DS, nie ma markera *Gdm35* (Somers i in., 2004). Dlatego po przeanalizowaniu wyników uzyskanych dla populacji mieszańcowej pokolenia F₃ zdecydowano że, kryteria selekcji materiału roślinnego będą niezależne i że populacja ta będzie traktowana oddzielnie. Głównymi czynnikami decydującymi o selekcji materiału roślinnego w F₃ były wyniki oceny fenotypowej oraz kolejność markerów molekularnych na chromosomie względem genu odporności *Lr41*. Zaistniałe różnice w lokalizacji markerów na poszczególnych mapach genetycznych, można tłumaczyć faktem tym, iż populacje mapujące miały różne tło genetyczne oraz różna była ich liczebność, co miało znaczący wpływ na skonstruowane tychże map.

Wprowadzenie dwóch genów *Lr41* i *Pm21*, z których *Lr41* warunkuje odporność pszenicy na rdzę brunatną powodowaną przez *P. recondita* a *Pm21* na mączniaka prawdziwego powodowanego przez *B. graminis* potwierdziło fakt, że techniki molekularne mogą znacznie skrócić proces hodowli odmian. Jednak nie mogą w pełni zastąpić metod tradycyjnych, polegających na opisie fenotypowym podatności lub odporności badanego materiału roślinnego na zakażenie określonym patogenem. Metody molekularne skracają również proces tworzenia linii homozygotycznych pod względem obecności określonego genu, co uzyskano w przypadku genów *Lr41* i *Pm21*. Linie te są cennym materiałem wyjściowym do dalszych programów hodowlanych i badań czysto naukowych.

WNIOSKI

1. Selekcja genu *Lr41* za pomocą trzech markerów mikrosatelitarnych: *Gdm35*, *Barc124*, *Gwm210* może być niewystarczająca i trudna w interpretacji, dlatego też, selekcja genu *Lr41* powinna być oparta o dodatkowe SSR tj.: *Gwm261*, *Gwm296*.
2. Markery molekularne: *SCAR₁₂₅₀*, *SCAR₁₄₀₀* oraz *NAU/xibao*, wykorzystywane w selekcji materiału roślinnego pod względem obecności genu *Pm21* generują powtarzalne i łatwe w interpretacji wyniki, co świadczy o ich uniwersalności dla MAS.
3. Zamiana dwóch markerów SCAR (*SCAR₁₂₅₀*, *SCAR₁₄₀₀*) na jeden marker *NAU/xibao* nie wpływa negatywnie na selekcję materiału roślinnego pod względem obecności genu *Pm21*.
4. Selekcja tła genetycznego za pomocą markerów AFLP pozwala oszacować procentowy udział genomu rodzica wypierającego i dlatego też, są one skutecznym narzędziem molekularnym wykorzystywanym w celu oszacowania podobieństwa genetycznego.

5. Przeprowadzenie testu fitopatologicznego w programie hodowlanym jest niezbędną częścią doświadczalną podczas selekcji wspomaganej markerami molekularnymi.

LITERATURA

- Bennett F. G. A. 1984. Resistance to powdery mildew in wheat: A review of its use in agriculture and breeding programmers. *Plant. Pathol.* 33: 279 — 300.
- Cao A. Z., Wang X. E., Chen Y. P., Zou X. W., Chen P. D. 2006. A sequence-specific PCR marker linked with *Pm21* distinguishes chromosomes 6AS, 6BS, 6DS of *Triticum aestivum* and 6VS of *Haynaldia villosa*. *Plant Breed.* 125: 201 — 205.
- Chelkowski J., Koczyka G. 2005 a. Genomika i bioinformatyka roślin. Rozprawy i Monografie. IGR PAN, Poznań, str. 139 — 157.
- Chelkowski J., Stępień Ł., Strzembicka A. 2005 b. Ocena podatności pszenicy ozimej na rdzę brunatną oraz poszukiwanie źródeł odporności. *Acta Agrobotanica* 58 (1): 143 — 152.
- Chen S., Xu C. G., Lin X. H., Zhang Q. 2001. Improving bacterial blight resistance of '6078', an elite restorer line of hybrid rice, by molecular marker-assisted selection. *Plant Breed.* 120: 133 — 137.
- Chen X. M., Luo Y. H., Xia X. C., Xia L. Q., Chen X., Ren Z. L., He Z. H., Jia J. Z. 2005. Chromosomal location of powdery mildew resistance gene *Pm16* in wheat using SSR marker analysis. *Plant Breed.* 124: 225 — 228.
- Czembor H. J. 2008. Odporność na mączniaka prawdziwego (*Blumeria graminis* f. sp. *hordei*) odmian jęczmienia włączonych do badań rejestrowych w Polsce w latach 2004-2006. *Biul. IHAR* 248: 33 — 42.
- Flor H. H. 1955. Host-parasite interaction in flax rust its genetics and other implications. *Phytopathology* 45: 680 — 685.
- Górny, A.G. 2004. Zarys Genetyki Zboż. Tom 1. Jęczmień, pszenica i żyto. Wyd. Instytut Genetyki Roślin PAN, Poznań, str.: 181 — 327.
- Higgins C. M., Hall R. M., Campbell P. R., Dietzgen R.G. 2000. PCR rescue and analysis of transgene sequences directly from crude extracts of transgenic embryos and plants. *Plant Molecular Biology Reporter* 18: 285a — 285g.
- Hospital F., Chevalet C., Mulsant P. 1992. Using markers in gene introgression breeding programs. *Genetics* 132: 1199 — 1210.
- <http://ses.library.usyd.edu.au/bitstream>.
- Huang X. Q., Röder M. S. 2004. Molecular mapping of powdery mildew resistance genes in wheat. *Euphytica* 137: 203 — 223.
- Kopahnke D., Nachtigall M., Ordon F., Steffenson B. J. 2004. Evaluation and mapping of a leaf rust resistance gene derived from *Hordeum vulgare* subsp. spontaneous. *Czech J. Genet. Plant Breed.* 40(3): 86 — 90.
- Kowalczyk K., Hsam S. L. K., Zeller F. J. 1998. Identification of powdery mildew resistance genes in common wheat (*Triticum aestivum* L. em. Thell.). XI. Cultivars grown in Poland. *J. Appl. Genet.* 39 (3): 225 — 236.
- Liu J., Liu D., Tao W., Li W., Wang S., Chen P., Cheng S., Gao D. 2000. Molecular marker-facilitated pyramiding of different genes for powdery mildew resistance in wheat. *Plant Breed.* 119: 21 — 24.
- Liu, Z., Sun, Q., Ni, Z., Yang, T. 1999. Development of SCAR markers linked to the *Pm21* gene conferring resistance to powdery mildew in common wheat. *Plant Breed.* 118: 215 — 219.
- McIntosh R. A., Hart G. E., Devos K. M., Gale M. D., Rogers W. J. 1998. Catalogue of gene symbols for wheat. In: Slinkard A. E. (ed.). *Proc. 9th Int. Wheat Genet Symp.* 5: 13 — 72. Univ. Extension Press. University of Saskatchewan Saskatoon.
- McIntosh R. A., Wellings C. R., Park R. F. 1995. *Wheat Rust: an atlas of resistance genes*. CSIRO, Australia, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Mesterházy Á., Bartoš P., Goyeau H. 2000. European virulence survey for leaf rust in wheat. *Agronomie* 20: 793 — 804.
- Perugini L. D., Murphy J. P., Marshall D., Brown-Guedira G. 2008. *Pm37*, a new broadly effective powdery mildew resistance gene from *Triticum timopheevii*. *Theor. Appl. Genet.* 116: 417 — 425.

- Pestsova, E., Ganal, M.W., Röder, M.S. 2000. Isolation and mapping of microsatellite markers specific for the D genome of bread wheat. *Genome* 43: 689 — 697.
- Ribaut, J.M., Hoisington, D. 1998. Marker-assisted selection: new tools and strategies. *Trends in Plant Science* 3(6): 236 — 239.
- Röder M. S., Korzun V., Wendehake K., Plaschke J., Tixier M.H., Leroy, P., Ganal M.W. 1998. A microsatellite map of wheat. *Genetics* 149: 2007 — 2023.
- Servin B., Hospital F. 2002. Optimal positioning of markers to control genetic background in Marker Assisted Backcrossing. *The Journal of Heredity* 93(3): 214 — 217.
- Shamanin V., Morgounov A. 2009. Spring wheat breeding in western Siberia for resistance to leaf and stem rust. 12th International Cereal Rust and Powdery Mildews Conference, October 13–16, Antalya — Turkey. Abstract Book, str. 82.
- Singh S., Franks C. D., Huang L., Brown-Guedira G. L., Marshall D. S., Gill B. S. 2004. *Lr41*, *Lr39*, and a leaf rust resistance gene from *Aegilops cylindrica* may be allelic and are located on wheat chromosome 2DS. *Theor. Appl. Genet.* 108: 586 — 591.
- Somers D. J., Isaac P., Edwards K. 2004. A high-density microsatellite consensus map for bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theor. Appl. Genet.* 109: 1105 — 1114.
- Song Q.J., Shi J.R., Singh S., Fickus E.W., Costa J. M., Lewis J., Gill B.S., Ward R., Cregan P. B. 2005. Development and mapping of microsatellite (SSR) markers in wheat. *Theor. Appl. Genet.* 110: 550 — 560.
- Sun, X., Bai, G., Carver, B.F. 2009. Molecular markers for wheat leaf rust resistance gene *Lr41*. *Mol Breeding* 23: 311 — 321.
- Tanskley S. D., Young, N. D., Paterson A. H., Bonierbaale M. W. 1989. RFLP mapping in plant breeding: new tools and old science. *Biotechnology* 7: 257 — 264.
- Tyrka, M., Chelkowski, J. 2003. Enhancing the resistance of triticale by using genes from wheat and rye. *J. Appl. Genet.* 45(3): 283 — 295.
- Vos P., Hogers R., Bleeker M., Reijans M., Lee T., Hornes M., Frijters A., Pot J., Peleman J., Kuiper M., Zabeau M. 1995. AFLP: a new technique for DNA fingerprinting. *Nucleic Acids Research* 23(21): 4407 — 4414.
- Woźniak-Strzembicka, A. 2003. Wirulencja populacji *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* w Polsce w latach 1998–2001. *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin* 230: 109 — 117.
www.pin.org.pl.
- Xue, F., Duan, X., Zhai, W., Zhou, Y., Ji, W. 2009. Microsatellite mapping of the powdery mildew resistance gene in two Chinese landraces of wheat (*Triticum aestivum* L. em. Thell) Mazhamai and Xiaobaidong. 12th International Cereal Rust and Powdery Mildews Conference, October 13-16, Antalya — Turcja. Abstract Book.
- Yildirim A., Sakin M., Karadag Y., Gokmen S., Kandemir N., Akkaya M. S., Yildirim F. 2004. Genetic marker mediated transfer of an alien gene, *Pm21*, into wheat conferring resistance to powdery mildew. *Biotechnol. & Biotechnol. Eq.* 18(2): 15 — 19.

PIOTR KRASKA

Katedra Ekologii Rolniczej

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Jakość ziarna pszenicy jarej uprawianej w monokulturze w zależności od konserwujących wariantów uprawy roli oraz międzyplonów

Grain quality of spring wheat cultivated in monoculture depending on the conservation tillage variants and catch crops

Badania przeprowadzono w latach 2006–2008, wykorzystując doświadczenie założone w roku 2005. Statyczne, dwuczynnikowe doświadczenie założono metodą split-plot w czterech powtórzeniach. Porównywano dwa systemy uprawy roli: płużny oraz dwa warianty uprawy konserwującej: z jesiennym lub wiosennym talerzowaniem międzyplonów. Drugim czynnikiem były cztery sposoby regeneracji stanowiska w monokulturze pszenicy jarej w postaci międzyplonów (wsiewki międzyplonowe koniczyna czerwona i życica westerwoldzka oraz poplony ścierniskowe facelia błękitna i gorczyca biała). Obiekt kontrolny stanowiły poletka bez wsiewek międzyplonowych i poplonów ścierniskowych. W ziarnie pszenicy jarej oznaczono zawartość białka ogółem, zawartość glutenu mokrego, glutenu suchego oraz indeks glutenu. Oznaczono także aktywność alfa-amylazy metodą pomiaru liczby opadania oraz gęstość ziarna w stanie zsypanym. Największą zawartość białka ogółem w ziarnie pszenicy jarej stwierdzono w obiektach uprawy konserwującej z wiosennym talerzowaniem międzyplonów oraz płużnej w porównaniu z wariantem uprawy konserwującej z jesienną inkorporacją międzyplonów. Zawartość białka ogółem w ziarnie w obiektach z wsiewkami międzyplonowymi koniczyny czerwonej i życicy westerwoldzkiej oraz poplonem ścierniskowym facelii błękitnej była największa, mniejsza w obiekcie kontrolnym a najmniejsza z poplonem ścierniskowym gorczycy białej. Masa ziarna w stanie zsypanym oraz zawartość glutenu mokrego w obiektach uprawy płużnej były większe w porównaniu z obydwoma wariantami uprawy konserwującej. Zawartość glutenu suchego w ziarnie z obiektów uprawy płużnej była większa niż w wariantach uprawy konserwującej z jesiennym talerzowaniem międzyplonów. Indeks glutenu w obiektach uprawy płużnej był mniejszy w porównaniu z obydwoma wariantami uprawy konserwującej. W obiektach uprawy konserwującej z wiosennym talerzowaniem międzyplonów stwierdzono największą liczbę opadania. Najmniejszą zawartość glutenu mokrego oraz suchego w ziarnie pszenicy jarej określono w obiekcie z życicą westerwoldzką, natomiast najmniejszy indeks glutenu na poletkach z facelią błękitną. Największą liczbę opadania stwierdzono w obiektach z koniczyną czerwoną.

Słowa kluczowe: białko ogółem, gluten, liczba opadania, międzyplon, pszenica jara, system uprawy

The studies were carried out in the years 2006–2008, using the experiment set up in 2005. The design of a static two-factor experiment, established using the split-plot method in four replications, included two tillage systems: plough tillage and conservation tillage performed using two methods — disk harrowing of the catch crops in autumn followed by leaving the catch crop biomass for winter as mulch, and disk harrowing in spring. Another experimental factor were four methods of regeneration of the monoculture stand of spring wheat by using the following catch crops: *Trifolium pratense* L. — undersown crop, *Lolium multiflorum* Lam. var. *westerwoldicum* Wittm. — undersown crop, *Phacelia tanacetifolia* Benth. — stubble crop, *Sinapis alba* L. — stubble crop, as well as a control treatment without catch crops. In the spring wheat grain, total protein content, wet gluten content, dry gluten content and the gluten index were determined. Moreover, the alpha-amylase activity was determined using the falling number method. Total protein content was higher in grain produced by spring wheat plants grown in the plots with conservation tillage treatments using spring disking of the catch crops and in those with plough tillage treatment than in the plots with conservation tillage treatment including autumn disking of the catch crops. It was higher in grain obtained in the treatments comprising red clover and Westerwolds ryegrass undersown crops and in those with a stubble crop of lacy phacelia than in the control treatment. The lowest total protein content of grain was recorded for the treatment with the white mustard stubble crop. Test weight and wet gluten content gave higher values for grain produced in the plots with plough tillage than for grain produced at any of the conservation tillage treatments. Dry gluten content of grain obtained in the plots where plough tillage was applied was higher than that of grain produced using the conservation treatment including autumn disking of the catch crops. Gluten index values also depended on the tillage treatment and were lower for grain obtained at plough tillage than for grain produced using any of the conservation tillage treatments. The highest falling number was recorded with the conservation tillage treatment including spring disking of the catch crops. The content of wet or dry gluten appeared to be the lowest in grain obtained in the treatment with Westerwolds ryegrass, whereas the plots with lacy phacelia were characterized by the lowest gluten indices. The highest falling number was recorded with the treatments with red clover.

Key words: catch crop, falling number, gluten, spring wheat, tillage system, total protein

WSTĘP

Uprawa pszenicy zwyczajnej ukierunkowana jest na produkcję ziarna konsumpcyjnego służącego do wyrobu pieczywa (Grundas, 1993). Szeroka gama produktów wytwarzanych z mąki pszennej oraz różnorodna technologia ich produkcji wymuszają konieczność uprawy odmian pszenicy o różnych typach jakościowych (Rothkaehl, 2004). Jakość ziarna określonej odmiany pszenicy uwarunkowana jest genetycznie, ale w dużym stopniu jest również modyfikowana przez opady i temperaturę podczas wegetacji rośliny oraz czynniki agrotechniczne (Scheromm i in., 1992; Peltonen i Virtanen, 1994; Hucl i Chibbar, 1996; Goodling i Smith, 1998; López-Bellido i in., 1998; Sadowska i in., 2001; Nowak i in., 2004; Rothkaehl i in., 2004). Jednocześnie na kształtowanie cech jakościowych ziarna istotny wpływ ma rejon uprawy (Subda, 1992). Ziarno pszenicy zbierane w północnym i środkowym rejonie Polski zazwyczaj cechuje się najlepszymi parametrami jakościowymi pod względem przydatności do produkcji mąki na chleb (Rothkaehl i Abramczyk, 2007). W warunkach Polski możliwe jest uzyskanie ziarna pszenicy o parametrach jakości wymaganych w UE (Podolska i Sułek, 2003).

Woźniak (2004 a) zwraca uwagę na istotny wpływ przedplonu na jakość ziarna pszenicy jarej. W warunkach uprawy pszenicy po sobie wartości parametrów jakościowych obniżały się w porównaniu z uprawą pszenicy po przedplonach motylkowych lub okopowych. W

warunkach klimatycznych Polski korzystne właściwości odmian powinny być wspomagane prawidłowymi zabiegami agrotechnicznymi. Szczególnie w latach o niekorzystnym przebiegu pogody w okresie wegetacji i w czasie dojrzewania pszenicy (Podolska i Sułek, 2002).

Celem badań było określenie wpływu konserwujących wariantów uprawy roli na tle uprawy płużnej oraz różnych międzyplonów na kształtowanie się wybranych cech jakościowych ziarna pszenicy jarej odmiany Zebra.

MATERIAŁ I METODY

Badania przeprowadzono w latach 2006–2008, wykorzystując doświadczenie założone w 2005 roku w Gospodarstwie Doświadczalnym Bezek (N: 51° 19', E: 23° 25') należącym do Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie. Pole doświadczalne było położone na średnio ciężkiej rędzinie mieszanej, wytworzonej z opoki kredowej o składzie granulometrycznym gliny średniej pylastej. Gleba ta miała odczyn zasadowy (pH 7,35), wysoką zawartość P i K oraz bardzo niską magnezu, wysoką zawartość węgla organicznego 2,47%.

Schemat statycznego, dwuczynnikowego doświadczenia założonego metodą split-plot w czterech powtórzeniach uwzględniał płużny system uprawy roli (A), dwa warianty uprawy konserwującej (B i C) oraz cztery sposoby regeneracji stanowiska w monokulturze pszenicy jarej. Powierzchnia poletek do zbioru wynosiła 30 m². Przedplonem pszenicy jarej była pszenica ozima uprawiana na tym polu od 3 lat. W roku 2005 wysiano pszenicę jarą oraz wszystkie międzyplony zarówno wsiewki międzyplonowe, jak i poplony ścierniskowe oraz zastosowano systemy uprawy roli zgodnie z założeniami metodyki, traktując ten rok jako przedwstępny.

Płużna uprawa roli przygotowująca pole pod pszenicę jarą rozpoczynała się podorywką i bronowaniem po zbiorze przedplonu. Przed zimą wykonano orkę na średnią głębokość. Wiosną wykonano bronowanie, przed siewem kultywatorowanie z bronowaniem. Koniczynę czerwoną odmiany Dajana — 20 kg·ha⁻¹ i życicę wielokwiatową westerwoldzką odmiany Mowester — 20 kg·ha⁻¹ wysiewano w terminie siewu pszenicy jarej. Natomiast facelię błękitną odmiany Stala — 20 kg·ha⁻¹ oraz gorczycę białą odmiany Borowska — 20 kg·ha⁻¹ wysiewano po zbiorze pszenicy jarej i po wykonaniu uprawek późniejszych w drugiej dekadzie sierpnia. Obiekt kontrolny stanowiły poletka bez wsiewek międzyplonowych i poplonów ścierniskowych.

Konserwujące warianty uprawy roli (B i C) polegały na zastąpieniu pługa gruberem lub broną talerzową. Po zbiorze przedplonu na poletkach bez wsiewek koniczyny czerwonej i życicy westerwoldzkiej wykonywano gruberowanie na głębokość 18–20 cm oraz bronowanie. Następnie wysiewano facelię błękitną oraz gorczycę białą analogicznie jak w wariantach uprawy płużnej. W pierwszym wariantcie międzyplony talerzowano przed zimą (B) w drugim sposobie pozostawiano je jako mulcz na zimę i dopiero wiosną wykonywano talerzowanie (C). W obiektach z jesiennym talerzowaniem międzyplonów (B) wiosenna uprawa roli była taka sama jak w uprawie płużnej. Na poletkach zaś z drugim wariantem uprawy konserwującej (C) po wykonaniu talerzowania pole bronowano, po czym zabieg bronowania powtarzano przed siewem pszenicy jarej.

Nawozy: azotowe $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$ w formie saletry amonowej, fosforowe w ilości $30,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ P}$ w formie superfosfatu potrójnego oraz potasowe w ilości $74,7 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ K}$ w formie 60% soli potasowej wysiewano wiosną. Drugą dawkę azotu w ilości $40 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ wnoszono na początku strzelania w źdźbło (30–33 — fazy rozwojowe BBCH). Pszenicę jarą odmiany Zebra (grupa technologiczna — E) wysiewano w liczbie 5 mln ziaren na ha w rozstawie rzędów 10 cm. Ziarno było zaprawione zaprawą Panoctine 350 SL ($350 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ guazatyna w postaci octanu).

Program ochrony ładu pszenicy jarej uwzględniał następujące środki ochrony: Chwastox Extra 300 SL $3,5 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ ($300 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ MCPA) – (23-29 BBCH), Alert 375 SC $1 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ ($125 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ flusilazol i $250 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ karbendazym) – (26-29 BBCH).

Na aparacie Glutomatic 2200 określono w ziarnie zawartość glutenu mokrego, glutenu suchego oraz indeks glutenu (PN-93/A-74042). Oznaczono także aktywność alfa-amylazy metodą pomiaru liczby opadania wg Hagberga-Pertena (PN-ISO 3093). Gęstość ziarna w stanie zsypanym określono gęstościomierzem zbożowym (model SK zgodny z PN — ISO 7971 — 2). Metodą Kjeldahla oznaczono azot ogólny, zaś zawartość białka uzyskano z przeliczenia tej zawartości (wielkość przelicznika 6,25).

Suma opadów okresu wegetacji w latach 2006 oraz 2007 była większa niż suma wieloletnia, natomiast w roku 2008 zbliżona do normy wieloletniej. Średnie temperatury powietrza we wszystkich latach badań były większe od średniej wieloletniej (tab. 1).

Tabela 1

Opady i temperatury powietrza w sezonach wegetacyjnych 2006–2008 w porównaniu ze średnimi wieloletnimi (1974–2003) wg Stacji Meteorologicznej w Bezku
Rainfalls and air temperatures in the vegetation seasons of the years 2006–2008 as compared to the long-term mean figures (1974–2003) according to the Meteorological Station at Bezek

Lata Years	Miesiąc Month					Suma Sum
	IV	V	VI	VII	VIII	
	Opady w mm Rainfalls in mm					
2006	25,1	56,7	23,2	26,2	240,9	372,1
2007	12,9	93,6	87,5	130,7	79,9	404,6
2008	47,9	74,2	38,4	93,9	60,9	315,3
Średnie z lat 1974–2003 Mean for 1974–2003	40,1	53,0	77,6	80,3	61,6	312,6
	Temperatura w °C Temperature in °C					Średnio Mean
2006	8,9	13,5	16,7	21,7	18,1	15,8
2007	8,3	15,3	18,6	19,4	18,9	16,1
2008	9,1	12,7	17,4	18,3	19,3	15,4
Średnie z lat 1974–2003 Mean for 1974–2003	7,6	13,6	16,2	17,9	17,5	14,6

W celu pełniejszej analizy warunków pogodowych obliczono za Radomskim (1987) wskaźnik hydrotermiczny Sielianinowa (K):

$$K = \frac{P}{0,1 \sum t}$$

P — suma opadów miesiąca,

$\sum t$ — suma temperatur miesiąca.

Wartości wskaźnika hydrotermicznego Sielanianowa wskazują, że w roku 2006 w miesiącach czerwiec i lipiec wystąpił znaczący niedobór wody, natomiast w sierpniu nadmiar wody. W latach 2007–2008 nie stwierdzono tak dużych niedoborów opadów (tab. 2).

Tabela 2

Zaopatrzenie roślin w wodę wyrażone współczynnikiem hydrotermicznym Sielanianowa (K)
Supply of water to plants determined by using Sielanianov hydrothermic coefficient (K)

Rok Year	Miesiąc Month				
	IV	V	VI	VII	VIII
2006	*0,94	1,35	**0,46	**0,39	4,30
2007	*0,52	1,98	1,57	2,17	1,36
2008	1,76	1,88	*0,74	1,65	1,02
Średnie z lat 1974–2003 Mean for 1974–2003	1,76	1,26	1,60	1,45	1,14

*K<1,0 = posucha; mild drought

** K<0,5 = susza; drought

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie opierając się na analizie wariancji. Średnie porównano za pomocą najmniejszych istotnych różnic na podstawie testu Tukeya. Ponadto w celu określenia zależności między wybranymi cechami jakościowymi posłużono się analizą korelacji. Współczynniki korelacji obliczono za pomocą programu Statistica, uznając za istotne te dla których empiryczny poziom istotności (p-value) jest mniejszy niż 0,05.

WYNIKI I DYSKUSJA

Największą zawartość białka ogółem w ziarnie pszenicy jarej stwierdzono w obiektach uprawy konserwującej z wiosennym talerzowaniem międzyplonów oraz płużnej, istotnie mniejszą w obiektach uprawy konserwującej z jesiennym talerzowaniem roślin międzyplonów (tab. 3). Kraska i Pałys (2005) w ziarnie jęczmienia jarego uprawianego bezorkowo uzyskali większą zawartość białka ogółem niż w ziarnie z obiektów z uprawą płużną. Woźniak (2009) stwierdził natomiast, że istotnie więcej białka gromadziło ziarno pszenicy jarej pochodzące z uprawy w systemie płużnym w porównaniu z bezorkowym. Małecka i Bleharczyk (2004) oraz Bleharczyk i wsp. (1999) uzyskali największą zawartość białka w ziarnie pszenicy ozimej z obiektów uprawy bezorkowej.

W obiektach z międzyplonami najwyższą zawartość białka stwierdzono w ziarnie na poletkach z wsiewką koniczyny czerwonej i życicy westerwoldzkiej oraz poplonem ścierniskowym facelii błękitnej, istotnie mniejszą w obiekcie kontrolnym oraz najmniejszą z poplonem ścierniskowym gorczycy białej (tab. 3).

Tabela 3

Zawartość białka ogółem w ziarnie pszenicy jarej (%)
Total protein content of spring wheat grain (%)

Czynnik doświadczenia Experimental factor		Systemy uprawy Tillage Systems (S)			Średnio Mean
		*A	B	C	
Międzyplony (M) Catch crops	Obiekt kontrolny Control	12,44	13,83	13,66	13,31
	Koniczyna czerwona Red clover	13,97	12,53	13,90	13,46
	Facelia błękitna Lacy phacelia	14,27	12,90	13,22	13,46
	Gorczyca biała White mustard	13,38	12,61	13,45	13,14
	Życica westerwoldzka Westerwolds ryegrass	13,33	13,67	13,33	13,44
	Średnio Mean	13,47	13,11	13,51	—
Lata (L) Years		2006	2007	2008	
2006		11,63	11,69	11,68	11,67
2007		14,04	13,78	14,06	13,96
2008		14,75	13,85	14,79	14,46
Średnio Mean		13,47	13,11	13,51	—
NIR 0,05 dla — for		S — 0,042; M — 0,063; L — 0,042			
LSD 0.05		S × M — 0,137; S × L — 0,096			
Lata (L) — Years		2006	2007	2008	
Międzyplony (M) Catch crops	Obiekt kontrolny Control	11,58	13,94	14,42	13,31
	Koniczyna czerwona Red clover	11,53	14,38	14,48	13,46
	Facelia błękitna Lacy phacelia	11,93	14,10	14,36	13,46
	Gorczyca biała White mustard	11,55	13,79	14,09	13,14
	Życica westerwoldzka Westerwolds ryegrass	11,76	13,59	14,98	13,44
	Średnio Mean	11,67	13,96	14,46	—
NIR 0,05 dla — for		M × L — 0,137			
LSD 0.05					

*A — Uprawa płużna; Plough tillage

B — Uprawa konserwująca z jesiennym talerzowaniem międzyplonów; Conservation tillage with autumn disking of catch crops

C — Uprawa konserwująca z wiosennym talerzowaniem międzyplonów; Conservation tillage with spring disking of catch crops

W badaniach Tendziagolskiej i Parylak (2004) zawartość białka ogółem w ziarnie pszenżyta ozimego nie wykazywała jednoznacznej zależności od zastosowanych w monokulturze zabiegów regeneracyjnych w postaci międzyplonu ścierniskowego gorczycy białej i dodatkowej zaprawy nasiennej. W roku 2006 zawartość białka w ziarnie pszenicy jarej była najmniejsza, istotnie większa w roku 2007, zaś największa w ostatnim roku obserwacji (tab. 3). Goodling i Smith (1998) stwierdzili, że gromadzeniu się białka w ziarnie oraz kształtowaniu korzystnych właściwości wypiekowych sprzyja mała ilość opadów oraz wysoka temperatura i duże nasłonecznienie w okresie od kłoszenia do dojrzałości woskowej pszenicy. Warunki panujące w roku 2006 były bardzo niekorzystne.

Susza która wystąpiła w miesiącach czerwiec i lipiec oraz nie najwyższa temperatura w czerwcu nie sprzyjały gromadzeniu białka w ziarnie. Stwierdzona interakcja między systemami uprawy a międzyplonami wskazuje, że w obiektach z wsiewką koniczyny czerwonej oraz poplonem ścierniskowym facelii błękitnej i gorczycy białej w warunkach konserwującej uprawy z jesiennym talerzowaniem międzyplonów zawartość białka w ziarnie pszenicy jarej była istotnie mniejsza niż w pozostałych wariantach uprawowych, natomiast z wsiewką życicy westerwoldzkiej i obiekcie kontrolnym większa. Interakcja między systemami uprawy a latami wskazuje, że w konserwującym wariantcie uprawy z jesiennym talerzowaniem międzyplonów w latach 2007 i 2008 zawartość białka w ziarnie pszenicy jarej była istotnie mniejsza niż w systemie płużnym oraz wariantcie uprawy konserwującej z mulczem. Jednocześnie w roku 2006 o najmniejszej sumie opadów w miesiącach kwiecień — lipiec zawartość białka ogółem w ziarnie pszenicy we wszystkich ocenianych wariantach uprawy roli była mniejsza niż w dwu następnych latach badań (tab. 3). W roku 2006 zawartość białka ogółem w ziarnie w obiekcie z facelią błękitną była istotnie większa niż w pozostałych obiektach, w roku 2007 największa na poletkach z koniczyną czerwoną, natomiast w roku 2008 z życią westerwoldzką (tab. 3). Rothkaehl i Abramczyk (2007) potwierdzają niekorzystny wpływ warunków pogodowych na jakość ziarna w roku 2006 w którym wystąpił niedobór ziarna pszenicy o jakości odpowiedniej dla przemysłu młynarskiego. Według klasyfikacji podanej przez Klockiewicz-Kamińską i Brzezińskiego (1997) pod względem zawartości białka w roku 2006 ziarno pszenicy w tym doświadczeniu należało do 3 klasy w dziewięciostopniowej skali (9 oznacza wartość najlepszą), natomiast w kolejnych latach do 8 klasy. Wynika z tego fakt, że uzyskane ziarno pszenicy jarej odmiany Zebra należącej do grupy technologicznej E (elitarnie) nie spełniało w roku 2006 minimalnych wymagań dla tej grupy pszenic w odniesieniu do zawartości białka. Minimum dla pszenic elitarnych to uzyskanie co najmniej 7 klasy (13,5–13,9% białka w ziarnie). Tak duża różnica między latami mogła być spowodowana przez czynnik który nie podlega kontroli, a więc przede wszystkim niekorzystnie przebiegający układ warunków opadowo-termicznych. Cacak-Pietrzak (2008) podaje, że ziarno o dobrej wartości wypiekowej w aspekcie przydatności do piekarstwa powinno zawierać nie mniej niż 11,5% białka, a najlepiej jak przekracza 14%.

Gęstość ziarna w stanie zsypanym była większa w obiektach uprawy płużnej niż w obydwu wariantach uprawy konserwującej (tab. 4). Podobnie Woźniak (2009) największą gęstość ziarna pszenicy jarej uzyskał w obiektach uprawy płużnej w porównaniu z bezorkową. Małecka i Bleharczyk (2004) stwierdzili inną zależność. Uprawiając pszenicę ozimą systemem płużnym i bezorkowym uzyskali większą gęstość ziarna w systemie bezorkowym. W obiektach z wsiewkami międzyplonowymi koniczyny czerwonej i życicy westerwoldzkiej stwierdzono tendencję występowania mniejszej masy hektolitra niż w pozostałych obiektach. Jednak weryfikacja statystyczna nie potwierdziła istotności różnic. W roku 2007 we wszystkich ocenianych wariantach uprawy roli gęstość ziarna była mniejsza niż w pozostałych latach badań. Jednocześnie w roku 2006 mniejsza niż 2008 (tab. 4). Rothkaehl (2008) zwraca uwagę na niekorzystny przebieg warunków pogodowych w roku 2007. Na przełomie kwietnia i maja wystąpiły niedobory wilgoci oraz przymrozki na początku maja, natomiast od połowy maja aż do pierwszej dekady czerwca

intensywne deszcze połączone z chłodem i silnym wiatrem na przeważającym obszarze kraju. Taki układ warunków pogodowych osłabił skuteczność zastosowanego herbicydu Chwastox Extra 300 SL, co z kolei sprzyjało zachwaszczeniu ładu, a w efekcie mogło wpłynąć na uzyskaną masę hektolitra.

Tabela 4

Gęstość ziarna w stanie zsypanym pszenicy jarej (kg·hl⁻¹)
Test weight of spring wheat (kg·hl⁻¹)

Czynnik doświadczenia Experimental factor		Systemy uprawy Tillage Systems (S)			Średnio Mean
		*A	B	C	
Międzyplony (M) Catch crops	Obiekt kontrolny Control	72,3	71,0	70,6	71,3
	Koniczyna czerwona Red clover	72,1	70,6	69,9	70,9
	Facelia błękitna Lacy phacelia	71,9	71,9	71,0	71,6
	Gorzyczka biała White mustard	71,7	71,4	70,8	71,3
	Życica westerwoldzka Westerwolds ryegrass	72,4	70,2	70,0	70,9
	2006	72,5	71,7	71,8	72,0
	2007	69,1	66,7	64,9	66,9
Lata (L) Years	2008	74,7	74,6	74,6	74,7
Średnio Mean		72,1	71,0	70,5	—
NIR 0,05 dla — for		S — 0,71; L — 0,71; S × L — 1,62			
LSD 0.05		M — r.n.**; S × M — r.n.			

* Objasnienia jak w tabeli 3; Explanations like in Table 3

**r.n. — Różnice nieistotne; Not significant differences

Największą zawartość glutenu mokrego w ziarnie pszenicy jarej stwierdzono w obiektach uprawy płużnej, mniejszą w wariacie uprawy konserwującej z mulczem, natomiast najmniejszą w obiekcie uprawy konserwującej z jesiennym talerzowaniem międzyplonów (tab. 5). Natomiast Małecka i Bleharczyk (2004) oraz Bleharczyk i wsp. (1999) największą zawartość glutenu mokrego w ziarnie pszenicy ozimej stwierdzili w obiektach uprawy uproszczonej oraz siewu bezpośredniego w porównaniu z uprawą płużną. W obiekcie z życią westerwoldzką stwierdzono istotnie mniejszą zawartość glutenu mokrego w ziarnie pszenicy jarej niż w pozostałych ocenianych obiektach z międzyplonami oraz obiekcie kontrolnym. Jednocześnie w obiekcie kontrolnym zawartość glutenu mokrego w ziarnie była istotnie większa niż w obiektach z koniczyną czerwoną i facelią błękitną. Najmniejszą zawartość glutenu mokrego w ziarnie stwierdzono w pierwszym najsuchszym roku badań, istotnie większą w roku 2007, natomiast największą w roku 2008 (tab. 5). Podobnie Borkowska i in. (2002) oraz Małecka i Bleharczyk (2004) stwierdzili istotne zmiany w zawartości glutenu mokrego w ziarnie pszenicy jarej i ozimej w zależności od warunków pogodowych panujących w kolejnych latach badań.

Tabela 5

Zawartość glutenu mokrego w ziarnie pszenicy jarej (%)
Wet gluten content in grain of spring wheat (%)

Czynnik doświadczenia Experimental factor		Systemy uprawy Tillage systems (S)			Średnio Mean
		*A	B	C	
Międzyplony (M) Catch crops	Obiekt kontrolny Control	25,32	24,24	24,84	24,80
	Koniczyna czerwona Red clover	25,28	23,65	24,26	24,40
	Facelia błękitna Lacy phacelia	24,68	23,71	24,83	24,41
	Gorczyca biała White mustard	25,34	23,49	24,71	24,51
	Życica westerwoldzka Westerwolds ryegrass	24,66	22,87	24,07	23,87
	Średnio Mean	25,06	23,59	24,54	—
Lata (L) Years		S — 0,206; M — 0,309; L — 0,206 S × M — 0,667; S × L — 0,472			
Lata (L) — Years		2006	2007	2008	
Międzyplony (M) Catch crops	Obiekt kontrolny Control	17,38	26,42	30,60	24,80
	Koniczyna czerwona Red clover	15,99	26,79	30,41	24,40
	Facelia błękitna Lacy phacelia	16,42	25,93	30,87	24,41
	Gorczyca biała White mustard	16,61	26,13	30,81	24,51
	Życica westerwoldzka Westerwolds ryegrass	16,14	25,19	30,27	23,87
	Średnio Mean	16,51	26,09	30,59	—
LSD 0.05		M × L — 0,667			

* Objasnienia jak w tabeli 3; Explanations like in Table 3

W płużnym systemie uprawy roli we wszystkich obiektach z międzyplonami oraz obiekcie kontrolnym zawartość glutenu mokrego w ziarnie pszenicy jarej była istotnie większa niż w obiektach konserwującej uprawy z jesiennym talerzowaniem międzyplonów. Jednocześnie w wariacie uprawy konserwującej z mulczem w obiektach z facelią błękitną, gorczycą białą i życicą westerwoldzką zawartość glutenu mokrego w ziarnie pszenicy jarej była istotnie większa niż w analogicznych obiektach uprawy konserwującej z jesiennym wymieszaniem międzyplonów z glebą (tab. 5). W roku 2008 we wszystkich obiektach z systemami uprawy roli oraz międzyplonami zawartość glutenu mokrego i suchego była istotnie większa niż w pozostałych dwu latach badań, jednocześnie w roku 2007 większa niż w roku 2006 (tab. 5, tab. 6). W roku 2006 w obiektach z międzyplonami stwierdzono istotnie mniejszą zawartość glutenu mokrego w ziarnie w

porównaniu z obiektem kontrolnym. Natomiast w roku 2007 najmniejszą jego zawartość określono w obiektach z życią westerwoldzką (tab. 5).

Warto zwrócić uwagę na fakt, że w roku 2006 pod względem zawartości glutenu w ziarnie pszenica jara odmiany Zebra nie spełniała wymagań stawianych przez przemysł piekarski. Cacak-Pietrzak (2008) podaje, że w piekarstwie nie powinno się stosować mąk pszennych w których ilość glutenu mokrego wynosi poniżej 25%. Aby zapewnić taki poziom glutenu w mące minimalna ilość glutenu w ziarnie powinna wynosić ok. 27%. Jedynie w roku 2008 zarówno w ocenianych systemach uprawy roli jak i obiektach z międzyplonami zawartość glutenu była na zadowalającym poziomie (tab. 5). Rothkaehl (2007, 2008, 2009) badając zawartość glutenu mokrego w odmianach pszenicy jarej na terenie kraju stwierdziła znaczne wahania zawartości w zależności od warunków opadowo-termicznych i rejonów klimatyczno-uprawowych. W roku 2006 zawartość glutenu w odmianach jarych zawierała się w przedziale 14,6% a 36,9%, w roku 2007 19,6% a 41,6%, w roku 2008 między 16,4% a 41,6%. Małecka i Blecharczyk (2004) w systemie uprawy bezorkowej uzyskali polepszenie cech jakościowych ziarna pszenicy ozimej wyrażonych dorodnością i wyrównaniem ziarna oraz zawartością glutenu mokrego. Woźniak (2004ab) stwierdził, że w ziarnie pszenicy jarej uprawianej w monokulturze zmniejszała się zawartość glutenu mokrego, a także gęstość i wyrównanie ziarna, w odniesieniu do zmianowania z 25% i 50% udziałem pszenicy. Cacak-Pietrzak i wsp. (1999) oraz Podolska i Sułek (2003) uważają, że jednym z głównych kryteriów przydatności technologicznej pszenicy jest ocena zawartości białka i glutenu. Podobnie Peltonen i Virtanen (1994) oraz Żmijewski i wsp. (1999) uważają, że bardzo duże znaczenie w ocenie jakości ziarna pszenicy jarej ma zawartość glutenu, którego ilość nie zawsze zwiększa się w miarę wzrostu zawartości białka. Taka zależność została udowodniona w tych badaniach w obiektach z życią westerwoldzką. Odwrotnie natomiast w obiekcie z gorczycą białą i obiekcie kontrolnym niska zawartość białka w ziarnie nie korespondowała z niską zawartością glutenu (tab. 5).

Istotnie większą zawartość glutenu suchego stwierdzono w ziarnie z obiektów uprawy płuźnej niż konserwującej bez mulczu. W obiektach z życią westerwoldzką i facelią błękitną stwierdzono istotnie mniejszą jego zawartość w porównaniu z obiektem kontrolnym, jednocześnie w obiekcie z życią westerwoldzką mniejszą niż z koniczyną czerwoną (tab. 6). Zawartość glutenu suchego w latach badań układała się podobnie jak glutenu mokrego. W pierwszym roku badań była najmniejsza, zaś w ostatnim największa. Wynikało to przede wszystkim z odmiennych warunków opadowo-termicznych panujących w kolejnych latach badań. Zawartość glutenu suchego w wariantcie konserwującej uprawy roli z mulczem w obiektach z życią westerwoldzką i facelią błękitną była istotnie mniejsza niż w obiekcie kontrolnym (tab. 6). W pierwszym roku badań zawartość glutenu suchego w ziarnie pszenicy jarej we wszystkich obiektach z międzyplonami była istotnie mniejsza w porównaniu z obiektem kontrolnym. W roku 2007 istotnie większą zawartość glutenu suchego stwierdzono w ziarnie z obiektów koniczyny czerwonej w odniesieniu do obiektów kontrolnego i życicy westerwoldzkiej. Natomiast w roku 2008 zawartość glutenu suchego w obiektach z koniczyną czerwoną była istotnie większa w porównaniu z obiektem kontrolnym (tab. 6).

Tabela 6

Zawartość glutenu suchego w ziarnie pszenicy jarej (%)
Dry gluten content in grain of spring wheat (%)

Czynnik doświadczenia Experimental factor		Systemy uprawy Tillage systems (S)			Średnio Mean
		*A	B	C	
Międzyplony (M) Catch crops	Obiekt kontrolny Control	8,28	8,17	8,72	8,39
	Koniczyna czerwona Red clover	8,41	8,33	8,15	8,30
	Facelia błękitna Lacy phacelia	8,18	7,93	8,07	8,06
	Gorczyca biała White mustard	8,33	7,94	8,14	8,14
	Życica westerwoldzka Westerwolds ryegrass	8,17	7,96	7,74	7,96
Lata (L) Years	2006	5,61	5,36	6,33	5,77
	2007	9,01	8,88	8,70	8,86
	2008	10,20	9,96	9,47	9,88
Średnio Mean		8,27	8,07	8,17	—
NIR 0,05 dla — for LSD 0.05		S — 0,193; M — 0,290; L — 0,193 S × M — 0,625; S × L — 0,443			
Lata (L) — Years		2006	2007	2008	
Międzyplony (M) Catch crops	Obiekt kontrolny Control	7,02	8,67	9,48	8,39
	Koniczyna czerwona Red clover	5,40	9,31	10,18	8,30
	Facelia błękitna Lacy phacelia	5,28	8,87	10,03	8,06
	Gorczyca biała White mustard	5,60	8,83	9,98	8,14
	Życica westerwoldzka Westerwolds ryegrass	5,53	8,63	9,70	7,96
Średnio Mean		5,77	8,86	9,88	—
NIR 0,05 dla — for LSD 0.05		M × L — 0,625			

* objaśnienia jak w tabeli 3; Explanations like in Table 3

Garwacka i wsp. (2007) stwierdzili, że zawartość glutenu w ziarnie jest modyfikowana czynnikami siedliskowymi i agrotechnicznymi, dlatego tak ważne jest aby pszenicę konsumpcyjną uprawiać w najlepszych warunkach. Chrzanowska-Drożdż i wsp. (1999) stwierdzili, że skład chemiczny ziarna, wartość przemiałowa i wypiekowa odmian pszenicy jarej oprócz warunków pogody w latach badań zależała od właściwości genetycznych odmian.

Indeks glutenu w obiektach uprawy płużnej był istotnie mniejszy w porównaniu z obu wariantami uprawy konserwującej. Istotnie większy indeks glutenu stwierdzono w obiektach z koniczyną czerwoną w porównaniu z facelią błękitną i gorczycą białą (tab. 7). W płużnym systemie uprawy roli w obiekcie z facelią błękitną indeks glutenu był istotnie mniejszy niż w pozostałych obiektach. Jednocześnie w tym systemie uprawy w obiekcie z gorczycą białą istotnie mniejszy niż z koniczyną czerwoną (tab. 7).

Tabela 7

Indeks glutenu ziarna pszenicy jarej (%)
Gluten index for spring wheat grain (%)

Czynnik doświadczenia Experimental factor		Systemy uprawy Tillage systems (S)			Średnio Mean
		*A	B	C	
Międzyplony (M) Catch crops	Obiekt kontrolny Control	87,72	89,64	87,17	88,18
	Koniczyna czerwona Red clover	90,20	89,26	89,48	89,65
	Facelia błękitna Lacy phacelia	81,92	89,50	89,42	86,95
	Gorczyca biała White mustard	86,15	90,39	86,29	87,61
	Życica westerwoldzka Westerwolds ryegrass	87,44	87,87	88,64	87,98
Lata (L) Years	2006	91,75	98,25	98,04	96,01
	2007	95,50	95,22	94,69	95,13
	2008	72,80	74,53	71,88	73,07
Średnio Mean		86,68	89,33	88,20	—
NIR 0,05 dla — for LSD 0.05		S — 1,232; M — 1,855; L — 1,232 S × M — 3,996; S × L — 2,831			
Lata (L) — Years		2006	2007	2008	
Międzyplony (M) Catch crops	Obiekt kontrolny Control	97,84	95,46	71,23	88,18
	Koniczyna czerwona Red clover	95,71	95,53	77,70	89,65
	Facelia błękitna Lacy phacelia	95,20	94,15	71,49	86,95
	Gorczyca biała White mustard	95,73	94,63	72,47	87,61
	Życica westerwoldzka Westerwolds ryegrass	95,59	95,90	72,46	87,98
Średnio Mean		96,01	95,13	73,07	—
NIR 0,05 dla — for LSD 0.05		M × L — 3,991			

* Objasnienia jak w tabeli 3; Explanations like in Table 3

We wszystkich systemach uprawy roli w roku 2008 indeks glutenu był istotnie mniejszy niż w pierwszych dwu latach badań. Jednocześnie w obydwu konserwujących wariantach uprawy w roku 2007 mniejszy niż w roku 2006. Natomiast w płużnym systemie uprawy roli w roku 2007 większy niż w roku 2006 (tab. 7). W ostatnim roku badań we wszystkich obiektach z międzyplonami oraz obiekcie kontrolnym indeks glutenu był istotnie mniejszy niż w latach 2006 i 2007. Jednocześnie w roku 2008 w obiekcie z koniczyną czerwoną istotnie większy niż w pozostałych obiektach (tab. 7). Achremowicz i in. (1995) podają, że wielkość indeksu glutenu powyżej 95 charakteryzuje gluten zbyt twardy, między 65-95 właściwy dla celów wypiekowych, zaś poniżej 50 gluten określany jako zbyt miękki. Przyjmując takie kryterium jedynie w 2008 roku uzyskano optymalną wartość indeksu glutenu, a w pozostałych latach nieznacznie przekraczającą wymieniony zakres. Analizując natomiast wpływ czynników doświadczenia na wartość tej cechy w ocenianym trzyleciu,

to zarówno systemy uprawy roli jak i międzyplony sprzyjały uzyskaniu optymalnych wartości indeksu glutenu.

Istotnie większą liczbę opadania stwierdzono w obiektach uprawy konserwującej z mulczem w porównaniu do uprawy płużnej i konserwującej bez mulczu (tab. 8). W badaniach Woźniaka (2009) liczba opadania pszenicy jarej nie zależała od systemu uprawy roli.

W obiektach z koniczyną czerwoną liczba opadania była istotnie większa w porównaniu z pozostałymi obiektami i obiektem kontrolnym. W kolejności istotnie mniejszą liczbę opadania określono w obiekcie z facelią błękitną, obiekcie kontrolnym, z życią westerwoldzką oraz najmniejszą w obiekcie z gorczycą białą. Największą liczbę opadania stwierdzono w roku 2007, istotnie mniejszą w roku 2008, zaś najmniejszą w roku 2006 (tab. 8).

Tabela 8

Aktywność alfa-amylazy w ziarnie pszenicy jarej określona metodą pomiaru liczby opadania (s)
The alpha-amylase activity in spring wheat grain with using the falling number method (s)

Czynnik doświadczenia Experimental factor		Systemy uprawy Tillage systems (S)			Średnio Mean
		*A	B	C	
Międzyplony (M) Catch crops	Obiekt kontrolny — Control	359,00	351,89	364,11	358,33
	Koniczyna czerwona Red clover	364,44	362,44	369,44	365,44
	Facelia błękitna Lacy phacelia	362,28	353,83	366,22	360,78
	Gorczyca biała White mustard	350,06	350,17	348,28	349,50
	Życica westerwoldzka Westerwolds ryegrass	342,89	360,28	356,72	353,30
Lata (L) Years	2006	279,27	283,27	293,43	285,32
	2007	398,90	394,10	400,90	397,97
	2008	389,03	389,80	388,53	389,12
Średnio Mean		355,73	355,72	360,96	—
NIR 0,05 dla — for LSD 0.05		S — 1,432; M — 2,156; L — 1,432 S × M — 4,644; S × L — 3,290			
Lata (L) — Years		2006	2007	2008	
Międzyplony (M) Catch crops	Obiekt kontrolny — Control	280,56	405,89	388,56	358,33
	Koniczyna czerwona Red clover	302,28	393,50	400,56	365,44
	Facelia błękitna Lacy phacelia	295,78	399,17	387,39	360,78
	Gorczyca biała White mustard	272,94	402,44	373,11	349,50
	Życica westerwoldzka Westerwolds ryegrass	275,06	388,83	396,00	353,30
Średnio Mean		285,32	397,97	389,12	—
NIR 0,05 dla — for LSD 0.05		M × L — 4,645			

* Objasnienia jak w tabeli 3; Explanations like in Table 3

W płużnym systemie uprawy roli istotnie mniejszą liczbę opadania stwierdzono w obiektach z życią westerwoldzką w porównaniu z pozostałymi obiektami, jednocześnie na poletkach z koniczyną czerwoną liczba opadania była większa niż w obiektach z gorczycą białą i kontrolnym bez międzyplonów. W wariancie uprawy konserwującej bez mulczu w obiekcie z gorczycą białą liczba opadania była istotnie mniejsza niż w obiektach z życią westerwoldzką i koniczyną czerwoną. Natomiast w wariancie uprawy konserwującej z mulczem liczba opadania określona w obiektach z gorczycą białą była najmniejsza w porównaniu do pozostałych obiektów z międzyplonami i obiektu kontrolnego (tab. 8).

We wszystkich systemach uprawy roli w roku 2007 liczba opadania była największa, istotnie mniejsza w roku 2008, a najmniejsza w roku 2006. W pierwszym 2006 roku badań liczba opadania w obiekcie z koniczyną czerwoną była istotnie większa niż w pozostałych obiektach, natomiast w roku 2008 również większa od pozostałych z wyjątkiem życicy westerwoldzkiej. W roku 2007 najmniejszą liczbę opadania stwierdzono w obiektach z życią westerwoldzką (tab. 8).

Badane przez Nowaka i wsp. (2004) odmiany pszenicy jarej odznaczały się bardzo wysoką liczbą opadania (ponad 320s), co pozwala zaliczyć je na podstawie tej cechy do grupy pszenic elitarnych. Jednocześnie stwierdzono, że wartość tej cechy zależała istotnie od zróżnicowanych warunków siedliskowych w jakich uprawiano różne odmiany pszenicy jarej. W tych badaniach jedynie w roku 2006 wartość liczby opadania była mniejsza niż 300 s, jednak i tak wskazuje ona na niską aktywność alfa amylazy. Według klasyfikacji Klockiewicz-Kamińskiej i Brzezińskiego (1997) we wszystkich ocenianych latach ziarno pszenicy jarej z tego doświadczenia spełniało minimalne wymagania dla grupy pszenic elitarnych pod względem liczby opadania. Cacak-Pietrzak (2008) podaje, że liczba opadania na średnim poziomie między 220 a 270s świadczy o optymalnej aktywności enzymów amylolitycznych w ziarnie przerabianym na mąkę do wypieku chleba.

Na podstawie współczynników korelacji stwierdzono istotną zależność między zawartością białka i glutenu mokrego ($r = 0,83$), glutenu suchego ($r = 0,76$) oraz liczbą opadania ($r = 0,84$). Ponadto zawartość glutenu mokrego i suchego była dodatnio skorelowana z liczbą opadania ($r = 0,82-0,87$) (tab. 9). Żmijewski i wsp. (1999), Rothkaehl i wsp. (2004), Woźniak (2004 a) oraz Woźniak i wsp. (2006) także uzyskali dodatnią korelację między zawartością białka a zawartością glutenu w ziarnie pszenicy. Podobnie Klockiewicz-Kamińska i Brzeziński (1997) potwierdzają, że zawartość glutenu jest wysoce skorelowana z zawartością białka. Jednocześnie Rothkaehl i wsp. (2004) uzyskali dodatnią korelację między gęstością i liczbą opadania. Taka zależność nie została potwierdzona w tych badaniach. Nie potwierdziła się również zależność uzyskana przez Woźniaka (2004 a) dotycząca ujemnej korelacji między zawartością białka ogółem, glutenu mokrego a liczbą opadania. W tych badaniach uzyskano odwrotną zależność. Żmijewski i wsp. (1999) nie uzyskali natomiast istotnych wartości współczynnika korelacji między liczbą opadania a zawartością glutenu mokrego. W tych badaniach stwierdzono także ujemną zależność pomiędzy indeksem glutenu a zawartością białka, ilością glutenu mokrego i suchego oraz liczbą opadania (tab. 9). Achremowicz i wsp. (1995) ujemną korelację między ilością

glutenu mokrego a indeksem glutenu tłumaczą malejącą wartością indeksu glutenu przy wzroście zawartości białka ogółem i ilości glutenu mokrego.

Tabela 9

Współczynniki korelacji (r) między badanymi cechami pszenicy jarej
Correlation coefficients (r) between traits of spring wheat

Wyszczególnienie Specification	Białko ogółem Total protein	Gluten mokry Wet gluten	Gluten suchy Dry gluten	Liczba opadania Falling number	Index glutenu Gluten index	Gęstość ziarna w stanie zsypanym Test weight
Białko ogółem Total protein	1					
Gluten mokry Wet gluten	0,83*	1				
Gluten suchy Dry gluten	0,76*	0,89*	1			
Liczba opadania Falling number	0,84*	0,87*	0,82*	1		
Indeks glutenu Gluten index	-0,62*	-0,77*	-0,63*	-0,49*	1	
Gęstość ziarna w stanie zsypanym Test weight	-0,02	0,12	0,03	-0,21	-0,56*	1

* Istotny współczynnik korelacji ($p = 0,05$); Significant correlation coefficient ($p = 0.05$)

Ze względu na zmienne warunki pogodowe panujące w kolejnych latach badań trudno jednoznacznie potwierdzić korzystne oddziaływanie międzyplonów na poprawę jakości ziarna w monokulturze pszenicy jarej. Jednak w ostatnim roku badań poziom ocenianych cech kształtował się na wyższym poziomie niż w pierwszym roku. Przyjmując jako kryterium zawartość białka ogółem i glutenu, jakość ziarna uzyskana w systemie płużnym oraz w wariancie konserwującym z wiosennym talerzowaniem międzyplonów była bardzo podobna. Najmniej korzystnie wymienione parametry kształtowały się w ziarnie z obiektów uprawy konserwującej z jesienną inkorporacją międzyplonów. Porównując zastosowane międzyplony wydaje się, że w obiektach z wsiewką życicy westerwoldzkiej uzyskano najmniej korzystne wartości ocenianych cech jakościowych.

WNIOSKI

1. W obiektach uprawy konserwującej z wiosennym talerzowaniem międzyplonów oraz uprawie płużnej stwierdzono większą zawartość białka ogółem w ziarnie pszenicy jarej niż w wariancie uprawy konserwującej z jesiennym talerzowaniem roślin międzyplonów.
2. W obiektach z wsiewką koniczyny czerwonej i życicy westerwoldzkiej oraz poplonem ścierniskowym facelii błękitnej stwierdzono najwyższą zawartość białka ogółem w ziarnie, mniejszą w obiekcie kontrolnym oraz najmniejszą z poplonem ścierniskowym gorczycy białej.
3. Większą masę hektolitra ziarna pszenicy jarej stwierdzono w obiektach uprawy płużnej w porównaniu z obydwoma wariantami uprawy konserwującej.

4. Zawartość glutenu mokrego w obiektach uprawy płużnej była większa niż w obiektach uprawy konserwującej. Zawartość glutenu suchego w ziarnie z obiektów uprawy płużnej była większa niż w wariacie uprawy konserwującej bez mulczu. Natomiast indeks glutenu w obiektach uprawy płużnej był mniejszy w porównaniu z obydwoma wariantami uprawy konserwującej.
5. Liczba opadania w obiektach uprawy konserwującej z wiosennym talerzowaniem międzyplonów była większa w porównaniu do uprawy płużnej i konserwującej z jesienną inkorporacją roślin międzyplonów.
6. Zawartość glutenu mokrego w ziarnie pszenicy jarej w obiekcie z życią westerwoldzką była najmniejsza. Jednocześnie zawartość glutenu suchego w obiekcie z życią westerwoldzką mniejsza niż w obiektach kontrolnym i koniczyną czerwoną. W obiektach z koniczyną czerwoną indeks glutenu był większy niż na poletkach z poplonami ścierniskowymi gorczycy białej i facelii błękitnej.
7. Największą liczbę opadania stwierdzono w obiektach z koniczyną czerwoną w porównaniu z pozostałymi obiektami i obiektem kontrolnym.
8. Jedynie w ostatnim roku badań uzyskano ziarno pszenicy jarej w pełni odpowiadające wymaganiom stawianym przez przemysł piekarski.
9. Warunki opadowo-termiczne panujące w kolejnych latach obserwacji determinowały kształtowanie się cech jakościowych ziarna pszenicy jarej.

LITERATURA

- Achremowicz B., Borkowska H., Styk B., Grundas S. 1995. Wpływ nawożenia azotowego na jakość glutenu pszenicy jarej. *Biul. IHAR* 193: 29 — 34.
- Borkowska H., Grundas S., Styk B. 2002. Wysokość i jakość plonów niektórych odmian pszenicy jarej w zależności od nawożenia azotowego. *Annales UMCS, Sec. E*, 57: 99 — 103.
- Blecharczyk A., Skrzypczak G., Małecka I. 1999. Reakcja pszenicy ozimej na przedplon i siew bezpośredni. *Pam. Puł.* 118: 9 — 16.
- Cacak-Pietrzak G. 2008. Wykorzystanie pszenicy w różnych gałęziach przemysłu spożywczego — wymagania technologiczne. *Przegl. Zbożowo-Młynarski* 11: 11 — 13.
- Cacak-Pietrzak G., Ceglińska A., Haber T. 1999. Cechy fizyko-chemiczne ziarna wybranych krajowych odmian pszenicy. *Pam. Puł.* 118: 35 — 43.
- Chrzanowska-Drożdż B., Jasińska Z., Gil Z. 1999. Ocena jakościowa ziarna pszenicy jarej w siewach czystych i mieszaninach odmian. *Pam. Puł.* 118: 67 — 75.
- Garwacka A., Starczewski J., Czarnocki Sz. 2007. Technologia uprawy a jakość ziarna wybranych odmian pszenicy jarej. *Fragm. Agron.* 2: 96 — 101.
- Goodling M.J., Smith G.P. 1998. The potential to use climate, variety and nitrogen relationships to optimise wheat quality. In: *Short Communications, Fifth ESA Congress*, 28 June — 2 July: 229 — 230.
- Grundas S. 1993. Wheat. In: *Encyclopedia of Food Science. Food technology and nutrition*. Academic Press Inc., London: 4875 — 4881.
- Huel P., Chibbar R.N. 1996. Variation for starch concentration in spring wheat and its repeatability relative to protein concentration. *Cereal Chem.* 73, 6: 756 — 758.
- Klockiewicz-Kamińska E., Brzeziński W.J. 1997. Metoda oceny i klasyfikacji jakościowej odmian. 67, *Zeszyty COBORU — Wiadomości Odmianoznawcze*, Słupia Wielka: 3 — 18.
- Kraska P., Pałys E. 2005. Wpływ poziomów nawożenia mineralnego i ochrony chemicznej oraz systemów uprawy roli na zawartość i plon białka ogólnego w ziarnie jęczmienia jarego i żyta ozimego. *Progress in Plant Protection / Postępy w Ochronie Roślin* 45 (2): 810 — 812.

- López-Bellido L., Fuentes M., Castillo J.E., López-Garrido F.J. 1998. Effects of tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on wheat-grain quality grown under rainfed Mediterranean conditions. *Field Crop Res.* 57 (3): 265 — 276.
- Małecka I., Blecharczyk A. 2004. Wpływ systemów uprawy roli na jakość ziarna pszenicy ozimej. *Pam. Puł.* 135: 181 — 187.
- Nowak W., Zbroszczyk T., Kotowicz L. 2004. Wpływ intensywności uprawy na niektóre cechy jakościowe ziarna odmian pszenicy. *Pam. Puł.* 135: 199 — 212.
- Peltonen J., Virtanen A. 1994. Effect of nitrogen fertilizers differing in release characteristics on the quantity of storage proteins in wheat. *Cereal Chem.* 71, 1: 1 — 5.
- Podolska G., Sulek A. 2002. Główne elementy technologii produkcji decydujące o wysokiej jakości ziarna pszenicy. *Pam. Puł.* 130/II: 597 — 605.
- Podolska G., Sulek A. 2003. Jakość ziarna pszenicy w Polsce i UE. *Pam. Puł.* 132: 363 — 369.
- Radomski Cz. 1987. *Agrometeorologia*. PWN, Warszawa.
- Rothkaehl J. 2004. Możliwości doboru odmian pszenicy zgodnie z zapotrzebowaniem na odpowiednią jakość mąki dla zakładów piekarskich. *Przegl. Zbożowo-Młynarski*, 12: 23 — 25.
- Rothkaehl J. 2007. Ocena podstawowych cech technologicznych ziarna pszenicy ze zbiorów 2006 roku. *Przegl. Zboż. Młyn.* 1: 4 — 9.
- Rothkaehl J. 2008. Ocena podstawowych cech technologicznych ziarna pszenicy ze zbiorów 2007 roku. *Przegl. Zboż. Młyn.* 1: 2 — 7.
- Rothkaehl J. 2009. Ocena podstawowych cech technologicznych ziarna pszenicy ze zbiorów 2008 roku. *Przegl. Zboż. Młyn.* 1: 2 — 5.
- Rothkaehl J., Abramczyk D. 2007. Wartość technologiczna odmian pszenicy uprawianych w Polsce. *Przegl. Zbożowo-Młynarski* 8: 2 — 4.
- Rothkaehl J., Filipiak K., Podolska G. 2004. Jakość ziarna pszenicy w zależności od rejonu uprawy. *Pam. Puł.* 135: 268 — 277.
- Sadowska J., Błaszczak T., Jeliński T., Fornal J., Borkowska H., Styk B. 2001. Fertilization and technological quality of wheat grain. *Int. Agrophysics* 15: 279 — 285.
- Scheromm P., Martin G., Bergoin A., Autran J.-C. 1992. Influence of nitrogen fertilization on the potential bread-baking quality of two wheat cultivars differing in their response to increasing nitrogen supplies. *Cereal Chem.* 96, 6: 664 — 670.
- Subda H. 1992. Assessment of chemical composition of flour and its effect on baking characteristics of wheat. *Pol. J. Food Nutr. Sci.* 1/42, 2: 15 — 21.
- Tendziagolska E., Parylak D. 2004. Zabiegi regeneracyjne w monokulturze pszenżyta ozimego a jakość ziarna. *Pam. Puł.* 135: 317 — 324.
- Woźniak A. 2004a. Wpływ przedplonu na wybrane cechy jakościowe ziarna pszenicy jarej. *Pam. Puł.* 135: 325 — 330.
- Woźniak A. 2004 b. The yield and quality of grain of spring wheat in different crop rotations. *Zesz. Nauk. Akademii Roln. we Wrocławiu, Rolnictwo* 85, 487: 219 — 227.
- Woźniak A. 2009. Jakość ziarna pszenicy jarej odmiany Koksa w różnych systemach uprawy roli. *Acta Agrophysica* 14(1): 223 — 241.
- Woźniak A., Gontarz D., Staniszewski M., Gos M. 2006. Plonowanie i jakość ziarna pszenicy jarej uprawianej w zmianowaniach o różnym jej udziale. *Biul. IHAR* 242: 45 — 55.
- Żmijewski M., Subda H., Korczak B., Kowalska M., Karolini-Skaradzińska Z., Czubaszek A. 1999. Skład chemiczny i wartość wypiekowa ziarna oraz mąki odmian pszenicy jarej. Część I. Skład chemiczny. *Biul. IHAR* 212: 65 — 70.

ALEKSANDRA GŁOWACKAKatedra Produkcji Roślinnej i Agrobiznesu
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Plonowanie i struktura plonu pszenicy jarej w zależności od różnych metod uprawy i pielęgnacji

Yielding and yield structure of spring wheat in dependence on different systems of cultivation and tending

W trzyletnim doświadczeniu polowym badano wpływ współrzędnej uprawy pasowej oraz różnych metod pielęgnacji na wielkość i strukturę plonu pszenicy jarej. Doświadczenie przeprowadzono w latach 2004–2006 w gospodarstwie położonym we wsi Frankamionka powiat zamojski, metodą losowanych podbloków, w czterech powtórzeniach. Czynnikiem eksperymentu były metody uprawy: siew czysty i uprawa współrzędna pasowa oraz metody pielęgnacji: mechaniczna, mechaniczno-chemiczna i chemiczna. Uprawa pasowa przyczyniła się istotnie do zmniejszenia wielkości plonu ziarna pszenicy jarej. Wśród metod pielęgnacji najgorzej plonowała pszenica gdy stosowano mechaniczne zabiegi regulacji zachwaszczenia. Czynniki doświadczenie różnicowały elementy struktury plonu, tj. liczbę ziaren z kłosa i liczbę kłosów na jednostce powierzchni, nie wpływały natomiast istotnie na masę 1000 ziaren.

Słowa kluczowe: metody pielęgnacji, pszenica jara, struktura plonu, współrzędna uprawa pasowa

In the three-year field experiment the influence of strip cropping and of different methods of tending on spring wheat yield and structure was evaluated. The experiment was conducted in 2004–2006 at the farm located in village of Frankamionka, Zamość district, using a split-plot design and four replications. The experimental factors included two cropping systems sole cropping vs. strip cropping and three methods of tending (mechanical, mechanical-chemical or chemical). The grain yield produced in the strip crop was lower than that produced in the sole crop. As regards the effects of tending methods used, the lowest yield was obtained in the crop where the mechanical method was applied. The experimental factors used significantly affected the number of ears per 1 m² and the number of grains per one ear, whereas they had no effect upon the weight of 1000 grains.

Key words: spring wheat, strip cropping, tending method, yield structure

WSTĘP

W programach integrowanej produkcji rolniczej zaleca się powrót do stosowania tradycyjnego płodozmianu z zachowaniem właściwego następstwa roślin oraz zwiększenia

urozmaicenia gatunkowego pól poprzez wprowadzenie tzw. uprawy współrzędnej (Wiech i Kałmuk, 2005). Jedną z form uprawy współrzędnej jest uprawa pasowa, w której próbuje się pogodzić interesy rolnika i ochrony środowiska. Polega ona na równoczesnej uprawie dwóch lub więcej gatunków roślin w pasach szerokich na tyle aby pozwalały na niezależną, zmechanizowaną uprawę a jednocześnie wystarczająco wąskich aby rośliny oddziaływały na siebie. Zdaniem Zanga i Li (2003) taki system może przynieść wiele korzyści. Chroni glebę przed erozją, zmniejsza parowanie wody, pozwala na bardziej efektywne wykorzystanie składników pokarmowych z gleby. Ogranicza również zachwaszczenie roślin, przez co może zmniejszyć zużycie herbicydów (Głowacka, 2007). Badania Francisa (1986), Garcii-Prehaca (1991) i Ghaffarzadeha i wsp. (1994) wskazują, że różnorodność gatunkowa upraw pasowych zwiększa znacznie plon całkowity w porównaniu z uprawą w siewie czystym. W polskim piśmiennictwie brak jest pozycji dotyczących systemu upraw pasowych i możliwości ich wprowadzenia w warunkach naszego rolnictwa, co wskazuje na brak tego typu badań.

Celem przeprowadzonych badań była ocena poziomu plonowania i cech struktury plonu pszenicy jarej w zależności od metod uprawy i poziomu pielęgnacji.

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie polowe przeprowadzono w latach 2004–2006 w gospodarstwie rolniczym położonym we wsi Frankamionka, powiat zamojski. Założono go metodą podbloków losowanych, w układzie zależnym split-plot w czterech powtórzeniach.

Schemat badań obejmował następujące czynniki:

- metoda uprawy: A₁. siew czysty, A₂. uprawa współrzędna pasowa, polegająca na uprawie kolejno obok siebie trzech roślin: kukurydza pastewna, pszenica jara i fasola zwyczajna w pasach o szerokości 2,5 m.
- poziom pielęgnacji: B₁ — dwukrotne bronowanie (w fazie szpilkowania i w fazie 5 liści); B₂ — jednokrotne bronowanie (w fazie szpilkowania) + Aminopielik Gold 530 EW (substancja biologicznie czynna 2,4-D fluroksypyr) w dawce 1 l·ha⁻¹ w fazie krzewienia; B₃ — Aminopielik Gold 530 EW (faza krzewienia) + Tilt Plus 400 EC + Owadofos płynny.

Eksperyment zlokalizowano na glebie o składzie granulometrycznym pyłu ilastego, lekko kwaśnej (pH 1n KCl — 6,5), o zawartości próchnicy 1,9%. Przedmiotem badań była pszenica jara, odmiana „Helia”.

W uprawie w siewie czystym wielkość poletek do siewu wynosiła 23,7 m², a do zbioru 17 m². W uprawie pasowej wielkość poletek pszenicy jarej i roślin towarzyszących wynosiła 11,75 m² do siewu i 10,5 m² do zbioru.

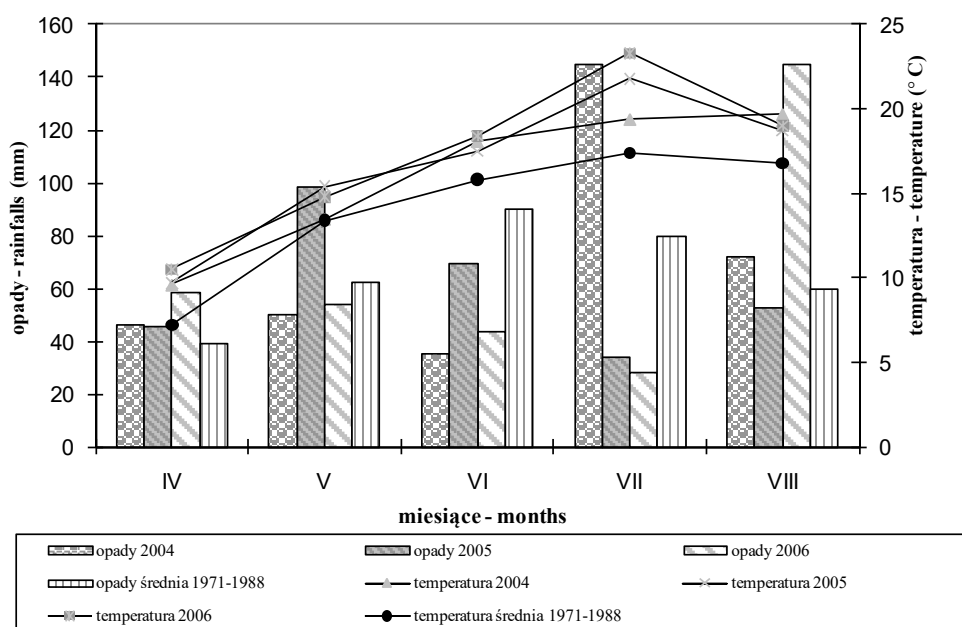
Pszenicę wysiewano w drugiej i trzeciej dekadzie kwietnia. Pod roślinę zastosowano jednolite nawożenie mineralne w ilości N — 100, P — 35, K — 75 kg·ha⁻¹. Nawożenie azotowe zastosowano w dawkach dzielonych, pół dawki przedsiewnie, pozostałą część dawki pogłównie (pszenica w fazie rozwojowej 36–37 wg Zadoksa i in., 1974). Nawożenie fosforowe i potasowe wnoszono jednorazowo przed siewem rośliny, wielkość dawek ustalono w oparciu o zasobność gleby i potrzeby nawozowe rośliny. Przedplonem pszenicy

była fasola zwyczajna. Uprawę roli przeprowadzono metodą tradycyjną, obejmującą zespół uprawek poźniowych, przedzimowych i wiosennych, zgodnie z zaleceniami dla tej rośliny.

W badaniach określono plon ziarna pszenicy przy wilgotności 15%, liczbę kłosów na jednostce powierzchni, liczbę ziaren w kłosie oraz masę 1000 ziaren.

Zebrane wyniki opracowano statystycznie metodą analizy wariancji. Różnice pomiędzy średnimi oceniono testem T-Tukeya, istotność różnic określono z 95% prawdopodobieństwem. Wpływ poszczególnych elementów struktury ładu na wielkość plonu oszacowano wykorzystując współczynniki korelacji.

Warunki pogodowe w okresie badań były zróżnicowane. Najwyższą ilość opadów, zbliżoną do wielolecia odnotowano w pierwszym roku eksperymentu. W drugim i trzecim roku suma opadów była istotnie niższa (rys. 1). Średnie miesięczne temperatury powietrza w każdym roku były wyższe niż w wieloleciu. Szczególnie ciepły był rok 2006, w którym suma temperatur (liczona jako suma iloczynów średniej temperatury i liczby dni miesiąca) w miesiącach IV–IX wynosiła 3141°C, natomiast w wieloleciu kształtowała się na poziomie 2544°C.



Rys. 1. Opady i temperatura powietrza w miesiącach IV–IX w zestawieniu ze średnimi wieloletnimi (1971–1988) wg Stacji Meteorologicznej w Zamościu

Fig. 1. Rainfalls and air temperature in months IV–IX as compared to the long-term mean (1971–1988), according to the Meteorological Station in Zamość

WYNIKI I DYSKUSJA

Wielkość plonu ziarna pszenicy jarej była zróżnicowana w poszczególnych latach badań oraz zmieniała się w zależności od stosowanej metody uprawy i pielęgnacji (tab. 1).

Tabela 1

Plon ziarna pszenicy jarej w t·ha⁻¹
The grain yield of spring wheat in t·ha⁻¹

Metoda uprawy Method of cultivation	Pielęgnacja Treatments	Lata badań — Years			Średnio Mean
		2004	2005	2006	
Siew czysty Sole cropping A ₁	B ₁	5,83	5,70	5,04	5,52
	B ₂	6,67	5,58	5,52	5,92
	B ₃	7,16	5,74	5,70	6,20
	średnio — mean	6,55	5,46	5,42	5,88
Uprawa pasowa Strip cropping A ₂	B ₁	5,41	5,47	4,75	5,21
	B ₂	6,26	5,17	5,08	5,44
	B ₃	6,44	4,87	4,97	5,43
	średnio — mean	5,84	5,17	4,93	5,36
Średnio Mean	B ₁	5,42	5,02	4,70	5,04
	B ₂	6,37	5,37	5,30	5,68
	B ₃	6,80	5,30	5,33	5,81
	średnio — mean	6,20	5,23	5,11	5,51

NIR_{0,05} dla — LSD_{0,05} for: lata — years 0,530; uprawa — cultivation 0,472, pielęgnacja — tending 0,530

We współdziałaniu — in interaction: uprawa × pielęgnacja — cultivation × treatments r.n. — n.s.

W 2004 roku charakteryzującym się najwyższą sumą opadów i temperaturą powietrza niższą od wieloletniej (rys. 1) uzyskano najwyższe plony ziarna pszenicy jarej. Istotnie niżej, ale tylko w stosunku do 2004 roku plonowała pszenica w kolejnych dwóch latach, natomiast lata 2005 i 2006 nie różnicowały plonowania. Na silny wpływ przebiegu pogody na plonowanie pszenicy wskazują również inni autorzy (Chrzanowska-Drożdż, 2001; Brzozowska i in., 2008). Analizując wpływ metody uprawy należy stwierdzić, iż w uprawie pasowej pszenica plonowała niżej niż w siewie czystym. Różnica pomiędzy siewem czystym a uprawą pasową wynosiła 5,3 dt·ha⁻¹ i była udowodniona statystycznie. Zmniejszenie plonu w uprawie współrzędnej pasowej pszenicy z kukurydzą pastewną i fasolą zwyczajną mogło być skutkiem większej konkurencji roślin kukurydzy o światło, wodę i składniki pokarmowe w porównaniu z niższymi, mniej konkurencyjnymi roślinami pszenicy. Mogło to spowodować zubożenie środowiska dla roślin pszenicy w brzeżnej części pasa, bezpośrednio sąsiadującej z pasem kukurydzy. Chociaż Crusoe (1992) uważa, że konkurencja pomiędzy kukurydzą a roślinami zbożowymi w uprawie pasowej powinna być zminimalizowana, gdyż są to rośliny o innych cyklach rozwojowych, a ich maksymalne zapotrzebowanie na wodę i składniki mineralne oraz siew i zbiór przypada w różnym terminie. W każdym roku trwania eksperymentu pszenica jara pozytywnie reagowała na stosowane metody pielęgnacji. Średnio w doświadczeniu najniższą masę ziarna uzyskano na obiektach chronionych przed chwastami jedynie przy użyciu mechanicznych sposobów regulacji zachwaszczenia. Istotnie wyższe plony, odpowiednio o 6,4 dt·ha⁻¹ (12,5%) oraz 7,7 dt·ha⁻¹ (14,5%) uzyskano stosując metodę mechaniczno-chemiczną oraz chemiczną. Natomiast różnice pomiędzy tymi dwiema metodami były

niewielkie i nieistotne statystycznie. Podobne wyniki otrzymali w uprawie pszenicy jarej Pawłowski i Deryło (1990). W przeprowadzonym przez nich doświadczeniu plon ziarna pszenicy wzrósł o 11,1% po wprowadzeniu pielęgnacji mechaniczno-chemicznej oraz o 13,2% w wyniku stosowania pielęgnacji chemicznej. Zbliżoną reakcję pszenicy ozimej na różne metody pielęgnacji podają również Jędruszczak i wsp. (2004) oraz Brzozowska i wsp. (2008). Analiza statystyczna nie wykazała współdziałania stosowanych metod uprawy i pielęgnacji w kształtowaniu wielkości uzyskanego plonu. Można jednak zauważyć, iż różnice pomiędzy metodą mechaniczną i pozostałymi sposobami regulacji zachwaszczenia były mniejsze w uprawie pasowej niż w siewie czystym. Być może wynika to z wpływu uprawy pasowej na ograniczenie zachwaszczenia, który jak podaje Głowacka (2009) był szczególnie wyraźny właśnie na obiektach chronionych wyłącznie mechanicznymi zabiegami.

O wielkości plonów zbóż decyduje przede wszystkim obsada kłosów, liczba ziaren w kłosie oraz masa tysiąca ziaren (Podolska i in., 2002). W licznych doświadczeniach stwierdzono, iż elementy struktury plonu są różnicowane przez układ warunków pogodowych w okresie wegetacji (Woźniak, 2006; Buraczyńska i Ceglarek, 2008; Brzozowska i in., 2008). Podobnie w przedstawionych badaniach własnych obserwowano wyraźną różnicę w kształtowaniu się składowych struktury łanu w zależności od lat. Masa tysiąca ziaren była najwyższa w 2004 roku, niższa w 2005, najniższa zaś w roku 2006. Liczba ziarniaków w kłosie również była największa w 2004 roku, najmniejsza zaś w 2005 roku. Średnio w doświadczeniu zarówno obsada kłosów na jednostce powierzchni, jak i liczba ziaren w kłosie pszenicy jarej zależała istotnie od metod uprawy (tab. 2, 3).

Tabela 2

Liczba ziaren z kłosa
Grain number per ear

Metoda uprawy Method of cultivation	Pielęgnacja Treatments	Lata badań — Years			Średnio Mean
		2004	2005	2006	
Siew czysty Sole cropping A ₁	B ₁	39,3	28,6	31,6	33,2
	B ₂	37,1	28,9	38,4	34,8
	B ₃	39,7	26,6	36,0	34,1
	średnio — mean	38,7	28,0	35,3	34,0
Uprawa pasowa Strip cropping A ₂	B ₁	42,7	27,0	30,0	33,2
	B ₂	40,5	26,6	33,0	33,4
	B ₃	41,4	25,2	29,3	32,0
	średnio — mean	41,5	26,3	30,8	32,9
Średnio Mean	B ₁	41,0	27,8	30,8	33,2
	B ₂	38,8	27,8	35,7	34,1
	B ₃	40,5	25,9	32,6	33,0
	średnio — mean	40,1	27,2	33,0	33,4

NIR_{0,05} dla — LSD_{0,05} for: lata — years 0,64; uprawa — cultivation 0,52, pielęgnacja — tending 0,64

We współdziałaniu — in interaction: uprawa × pielęgnacja — cultivation × treatments r.n. n.s.

Tabela 3

Masa 1000 ziaren (g)
Weight of 1000 grains (g)

Metoda uprawy Method of cultivation	Pielęgnacja Treatments	Lata badań — Years			Średnio Mean
		2004	2005	2006	
Siew czysty Sole cropping A ₁	B ₁	45,4	38,4	35,8	39,9
	B ₂	47,3	39,0	34,2	40,2
	B ₃	49,9	40,1	32,8	40,9
	średnio — mean	47,6	39,2	34,2	40,3
Uprawa pasowa Strip cropping A ₂	B ₁	45,3	37,2	38,3	40,3
	B ₂	44,4	38,4	37,1	40,0
	B ₃	46,8	37,7	34,1	39,5
	średnio — mean	45,5	37,8	36,5	39,9
Średnio Mean	B ₁	45,4	37,8	37,1	38,5
	B ₂	45,8	38,7	35,7	38,5
	B ₃	48,4	38,9	33,4	39,2
	średnio — Mean	46,5	38,5	35,4	38,7

NIR_{0,05} dla — LSD_{0,05} for: lata — years r.n. n.s.; uprawa — cultivation r.n n.s, pielęgnacja — tending r.n. n.s.

We współdziałaniu — in interaction: uprawa × pielęgnacja — cultivation × treatments r.n. n.s.

Uprawa współrzędna pasowa powodowała obniżanie wartości obu elementów struktury plonu. Natomiast nie obserwowano wpływu metody uprawy na masę tysiąca ziaren (tab. 4). Wśród metod pielęgnacji najmniejszą liczbę ziaren w kłosie stwierdzono przy stosowaniu mechanicznych zabiegów pielęgnacyjnych. Stosowanie pielęgnacji chemicznej gwarantowało istotnie większą obsadę kłosów na jednostce powierzchni, natomiast mechaniczno-chemicznej liczby ziaren w kłosie. Różnice pomiędzy tymi metodami były nieznaczne. Podobnie jak w badaniach własnych, również Brzozowska i wsp. (2008) oceniając wpływ metod pielęgnacji stwierdzili, iż najkorzystniej na liczbę ziaren w kłosie wpływała mechaniczno-chemiczna metoda regulacji zachwaszczenia.

Tabela 4

Obsada kłosów (szt. · m⁻²)
Ear density (per m²)

Metoda uprawy Method of cultivation	Pielęgnacja Treatments	Lata badań — Years			Średnio Mean
		2004	2005	2006	
Siew czysty Sole cropping A ₁	B ₁	528	513	480	507
	B ₂	539	528	506	524
	B ₃	555	524	528	537
	średnio — mean	541	522	505	523
Uprawa pasowa Strip cropping A ₂	B ₁	494	507	470	490
	B ₂	519	495	488	501
	B ₃	517	490	484	497
	średnio — mean	510	497	481	496
Średnio Mean	B ₁	511	510	475	498
	B ₂	529	511	497	512
	B ₃	536	507	514	517
	średnio — mean	525	509	493	509

NIR_{0,05} dla — LSD_{0,05} for: lata — years 19,0 n.s.; uprawa — cultivation 17,2.s, pielęgnacja — tending 19,0

We współdziałaniu — in interaction: uprawa × pielęgnacja — cultivation × treatments r.n. n.s.

W literaturze występują różnice w ocenie siły związku pomiędzy plonem a elementami jego struktury. Bardzo silny, dodatni związek ($R = 0,779$) pomiędzy plonem ziarna jęczmienia i jego składową, jaką jest obsada kłosów podaje Gozdowski i wsp. (2008) oraz Podolska i wsp. (2002). W doświadczeniu Brzozowskiej i wsp. (2008) plon pszenicy ozimej najsilniej był związany z liczbą kłosów na jednostce powierzchni ($r = 0,855$) i masą 1000 ziaren ($r = 0,511$). Natomiast liczba ziaren w kłosie na wpływała istotnie ($r = 0,025$), na kształtowania wielkości plonu. W badaniach przeprowadzonych przez Fotymę i Fotymę (1993) stwierdzono brak wpływu masy tysiąca ziaren na ilość uzyskanego ziarna. W prezentowanym doświadczeniu analiza korelacji wykazała istotny związek pomiędzy wielkością plonu a obsadą kłosów na jednostce powierzchni, nieco słabszy z liczbą ziaren z kłosa oraz nieistotny z masą tysiąca nasion (tab. 5). Również Kuś i Jończyk (1997) twierdzą, iż jednoznaczne określenie wpływu elementów struktury na wielkość plonów jest trudne, z uwagi na dużą specyfikę odmianową oraz zależność od warunków siedliskowych.

Tabela 5

Współczynniki korelacji liniowej pomiędzy elementami struktury plonu a plonem ziarna pszenicy jarej
Coefficients of line correlation between yield structure elements and grain yield in spring wheat

Metoda uprawy Method of cultivation	Pielęgnacja Treatments	Plon — Yield		
		cechy — traits		
		liczba ziaren w kłosie grain number per ear	MTZ weight of 1000 grains	obsada kłosów ear density
Siew czysty Sole cropping	B ₁	0,607**	0,213	0,538*
	B ₂	0,448*	0,023	0,703**
	B ₃	0,554*	0,047	0,694*8
Uprawa pasowa Strip cropping	B ₁	0,373*	-0,230	0,420*
	B ₂	0,771**	-0,107	0,688**
	B ₃	0,908**	0,037	0,572*
Ogółem — Total		0,324*	0,114	0,404*

Objaśnienia Explanations: współczynnik korelacji istotny przy correlation coefficient significant at:

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$

WNIOSKI

1. Uprawa współrzędna pasowa powodowała istotne zmniejszenie plonu ziarna pszenicy jarej w porównaniu z siewem czystym.
2. Stosowane metody pielęgnacji istotnie wpłynęły na plonowanie pszenicy. Najniższe plony uzyskano stosując metodę mechaniczną. Metoda mechaniczno-chemiczna i chemiczna zwiększały plon ziarna o 12–14%. Natomiast nie wystąpiły istotne różnice pomiędzy tymi metodami.
3. Analiza statystyczna nie potwierdziła współdziałania metod uprawy i pielęgnacji. Zauważono natomiast tendencję zmniejszenia negatywnego wpływu uprawy współrzędnej na plonowanie pszenicy w warunkach stosowania mechanicznej pielęgnacji, w porównaniu z pozostałymi metodami.
4. O wielkości plonu ziarna pszenicy jarej w największym stopniu decydowała obsada kłosów, następnie liczba ziaren z kłosa, a w najmniejszym masę tysiąca ziaren.

LITERATURA

- Brzozowska I., Brzozowski J., Hruszka M. 2008. Plonowanie i struktura plonu pszenicy ozimej w zależności od sposobu pielęgnacji i nawożenia azotem. *Acta Agrophys.* 11 (3): 597 — 611.
- Buraczyńska D., Ceglarek F. 2008. Plonowanie pszenicy ozimej uprawianej po różnych przedplonach. *Acta Sci. Pol., Agric.* 7 (1): 27 — 37.
- Chrzanowska-Drożdż B. 2001. Reakcja pszenicy ozimej na dawki i terminy stosowania azotu. Cz. I. Rozwój i plonowanie pszenicy ozimej w zależności od dawki i formy stosowania azotu. *Zesz. Nauk. AR Wrocław, 415, Roln., LXXX*: 257 — 270.
- Crusoe R.M. 1990. Strip intercropping. *Farming System for Iowa: Seeking Alternatives*, Leopold Center for Sustainable Agriculture. Conference Proceedings. Iowa State University, Ames: 39 — 41.
- Fotyma M., Fotyma E. 1993. Struktura plonu zbóż ozimych w zależności od nawożenia. *Fragm. Agron.* 4 (40): 101 — 102.
- Francis, Ch. 1986. Strip cropping corn and grain legumes: A review. *Amer. J. of Alternative. Agric.* 1 (4): 159 — 164.
- Garcia-Prechac F. 1992. Strip position, tillage and water regime effects on strip intercropping rotation. *Dis. Abstr. Int.* 52 (8): 3954B — 3955B.
- Ghaffarzadeh M., Garcia-Prechac F., Crusoe R. M. 1994. Grain field response of corn, soybean and oats grown in a strip intercropping system. *Americ. J. Alternative Agric.* 9 (4): 171 — 177.
- Głowacka A. 2007. Wpływ współrzędnej uprawy pasowej na zachwaszczenie kukurydzy pastewnej. *Acta Agrophys.* 10 (3): 573 — 582.
- Głowacka A. 2008. Wpływ współrzędnej uprawy pasowej na wielkość i strukturę plonu kukurydzy pastewnej. *Fragm. Agron.* XXV, nr 3 (99): 52 — 60.
- Głowacka A. 2009. Wpływ współrzędnej uprawy pasowej na zachwaszczenie pszenicy jarej. *Annales UMCS, sec. E, vol. LXIV* (4): 114 — 121.
- Gozdowski D., Mądry W., Wyszyński Z. 2008. Analiza korelacji i współczynników ścieżek w ocenie współzależności plonu ziarna i jego składowych u dwóch odmian jęczmienia jarego. *Biuletyn IHAR*, nr 284: 23 — 31.
- Jędruszczak M., Bojarczyk M., Smolarz H. J., Budzyńska B. 2004. Konkurencyjne zdolności pszenicy wobec chwastów w warunkach różnych sposobów odchwaszczania – produkcja biomasy. *Annales UMCS, sec. E*, 59 (2): 895 — 902.
- Kuś J., Jończyk K. 1997. Oddziaływanie wybranych elementów agrotechniki na plonowanie pszenicy ozimej. *Fragm. Agron.* 3; 4 — 6.
- Pawłowski F., Deryło S. 1990. Wpływ zróżnicowanego pielęgnowania na plonowanie i zachwaszczenie pszenicy jarej. *Rocz. Nauk Roln., seria A*, t. 108, z. 3: 9 — 19.
- Podolska G., Sułek A., Stankowski S. 2002. Obsada kłosów — podstawowy parametr plonotwórczy pszenicy ozimej (artykuł przeglądowy). *Acta Sci. Pol., Agric.* 1 (2): 5 — 14.
- Wiech K., Kałmuk J. 2005. Uprawy współrzędne sposobem na urozmaicenie agrocenoz i zmniejszenie zużycia pestycydów. *Ochrona Środowiska Naturalnego w XXI wieku — nowe wyzwania i zagrożenia*: 126 — 128.
- Woźniak A. 2006. Wpływ przedplonów na plon i jakość ziarna pszenicy ozimej. *Acta Sci. Pol., Agric.* 5 (2): 99 — 106.
- Zhang F., Li L. 2003. Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient-use efficiency. *Plant and Soil* 248: 305 — 312.

HENRYK J. CZEMBOR**JERZY H. CZEMBOR****ALEKSANDRA PIETRUSIŃSKA****OLGA DOMERADZKA**

Pracownia Genetyki Stosowanej

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy, Radzików

Odporność odmian jęczmienia na mączniaka prawdziwego (*Blumeria graminis* f.sp. *hordei*) włączonych do badań rejestrowych w Polsce w latach 2007–2009*

Resistance to powdery mildew (*Blumeria graminis* f.sp. *hordei*) of barley cultivars included in the registration trials in Poland in the years 2007–2009

Określono uwarunkowania genetyczne odporności na mączniaka (*Blumeria graminis* f.sp. *hordei*) u 28 odmian jęczmienia ozimego i 62 odmian jęczmienia jarego, które zostały włączone do badań rejestrowych w Polsce w latach 2007–2009. U odmian ozimych stwierdzono występowanie jednego lub więcej genów odporności związanych z *locus* Mla6, Mla14, Mla7, Mla12, Ml(St1), Mlg, MIG2, Mlh oraz Mlk. W odmianach jarych stwierdzono obecność genów Mla1, Mla3, Mla7, Mla9, Mlg, Ml(St1), Ml(Ab), Ml(IM9), Ml(Ru3), MIG2 oraz *mlo*. W 13 odmianach ozimych oraz 18 odmianach jarych odporność uwarunkowana była genami niezidentyfikowanymi. Prowadzone badania wykazały, że na populację *Blumeria graminis* f.sp. *hordei* występującą w Polsce odporne są tylko odmiany z genem *mlo* oraz 26 odmian o bliżej nieokreślonych genach.

Słowa kluczowe: geny odporności, jęczmień, mączniak prawdziwy, odporność odmian

Genetic resistance to powdery mildew (*Blumeria graminis* f. sp. *hordei*) of 28 winter barley cultivars and 62 spring barley cultivars included in the registration trials in Poland in the years 2007–2009 was investigated. Winter cultivars have one or more genes for resistance in loci Mla6, Mla7, Mla12, Mla14, Ml(St1), Mlg, MIG2, Mlh and Mlk. In the spring cultivars the presence of the following genes was detected: Mla1, Mla3, Mla7, Mla9, Mlg, Ml(St1), Ml(Ab), Ml(IM9), Ml(Ru3), MIG2 and *mlo*. In 13 winter cultivars and 18 spring cultivars the resistance was determined by unidentified genes. Based on the results obtained it was possible to conclude that only cultivars with gene *mlo* and 26 cultivars with unidentified genes have a high level of resistance to the population of *Blumeria graminis* f.sp. *hordei* occurring in Poland.

* Praca częściowo dofinansowana i zrealizowana w ramach programu wieloletniego MRi RW, zadanie 6.7

Key words: barley, resistance genes, powdery mildew, resistance of cultivars

WSTĘP

Mączniak prawdziwy powodowany przez grzyba *Blumeria graminis* D.C. f.sp. *hordei* (Marchal) to jedna z ważniejszych chorób liści jęczmienia w Polsce. W każdym roku występuje ona z różnym nasileniem na terenie całego kraju powodując straty w plonach (Gacek i in., 1996). W sprzyjających warunkach dla rozwoju grzyba straty w plonie ziarna mogą sięgać 25% natomiast przeciętnie wynoszą ok. 10% (Atzema, 1998; Kozdój i in., 2009). Silniejsze porażenie mączniakiem plantacji jęczmienia browarnego prowadzi do pogorszenia wartości technologicznej ziarna, jako surowca dla przemysłu piwowarskiego, głównie z powodu podwyższenia zawartości białka (Pecio i Bichoński, 2003). Straty w plonie ziarna można ograniczyć przez stosowanie w produkcji odpowiednich fungicydów, uprawę odmian odpornych oraz wykorzystanie naturalnych mechanizmów współzależności roślin między sobą i środowiskiem (Czembor i Gacek 1990; Gacek, 1990; Nieróbca i in., 2003). Odporność uprawianych odmian na patogeny i zróżnicowanie jej pod względem genetycznego uwarunkowania jest jednym z ważniejszych elementów nowoczesnej proekologicznej produkcji roślinnej. Znajomość genów odporności występujących w uprawianych odmianach jest konieczna do interpretacji współdziałania między populacją patogena a jego gospodarzem. Umożliwia to również rolnikom zwiększyć stabilność odporności przez właściwy z punktu widzenia zdrowotności dobór odmian, przestrzenne zróżnicowanie uprawy odmian o różnym uwarunkowaniu genetycznym odporności oraz w przypadku jęczmienia pastewnego uprawę mieszanek odpowiednio dobranych odmian (Czembor i Gacek, 1990; Gacek i in., 1996; Finckh i in., 1999).

Uwzględniając hipotezę Flora „gene-for-gene” można przez zakażanie roślin izolatami patogena o znanym zakresie wirulencji określić spektrum reakcji danej odmiany i na tej podstawie ustalić jej fenotyp odporności (Flor, 1956; Wolfe i McDermott, 1994; Czembor i Czembor, 2001).

Celem podjętych badań było określenie genów odporności na mączniaka prawdziwego występujących w odmianach jęczmienia jarego i ozimego, przyjętych do badań rejestrowych w Polsce w latach 2007–2009, aby mogły być uwzględniane przy podejmowaniu decyzji o wprowadzeniu tych odmian do produkcji.

MATERIAŁ I METODY

Odmiany jęczmienia

W badaniach uwzględniono 28 odmian jęczmienia ozimego (tab. 1) i 62 odmiany jęczmienia jarego przyjętych do badań rejestrowych na lata 2007–2009 przez Centralny Ośrodek Badania Roślin Uprawnych w Słupi Wielkiej (COBORU) (tab. 2). Nasiona otrzymano od hodowców poszczególnych odmian.

Tabela 1

Lista odmian jęczmienia ozimego włączona do badań COBORU w latach 2007–2009
List of winter barley cultivars included to COBORU registration trials in 2007–2009

Odmiana — Cultivar	Kraj pochodzenia — Origin	Hodowca — Breeder
Włączone do badań w roku 2007 — Included to trials in 2007		
AC 99/078/23 Metaxa	DE	Eckermann Saatucht
LEU 5021	DE	Deutsche Saatverdelung
LP 6-342	DE	KWS Lochow
Natal	BE	S.A.V. Jorion
NORD 02611/1 Merle	DE	Nordsaat Saatucht
POA 4776/98/4	PL	HR Szelejewo
Włączone do badań w roku 2008 — Included to trials in 2008		
BE 162203	DE	Borries-Eckendorf
LP 6-552	DE	KWS Lochow
NORD 020610/24	DE	Nordsaat Saatucht
NORD 03006/2	DE	Nordsaat Saatucht
NORD 03025/3	DE	Nordsaat Saatucht
NORD 03025/6	DE	Nordsaat Saatucht
P 34.3	BE	S.A.V. Jorion and Fils
PAJ 602-503	DK	Nordic Seed
Włączone do badań w roku 2009 — Included to trials in 2009		
AC 01/320/21	DE	Eckermann Saatsucht
BKH 1064	PL	HR Smolice
BKH 1081	PL	HR Smolice
LEU 64016	DE	Deutsche Saatverdelung
LP 6-728	DE	KWS Lochow
LP 6-760	DE	KWS Lochow
NORD 02611/33	DE	Nordsaat Saatucht
NORD 04002/8	DE	Nordsaat Saatucht
NORD 05023/26	DE	Nordsaat Saatucht
NORD 05116/9	DE	Nordsaat Saatucht
PAJ 603-190	DK	Nordic Seed
POA 5255/99/4	PL	HR Danko
POA 6094/02/2	PL	HR Danko
3429 GH1	FR	Secobra Recherches

(Najewski, 2007,a; Najewski, 2008; Siwiak, 2009 a)

Tabela 2

Lista odmian jęczmienia jarego włączonych do badań COBORU w latach 2007–2009
List of spring barley cultivars included to COBORU registration trials in 2007–2009

Odmiana Cultivar	Kraj Country	Hodowca Breeder	Odmiana Cultivar	Kraj Country	Hodowca Breeder	Odmiana Cultivar	Kraj Country	Hodowca Breeder
włączone do badań w roku 2007 included to trials in 2007			włączone do badań w roku 2008 included to trials in 2008			włączone do badań w roku 2009 included to trials in 2009		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
AC 99373/19	DE	Ackermann Saatucht	BKH 5027 Bordo	PL	HR Smolice	CHD 9/02-3	PL	DANKO
BKH 105	PL	HR Smolice	BKH 5044	PL	HR Smolice	BKH 5069	PL	HR Smolice
BKH 134	PL	HR Smolice	BKH 5732	PL	HR Smolice	BKH 5734	PL	HR Smolice
CSBC 5370-14	FR	Serasem	CSBC 5705.4	FR	Serasem	Claire (NORD 05/2435)	DE	Serasem
CSBC 5466-27	FR	Serasem	CSBC 6001.9	FR	Serasem	CSBC 6747-22	FR	Serasem
LP 1159.3.03	DE	KWS	HE 9536	CZ	Plant Select	MOB 11582/04	PL	HR Szelejewo
Conchita		Lochow						

c. d. Tabela 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
LP 1426.1.02	DE	KWS Lochow	HE 9901	CZ	Plant Select	PF 12079-51	DK	Pajbjerg
LP 1457.2.03 Victoriana	DE	KWS Lochow	Ingmar	DE	Nordsaat	RAH 1012/05	PL	Plant Select
LP 1457.5.03	DE	KWS Lochow	LP 1057.6.04 Aliciana	DE	KWS Lochow	SJ 071008	DK	Sejet Plantbreeding
MOB 6957/03	PL	HR Szelejewo	LP 1113.2.05	DE	KWS Lochow	SJ 071152	DK	Sejet Plantbreeding
MOB 6964/03	PL	HR Szelejewo	LP 1233.6.04 Olof	DE	KWS Lochow	STH 7108	PL	HR Strzelce
MOB 9754/03	PL	HR Szelejewo	MOB 7783/05	PL	HR Szelejewo	STH 7208	PL	HR Strzelce
PF 19234-53	DK	Pajbjerg	NORD 04/2311 Henrike	DE	Nordsaat	STH 7308	PL	HR Strzelce
POB 1447/02	PL	MHR HBP	POB 12197/01	PL	MHR HBP	STH 7408	PL	HR Strzelce
POB 2367/02 Atico	PL	MHR HBP	POB 5800/03	PL	MHR HBP	Stine (Hadm.19920)	DE	SW Seed Hadm.
RAH 319/03	PL	HR Smolice	POB 7299/03	PL	MHR HBP			
RAH 730/03 Rufus	PL	HR Smolice	RAH 2436/04	PL	HR Smolice			
RAH 897/03	PL	HR Smolice	SJ 044363	DK	Sejet Plantbreeding			
RAH 989/03	PL	HR Smolice	SJ 056045 Afrodite	DK	Sejet Plantbreeding			
STH 6406	PL	HR Strzelce	SJ 067063	DK	Sejet Plantbreeding			
STH 6506 Kormoran	PL	HR Strzelce	STH 6807 Suweren	PL	HR Strzelce			
STH 6606 Skald	PL	HR Strzelce	STH 6907	PL	HR Strzelce			
STH 6706	PL	HR Strzelce	STH 7007	PL	HR Strzelce			
SZDO 2111 D	AT	Saatzucht Donau						

(Najewski, 2007 b; Siwiak i Najewski, 2008; Siwiak, 2009 b)

Izolaty różnicujące

W badaniach wykorzystano 27 izolatów *Blumeria graminis* f.sp. *hordei* z kolekcji Pracowni Genetyki Stosowanej Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin w Radzikowie (IHAR). Wybrane izolaty przechowywano i rozmnażano na podatnej odmianie Manchurian, a ich patogeniczność określono na siewkach zestawu linii izogenicznych Pallas (Kolster i in., 1986) i dodatkowo na 9 odmianach z innymi genami od obecnych w serii Pallas (tab. 3).

Ocena odporności

Badania prowadzono w szklarni IHAR w Radzikowie w okresie od października 2008 do kwietnia 2010. Reakcję badanych odmian na zakażenie poszczególnymi izolatami *Blumeria graminis* f.sp. *hordei* oceniano na kilkunastu siewkach w stadium pierwszego liścia. Odmiana Manchurian, w której nie stwierdzono żadnych genów odporności została wykorzystana jako odmiana kontrolna. Siewki testowanych roślin uprawiano w warunkach niezbędnego sztucznego doświetlania dla szesnastogodzinnego dnia przy temperaturach w granicach 16–22°C. Inokulacji siewek dokonywano przez strząsanie nad nimi zarodników konidialnych z roślin porażonych wybranym izolatem. Po 8–10 dniach od inokulacji

oceniano reakcję roślin w pięciostopniowej skali Mainsa i Dietza uzupełnionej o stopień 0(4) charakteryzujący reakcję odmian z genem *mlo* (za Czembor i Czembor, 2001). Rośliny o reakcji 0–2 klasyfikowano, jako odporne, 3–4 jako podatne, a 0(4) jako efekt obecności genu *mlo*.

Postulowanie genów odporności

Hipotezę o obecności w badanej odmianie specyficznego genu odporności sprawdzano na podstawie porównania jej reakcji z reakcją odmian różnicujących na zakażenie zestawem izolatów o znanym spektrum wirulencji. Identyfikacji genów odporności dokonywano przez eliminację genów odporności nieobecnych w badanej odmianie.

Tabela 3

Reakcja odmian różnicujących jęczmień na zakażenie 27 izolatami *Blumeria graminis* f. sp. *hordei*
Reaction of differential set of barley varieties after inoculation with 27 isolates of *Blumeria graminis* f. sp. *hordei*

Odmiana Cultivar	Gen Gene	Izolat Isolate														
		1	3	4	6	8	9	11	12	13	17	18	19	20	21	
Pallas	Mla8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
P01	Mla1	0	4	4	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
P02	Mla3	0	0	0	4	0	0	1	0	1	0	0	0	0	4	
P03	Mla6, Ml a14	0	0	0	0	0	4	4	0	0	4	4	4	0	4	
P04	Mla7, Ml lk	4	4	0	4	0	0	1	0	4	0	2	2	2	1	
P04	Mla7, ?	4	4	2	4	0	0	0	0	4	4	4	4	4	1	
P06	Mla7, Ml LG2	4	4	2	4	0	4	0	0	4	2	4	4	1	0	
P07	Mla9, Mllk	4	4	0	4	0	4	0	0	4	0	0	0	0	0	
P08	Mla9, Mllk	4	4	0	4	0	4	0	0	4	0	0	0	0	0	
P08	Mla9	4	4	0	4	0	4	0	0	4	0	0	0	0	0	
P09	Mla10, MIDu2	4	4	0	4	0	4	0	0	4	0	0	0	4	0	
P10	Mla12	0	4	0	4	0	4	0	0	0	4	4	2	4	0	
P11	Mla13, MlRu3	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0	4	4	0	0	
P12	Mla22	4	0	4	4	4	0	4	4	0	4	4	4	0	4	
P13	Mla23	4	1	2	4	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1	
P14	Mlra	4	4	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
P15	MlRu2	2	4	4	4	2	4	2	4	2	2	4	4	4	4	
P17	Mllk	4	4	2	2	0	2	2	2	4	0	2	2	2	2	
P18	Mlnn	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	
P19	Mlp	2	2	2	2	2	2	2	2	0	2	2	2	2	0	
P20	Mlat	2	2	4	2	2	2	2	2	4	2	2	2	2	2	
P21	Mlg	4	4	0	4	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	
P22	Mlo	0(4)	0(4)	0(4)	0(4)	0(4)	0(4)	3	0(4)	0(4)	0(4)	0(4)	0(4)	0(4)	0(4)	
P23	MlLa	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
P24	Mlh	4	4	4	4	4	4	4	1	4	4	4	4	4	4	
Benedicte	Mla9, MlIM9	0	4	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Lenka	Mla13, MlAb	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	0	0	
Gunar	Mla3, MlITu2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Steffi	MlSt1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Kredit	MlKr	4	4	2	0	4	1	0	0	3	0	4	4	2	0	
Jarek	Ml1192, ?	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	
Trumph	Mla7, MlAb	4	0	4	4	4	0	4	4	0	4	4	4	0	4	
Borwina	Ml(Bw)	2	2	2	2	2	0	0	0	2	2	4	4	4	2	
Peggy	Ml(SI-1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Manchurian		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	

c. d. Tabela 3

Odmiana Cultivar	Gen Gene	Izola Isolate												
		24	24R	25	26	27	28	29	30	34	38	39	40	48
Pallas	Mla8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
P01	Mla1	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
P02	Mla3	0	4	0	0	0	0	4	0	1	0	0	4	0
P03	Mla6, Ml a14	4	4	0	0	0	4	0	0	0	0	0	4	4
P04	Mla7, Ml lk	0	2	4	0	0	0	4	1	2	0	4	2	0
P04	Mla7, ?	0	4	4	0	2	0	4	1	4	0	4	2	0
P06	Mla7, Ml LG2	0	4	4	0	0	0	2	0	4	0	4	2	0
P07	Mla9, Mllk	2	0	4	4	0	0	4	0	0	0	0	0	0
P08	Mla9, Mllk	2	0	4	4	0	0	4	0	0	0	0	0	0
P08	Mla9	0	0	4	4	0	0	4	0	0	0	0	0	0
P09	Mla10, MIDu2	0	0	4	4	4	4	4	4	0	1	4	0	0
P10	Mla12	0	0	0	0	0	0	4	4	4	0	0	4	0
P11	Mla13, MIRu3	0	0	0	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0
P12	Mla22	4	4	0	0	0	4	4	0	4	4	4	4	4
P13	Mla23	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2	1	4
P14	Mlra	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
P15	MIRu2	2	4	4	2	2	2	4	2	4	2	4	4	4
P17	Mllk	2	1	4	4	0	1	2	2	1	0	4	2	0
P18	Mlnn	4	2	4	2	2	4	2	2	4	4	4	2	4
P19	Mlp	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
P20	Mlat	2	2	4	2	2	2	2	2	2	2	2	4	2
P21	Mlg	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0
P22	Mlo	0(4)	0(4)	0(4)	0(4)	0(4)	0(4)	0(4)	0(4)	0(4)	0(4)	0(4)	0(4)	0(4)
P23	MILa	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
P24	Mlh	4	4	4	4	4	4	4	2	4	0	4	4	4
Benedicte	Mla9, MIIM9	0	0	0	0	0	0	4	4	4	0	0	4	0
Lenka	Mla13, MIAb	0	0	0	2	0	0	0	0	4	0	0	0	0
Gunar	Mla3, MITu2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Steffi	MlSt1	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0
Kredit	MlKr	0	2	4	4	0	0	4	0	4	0	2	2	0
Jarek	Ml1192, ?	4	4	4	2	2	4	2	2	4	4	4	2	4
Trumph	Mla7, MIAb	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Borwina	Ml(Bw)	2	4	4	2	1	2	2	2	4	2	2	4	3
Peggy	Ml(Sl-1)	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Manchurian		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Dalsze postępowanie polegało na określeniu obecności możliwych genów odporności zgodnych z hipotezą genu dla genu. W przypadku, kiedy obserwowano porównywalną reakcję (ocena 3 i 4) na zakażenie danym izolatem można było przyjąć, że badana odmiana nie ma genów odporności, dla których użyty izolat był awirulentny. Natomiast w przypadku niezgodnej reakcji (ocena 0–2) na zakażenie izolatem mającym tylko jeden gen awirulencji w stosunku do pozostałych możliwych genów odporności oznaczało to możliwość obecności w badanej odmianie postulowanego genu odporności (Flor, 1956; Brown i Jorgensen, 1991; Czembor i Czembor, 2001).

Tabela 4

Reakcja odmian jęczmienia ozimego przyjętych do badań w latach 2007–2009 na zakażenie 27 izolatami *Blumeria graminis* f. sp. *hordei*
Reaction of winter barley varieties included in the registration trials in Poland in the years 2007–2009 after inoculation with 27 isolates of *Blumeria graminis* f. sp. *hordei*

Odmiana Cultivar	Kraj Country	Postulowany gen Postulated gene	Izolat Isolate															
			1	3	4	6	8	9	11	12	13	17	18	19	20			
1	2	3	4															
Rok Year 2007																		
AC 99/078/23 Metaxa	DE	Mla6,Mla14	0	0	0	0	0	4	4	0	0	4	4	4	4	0		
LEU 5021	DE	U	0	0	4	0	0	0	4	0	0	4	4	4	4	0		
LP 6-342	DE	Mlh	4	4	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	4	4		
Natival	BE	Mlh+?	4	4	4	0	2	4	2	0	4	4	4	4	4	2		
NORD 02611/1 Merle	DE	U	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
POA 4776/98/4	PL	U	0	0	4	0	0	0	4	0	0	4	4	4	2	0		
Rok Year 2008																		
BE 162203	DE	Mla12+?	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0			
LP 6-552	DE	Mlg,Mla7	2	4	2	0	1	1	1	0	0	0	4	4	0			
NORD 020610/24	DE	U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
NORD 03006/2	DE	U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
NORD 03025/3 Suleyka	DE	U	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
NORD 03025/6	DE	U	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0			
P 34.3	BE	Mlh	4	4	4	4	4	4	4	0	4	4	4	4	4			
PAJ 602-503	DK	Mla6,Mla14+?	0	0	0	0	0	0	4	0	0	4	4	2	0			
Rok Year 2009																		
AC 01/320/21	DE	Brak	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
BKH 1064	PL	U	0	1	0	0	0	0	4	0	1	0	2	1	0			
BKH 1081	PL	Mla6+?	0	0	0	0	0	0	4	1	0	4	2	1	0			
LEU 64016)	DE	Mla7,MIG2,+?	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2	0			
LP 6-728 DE	DE	U	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0			
LP 6-760 DE	DE	Mla6,Mla14	0	0	0	0	0	0	4	0	0	4	2	2	0			
NORD 02611/33	DE	U	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0			
NORD 04002/8	DE	U	0	1	2	1	2	0	0	0	1	0	0	0	0			
NORD 05023/26	DE	U	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0			
NORD 05116/9	DE	U	0	1	2	1	2	0	2	0	1	0	0	0	2			
PAJ 603-190	DK	Ml(St1), l(St2)	2	4	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	0			
POA 5255/99/4	PL	Mla7, MILG2, Mlk	4	4	2	0	1	4	0	0	4	0	4	4	0			
POA 6094/02/2	PL	Mla6,Mla14+?	0	0	2	0	0	0	4	0	0	4	2	2	0			
3429 GH1	FR	Ml(St1), l(St2)	2	4	0	1	0	0	0	0	0	1	2	2	0			
1	2	3	4															
			21	24	24R	25	26	27	28	29	30	34	38	39	40	48		
Rok Year 2007																		
AC 99/078/23 Metaxa	DE	Mla6,Mla14	4	4	4	0	0	0	4	0	0	0	0	4	4			
LEU 5021	DE	U	4	4	4	0	0	0	4	0	0	0	0	0	4	4		
LP 6-342	DE	Mlh	4	4	4	4	4	4	4	4	2	4	2	4	4	4		
Natival	BE	Mlh+?	4	2	4	4	2	2	2	4	4	4	2	4	4	2		
NORD 02611/1 Merle	DE	U	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0		
POA 4776/98/4	PL	U	4	4	4	0	0	0	4	0	0	0	0	0	4	4		

c. d. Tabela 4

1	2	3	4															
			21	24	24R	25	26	27	28	29	30	34	38	39	40	48		
			Rok															
			Year 2008															
BE 162203	DE	Mla12+?	0	0	0	0	4	0	0	0	0	4	0	0	4	0		
LP 6-552	DE	Mlg,Mla7	1	1	4	4	1	1	2	4	0	4	1	4	0	2		
NORD 020610/24	DE	U	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0		
NORD 03006/2	DE	U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
NORD 03025/3 Suleyka	DE	U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
NORD 03025/6	DE	U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
P 34.3	BE	Mlh	4	4	4	4	4	4	4	4	2	4	1	4	4	4		
PAJ 602-503	DK	Mla6,Mla14+?	4	1	4	0	0	0	4	0	0	0	4	0	4	4		
			Rok															
			Year 2009															
AC 01/320/21	DE	Brak	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
BKH 1064	PL	U	0	0	2	1	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0		
BKH 1081	PL	Mla6+?	4	0	4	0	0	0	2	0	0	1	0	0	4	4		
LEU 64016)	DE	Mla7,MIG2,+?	0	0	0	0	2	0	0	0	0	4	0	0	0	0		
LP 6-728 DE	DE	U	1	0	2	0	0	0	1	0	0	1	0	0	2	4		
LP 6-760 DE	DE	Mla6,Mla14	4	2	4	0	0	0	2	0	0	1	0	0	4	4		
NORD 02611/33	DE	U	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0		
NORD 04002/8	DE	U	1	1	0	1	0	0	0	0	1	2	0	0	0	2		
NORD 05023/26	DE	U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2		
NORD 05116/9	DE	U	2	0	0	0	0	1	0	0	1	2	1	0	0	2		
PAJ 603-190	DK	Ml(St1), l(St2)	0	0	0	0	2	0	0	0	0	4	0	0	0	0		
POA 5255/99/4	PL	Mla7, MILG2, Mlk	1	0	4	4	0	0	2	3	0	4	0	4	2	2		
POA 6094/02/2	PL	Mla6,Mla14+?	4	1	4	0	0	0	2	0	0	1	0	0	4	4		
3429 GH1	FR	Ml(St1), l(St2)	0	0	0	0	2	0	0	0	0	4	0	0	0	0		

WYNIKI

Na podstawie reakcji siewek na zakażenie wybranymi izolatami *Blumeria graminis* f.sp. *hordei* stwierdzono występowanie jednego genu odporności w 28 badanych odmianach jęczmienia ozimego, dwóch genów w 8 odmianach trzech genów w 4 odmianach. Jedna odmiana jęczmienia ozimego była podatna na wszystkie znane patotypy *B. graminis* f.sp. *hordei* występujące w Polsce. Odporność odmian ozimych może być uwarunkowana pojedynczym znanym genem głównym *Mlh*, dwoma znanymi genami występującymi łącznie, odpowiednio: *Mla6+Mla14*, *Mlg+Mla7*, *Ml(St1)+ Ml(St2)*. Znane geny *Mlh*, *Mla12* i *Mla6* występowały jednocześnie z genami niezidentyfikowanymi. Odporność jednej odmiany POA 5255/99/4 uwarunkowana była trzema genami odporności. Nie stwierdzono obecności żadnego genu odporności w jednej odmianie AC 01/320/21. Dla trzynastu ocenianych odmian ozimych, w tym dziewięciu odpornych na wszystkie użyte w badaniach izolaty i czterech o różnej reakcji na poszczególne izolaty, nie można było stwierdzić obecności znanych genów odporności. Odporność tych odmian oznaczono wg nomenklatury niemieckiej (Anonymous, 2010) symbolem „U”, tj., jako nieokreśloną.

Tabela 5

**Reakcja odmian jęczmienia jarego przyjętych do badań w roku 2007 na zakażenie 27 izolatami
Blumeria graminis f. sp. *hordei***
**Reaction of winter barley varieties included in the registration trials in Poland in 2007 after inoculation
 with 27 isolates of *Blumeria graminis* f. sp. *hordei***

Odmiana Cultivar	Kraj Country	Postulowany gen Postulated gene	Izolat Isolate															
			4															
1	2	3	1	3	4	6	8	9	11	12	13	17	18	19	20			
AC 99373/19	DE	mlo	0	0(4)	0(4)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
BKH 105	PL	heterogenny	0	0(4)	0	0(4)	0	0(4)i4	0	0	0	0i4	0	0	4			
BKH 134	PL	Mla7 MILG2	4	4	0	4	0	4	3	0	4	0	4	4	0			
CSBC 5370-14	FR	mlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
CSBC 5466-27	FR	mlo	0	0	0	0	0	0(4)	0	0	0	0	0	0	0(4)			
LP 1159.3.03	DE	mlo	0	0(4)	0	0	0	0	0	0	0	0	0(4)	0	0			
Conchita	DE	mlo	0	0(4)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
LP 1426.1.02	DE	mlo	0	0(4)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
LP 1457.2.03	DE	mlo	0	0(4)	0	0	0	0	3	0	0	0	0(4)	0	0			
Victoriana	DE	mlo	0(4)	0(4)	0	0	0	0	3	0	0	0	0(4)	0	0(4)			
LP 1457.5.03	DE	mlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
MOB 6957/03	PL	U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
MOB 6964/03	PL	U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
MOB 9754/03	PL	U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
PF 19234-53	DK	mlo	0(4)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
POB 1447/02	PL	Mla12	0	4	0	4	0	4	0	0	0	4	4	0	4			
POB 2367/02	PL	Mla3 +?	0	2	0	4	0	2	0	0	0	2	0	0	2			
Atico	PL	U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
RAH 319/03	PL	U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
RAH 730/03	PL	mlo	0(4)	0(4)	0	0/4	0	0	0	0	0(4)	0	0	0	0			
Rufus	PL	mlo	0(4)	0(4)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
RAH 897/03	PL	mlo	0(4)	0(4)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
RAH 989/03	PL	U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
STH 6406	PL	mlo	0	0(4)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
STH 6506	PL	mlo	0	0(4)	0	0	0	0(4)/	0	0	0	0	0	0	0			
Kormoran	PL	heterogenny	0	4	0	0(4)	0	0(4)i4	0	0	0	2	0	0	4			
STH 6606	PL	heterogenny	4	2	0	0(4)	0	0	0	0	0	0	4	0	0			
Skald	PL	heterogenny	4	2	0	0(4)	0	0	0	0	0	0	4	0	0			
STH 6706	PL	heterogenny	4	2	0	0(4)	0	0	0	0	0	0	4	0	0			
SZDO 2111 D	AT	Ml(St1)	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			

1	2	3	4															
			21	24	24R	25	26	27	28	29	30	34	38	39	40	48		
AC 99373/19	DE	mlo	0	0	0	0	0	0	0(4)	0	0	0	0	0	0	0		
BKH 105	PL	Heterogenny	0	0	0	0	0	0	0(4)	4	0	0	0(4)	0	0(4)	0		
BKH 134	PL	Mla7 MILG2	0	0	4	4	0	0	2	4	0	4	0	4	2	0		
CSBC 5370-14	FR	mlo	0	0	0	0	0/4	0	0	0	0(4)	0	0(4)	0	0(4)	0		
CSBC 5466-27	FR	mlo	0	0	0	0	0	0	0(4)	0	0(4)	0	0(4)	0	0(4)	0		

c. d. Tabela 5

1	2	3	4														
			21	24	24R	25	26	27	28	29	30	34	38	39	40	48	
LP 1159.3.03 Conchita	DE	mlo	0	0	0	0	0(4)	0	0	0	0(4)	0	0	0	0	0	
LP 1426.1.02	DE	mlo	0	0	0	0	0(4)	0	0	0	0(4)	0	0(4)	0	0	0	
LP 1457.2.03 Victoriana	DE	mlo	0(4)	0	0(4)	0	0(4)	0	0(4)	0(4)	0(4)	0	0	0	0(4)	0	
LP 1457.5.03	DE	mlo	0(4)	0	0(4)	0	0	0	0(4)	0(4)	0(4)	0	0	0	0(4)	0	
MOB 6957/03	PL	U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
MOB 6964/03	PL	U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
MOB 9754/03	PL	U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PF 19234-53	DK	mlo	4	0	0	0	0(4)	0	0	0	0	0	0(4)	0	0	0	
POB 1447/02	PL	Mla12	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	0	0	4	0	
POB 2367/02 Atico	PL	Mla3 +?	0	0	0	0	0	0	2	4	0	0	2	0	4	0	
RAH 319/03	PL	U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
RAH 730/03 Rufus	PL	mlo	0	0	0	0	0	0	0(4)	0	0(4)	0	0(4)	0	0(4)	0	
RAH 897/03	PL	mlo	0	0	0	0(4)	0	0	0	0	0(4)	0	0(4)	0(4)	0(4)	0	
RAH 989/03	PL	U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
STH 6406	PL	mlo	0	0	0	0	0	0	0	0(4)	0	0	0(4)	0	0(4)	0	
STH 6506 Kormoran	PL	mlo	0	0	0	0	0	0	0/4	0(4)	0(4)	0	0/4/	0	0(4)	0	
STH 6606 Skald	PL	heterogenny	0	0	0	0	0	0	4	0(4)i4	0i4	0	0(4)i4	0	0i4	0	
STH 6706	PL	heterogenny	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	4	0	0	0	
SZDO 2111.D	AT	Ml(St1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tabela 6

**Reakcja odmian jęczmienia jarego przyjętych do badań w roku 2008 na zakażenie 27 izolatami
Blumeria graminis f. sp. *hordei*
 Reaction of winter barley varieties included in the registration trials in Poland in 2008 after inoculation
 with 27 isolates of *Blumeria graminis* f. sp. *hordei***

Odmiana Cultivar	Kraj Country	Postulowany gen Postulated gene	Izolat Isolate													
			4													
1	2	3	1	3	4	6	8	9	11	12	13	17	18	19	20	
BKH 5027 Bordo	PL	U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
BKH 5044	PL	heterogenny	0	0(4)i4	0(4)i4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
BKH 5732	PL	Mla9,Ml(IM9)	0	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CSBC 5705.4	FR	mlo	0	0(4)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CSBC 6001.9	FR	mlo	0	0(4)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
HE 9536	CZ	U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
HE 9901	CZ	U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ingmar	DE	mlo	0	0(4)	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
LP 1057.6.04 Alicjana	DE	U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
LP 1113.2.05	DE	U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
LP 1233.6.04 Olof	DE	U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

c. d. Tabela 6

1	2	3	4															
			1	3	4	6	8	9	11	12	13	17	18	19	20			
MOB 7783/05	PL	mlo	0	0(4)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
NORD 04/2311 Henrike	DE	1-B-53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
POB 12197/01	PL	Mla1	0	4	4	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
POB 5800/03	PL	Mla9,Ml(IM9)	0	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
POB 7299/03	PL	Mla1	0	4	4	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
RAH 2436/04	PL	U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
SJ 044363	DK	mlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0(4)		
SJ 056045 DK Afrodite	DK	mlo	0	0	0	0	0	0(4)	3	0	0	0	0	0	0	0		
SJ 067063 DK	DK	U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
STH 6807 PL Suweren	PL	Ml(St1)	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
STH 6907 PL	PL	U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
STH 7007 PL	PL	Mla13,Ml(Ab), Mlg	0	4	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0		

1	2	3	4															
			21	24	24R	25	26	27	28	29	30	34	38	39	40	48		
BKH 5027 Bordo	PL	U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0		
BKH 5044	PL	heterogenny	0	0	0	0	0	0	0	0i4	0	0	0	0	0	0		
BKH 5732	PL	Mla9,Ml(IM9)	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	0	0	4	0		
CSBC 5705.4	FR	mlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
CSBC 6001.9	FR	mlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
HE 9536	CZ	U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
HE 9901	CZ	U	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4	0	0	4	0		
Ingmar	DE	mlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0(4)	0	0	0	0	0		
LP 1057.6.04 Alicjana	DE	U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
LP 1113.2.05	DE	U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
LP 1233.6.04 Olof	DE	U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
MOB 7783/05	PL	mlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
NORD 04/2311 Henrike	DE	1-B-53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
POB 12197/01	PL	Mla1	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0		
POB 5800/03	PL	Mla9,Ml(IM9)	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	0	0	4	0		
POB 7299/03	PL	Mla1	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0		
RAH 2436/04	PL	U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
SJ 044363	DK	mlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
SJ 056045 DK Afrodite	DK	mlo	0	0	0	0	0	0	0(4)	0	0	0	0	0	0	0		
SJ 067063 DK	DK	U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
STH 6807 PL Suweren	PL	Ml(St1)	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0		
STH 6907 PL	PL	U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
STH 7007 PL	PL	Mla13,Ml(Ab), Mlg	0	0	0	0	1	0	0	0	0	4	0	0	0	0		

Na podstawie ocen odporności 62 badanych odmian jęczmienia jarego wykazano, że jest ona uwarunkowana 1 genem (38 odmian), 2 genami (5 odmian), 3 genami (1 odmiana).

Heterogenne uwarunkowanie odporności na użyte w badaniach izolaty *Blumeria graminis* f.sp. *hordei* stwierdzono w 5 odmianach (tab. 5, 6, 7). W badanych odmianach jęczmienia jarego stwierdzono funkcjonowanie czternastu różnych genów, które są obecne pojedynczo, podwójnie lub potrójnie w różnych kombinacjach (tab. 5, 6, 7). Gen recesywny *mlo* występował w dwudziestu sześciu odmianach; Mla1 w trzech; Mla9, Mla13, Ml(IM9), Ml(St1) w dwóch; Mla3, Mla7, Mla 12, Ml(Ab), Mlg, Ml(Ru3), Ml(LG2), Ml(St1) w jednej; Mla3, Mla9, MlLa, Mlk, Ml(SI-1) w dwóch; Mla7 w jednej.. Dla osiemnastu ocenianych odmian jarych, w tym siedemnastu odpornych na wszystkie użyte w badaniach izolaty i jednej o różnej reakcji na poszczególne izolaty, nie można było stwierdzić obecności znanych genów. Odporność tych odmian oznaczono wg nomenklatury niemieckiej (Anonymous, 2010 a) symbolem „U”, tj., jako nieokreśloną.

Tabela 7

Reakcja odmian jęczmienia jarego przyjętych do badań w roku 2009 na zakażenie 27 izolatami *Blumeria graminis* f. sp. *hordei*
Reaction of winter barley varieties included in the registration trials in Poland in 2009 after inoculation with 27 isolates of *Blumeria graminis* f. sp. *hordei*

Odmiana Cultivar	Kraj Country	Postulowany gen Postulated gene	Izolat Isolate															
			4															
1	2	3	1	3	4	6	8	9	11	12	13	17	18	19	20			
CHD 9/02-3	FR	mlo	0	0	0	0	0	0	0	0(4)	0	0	0	0	0			
BKH 5069	PL	mlo	0	0/4	0	0	0	0/4	0	0(4)	0	0	0	0	0/4			
BKH 5734	PL	mlo	0	0	0	0	0	0/4	0	0(4)	0	0	0	0	0/4			
Claire (NORD 05/2435)	DE	mlo	0	0	0	0	0	0	0	0(4)	0	0	0	0	0			
CSBC 6747-22	FR	mlo	0	0	0	0	0	0	0	0(4)	0	0	0	0	0			
MOB 11582/04	PL	Mla13, MlRu3	4	4	4	4	0	0	0	4	0	0	4	4	0			
PF 12079-51	DK	U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
RAH 1012/05	PL	mlo	0	0(4)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
SJ 071008	DK	U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
SJ 071152	DK	U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
STH 7108	PL	mlo	0	0	0	0/4	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
STH 7208	PL	U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
STH 7308	PL	mlo	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0(4)	0	0			
STH 7408	PL	Mla1	0	4	4	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0			
Stine (Hadm.19920)	DE	heterogeny	0(4)i2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0(4)i4	0i4	0			

1	2	3	4															
			21	24	24R	25	26	27	28	29	30	34	38	39	40	48		
CHD 9/02-3	FR	mlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
BKH 5069	PL	mlo	0	0	0	0	0	0	0	0/4	0/4	0	0	0	0/4	0		
BKH 5734	PL	mlo	0	0	0	0	0	0	0	0/4	0/4	0/4	0	0	0/4	0		
Claire (NORD 05/2435)	DE	mlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
CSBC 6747-22	FR	mlo	0	0	0	0	0	0	0	0(4)	0	0	0	0	0	0		

c. d. Tabela 7

1	2	3	4													
			21	24	24R	25	26	27	28	29	30	34	38	39	40	48
MOB 11582/04	PL	Mla13, MIRu3	0	0	0	0	4	0	0	4	0	4	0	0	0	0
PF 12079-51	DK	U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RAH 1012/05	PL	mlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SJ 071008	DK	U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SJ 071152	DK	U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
STH 7108	PL	mlo	0	0	0	0	0	0	0	0(4)	0	0	0	0	0(4)	0
STH 7208	PL	U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
STH 7308	PL	mlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
STH 7408	PL	Mla1	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
Stine (Hadm.19920)	DE	heterogenny	0	0	0	0	4	0	0	0(4)	0	0(4)	0	0	0	0

DYSKUSJA

Intensyfikacja rolnictwa spowodowała ujednolicenie pod względem genetycznym uprawianych na dużych obszarach odmian oraz stosowanie wysokiego nawożenia azotem, co sprzyja szybkiemu rozprzestrzenianiu się chorób (Wolfe, 1984; Nieróbca i in., 2003). W celu ograniczenia strat w plonach często stosuje się fungicydy i to nie zawsze w odpowiednich dawkach. Przyszłe technologie uprawy jęczmienia powinny uwzględniać w większym stopniu wymogi ograniczonego stosowania pestycydów i nawozów mineralnych. Istotnym elementem strategii rozwoju proekologicznego produkcji roślinnej jest hodowla odmian odpornych (Gulliano i Kuijpers, 1994; Czembor i Gacek, 1995; Jacobsen, 1997; McDonald i Linde, 2002).

Spśród 33 genów odporności na *Blumeria graminis* f.sp. *hordei* wykorzystywanych powszechnie w hodowli jęczmienia w przeszłości, 28 jest ściśle ze sobą sprzężonych lub ma charakter alleliczny. Powoduje to, że są one mało efektywne w stosunku do aktualnego spektrum patogeniczności populacji mączniaka w Polsce (Jorgenson, 1994; Gacek i in., 2004; Czembor, 2008). Prezentowane w tej pracy wyniki wskazują na znaczący przyrost udziału w doświadczeniach rejestrowych odmian jęczmienia jarego o odporności uwarunkowanej genem Mlo — 42% ocenianych odmian (tab. 5, 6 i 7). W porównaniu do lat wcześniejszych, przeważały odmiany z genami z serii alleli Mla (Czembor, 2004, 2005).

Nadal dominująca grupa genów allelicznych, a dotyczy to przede wszystkim *locus* Mla, stanowi poważne ograniczenie w łączeniu ich w jednym genomie nowych odmian. Jak dotąd, wszystkie geny związane z *locus* Mla po wprowadzeniu do nowych odmian, sukcesywnie po jakimś czasie przestają być efektywne, ponieważ w populacji *Blumeria graminis* f.sp. *hordei* pojawiają się patotypy wirulentne w stosunku do tych genów (Czembor, 1976; Wolfe i Schwarzbach, 1978; Czembor, 1981; Gacek i Czembor, 1988; Czembor i Czembor, 1998; Hovmoller i in., 2000; Czembor i Czembor, 2004). W celu zwiększenia trwałości odporności hodowcy dążą do większego zróżnicowania materiałów wyjściowych do hodowli, wprowadzania większej liczby genów odporności do tworzonych odmian oraz wykorzystania genów warunkujących częściową odporność.

W populacji mączniaka w Polsce występują z różnym nasileniem patotypy wirulentne w stosunku do większości genów obecnych w zarejestrowanych w Polsce odmianach za wyjątkiem genu *Mlo* (Czembor i Czembor, 2004; Gacek i in., 2004). Odporność typu *Mlo* odgrywa bardzo ważną rolę w hodowli nowych odmian jęczmienia jarego w Europie, ponieważ jak dotąd nie stwierdzono w świecie występowania patotypów *Blumeria graminis* f.sp. *hordei* wirulentnych w stosunku do genu *mlo* (Hovmoller i in., 2000; Czembor i Czembor, 2001). Odporność warunkowana genem *mlo* jest unikalną, monogeniczną i rasowo niespecyficzną odpornością. U pierwszych odmian komercyjnych z genem *mlo* występował dość duży efekt pleiotropowego działania tego genu objawiający się nekrotyczną plamistością liści. Cechę tą stosunkowo szybko wyeliminowano w procesie selekcji i obecnie obserwuje się intensywny wzrost wykorzystywania tego typu odporności w polskiej i europejskiej hodowli. W ostatnich kilku latach w krajach UE w produkcji jest od 20–30% odmian jęczmienia jarego z genem *mlo* (Piffanelli i in., 2004, Anonymous, 2010 a). W Polsce, w roku 2010 na liście odmian roślin rolniczych znajduje się 55 odmian jęczmienia jarego, w tym 21 z genem *mlo* (Anonymous, 2010 b).

Zarówno w zestawie badanych odmian jarych, jak i ozimych stwierdzono występowanie wcześniej nie notowanego w Polsce genu *MI(SI-1)* warunkującego wysoką odporność na porażenie przez *Blumeria graminis* f.sp. *hordei* (tab. 4, 5, 6 i 7). Gen *MI(SI-1)* i kilka innych pochodzących z *Hordeum spontaneum*: *MI1f*, *MI1t*, *MI(1-B-53)*, *MI(WI-1)* i *MI(WI-7)*, to nowe geny wprowadzone do hodowli niemieckiej w latach 90-tych, w stosunku, do których nie stwierdzono izolatów wirulentnych w populacji *Blumeria graminis* f.sp. *hordei* (Anonymous, 2010 a).

WNIOSKI

1. Kandydujące do rejestracji odmiany mają różne geny warunkujące odporność w stosunku do *Blumeria graminis* f.sp. *hordei* i mogą być wykorzystane w tworzeniu strategii ochrony plantacji jęczmienia przed mączniakiem.

LITERATURA

- Anonymous 2010 a. Bundessortenamt, Beschreibende Sortenliste 2010, Getreide, Mais, Ölfrüchte, Leguminosen, Hackfrüchte. Deutscher Landwirt. GmbH, p.: 45 — 47.
- Anonymous 2010 b. Lista Odmian Roślin Rolniczych. COBORU, Słupia Wielka, 36/2010: 19 — 42.
- Atzema J. L. 1998. Durability of *Mlo* resistance in barley against powdery mildew caused by *Erysiphe graminis* f.sp. *hordei*. Ph. D. thesis, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, Switzerland.
- Brown J. K. M., Jorgensen J. H. 1991. A catalogue of mildew resistance genes in European barley varieties. In: Jorgensen J. H. ed., Integrated Control of Cereal Mildews: Virulence Patterns and Their Change, Riso National Laboratory, Roskilde, Denmark, pp: 263 — 286.
- Czembor H. J. 1976. Źródła odporności na mączniaka jęczmienia *Erysiphe graminis* f.sp. *hordei*. Biul. IHAR t. 20, z. 5: 466 — 490.
- Czembor H. J. 1981. Rasy fizjologiczne mączniaka jęczmienia (*Erysiphe graminis* DC ex Merat f.sp. *hordei* Marchal) występujące w Polsce w latach 1975-1979. Biul. IHAR t. 25, z. 5/6: 215 — 226.
- Czembor H.J. 2004. Odporność odmian jęczmienia na mączniaka prawdziwego (*Blumeria graminis* f.sp. *hordei*) włączonych do badań rejestrowych w Polsce w 2002 roku. Biul. IHAR 233:117 — 125.

- Czembor H.J. 2005. Odporność odmian jęczmienia włączonych do badań rejestrowych w Polsce w 2003 roku na mączniaka prawdziwego (*Blumeria graminis* f.sp. *hordei*). Biul. IHAR 235:181 — 189.
- Czembor H. J. 2008. Odporność na mączniaka prawdziwego (*Blumeria graminis* f.sp. *hordei*) odmian jęczmienia włączonych do badań rejestrowych w Polsce w latach 2004 – 2006. Biul. IHAR 248: 33 — 42.
- Czembor J. H., Czembor H. J. 1998. Powdery mildew resistance in cultivars of spring barley from Polish Register. Plant Breeding and Seed Science 42 (2): 87 — 99.
- Czembor H. J., Czembor J. H. 2001. Resistance to powdery mildew in barley cultivars and breeding lines included in 1998-2000 Polish registration trials. Plant Breeding and Seed Science 45 (1): 21 — 41.
- Czembor H.J., Czembor J.H. 2004. Chorobotwórczość mączniaka prawdziwego jęczmienia (*Blumeria graminis* f.sp. *hordei*) w Polsce w roku 2000. Biul. IHAR 233: 107 — 115.
- Czembor H. J., Gacek E. 1990. Wybrane problemy hodowli odpornościowej zbóż na choroby. Biul. IHAR 173–174: 53 — 64.
- Czembor H. J., Gacek E. S. 1995. System for increasing durability of diseases resistance in cereals. In: Arseniuk E., Góral T., Czembor P. C. eds., Plant Resistance to Diseases, Pests and Unfavourable Environmental Conditions. IHAR Radzików, Poland, pp.: 39 — 48.
- Finckh M. R., Gacek E. S., Czembor H. J., Wolfe M. S. 1999. Host frequency and density effects on powdery mildew and yield in mixtures of barley cultivars. Plant Pathol. 48: 807 — 816.
- Flor H. H. 1956. The complementary genes systems in flax and flax rust. Adv. Genet. 8: 29 — 54.
- Gacek E. 1990. Studia nad sposobami wykorzystania odporności genetycznej jęczmienia w zwalczaniu mączniaka prawdziwego (*Erysiphe graminis* DC f. sp. *hordei* Marchal). Hod. Rośl. Aklim., 34, 5/6: 3 — 48.
- Gacek E., Biliński Z. R., Czembor H.J., Czembor J.H. 2004. Chorobotwórczość mączniaka prawdziwego jęczmienia (*Blumeria graminis* f.sp. *hordei*) w Polsce w latach 1993 – 1996. Biul. IHAR 231: 365 — 376.
- Gacek E., Czembor H. J. 1988. Analiza ilościowa struktury populacji mączniaka jęczmienia (*Erysiphe graminis* f.sp. *hordei*). Biul. IHAR 167: 13 — 19.
- Gacek E., Czembor H. J., Nadziak J. 1996. Wpływ zróżnicowania genetycznego w mieszaninach i mieszkach zbożowych na rozwój chorób i plonowanie. Biul. IHAR 200: 203 — 209.
- Gulliano M. L., Kuijpers L. A. M. 1994. Social and political implications of managing plant diseases with restricted fungicides in Europe. Annu. Rev. Phytopathol. 32: 559 — 579.
- Hovmoller M. S., Caffier V., Jalli M., Andersen O., Besenhofer G., Czembor J. H., Dreiseitel A., Flath K., Fleck A., Heinrics F., Jonsson R., Limpert E., Mercer P., Plesnik S., Rashal I., Skinnes H., Slater S., Vronska O. 2000. The European barley powdery mildew virulence survey and disease nursery 1993 — 1999. Agronomie 20(7): 729 — 744.
- Jacobsen B. J. 1997. Role of plant pathology in integrated pest management. Annu. Rev. Phytopathol. 35:373 — 391.
- Jorgensen J. H. 1994. Genetics of powdery mildew resistance in barley. Plant Science 13: 97 — 119
- Kolster P., Munk L., Stolen O., Lohde J. 1986. Near-isogenic barley lines with genes for resistance to powdery mildew. Crop Sci. 26: 903 — 907.
- Kozdój J., Mańkowski D., Czembor H. J. 2009. Analiza plonu jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.) porażonego mączniakiem prawdziwym (*Blumeria graminis* f.sp. *hordei*). Komunikat. Biul. IHAR 254: 65 — 74.
- Najewski A. 2007 a. Jęczmień ozimy. Synteza wyników doświadczeń rejestrowych. 2007. COBORU. Z. 64: 62 — 75.
- Najewski A. 2007 b. Jęczmień jary. Synteza wyników doświadczeń rejestrowych. Zboża jare, 2007. COBORU. Z. 58: 22 — 38.
- Najewski A. 2008. Jęczmień ozimy. Synteza wyników doświadczeń rejestrowych. 2008. COBORU. Z. 74: 7 — 11.
- Siwiak J. 2009 a. Jęczmień ozimy. Synteza wyników doświadczeń rejestrowych. 2009. COBORU. Z. 83: 7 — 19.
- Siwiak J., Najewski A. 2008. Jęczmień jary. Synteza wyników doświadczeń rejestrowych. Zboża jare, 2008. COBORU. Z. 67: 24 — 41.

- Siwiak J. 2009b. Jęczmień jary. Synteza wyników doświadczeń rejestrowych. Zboża jare, 2009. COBORU. Z. 78: 7 — 24.
- McDonald B., Linde C. 2002. Pathogen population genetics, evolutionary potential, and durable resistance. *Annual Review of Phytopathology* 40: 349 — 379.
- Nieróbca A., Horoszkiewicz-Janka J., Czembor J.H. 2003. Ochrona roślin — ważny element technologii uprawy zbóż w UE. *Pamiętnik Puławski* 132: 311 — 320.
- Pecio A., Bichoński A. 2003. Plon i jakość browarna ziarna jęczmienia jarego w zależności od sposobu ochrony roślin przed chorobami. *Biul. IHAR* 230: 317 — 326.
- Piffanelli P., Ramsay L., Waugh R., Benabdelmouna A., D'Hont A., Hollricher K., Jørgen Helms Jørgensen J. H., Schulze-Lefert P., Panstruga R. 2004. A barley cultivation-associated polymorphism conveys resistance to powdery mildew. *Nature* 430: 887 — 891.
- Wolfe M. S. 1984. Trying to understand and control powdery mildew. *Plant Pathol.* 33: 451 — 466.
- Wolfe M. S., McDermott. 1994. Population genetics of plant pathogen interactions: the example of the *Erysiphe graminis* — *Hordeum vulgare* pathosystem. *Ann. Rev. Phytopath.* 32:89 — 113.
- Wolfe M. S., Schwarzbach E. 1978. The recent history of the evolution of barley powdery mildew in Europe. In: *The powdery mildews*. Spencer D. M., Academic Press, London, New York and San Francisco: 129 — 157.

JANUSZ KOZDÓJ¹**DARIUSZ R. MAŃKOWSKI**²**SYLWIA OLESZCZUK**¹¹ Zakład Biotechnologii i Cytogenetyki Roślin² Zakład Nasiennictwa i Nasionoznawstwa

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB, Radzików

Analiza potencjału plonotwórczego linii podwojonych haploidów jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.) otrzymanych na drodze androgenezy

Analysis of the potential for yield formation in doubled haploids of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) obtained via androgenesis

W pracy przedstawiono wyniki trzyletnich badań dotyczących określenia wielkości potencjału plonotwórczego rośliny i kłosa linii podwojonych haploidów (DH) jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.) oraz stopnia jego wykorzystania wyrażonego wielkością plonu ziarniaków z kłosa i rośliny. Obiektem porównawczym była odmiana Scarlett (przyjęta za wzorzec), z której otrzymano androgeniczne linie DH. Potencjał plonotwórczy rośliny determinowała struktura morfologiczna rośliny — ogólna liczba pędów w roślinie. Potencjał plonotwórczy kłosa determinowała struktura morfologiczna kłosa — ogólna liczba kłosek w kłosie zarówno w liniach DH, jak i w odmianie Scarlett. Z analiz przeprowadzonych w fazie dojrzałości pełnej wynika, że struktura morfologiczna rośliny wyrażona ogólną liczbą pędów w tym liczbą pędów produktywnych, liczbą niedogonów w roślinie, w danym roku badań, była podobna u linii DH jak i u odmiany Scarlett. Strukturalny potencjał plonotwórczy rośliny linii DH jak i odmiany wzorcowej, w zależności od roku badań, został wykorzystany w 60% (pierwszy rok badań) i w 81%–83% (drugi i trzeci rok badań). Cechy struktury morfologicznej kłosa (długość, ogólna liczba kłosek, w tym liczba kłosek płodnych oraz liczba ziarniaków) analizowane w fazie dojrzałości pełnej były korzystniejsze dla plonu w liniach DH niż w odmianie Scarlett. Kłosa linii DH były istotnie dłuższe, zawierały więcej o 8% wykształconych kłosek, w tym kłosek płodnych o 10% oraz ziarniaków o 10% w porównaniu z kłosami wzorcowej odmiany Scarlett. Strukturalny potencjał plonotwórczy kłosa, w zależności od roku badań, w linii DH został wykorzystany w 76% (drugi rok badań), w 87–88% (pierwszy i trzeci rok badań), zaś w odmianie Scarlett — w 55% (drugi rok badań), w 85,5% (trzeci rok badań) i w 94,5% (pierwszy rok badań). Plon ziarna z kłosa linii DH wyniósł 1,16 g i był istotnie wyższy o 27,5% w wyniku istotnie większej o 11% liczby wytworzonych ziarniaków w kłosie i istotnie większej o 14,7% masy pojedynczego ziarniaka w porównaniu z wzorcową odmianą Scarlett. Plon ziarna z rośliny linii DH wyniósł 9,65 g i był istotnie wyższy o 47,6% niż u odmiany Scarlett w wyniku istotnie wyższego plonu

ziarna z kłosa. Wielkość plonu ziarniaków z rośliny jęczmienia jarego (zarówno u linii DH jak i u odmiany Scarlett) była istotnie skorelowana z liczbą pędów produktywnych w roślinie ($r = 0,93$).

Słowa kluczowe: jęczmień jary, podwojone haploidy, plon, czynniki plonotwórcze, korelacje, zmienność

Results of the three-year analysis done to characterize the potential for yield formation within the plant and the spike of androgenetic doubled haploid spring barley (*Hordeum vulgare* L.) lines (DH lines) are presented. A rate of utilization of the yield-forming potential expressed as grain yield per spike and per plant was also estimated. The DH lines were derived from spring barley cv. Scarlett, which was used as a control object in the investigations. The yield-forming potential of plant was determined by the total number of tillers per plant, and that of spike was determined by the total number of spikelets per spike. Analyses of the following morphological plant traits: number of stems per plant, number of productive tillers per plant and number of unmaturing tillers per plant investigated at the ripening stage showed no significant differences between the DH lines and cv. Scarlett. The yield-forming plant potential in DH lines and in the control cultivar was utilized in 60 per cent in 2004 and in 81 to 83 per cent in the years 2007 and 2008. Morphological features of spike, such as its length, total number of spikelets, number of fertile spikelets and number of grains at the ripening phase were more favourable for creating the yield in the DH lines than in cv. Scarlett. Spikes of the DH plants, compared to those in the control cultivar, were significantly longer, contained greater by 8 per cent number of spikelets and greater by 10 per cent number of fertile spikelets, as well as greater by 10 per cent number of grains. The yield-forming potential of the spike in DH lines was utilized in 76 per cent in 2007 and in 87 to 88 per cent in the years 2004 and 2008, and in cv. Scarlett in 94.5 per cent in 2004, 55 per cent in 2007 and 85.5 per cent in 2008. The grain yield per spike in the DH plants amounted 1.16 g and was higher by 27.5 per cent (significant difference) than that in cv. Scarlett. The difference resulted from the greater by 11 per cent number of grains per spike and from the greater by 14.7 per cent average weight of one grain. The grain yield per DH plant reached 9.65 g and was higher by 47.6 per cent (significant difference) than that in cv. Scarlett, mainly due to the higher grain yield per spike. The yield of grain per plant was found to be positively correlated with the number of productive tillers per plant ($r = 0.93$), both in DH plants and in cv. Scarlett.

Key words: correlation doubled haploids, grain yield, spring barley, variability, yield components, yield-forming potential

WSTĘP

Homozygotyczne linie podwojonych haploidów (DH) są ważnym obiektem badań wykorzystywanym w hodowli roślin prowadzącej do uzyskania nowych odmian o poprawionych cechach użytkowych. Linie DH są wykorzystywane w krzyżowaniach z innymi odmianami w obrębie gatunku, co prowadzi do poszerzenia genetycznej zmienności cech, ważnych z punktu widzenia hodowcy, głównie wielkości i jakości plonu. Analizy porównawcze roślin DH i materiału (roślin) wyjściowych przeprowadzone w dłuższym, wieloletnim okresie badań w warunkach polowych pozwalają na ocenę roślin DH pod względem różnych cech użytkowych oraz wielkości i jakości plonu. Tak dokonana ocena roślin (linii) DH umożliwia hodowcy na wybór najlepszych pojedynków w dalszych badaniach selekcyjno-hodowlanych. Jednym ze stosowanych sposobów oceny linii DH jest analiza wielkości współczynników zmienności najważniejszych cech jakościowych i ilościowych. Ostatecznym kryterium decydującym o przydatności linii DH jest wielkość plonu i jego stabilność w latach. Są one uzależnione od struktury morfologicznej rośliny i jej cech plonotwórczych. Struktura morfologiczna rośliny zbożowej, w tym i jęczmienia

jarego, jej poszczególne cechy plonotwórcze (np. liczba pędów) oraz struktura morfologiczna kłosa (np. długość kłosa, liczba kłosków, liczba ziarniaków i ich masa) kształtują się w określonych fazach rozwojowych (Klepper i in., 1998, Górny, 2004), które zachodzą w zmiennych warunkach środowiska (Łubkowski, 1968; Listowski, 1979; Kozdój, 1992, 1994).

W aspekcie fizjologii plonowania zbóż, strukturalnymi czynnikami plonotwórczymi determinującymi plon ziarniaków z rośliny są liczba pędów wytworzonych przez roślinę (krzewistość ogólna) w tym liczba pędów kłosonośnych (krzewistość produkcyjna). Ogólna liczba wytworzonych kłosków w kłosie, w tym liczba kłosków płodnych, liczba ziarniaków w kłosie, średnia jednostkowa masa ziarniaka oraz długość kłosa są uznawane za strukturalne czynniki plonotwórcze determinującymi plon ziarniaków z kłosa (Listowski, 1979; Kozdój, 1992; Klepper i in., 1998). Interakcja genotypu z biotycznymi i abiotycznymi czynnikami środowiska w trakcie trwania okresu wegetacji roślin uprawnych decyduje o wielkości plonu.

Efektywne uzyskiwanie w krótkim czasie (w jednym cyklu hodowlanym) dużej liczby podwojonych haploidów na drodze androgenezy u wielu gatunków roślin ważnych gospodarczo (w tym zbóż) jest obecnie możliwe dzięki wykorzystaniu współczesnych technik i metod kultur tkankowych *in vitro* (Pickering i Devaux, 1992; Forster i in., 2007; Oleszczuk i in., 2006).

Celem przeprowadzonych badań w trzyletnim doświadczeniu polowym była analiza porównawcza pomiędzy roślinami/liniami DH a odmianą wzorcową Scarlett pod względem:

- strukturalnego potencjału plonotwórczego roślin,
- wielkości strukturalnych czynników plonotwórczych determinujących wielkość plonu ziarna z kłosa i z rośliny,
- zmienności strukturalnych cech plonotwórczych kłosa i rośliny.

MATERIAŁ I METODY

Przedmiotem badań były rośliny linii podwojonych haploidów (DH) jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.) oraz rośliny odmiany Scarlett traktowanej jako odmiana wzorcowa. Badane linie DH uzyskano na drodze androgenezy w kulturze *in vitro* z izolowanych mikrospor odmiany Scarlett.

Doświadczenie założono na glebie zbielicowanej, czarnej ziemi, klasy bonitacyjnej IIIb/IVa, kompleksu glebowego żyniego bardzo dobrego. Wysiano ziarniaki linii DH kolejnej generacji i odmiany Scarlett, po 100 sztuk na poletko o powierzchni 1m² w dniach 14-04-2004 (10 linii DH), 29-03-2007 (4 linie DH) i 2-04-2008 (3 linie DH). Rośliny DH uprawiane w danym roku badań pochodziły z ziarniaków z pojedynków wybranych spośród 15. roślin rosnących na poletku w poprzednim sezonie wegetacyjnym. Przedsięwzięcie wykonano nawożenie mineralne wieloskładnikowym nawozem mineralnym Polifoska 6 w ilości 300 kg/ha, pogłównie — nawożenie azotowe w postaci saletry amonowej (34% N) w ilości 100 kg/ha. Zastosowano chemiczne odchwaszczanie preparatem Mustang w fazie krzewienia.

W okresie wegetacji roślin wykonano opisy stadiów rozwojowych roślin wg dziesiętnej skali Zadoksa (Zadoks i in., 1974). Fazy rozwojowe rośliny wyodrębniono na podstawie kryteriów, którymi była struktura morfologiczna rośliny wyrażona jej pokrojem, czyli liczbą liści w siewce, liczbą pędów w roślinie, liczbą węzłów na pędzie głównym, pojawieniem się kłosa ponad liściem flagowym, pyleniem. Fazy dojrzewania ziarniaków wyodrębniono na podstawie jego konsystencji, barwy i stopnia twardości.

W fazie dojrzałości pełnej, z każdego poletka pobierano losowo po 15 roślin. Łącznie przeanalizowano 315 roślin, w tym 165 (2004 r.), 60 (2007 r.) i 90 roślin (2008 r.). Zmierzono długości najdłuższego pędu w roślinie, określano całkowitą liczbę pędów w roślinie z uwzględnieniem pędów produktywnych (in. kłosonośnych), niedogonów (niedojrzałe) w tym suchych (ontogenetycznie najmłodsze pędy w roślinie, niedorozwinięte i silnie zaschnięte podczas zbioru roślin). Przeprowadzono pomiary długości kłosów, policzono ogólną liczbę kłosków w kłosie z uwzględnieniem liczby kłosków sterylnych i płodnych, liczbę ziarniaków w kłosie, zważono ziarniaki ze wszystkich kłosów z jednej rośliny. Średnią masę ziarniaków z kłosa stanowił iloraz masy ziarniaków z rośliny i liczby kłosów z rośliny. Jednostkową masę ziarniaka stanowił iloraz masy ziarniaków z rośliny i liczby ziarniaków z rośliny. Średnią masę ziarniaków z kłosa i jednostkową masę ziarniaka wyliczono na podstawie danych uzyskanych z 15 roślin z trzech powtórzeń zarówno dla linii DH, jak i odmiany wzorcowej.

Wyznaczono wartości średnie (średnie obiektowe), odchylenia standardowe i współczynniki zmienności (CV%) dla analizowanych cech linii DH i odmiany wzorcowej Scarlett. Przeprowadzono również następujące analizy statystyczne: 1/ ocenę istotności różnic pomiędzy badanymi obiektami, 2/ ocenę współzależności pomiędzy analizowanymi cechami, 3/ opis zależności występujących pomiędzy analizowanymi cechami oraz charakterystykę struktury tych zależności. Do oceny istotności różnic pomiędzy badanymi obiektami zastosowano: jednokierunkową analizę wariancji według modelu stałego, grupy jednorodne średnich obiektowych — wyznaczono z zastosowaniem procedury porównań wielokrotnych Tukeya (Wójcik i Laudański, 1989; Cochran i Cox, 1992; Box i in., 2005; Muller i Fetterman, 2003). Do oceny współzależności pomiędzy analizowanymi cechami zastosowano analizę współczynników korelacji liniowej Pearsona (Wójcik i Laudański, 1989). Do ustalenia hierarchii analizowanych cech i ich wpływu na kształtowanie się plonu ziarna z rośliny wykorzystano analizę funkcji regresji wielokrotnej z wyznaczeniem standaryzowanych cząstkowych współczynników regresji (Wójcik i Laudański, 1989; Rawlings i in., 2001; Muller i Fetterman, 2003). Ze względu na znaczną współliniowość niektórych spośród badanych cech, oceny ich efektów (cząstkowych współczynników regresji) były obciążone. Współliniowość cech nie jest jednak uważana za wadę modelu regresji wielokrotnej (Rawlings i in., 2001). Uzyskane w tej analizie standaryzowane cząstkowe współczynniki regresji mogły więc posłużyć do obiektywnej oceny wagi poszczególnych cech w ich wpływie na kształtowanie się plonu ziarna jęczmienia jarego. Obliczenia przeprowadzono w Systemie SAS® wersji 9.2 (SAS Institute Inc., 2009 a, 2009 b).

Przebieg pogody w latach badań opisano w oparciu o wartości średniej dobowej temperatury powietrza, sumy temperatury powietrza i sumy opadów atmosferycznych dla

każdego miesiąca w sezonie wegetacji roślin, od kwietnia do lipca (tab. 1), oraz dla każdej fenofazy, od siewu do zbioru, i całego okresu wegetacji (tab. 2). Dane meteorologiczne z okresu 1.04.–31.07. 2004 r. opracowane dla Błonia (ok. 7 km od Radzikowa) otrzymano z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Dane meteorologiczne z okresu 1.04.–31.07. 2007 i 1.04.–31. 07. 2008 r. otrzymano ze stacji meteorologicznej IHAR w Radzikowie. Do oceny warunków opadowo-termicznych zastosowano wskaźnik hydrotermiczny Sielianinova wyliczonego według wzoru Molga (1958) cytowany przez Kalbarczyka (2003) oraz przez Skowerę i Pułę (2004). Wartość wskaźnika Sielianinova wyliczono według wzoru:

$$K = \frac{P}{\sum (T_p \cdot 0,1)}$$

gdzie: P — suma opadów w mm, dla danej fenofazy i miesiąca,

$\sum T_p$ — suma temperatur powietrza w stopniach Celsjusza, dla danej fenofazy i miesiąca.

Do wydzielenia klasy warunków pogodowych wykorzystano klasyfikację przedziałów wartości współczynnika K przedstawionych przez Skowerę i Pułę (2004). Były to następujące przedziały wartości:

— skrajnie suchy (ss)	$k \leq 0,4$
— bardzo suchy (bs)	$0,4 < k \leq 0,7$
— suchy (s)	$0,7 < k \leq 1,0$
— dość suchy (ds.)	$1,0 < k \leq 1,3$
— optymalny (o)	$1,3 < k \leq 1,6$
— dość wilgotny (dw)	$1,6 < k \leq 2,0$
— wilgotny (w)	$2,0 < k \leq 2,5$
— bardzo wilgotny (bw)	$2,5 < k \leq 3,0$
— skrajnie wilgotny (sw)	$k > 3,0$.

WYNIKI

Przebieg faz wzrostu i rozwoju roślin na tle warunków pogodowych

Warunki pogodowe w okresie wegetacji roślin, od kwietnia do lipca, w poszczególnych latach badań (2004, 2007 i 2008), na tle wieloletnich danych meteorologicznych opracowanych dla Radzikowa (1979–2008), były zróżnicowane (tab. 1). W 2004 roku, miesiące maj — lipiec charakteryzowały się niższą średnią temperaturą powietrza i nadmiernym poziomem opadów (od kwietnia do lipca z wyjątkiem czerwca) w porównaniu z danymi z wielolecia. W latach 2007 i 2008, średnie temperatury powietrza były z reguły wyższe, zaś sumy opadów, w zależności od miesiąca i roku, były przekroczone (maj w obu latach, czerwiec i lipiec w 2007 r.) lub w niedostatecznej ilości (kwiecień w 2007 r., czerwiec i lipiec w 2008 r.) w porównaniu z danymi z wielolecia. Wartości wskaźnika hydrotermicznego Sielianinova w poszczególnych miesiącach były zróżnicowane, pozwoliły jednak ocenić warunki opadowo-termiczne jako: optymalne (czerwiec 2004 r., lipiec 2007 r.); skrajnie suche (czerwiec 2008 r.); bardzo suche (kwiecień 2007 r.); dość

suche (maj 2007 i 2008 r., czerwiec 2007 r., kwiecień 2008 r.); suche (lipiec 2008 r.); dość wilgotne (maj 2004 r. i lipiec 2004 r.); bardzo wilgotne (kwiecień 2004 r.).

Tabela 1

**Średnia temperatura i suma opadów w czasie wegetacji jęczmienia jarego w latach badań
w Radzikowie na tle danych z wielolecia**

**Mean temperature and sum of precipitation in the vegetation period of spring barley in the years
of study as compared to the long-term averages at Radzików**

Miesiąc Month	Średnia dobowa temperatura (°C) Mean daily temperatures (°C)				Suma opadów (mm) Precipitation sums (mm)			
	lata badań — years of study				lata badań — years of study			
	2004	2007	2008	wielolecie long-term 1979–2008	2004	2007	2008	wielolecie long-term 1979–2008
Kwiecień — April	8,7	9,7	9,4	8,7	66,6	20,0	30,2	31,0
Maj — May	12,0	15,7	14,0	14,7	67,0	63,2	56,6	45,3
Czerwiec — June	15,8	19,1	19,0	17,4	56,4	72,2	15,0	59,8
Lipiec — July	17,9	19,1	19,5	19,2	102,5	94,8	62,5	71,3
Średnie miesięczne wartości wskaźnika hydrotermicznego w Radzikowie oraz klasyfikacja Mean monthly values of hydrothermal coefficient in Radzików and classes								
	wartości wskaźnika — coefficient value				klasyfikacja — classification			
	2004	2007	2008	1979–2008	2004	2007	2008	1979–2008
Kwiecień — April	2,6	0,7	1,1	1,2	bw	bs	ds.	ds.
Maj — May	1,8	1,3	1,3	1	dw	ds.	ds.	s
Czerwiec — June	1,2	1,3	0,3	1,1	ds.	ds.	ss	ds.
Lipiec — July	1,8	1,6	1	1,2	dw	o	s	ds.
Kwiecień — Lipiec April — July	1,8	1,3	0,9	1,1	dw	ds.	s	ds.

Objaśnienia — Explanations:

ss — skrajnie suchy — extra dry; bs — bardzo suchy — very dry; s — suchy — dry; ds. — dość suchy — rather dry; o — optymalny — favourable; dw — dość wilgotny — rather wet; w — wilgotny — wet; bw — bardzo wilgotny — very wet; sw — skrajnie wilgotny — extra wet

W trzech latach badań, czas trwania kolejnych stadiów wzrostu i rozwoju roślin jęczmienia jarego, od siewu do dojrzałości pełnej, był charakterystyczny dla określonej fazy rozwojowej, zróżnicowany w latach i uzależniony od przebiegu zmiennych warunków termicznych i opadowych (tab. 2). Czas trwania stadium kielkowania ziarniaków, od ich wysiewu (DC 0) do wschodów (DC 1) wynosił od 10 (2004 r.) do 17 dni (2007 r.). Kielkowanie ziarniaków przebiegało w warunkach optymalnych (2004 r.), suchych (2007 r.) i dość suchych (2008 r.). Stadium siewki, od wschodów (DC 11) do początku krzewienia (DC 21), trwało 9–10 dni. Wzrost i rozwój siewki przebiegał w dość suchych (2004 r.), bardzo suchych (2007 r.) i w optymalnych warunkach pogodowych (2008 r.). Stadium krzewienia roślin (DC 2) trwało od 14 dni (2008 r.) do 26 dni (2004 r.). Krzewienie roślin przebiegało w optymalnych (2004 i 2008) i dość suchych (2007 r.) warunkach pogodowych. Faza strzelania w źdźbło obejmująca dwa stadia rozwojowe — wydłużanie się pędu (DC 3) oraz rozwój kłosa w pochwie liścia flagowego (butonizację, DC 4) trwała 14 (2007 r.), 15 (2004 r.) i 23 dni (2008 r.). Omawiana faza rozwoju roślin przebiegała w warunkach bardzo suchej (2004 r.) dość suchej (2007 r.) i suchej (2008 r.) pogody.

Tabela 2

Czas trwania faz rozwoju roślin jęczmienia jarego w okresie wegetacji na tle przebiegu warunków pogodowych

The duration of plant growth phases of spring barley in the vegetation season

Faza Phase	Lata Years	Okres Period	Dni Daily	Średnia dobowa temperatura Days mean temperature	Suma temperatur Sum of temperatures	Suma opadów (mm) Sum of rainfall	Współczynnik Sielianinova Sielianinov coefficient	Klasa Class
Siew - wschody Sowing - emergence (DC 0 -1)	2004	14.04.–24.04.	10	10,6	117,0	17,0	1,5	o
	2007	29.03.–15.04.	17	8,8	144,8	13,2	0,9	s
	2008	2.04.–17.04.	15	8,5	136,5	16,2	1,2	ds.
Faza siewki Seedling stage (DC 11 -19)	2004	25.04.–4.05.	10	12,0	119,7	15,0	1,3	ds.
	2007	16.04.–24.04.	9	9,5	85,6	5,4	0,6	bs
	2008	18.04.–27.04.	10	9,8	98,4	13,4	1,4	o
Krzewienie Tillering stage (DC 21-29)	2004	5.05.–30.05.	26	11,4	295,5	43,2	1,5	o
	2007	25.04.–14.05.	20	12,6	251,1	33,4	1,3	ds.
	2008	28.04.–11.05.	14	13,2	184,9	29,4	1,6	o
Strzelanie w źdźbło Shooting phase (DC 30 - 49)	2004	31.05.–14.06.	15	16,1	241,3	17,2	0,7	bs
	2007	15.05.–28.05.	14	18,4	257,9	30,2	1,2	ds.
	2008	12.05.–3.06.	23	15,1	348,3	27,8	0,8	s
Kłoszenie i pylenie Ear emergence and anthesis stages (DC 51 - 69)	2004	15.06.–24.06.	10	15,6	156,3	22,6	1,4	o
	2007	29.05.–7.06.	10	18,7	186,9	19,6	1,0	s
	2008	4.06.–9.06.	6	19,6	117,5	0,0	0,0	ss
Dojrzewanie mleczne Milk development stage (DC 71 - 79)	2004	25.06.–4.07.	10	15,7	157,3	16,6	1,1	ds.
	2007	8.06.–28.06.	21	19,3	405,3	53,6	1,3	ds.
	2008	10.06.–2.07.	23	18,6	428,5	15,0	0,4	ss
Dojrzewanie woskowe Dough development stage (DC 83 - 89)	2004	5.07.–20.07.	16	17,4	278,9	49,8	1,8	dw
	2007	29.06.–3.07.	5	18,3	91,6	14,6	1,6	o
	2008	3.07.–10.07.	8	18,9	151,5	12,6	0,8	s
Dojrzałość pełna Maturing stage (DC 91- 92)	2004	21.07.–27.07.	7	19,9	139,4	19,6	1,4	o
	2007	4.07.–9.07.	6	16,1	96,5	26,0	2,7	bw
	2008	11.07.–17.07.	7	19,4	136,0	31,5	2,3	w
Czas wegetacji (dni) Total vegetation season (days)	2004	14.04.–27.07.	104	14,5	1505,4	201,0	1,3	ds.
	2007	29.03.–9.07.	102	14,9	1519,6	196,0	1,3	ds.
	2008	2.04.–17.07.	106	15,1	1601,6	145,9	0,9	s

Objaśnienia — Explanations:

ss — skrajnie suchy — extra dry; bs — bardzo suchy — very dry; s — suchy — dry; ds. — dość suchy — rather dry; o — optymalny — favourable; dw — dość wilgotny — rather wet; w — wilgotny — wet; bw — bardzo wilgotny — very wet; sw — skrajnie wilgotny — extra wet

Czas trwania fazy kłoszenia (DC 5) i pylenia (DC 6) trwał łącznie 10 dni (2004 i 2007) i był tym samym dłuższy o 4 dni w porównaniu z rokiem 2008. W 2004 roku obie fazy przebiegały w optymalnych warunkach pogodowych z dużą ilością opadów (22,6 mm) i niską średnią dobową temperaturą (15,6°C), zaś w 2007 roku — w suchych warunkach pogodowych z mniejszą ilością opadów (19,6 mm) i wyższą o 3,1°C średnią dobową temperaturą powietrza w porównaniu z rokiem 2004. Natomiast w roku 2008 kłoszenie i pylenie roślin przebiegały w skrajnie suchych warunkach pogodowych, z wysoką średnią dobową temperaturą powietrza i brakiem opadów. Faza dojrzałości mlecznej ziarniaka (DC

7) trwała 10 (2004 r.), 21 (2007 r.) oraz 23 dni (2008 r.) i przebiegała w warunkach dość suchej (2004 i 2007 r.), skrajnie suchej (2008 r.) pogody. Podczas tej fazy, w 2004 r. zanotowano dość niską średnią temperaturę powietrza ($15,7^{\circ}\text{C}$) i niskie ilości opadów (16,6 mm), a w 2007 r. — wyższą o $3,6^{\circ}\text{C}$ średnią dobową temperaturę i większe o 37 mm opady w porównaniu z 2004 rokiem. Natomiast w 2008 r. omawiana faza przebiegała przy optymalnej temperaturze ($18,6^{\circ}\text{C}$) z jednoczesnym niedoborem opadów (15 mm). Faza dojrzałości woskowej (DC 8) trwała 5 (2007 r.), 8 (2008 r.) oraz 16 dni (2004 r.) i przebiegała w dość wilgotnych (2004 r., z nadmiernymi opadami), optymalnych (2007 r.) i suchych warunkach pogodowych (2008 r.). W omawianej fazie średnia dobową temperatura powietrza była podobna w latach od $17,4^{\circ}\text{C}$ do $18,9^{\circ}\text{C}$, zaś ilość opadów była zróżnicowana — 49,8 mm (2004 r.), 14,6 mm (2007 r.) i 12,6 mm (2008 r.). Faza dojrzałości pełnej ziarniaków (DC 91–92) trwała 6 dni w roku 2007 oraz 7 dni w latach 2004 i 2008 i przebiegała w niesprzyjających warunkach pogody: bardzo wilgotnych (2007 r.) i wilgotnych (2008 r.); gdy w roku 2004 — w optymalnych. Podczas tej fazy, w latach 2007 i 2008, zanotowano wyższe ilości opadów, a średnia dobową temperatura powietrza w roku 2007 była niższa o $3,8^{\circ}\text{C}$ i o $3,3^{\circ}\text{C}$ niż w 2004 i w 2008 roku, odpowiednio. Fazę dojrzałości pełnej ziarniaka (DC 92) zanotowano w 102 dniu (2007 r.), 104 dniu (2004 r.) i 106 dniu (2008 r.) od wysiewu ziarniaków. Zatem długość okresu wegetacji jęczmienia jarego, od siewu do dojrzałości pełnej, wynosiła 102 dni (2007 r.), 104 dni (2004 r.) i 106 dni (2008 r.) zarówno dla roślin podwojonych haploidów jak i odmiany wzorcowej Scarlett. Uwzględniając wartości współczynnika hydrotermicznego Sielianinowa dla całego okresu wegetacji jęczmienia jarego można stwierdzić, że wzrost i rozwój roślin przebiegał w dość suchych (2004 i 2007 r.) i suchych (2008 r.) warunkach opadowo-termicznych.

Statystyczna analiza wyników

Wyniki analiz danych pochodzących z trzyletnich doświadczeń polowych, pozwoliły na stwierdzenie, iż struktura morfologiczna badanych linii DH jak i odmiany Scarlett była podobna (tab. 3). Nie stwierdzono bowiem istotnych różnic w ogólnej liczbie pędów w roślinie, w liczbie pędów produktywnych jak również w liczbie niedogonów (tab. 3 i 4). Natomiast istotne różnice pomiędzy liniami DH a odmianą Scarlett stwierdzono w długości pędu (tab. 3). Kłosa linii DH były istotnie dłuższe oraz zawierały więcej wykształconych kłosek, w tym kłosek płodnych oraz ziarniaków w kłosie, które odznaczały się większą jednostkową masą w porównaniu z kłosami odmiany Scarlett (tab. 3 i 4). Pomiedzy liniami DH i odmianą Scarlett nie stwierdzono istotnych różnic w liczbie kłosek sterylnych w kłosie oraz w liczbie ziarniaków z rośliny. Udział kłosek płodnych w ogólnej liczbie wytworzonych kłosek w kłosie linii DH wynosił 85,3%, gdy w kłosie odmiany Scarlett — 83,5% (tab. 4). Zatem strukturalny potencjał plonotwórczy kłosa jęczmienia, wyrażony liczbą kłosek płodnych równy liczbie wytworzonych ziarniaków, nie został wykorzystany. Stwierdzony stopień niewykorzystania potencjału plonotwórczego kłosa wynosił 14,7% (linie DH) i 16,5% (odmiana Scarlett). Natomiast plony ziarna z kłosa oraz plony ziarna z rośliny linii DH były istotnie wyższe o 27,5% i o 47,6% odpowiednio, niż u odmiany Scarlett (tab. 3 i 4).

Tabela 3

Wyniki jednokierunkowej analizy wariancji cech ilościowych jęczmienia jarego linii podwojonych haploidów (DH) i odmiany Scarlett (wzorzec) z lat 2004, 2007, 2008
One-way ANOVA results for quantitative variables in double haploid strains (DH) and cv. Scarlett (control) of spring barley in the years 2004, 2007, 2008

Cecha Trait	DH	Wzorzec Control	Statystyka F F-value
Liczba obiektów Number of objects	240	75	
Długość pędu (cm) Length of stem (cm)	70,4 a	61,5 b	67,70**
Ogólna liczba pędów/roślina Total no. of stems per plant	10,2 a	8,4 a	0,30 ^{ns}
Liczba pędów produktywnych/roślina No. of productive tillers/plant	8,0 a	6,7 a	0,09 ^{ns}
Liczba pędów-niedogonów/roślina No. of unmatured tillers/plant	2,2 a	1,7 a	0,27 ^{ns}
Długość kłosa (cm) Length of spike (cm)	8,5 a	7,3 b	60,66**
Liczba kłosków/kłos Spikelet no. per spike	25,8 a	23,7 b	52,18**
Liczba kłosków sterylnych Sterile spikelet no. per spike	3,8 a	3,9 a	0,03 ^{ns}
Liczba kłosków płodnych Fertile spikelet no. per spike	22,0 a	19,8 b	31,13**
Liczba ziarniaków/kłos Grain no. per spike	22,0 a	19,8 b	31,14**
Liczba ziarniaków/roślina Grain no. per plant	179,8 a	138,4 a	2,26 ^{ns}
Masa ziarniaków/roślina (g) Grain weight per plant (g)	9,65 a	6,54 b	3,79*
Masa ziarniaków/kłos (g) Grain weight per spike (g)	1,16 a	0,91 b	24,67**
Masa 1 ziarniaka (mg) Weight of single grain (mg)	52,50 a	45,77 b	9,09**

Literami a i b oznaczono grupy jednorodnie średnich obiektowych; średnie z tą samą literą nie różnią się istotnie przy $\alpha = 0,05$; Homogenous groups are marked with letters a and b; values marked with the same letter do not differ significantly according to Tukey test at $\alpha = 0.05$

ns — nie istotne, not significant

* istotne przy $\alpha = 0,05$; significant at $\alpha = 0.05$

** istotne przy $\alpha = 0,01$; significant at $\alpha = 0.01$

Analizując dane pochodzące z poszczególnych lat doświadczenia stwierdzono, że struktura morfologiczna roślin, zarówno linii DH jak i odmiany Scarlett, wyrażona ogólną liczbą pędów w roślinie, liczbą pędów produktywnych i liczbą niedogonów nie różniła się istotnie w danym roku (tab. 5). Większość cech dotyczących struktury morfologicznej kłosa (długość, liczba kłosków z uwzględnieniem liczby sterylnych i płodnych kłosków oraz liczby ziarniaków w kłosie) badanych w kolejnych latach były istotnie zróżnicowane pomiędzy liniami DH a odmianą Scarlett, głównie w 2007 r. i w 2008 r. (tab. 5). Masy ziarniaków z rośliny z linii DH (w przeliczeniu na jedną roślinę) i wzorcowej odmiany Scarlett były podobne zarówno w 2004 roku jak i w 2007 (nieistotne różnice w roku badań; tab. 5). Natomiast w 2008 roku stwierdzono istotnie większy plon ziarniaków z rośliny DH

o 32,5% w porównaniu z odmianą Scarlett (tab. 5). Z danych przedstawionych w tabeli 5 wynika, że masa ziarniaków z kłosa linii DH była istotnie większa w latach 2007 (o 41%) i 2008 (o 24%) w porównaniu z odmianą Scarlett.

W zależności od roku badań stwierdzono zróżnicowanie w cechach pomiędzy roślinami DH a roślinami odmiany wyjściowej (tab. 5).

Tabela 4

Wartości średnie, odchylenia standardowe (SD), współczynniki zmienności (CV%) cech jęczmienia jarego analizowanych łącznie z trzech lat badań 2004, 2007 i 2008

Mean values, standard deviations (SD) and coefficients of variance (CV%) for spring barley traits analysed in three years of study: 2004, 2007, 2008

Cecha Trait	Linie DH DH strains			Odm. Scarlett — wzorzec Scarlett cv. — control			NIR LSD
	średnia average	SD	CV (%)	średnia average	SD	CV (%)	
Długość pędu (cm) Length of stem (cm)	70,4 a	13,13	18,64	61,5 b	10,21	16,61	67,70**
Ogólna liczba pędów/roślina Total no. of stems per plant	10,2 a	4,83	47,38	8,4 a	2,92	34,74	0,30 ^{ns}
Liczba pędów produktywnych/roślina No. of productive tillers per plant	8,0 a	3,75	46,77	6,7 a	2,62	39,33	0,09 ^{ns}
Liczba pędów-niedogonów/roślina No. of unmatured tillers per plant	2,2 a	2,77	126,52	1,7 a	1,61	92,26	0,27 ^{ns}
Długość kłosa (cm) Length of spike (cm)	8,5 a	1,05	12,42	7,3 b	1,10	15,02	60,66**
Liczba kłosków/kłos Spikelet no. per spike	25,8 a	2,17	8,43	23,7 b	2,18	9,18	52,18**
Liczba kłosków sterylnych Sterile spikelet no. per spike	3,8 a	1,98	52,03	3,9 a	2,37	59,87	0,03 ^{ns}
Liczba kłosków płodnych Fertile spikelet no. per spike	22,0 a	3,17	14,42	19,8 b	3,97	20,04	31,13**
Liczba ziarniaków/kłos Grain no. per spike	22,0 a	3,16	14,42	19,8 b	3,97	20,04	31,14**
Liczba ziarniaków/roślina Grain no. per plant	179,8 a	91,19	50,71	138,4 a	70,72	51,08	2,26 ^{ns}
Masa ziarniaków/roślina (g) Grain weight per plant (g)	9,65 a	5,10	52,86	6,54 b	4,04	61,73	3,79*
Masa ziarniaków/kłos (g) Grain weight per spike (g)	1,16 a	0,27	23,00	0,91 b	0,27	30,01	24,67**
Masa 1 ziarniaka (mg) Weight of single grain (mg)	52,50 a	7,09	13,50	45,77 b	6,94	15,17	9,09**

Literami a i b oznaczono grupy jednorodne średnich obiektowych; średnie z tą samą literą nie różnią się istotnie przy $\alpha = 0,05$;

Homogenous groups are marked with letters a and b; values marked with the same letter do not differ significantly according to Tukey test at $\alpha = 0.05$

ns — nie istotne, not significant

* istotne przy $\alpha = 0,05$; significant at $\alpha = 0.05$

** istotne przy $\alpha = 0,01$; significant at $\alpha = 0.01$

Tabela 5

Wartości średnie, odchylenia standardowe (SD), współczynniki zmienności (CV %) cech jęczmienia jarego analizowanych w latach badań 2004, 2007 i 2008

Mean values, standard deviations (SD) and coefficients of variance (CV %) for spring barley traits analysed in three years of study 2004, 2007, 2008

Rok badań Year of study	Linie DH DH strains			Odm. Scarlett — wzorzec Scarlett cv.— control			NIR LSD
	średnia mean	SD	CV (%)	średnia mean	SD	CV (%)	
1	2	3	4	5	6	7	8
Długość pędu (cm) — Length of stem (cm)							
2004	72,6 a	10,93	15,07	68,4 a	4,27	6,25	5,63ns
2007	53,4 a	6,70	12,55	43,3 b	2,87	6,62	3,58**
2008	80,4 a	8,49	10,56	65,2 b	4,80	7,35	2,89**
Ogólna liczba pędów/roślina — Total no. of stems per plant							
2004	12,0 a	4,84	40,35	11,7 a	3,58	30,47	2,54ns
2007	5,5 a	1,52	27,41	6,2 a	1,01	16,36	0,84ns
2008	8,8 a	3,13	35,42	8,0 a	2,10	26,10	1,12ns
Liczba pędów produktywnych/roślina — No. of productive tillers per plant							
2004	9,7 a	3,16	32,46	9,8 a	2,76	28,13	1,67ns
2007	3,2 a	1,11	35,08	3,7 a	1,05	28,54	0,65ns
2008	7,1 a	2,53	35,37	6,6 a	1,54	23,28	0,88ns
Liczba pędów-niedogonów/roślina — No. of unmatured tillers per plant							
2004	2,3 a	3,36	147,28	1,9 a	2,34	121,25	1,76ns
2007	2,4 a	1,13	47,69	2,5 a	0,83	32,91	0,64ns
2008	1,7 a	1,35	79,66	1,4 a	1,44	101,11	0,58ns
Długość kłosa (cm) — Length of spike (cm)							
2004	8,7 a	0,85	9,71	8,7 a	0,49	5,64	0,44ns
2007	7,4 a	0,98	13,27	6,2 b	0,60	9,81	0,54**
2008	8,8 a	1,08	12,29	7,2 b	0,84	11,66	0,41**
Liczba kłosków/kłos — Spikelet no. per spike							
2004	26,0 a	1,74	6,70	25,5 a	1,42	5,58	0,92ns
2007	24,1 a	2,70	11,23	21,1 b	1,30	6,19	1,46**
2008	26,6 a	2,07	7,78	24,1 b	1,79	7,46	0,81**
Liczba kłosków sterylnych — Sterile spikelet no. per spike							
2004	3,4 a	1,82	53,81	1,4 b	0,77	53,93	0,94**
2007	5,8 b	1,80	30,72	7,8 a	1,32	16,84	1,01**
2008	3,2 a	1,31	40,59	3,5 a	1,10	31,41	0,51ns
Liczba kłosków płodnych — Fertile spikelet no. per spike							
2004	22,6 b	2,51	11,08	24,1 a	1,71	7,09	1,31**
2007	18,3 a	3,09	16,89	13,2 b	1,42	10,69	1,66**
2008	23,4 a	2,48	10,60	20,6 b	1,86	9,07	0,92**
Liczba ziarniaków/kłos — Grain no. per spike							
2004	22,6 b	2,51	11,08	24,1 a	1,71	7,09	1,31**
2007	18,3 a	3,09	16,89	13,2 b	1,42	10,69	1,66**
2008	23,4 a	2,48	10,60	20,6 b	1,86	9,07	0,92**
Liczba ziarniaków/roślina — Grain no. per plant							
2004	219,7 a	74,65	33,98	233,6 a	55,28	23,66	39,14ns
2007	57,9 a	23,41	40,43	47,9 a	10,23	21,38	12,53ns
2008	169,0 a	70,82	41,92	136,9 b	38,99	28,48	23,95**
Masa ziarniaków/roślina (g) — Grain weight per plant (g)							
2004	12,27 a	3,96	32,30	12,67 a	2,92	23,06	2,08ns
2007	2,73 a	1,27	46,53	2,21 a	0,52	23,42	0,68ns
2008	7,87 a	3,35	42,61	5,94 b	2,25	37,92	1,20**

c. d Tabela 5

Masa ziarniaków/kłos (g) — Grain weight per spike (g)							
1	2	3	4	5	6	7	8
2004	1,27 a	0,20	15,58	1,30 a	0,14	11,02	0,1ns
2007	0,86 a	0,20	23,57	0,61 b	0,11	17,44	0,11**
2008	1,09 a	0,27	24,30	0,88 b	0,18	20,62	0,10**
Masa 1 ziarniaka (mg) — Weight of single grain (mg)							
2004	56,09 a	4,05	7,22	54,30 a	2,97	5,47	2,12ns
2007	46,54 a	5,49	11,80	46,24 a	4,91	10,61	3,2ns
2008	46,50 a	8,37	18,01	42,77 b	6,04	14,13	3,06**

Literami a i b oznaczono grupy jednorodne średnich obiektowych; Homogenous groups are marked with letters a and b
 Średnie z tą samą literą nie różnią się istotnie przy $\alpha = 0,05$; Values marked with the same letter do not differ significantly according to Tukey test at $\alpha = 0.05$

ns — nie istotne, not significant

* istotne przy $\alpha = 0,05$; significant at $\alpha = 0.05$

** istotne przy $\alpha = 0,01$; significant at $\alpha = 0.01$

W 2004 roku (pierwszy rok badań), pomiędzy DH a odmianą Scarlett stwierdzono istotne różnice tylko w liczbie kłosek płodnych (o 1,5 kłosek mniej) i w liczbie kłosek sterylnych w kłosie (o 2 kłoski więcej). Pozostałe cechy morfologiczne rośliny i kłosa, oraz cechy plonotwórcze jak również wielkości plonu ziarniaków z kłosa i z rośliny były podobne u linii DH i odmiany wyjściowej (różnice nieistotne statystycznie). W 2007 i 2008 roku (drugi i trzeci rok badań, odpowiednio) rośliny DH w porównaniu z odmianą Scarlett miały istotnie dłuższe pędy (o 10,1 i o 15,2 cm), dłuższe kłosa (o 1,2 cm, i o 1,6 cm), które zawierały więcej wykształconych kłosek (o 2–3 kłoski), więcej kłosek płodnych (o 5,1 i o 2,9 kłosek), więcej ziarniaków w kłosie (o 5,1 i o 2,9 ziarniaków) oraz wyższą masę ziarniaków z kłosa (o 0,25 g i o 0,21 g), odpowiednio w drugim i trzecim roku. Kłosa roślin DH, w drugim roku badań, zawierały istotnie mniej kłosek sterylnych (o 2 kłoski). Masa pojedynczego ziarniaka oraz plon ziarniaków z rośliny linii DH, w trzecim roku badań, były wyższe odpowiednio o 3,73 mg, oraz o 1,93 g (tab. 5).

Na podstawie przeprowadzonych analiz struktury morfologicznej rośliny (długość pędu, liczba pędów produktywnych) i kłosa (długość, liczba kłosek w tym płodnych i sterylnych) oraz wielkości strukturalnych czynników plonotwórczych determinujących plon ziarna z rośliny i z kłosa (liczba ziarniaków i masa jednego ziarniaka) zaobserwowano zmienność w cechach pomiędzy roślinami DH i odmianą wyjściową (tab. 4). Niskie wartości współczynników zmienności otrzymano dla następujących cech (uszeregowanie cech według wzrastających wartości, odpowiednio dla DH i odmiany Scarlett): ogólnej liczby kłosek w kłosie (8,4 i 9,2%), długości kłosa (12,4 i 15%), masy pojedynczego ziarniaka (13,5 i 15,2%), liczby kłosek płodnych równej liczbie ziarniaków z kłosa (14,4 i 20%), długości pędu (18,4 i 16,6%); wyższe — dla cech: masy ziarniaków z kłosa (23 i 30%), liczby pędów produktywnych w roślinie (46,8 i 39,3%), ogólnej liczby pędów w roślinie (47,4 i 34,7%), liczby ziarniaków z rośliny (50,7 i 51,1%), liczby kłosek sterylnych w kłosie (52 i 60%), masy ziarniaków z rośliny (53 i 62%), a najwyższe — w przypadku liczby pędów niedogonów w roślinie (127 i 92%).

Wartości współczynników zmienności dla większości cech u linii DH były zdecydowanie niższe od wartości analogicznych cech u odmiany Scarlett.

Tabela 6

Wartości i istotności współczynników korelacji Pearsona w obrębie zbioru badanych cech łącznie dla linii DH i odmiany Scarlett w trzech latach badań
Values and significances of Pearson's correlation coefficients between tested traits altogether for DH strains and cv. Scarlett in three years of study

Cecha / Trait		Cecha / Trait												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Długość pędu Length of stem	1,00												
2	Ogólna liczba pędów/roślina Total no. of stems per plant	0,25**	1,00											
3	Liczba pędów-niedogonów/roślina No. of unmetered tillers per plant	-0,01ns	0,62**	1,00										
4	Liczba pędów produktywnych/roślina No. of productive tillers per plant	0,32**	0,83**	0,07ns	1,00									
5	Długość kłosa Length of spike	0,62**	0,51**	0,26**	0,47**	1,00								
6	Liczba kłosków/kłos Spikelet no. per spike	0,58**	0,38**	0,18**	0,35*	0,87**	1,00							
7	Liczba kłosków sterylnych Sterile spikelet no. per spike	-0,54**	-0,24**	-0,002ns	-0,30**	-0,31**	-0,25**	1,00						
8	Liczba kłosków płodnych Fertile spikelet no. per spike	0,71**	0,39**	0,12*	0,41**	0,77**	0,82**	-0,76**	1,00					
9	Liczba ziarniaków/kłos Grain no. per spike	0,71**	0,39**	0,12*	0,41**	0,77**	0,82**	-0,76**	0,99**	1,00				
10	Liczba ziarniaków/roślina Grain no. per plant	0,43**	0,83**	0,12*	0,97**	0,59**	0,50**	-0,44**	0,59**	0,59**	1,00			
11	Masa ziarniaków/roślina Grain weight per plant	0,46**	0,83**	0,17*	0,93**	0,65**	0,54**	-0,43**	0,61**	0,62**	0,97**	1,00		
12	Masa ziarniaków/kłos Grain weight per spike (g)	0,66**	0,44**	0,20**	0,41**	0,79**	0,76**	-0,58**	0,86**	0,86**	0,56**	0,69**	1,00	
13	Masa 1 ziarniaka Weight of single grain (mg)	0,40**	0,38**	0,21**	0,33**	0,59**	0,49**	-0,22**	0,46**	0,46**	0,39**	0,58**	0,84**	1,00

ns — nie istotne, not significant; * istotne przy $\alpha = 0,05$; significant at $\alpha = 0.05$; **istotne przy $\alpha = 0,01$; significant at $\alpha = 0.01$

U badanych łącznie linii DH i odmiany Scarlett stwierdzono istotne współzależności pomiędzy badanymi cechami (tab. 6). Istotne współzależności stwierdzono między masą ziarniaków z rośliny a: liczbą pędów produktywnych w roślinie ($r = 0,93$), ogólną liczbą pędów w roślinie ($r = 0,83$), długością pędu ($r = 0,46$), długością kłosa ($r = 0,65$), ogólną liczbą kłosków w kłosie ($r = 0,54$), liczbą kłosków płodnych w kłosie ($r = 0,61$), liczbą ziarniaków z rośliny ($r = 0,97$), liczbą ziarniaków z kłosa ($r = 0,62$) masą pojedynczego ziarniaka ($r = 0,39$). Stwierdzono także istotne współzależności między masą ziarniaków z kłosa a: długością pędu ($r = 0,66$), długością kłosa ($r = 0,79$), ogólną liczbą kłosków w kłosie ($r = 0,76$), liczbą kłosków płodnych równą liczbie ziarniaków z kłosa ($r = 0,86$), masą pojedynczego ziarniaka ($r = 0,84$). Liczba ziarniaków z kłosa równa liczbie kłosków płodnych w kłosie jęczmienia jarego była istotnie skorelowana z: długością kłosa ($r = 0,77$), ogólną liczbą kłosków w kłosie ($r = 0,82$), długością pędu ($r = 0,71$).

Tabela 7

Wyniki analizy funkcji regresji wielokrotnej dla zależności masy ziarna z rośliny od badanych cech jęczmienia jarego
Results of multiple regression analysis for the dependence of grain weight per plant on the examined traits in spring barley

Parametr Parameter	Stopnie swobody Degrees of freedom	Ocena cząstkowych współczynników regresji Estimate of partial regression coefficients	Statystyka-t T-statistic	Ocena standaryzowana cząstkowych współczynników regresji Standardized estimation of partial regression coefficients
Stała — Intercept	1	8,6662	7,19**	0
Masa ziarniaków/kłos Grain weight per spike (g)	1	15,8790	13,77**	0,9090
Liczba ziarniaków/roślina Grain no. per plant	1	0,0419	16,04**	0,7345
Liczba kłosków płodnych Fertile spikelet no. per spike	1	-0,4324	-0,2ns	-0,2994
Masa 1 ziarniaka Weight of single grain (mg)	1	-0,1829	-7,13**	-0,2758
Liczba ziarniaków/kłos Grain no. per spike	1	-0,3112	-0,15ns	-0,2155
Ogólna liczba pędów/roślina Total no. of stems per plant	B	0,2094	3,61**	0,1875
Liczba pędów-niedogonów/roślina No. of unmatured tillers per plant	B	-0,1966	-3,45**	-0,0992
Długość pędu — Length of stem	1	-0,0121	-4,13**	-0,0314
Liczba kłosków sterylnych Sterile spikelet no. per spike	1	-0,0118	-0,12ns	-0,0049
Długość kłosa — Length of spike	1	0,0137	0,26ns	0,0032
Liczba kłosków/kłos Spikelet no. per spike	1	-0,0005	-0,00ns	-0,0002
Liczba pędów produktywnych/roślina No. of productive tillers per plant	B			

B — oceny obciążone ze względu na zależności między cechami (współlinowość)

B — biased estimation because of the relationship between variables (collinearity)

ns — nie istotne, not significant

* istotne przy $\alpha = 0,05$; significant at $\alpha = 0.05$

** istotne przy $\alpha = 0,01$; significant at $\alpha = 0.01$

W celu określenia znaczenia poszczególnych cech w kształtowaniu się plonu przeprowadzono analizę liniowej funkcji regresji wielokrotnej z wyznaczeniem standaryzowanych cząstkowych współczynników regresji (tab. 7). W analizie tej, zmienną zależną była masa ziarniaków z rośliny, a zmiennymi przyczynowymi były pozostałe analizowane cechy. Ze względu na występujące współliniowości w ramach zmiennych przyczynowych, wartości cząstkowych współczynników regresji dla ogólnej liczby pędów z rośliny, liczby pędów niedogonów z rośliny oraz liczby pędów produktywnych były obciążone. Ocena standaryzowanych cząstkowych współczynników regresji (tab. 7) pozwoliła na określenie wagi poszczególnych cech w kształtowaniu się plonu ziarna z rośliny jęczmienia jarego odmiany Scarlett oraz linii DH. Najważniejszą składową plonu okazała się masa ziarniaków z kłosa ($\beta = 0,909$), następne w kolejności ważności były: liczba ziarniaków z rośliny ($\beta = 0,735$), liczba kłosków płodnych w kłosie ($\beta = -0,299$), masa 1 ziarniaka ($\beta = -0,276$), liczba ziarniaków z kłosa ($\beta = -0,216$), ogólna liczba pędów z rośliny ($\beta = 0,188$). Pozostałe cechy charakteryzowały się mniejszym udziałem w kształtowaniu się plonu ziarna z rośliny jęczmienia jarego odmiany Scarlett i linii DH potraktowanych łącznie (tab. 7).

DYSKUSJA

Na podstawie wyników z przeprowadzonych trzyletnich badań stwierdzono, że rośliny linii DH jęczmienia jarego, otrzymane na drodze androgenezy w kulturze *in vitro* z izolowanych mikrospor jęczmienia jarego odmiany Scarlett, w kolejnych pokoleniach wykazywały tendencję wyższego plonowania niż rośliny wzorcowej odmiany Scarlett. O wielkości plonu ziarna z rośliny decydowały — struktura morfologiczna rośliny wyrażona liczbą wytworzonych pędów w roślinie (ogólna krzewistość), w tym liczba pędów produktywnych (krzewistość produkcyjna) oraz struktura morfologiczna kłosa wyrażona długością kłosa, liczbą kłosków w tym liczbą kłosków płodnych w kłosie i liczbą wytworzonych ziarniaków w kłosie. Elementy strukturalne rośliny i kłosa zbóż określane w literaturze jako czynniki plonotwórcze, lub składowe plonu kształtują się podczas kolejnych faz rozwojowych rośliny (Łubkowski, 1968; Listowski, 1979; Kozdój, 1992; Kozdój, 1994; Klepper i in., 1998; Górny, 2004). Czynniki meteorologiczne, zwłaszcza średnia dobowa temperatura powietrza i suma temperatur powietrza oraz suma opadów w poszczególnych fazach wzrostu i rozwoju roślin może istotnie modyfikować czas trwania określonej fenofazy (Galant i Andruszczak, 2004), jak również warunkować kształtowanie się strukturalnych czynników plonotwórczych w aspekcie ilościowym, które w konsekwencji determinują finalną wielkość plonu ziarna z rośliny.

Z danych przedstawionych w niniejszej pracy wynika, że niższe średnie dobowe temperatury powietrza w połączeniu z większymi opadami wpłynęły, u badanych linii DH i odmiany Scarlett, na dłuższy czas trwania faz: krzewienia (2004 r.), strzelania w źdźbło (2008 r.) i dojrzałości woskowej (2004 r.). Natomiast niższe temperatury powietrza w połączeniu z mniejszym poziomem opadów wpłynęły na wyraźne skrócenie czasu trwania fazy dojrzałości mleczej (2004 r.) w porównaniu z wpływem wyższej temperatury i

większego poziomu (2007 r.) lub mniejszego poziomu opadów, co miało miejsce w 2008 roku. Zatem zmienne warunki pogodowe w poszczególnych fenofazach obserwowane w latach badań wpłynęły modyfikująco na krzewistość ogólną i produkcyjną rośliny (ogólną liczbę pędów, liczbę pędów produktywnych), długość pędu oraz na liczbę wytworzonych ziarniaków w kłosie jęczmienia jarego zarówno linii DH, jak i wzorcowej odmiany Scarlett.

W literaturze mocno akcentowane jest znaczenie wpływu czynników pogodowych, określane jako rok badań, na przebieg wzrostu i rozwoju roślin jak i kształtowanie się czynników plonotwórczych i wielkość plonu ziarna jęczmienia (Filipiak i in., 1990; Garcia del Moral i Garcia del Moral, 1995; Zbroszczyk i Nowak, 2009; Nurminiemi i in., 2002; Gozdowski i in., 2007 a; Łubkowski 1968). Jęczmień jary należy do roślin o szerokim zasięgu klimatycznym i ma duże możliwości adaptacyjne do warunków pogodowych (Nowicka, 1993). Nowicka (1993) podaje, że średnie dobowe temperatury (°C/dekada) optymalne dla jęczmienia jarego uprawianego na kompleksie glebowym żytnim w rejonie Centralnej Polski w określonych fenofazach wynoszą: 7,5 (jedna dekada przed siewem), 8,5 (siew — wschody), 4,4 (wschody — krzewienie), 11,6 (krzewienie — kłoszenie) 18,0 (kłoszenie — dojrzałość woskowa). Zdaniem autorki, niższe średnie dobowe temperatury w okresie od kłoszenia do dojrzałości woskowej są korzystnymi dla plonu ziarna jęczmienia jarego (Nowicka, 1993). Na plonowanie jęczmienia jarego najsilniej oddziaływały zmiany temperatur w okresie od kłoszenia do dojrzałości woskowej (największa wrażliwość na maksymalne temperatury) i od krzewienia do kłoszenia (największa wrażliwość na minimalne temperatury) (Nowicka, 1993). Drugim czynnikiem pogodowym, który miał największy wpływ na plonowanie jęczmienia jarego w Centralnej Polsce na glebach żytnich były opady w okresie przed siewem i od wschodów do kłoszenia (Panek, 1993). Dla rejonu Centralnej Polski wykazano dodatnie współdziałanie opadów w okresie od siewu do wschodów, od wschodów do krzewienia, od krzewienia do kłoszenia i od kłoszenia do dojrzałości woskowej na plonowanie jęczmienia jarego (Panek, 1993). Z badań Zbroszczyka i Nowaka (2009) wynika, że podczas chłodnego roku z nadmiernym poziomem opadów uzyskano wyższe wartości: liczby kłosów produktywnych na jednostce powierzchni, współczynnika krzewienia produkcyjnego, zaś niższe wartości: liczby ziaren w kłosie, masy tysiąca ziaren, masy ziarna z kłosa trzech odmian jęczmienia jarego pastewnego.

Uzyskane wyniki wskazują, że wielkość plonu ziarniaków z kłosa, jak również plon ziarniaków z rośliny, były istotnie wyższe u linii DH niż u odmiany wzorcowej Scarlett. Czynnikiem najsilniej skorelowanym z plonem ziarna była liczba pędów produktywnych w roślinie. W literaturze cytuje się różne nazewnictwo takie jak np. liczba kłosów produktywnych na jednostce powierzchni (Zbroszczyk i Nowak, 2009), liczba kłosów na 1 m² (Garcia del Moral i Garcia del Moral, 1995; Gozdowski i in., 2007 a; Gozdowski i in., 2008), liczba pędów dojrzałych w roślinie (Kozdój i Oleszczuk, 2006) lub jako rozkrzewienie produkcyjne (Lisowska, 2006) i jest ona uważana za ważny strukturalny czynnik plonotwórczy decydujący o wielkości łącznego plonu ziarna (Kozdój i Oleszczuk, 2006; Lisowska, 2006; Gozdowski i in., 2007 a; Gozdowski i in., 2008). Z danych prezentowanych w niniejszej pracy wynika, że liczba pędów produktywnych stanowiła 79%, zaś liczba niedogonów — 21% ogólnej liczby pędów wytworzonych przez roślinę

(średnia z trzech lat). W zależności od roku badań udział pędów produktywnych w ogólnej liczbie pędów w roślinie DH i odmiany Scarlett, wahał się od 60% (2004 r.) do 81%–83% (w dwóch kolejnych latach). Przytoczone dane wskazują na nie wykorzystany strukturalny potencjał plonotwórczy przez rośliny jęczmienia wyrażony procentowym udziałem liczby pędów produktywnych oraz liczby niedogonów w ogólnej liczbie wytworzonych pędów przez roślinę. Wysoki odsetek liczby niedogonów i pędów suchych pośrednio świadczy o silnej dominacji wierzchołkowej pędów głównego i kilku bocznych pędów wytworzonych w okresie wczesnej fazy krzewienia w stosunku do pędów tworzących się w późniejszej fazie krzewienia. Z wcześniejszych badań wynika, że w obrębie dziesięciu linii DH jęczmienia jarego występowały istotne różnice pod względem liczby dojrzałych pędów kłosonośnych (Kozdój i Oleszczuk, 2006). Zaobserwowana zmienność w liczbie pędów poszczególnych kategorii pomiędzy latami (jak i pomiędzy liniami w danym roku badań — nie przedstawiono) wynikała z oddziaływania czynników środowiska, w tym średniej dobowej temperatury powietrza i poziomu opadów, na przebieg wzrostu i rozwoju roślin jęczmienia jarego podczas fazy krzewienia. Dane literaturowe wskazują na występowanie zmienności liczby kłosów jęczmienia jarego na m² w latach (Garcia del Moral i Garcia del Moral, 1995; Gozdowski i in., 2007 a; Gozdowski i in., 2008).

Z przeprowadzonych badań własnych wynika, że liczba ziarniaków z kłosa i z rośliny oraz jednostkowa masa ziarniaka determinowały wielkość uzyskanego plonu ziarna z kłosa i z rośliny zarówno u linii DH, jak i u odmiany Scarlett. Podobne wyniki przedstawiają inni autorzy (Lisowska, 2006; Gozdowski i in., 2007 a; Gozdowski i in., 2007 b; Gozdowski i in., 2008; Kozdój i Oleszczuk, 2006).

Masa ziarniaków z kłosa jęczmienia jarego linii DH i odmiany Scarlett charakteryzowała się istotnym i dodatnim współczynnikiem korelacji (współzależność wprost proporcjonalna) z liczbą ziarniaków oraz z jego jednostkową masą, lecz w tym przypadku siła współzależności była mniejsza. Podobne zależności przedstawili Lisowska (2006), Kozdój i Oleszczuk (2006). Odmienne wyniki uzyskali Gozdowski i wsp. (2008). W cytowanej pracy zależności między liczbą ziarniaków w kłosie a masą tysiąca ziarniaków były ujemne i istotne.

Długość kłosa u linii DH i odmiany Scarlett była podobna i cechowała się istotną korelacją z liczbą kłosków. Nie wykazano istotnej zależności między ogólną liczbą kłosków w kłosie a liczbą ziarniaków w kłosie.

Uzyskane wyniki wskazują, że homozygotyczne linie DH jęczmienia jarego, otrzymane na drodze androgenezy z izolowanych mikrospor, analizowane w kolejnych pokoleniach (latach) mogą się istotnie różnić pod względem struktury morfologicznej rośliny (wysokość pędu, liczba pędów w roślinie) i kłosa (długość kłosa i liczba kłosków) oraz plonem ziarna z kłosa i rośliny w porównaniu do odmiany wzorcowej. Także linie DH badane w trzech kolejnych latach cechowały się zróżnicowanym zakresem wartości współczynników zmienności dla poszczególnych cech morfologicznych oraz plonotwórczych (determinujących wielkość plonu ziarna z kłosa i rośliny). Brak jest w dostępnym piśmiennictwie danych dotyczących struktury morfologicznej rośliny i plonowania różnych, homozygotycznych linii DH jęczmienia jarego otrzymanych na drodze androgenezy z izolowanych mikrospor, a ocenianych na wczesnych etapach selekcji

pojedynków w obrębie poszczególnych linii. Wyniki badań uzyskane przez Rogalską i wsp. (1997) wskazują jednoznacznie, że poszczególne linie DH pszenżyta ozimego otrzymane na drodze androgenezy oraz kultury *in vitro* niedojrzałych zarodków w wyniku krzyżowania pszenżyta z kukurydzą były zróżnicowane pod względem plonu i długości źdźbła w porównaniu z wyjściową odmianą Bogo. Linie DH pszenicy jarej wyprowadzone na drodze oddalonego krzyżowania roślin F_1 (z krzyżówek: Eta $\times$ Darkhan 15 oraz Eta $\times$ Sigma) z kukurydzą nie różniły się pod względem cech struktury plonu: liczby źdźbeł kłosonośnych, liczby ziaren z rośliny, masy ziaren z rośliny i masy tysiąca ziaren od linii SSD otrzymanych metodą pojedynczego nasiona (SSD — single seed descent) (Guzy-Wróbelska i in., 2001). Wcześniejsze jednoroczne badania (Kozdój i Oleszczuk, 2006) prowadzone na dziesięciu liniach DH jęczmienia jarego wyprowadzonych z wyjściowej odmiany Scarlett wykazały, że zmienność strukturalnych cech plonotwórczych determinujących uzyskany plon ziarna z kłosa i rośliny wynikał ze zróżnicowanej reakcji homozygotycznych roślin linii DH na współdziałanie czynników genetycznych z czynnikami środowiskowymi (efekt epigenetyczny).

Przedstawione w pracy wyniki dotyczące zróżnicowanej, w trzech latach badań, zmienności cech struktury morfologicznej rośliny (wysokość pędu, liczba pędów w roślinie) i kłosa (długość kłosa i liczba kłosków) oraz wielkości uzyskanego plonu ziarna z kłosa i z rośliny jęczmienia jarego, pomiędzy homozygotycznymi liniami DH i odmiany wyjściowej Scarlett, wynikają ze współdziałania czynników genetycznych z czynnikami środowiskowymi (efekt epigenetyczny).

WNIOSKI

1. Strukturalny potencjał plonotwórczy rośliny jęczmienia jarego wyrażony liczbą pędów wytworzonych w roślinie był podobny u linii DH, jak i u odmiany wzorcowej Scarlett.
2. Strukturalny potencjał plonotwórczy kłosa jęczmienia jarego wyrażony liczbą kłosków płodnych równy liczbie wytworzonych ziarniaków był wyższy u linii DH w porównaniu z odmianą wzorcową Scarlett.
3. Wielkość plonu ziarniaków z rośliny jęczmienia jarego była determinowana liczbą pędów produktywnych w roślinie zarówno u linii DH, jak i u odmiany wzorcowej Scarlett.
4. Plon ziarniaków z kłosa jęczmienia jarego, zarówno u linii DH jak i u odmiany wzorcowej Scarlett był w większym stopniu determinowany liczbą ziarniaków w kłosie niż jego masą jednostkową.
5. Linie DH wytworzyły większy o 47,6% plon ziarniaków z rośliny w wyniku większej o 11% liczby wytworzonych ziarniaków w kłosie i większej o 14,7% jednostkowej masy pojedynczego ziarniaka w porównaniu z odmianą wzorcową Scarlett.

LITERATURA

- Box G. E. P., Hunter J. S., Hunter W. G. 2005. Statistics for Experimenters — Design, Innovation, and Discovery. 2nd Edition. New Jersey, USA: Wiley and Sons Inc.
- Cochran W. G., Cox G. M. 1992. Experimental design. Hoboken, USA: John Wiley & Sons Inc.

- Filipiak K., Król M., Pecio A. 1990. Interpretacja wyników doświadczeń typu 2n-m z jęczmieniem jarym o zwiększonej zawartości białka. Pam. Puł. 96: 7 — 20.
- Forster B. P., Heberle-Bors E., Kasha K. J., Touraev A. 2007. The resurgence of haploids in higher plants. Trends in Plant Science, 12,5: 368 — 375.
- Galant H., Andruszczak S. 2004. Wpływ warunków meteorologicznych na długość międzyfaz żyta ozimego. Annales UMCS, Sec. E, 59, 2: 833 — 838.
- Garcia del Moral M. B., Garcia del Moral L. F. 1995. Tiller production and survival in relation to grain yield in winter and spring barley. Field Crops Res. 44: 85 — 93.
- Gozdowski D., Wyszyński Z., Kalinowska-Zdun M. 2007 a. Plon i składowe plonu jęczmienia jarego oplewionego i nagoziarnistego. Fragm. Agronom. (XXIV) nr 2 (94): 110 — 118.
- Gozdowski D., Kozak M., Kang M. S., Wyszyński Z. 2007 b. Dependence of grain weight of spring barley genotypes on traits of individual stems. J. Crop Improv. 20, 1–2: 223 — 233.
- Gozdowski D., Mądry W., Wyszyński Z. 2008. Analiza korelacji i współczynników ścieżek w ocenie współzależności plonu ziarna i jego składowych u dwóch odmian jęczmienia jarego. Biul. IHAR 248: 23 — 31.
- Górny A. G. 2004. Zarys genetyki jęczmienia (*Hordeum vulgare* L.). W: Zarys genetyki zbóż. Praca zbiorowa pod red. A. G. Górnego. T. 1: 15 — 80.
- Guzy-Wróbelska J., Szarejko I., Nawrot M., Madajewska M. 2001. Analiza agrobotaniczna podwojonych haploidów pszenicy uzyskanych w krzyżowaniu oddalonym z kukurydzą. Biotechnologia, 2, (53): 72 — 79.
- Kalbarczyk R. 2003. Warunki termiczno-opadowe a plonowanie ziemniaka w Polsce. Annales UMCS, Sec. E, 58: 35 — 44.
- Klepper B., Rickman R. W., Waldman S., Chevalier P. 1998. The physiological life cycle of wheat: Its use in breeding and crop management. Euphytica 100: 341 — 347.
- Kozdój J. 1992. Wpływ wybranych czynników środowiska na morfogenezę kłosa i potencjał plonotwórczy zbóż. Biul. IHAR 183: 59 — 71.
- Kozdój J. 1994. Wzrost i rozwój rośliny zbożowej – badania botaniczne a praktyka rolnicza. Biul. IHAR., 192: 3 — 21.
- Kozdój J., Oleszczuk S. 2006. Analiza zmienności cech plonotwórczych kłosa i rośliny linii podwojonych haploidów jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.). W: Adamski T., Surma M. (red). Haploidy i linie podwojonych haploidów w genetyce i hodowli roślin. IGR PAN Poznań.: 109 — 117.
- Lisowska M. 2006. Współzależności pomiędzy cechami plonotwórczymi wybranych form jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.). Biul. IHAR 240/241: 91 — 97.
- Listowski A. 1979. Agrofizjologiczne podstawy produktywności roślin. PWN. Warszawa.
- Łubkowski Z. 1968. Jęczmień. Wydanie II. PWRiL, Warszawa.
- Muller K. E., Fetterman B. A. 2003. Regression and ANOVA, an Integrated Approach Using SAS Software. New York, USA: SAS Publishing, SAS Institute Inc., John Wiley & Sons Inc.
- Nowicka A. 1993. Temperatura. W: Czynniki plonotwórcze – plonowanie roślin. Pod red. J. Dzieżycy: 99 — 148.
- Nurminiemi M., Madsen S., Rongli O.A., Bjornstad A. Ortiz R. 2002. Analysis of the genotype-by-environment interaction of spring barley tested in the Nordic Region of Europe: Relationships among stability statistics for grain yield. Euphytica 127: 123 — 132.
- Oleszczuk S., Sowa S., Zimny J. 2006. Androgenic response to preculture stress in microspore cultures of barley. Protoplasma 228: 95 — 100.
- Panek K. 1993. Opady. W: Czynniki plonotwórcze – plonowanie roślin. Pod red. J. Dzieżycy: 149 — 193.
- Pickering R. A., Devaux P. 1992. Haploid production: Approaches and use in plant Breeding. In: Shewry P.R. editors, Barley: Genetics, biochemistry, molecular biology and biotechnology. CAB International, Oxford: 519 — 547.
- Rawlings J. O., Pantula S. G., Dickey D. A. 2001. Applied Regression Analysis — a Research Tool. 2nd Edition. New York, USA: Springer Verlag Inc.

- Rogalska S., Mikulski W., Dopierała P., Dopierała A. 1997. Charakterystyka plonowania linii DH pszenżyta ozimego ($2n=6x=42$) (*X Triticosecale* Wittmack) (Doniesienie). Zesz. Nauk. AR Szczecin, 175, Rolnictwo 65: 355 — 358.
- SAS Institute Inc. 2009 a. Base SAS 9.2 Procedures Guide: Statistical Procedures, 2nd Edition. Cary, NC, USA: SAS Publishing, SAS Institute Inc.
- SAS Institute Inc. 2009 b. SAS/STAT 9.2 User's Guide, 2nd Edition. Cary, NC, USA: SAS Publishing, SAS Institute Inc.
- Skowera B., Puła J. 2004. Skrajne warunki pluwiometryczne w okresie wiosennym na obszarze Polski w latach 1971-2000. Acta Agrophysica 3 (1): 171 – 177.
- Wójcik A. R., Laudański Z. 1989. Planowanie i wnioskowanie statystyczne w doświadczałnictwie. Warszawa: PWN.
- Zadoks J. C., Chang T. T., Konzak C. F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. EUCARPIA Bulletin. Vol. 7: 42 — 52.
- Zbroszczyk T., Nowak W. 2009. Wpływ poziomu ochrony i nawożenia azotem na plonowanie i skład chemiczny ziarna kilku odmian jęczmienia jarego pastewnego. Część I. Plonowanie. Biul. IHAR 251: 137 — 144.

MALGORZATA GOŁĘBIEWSKA¹EDWARD WRÓBEL²¹ Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin Radzików, Oddział w Młochowie² Katedra Agrotechnologii i Zarządzania Produkcją Roślinną, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Nawożenie azotem a plon i jakość roślin kukurydzy z przeznaczeniem na zakiszenie

Effect of nitrogen fertilization on yield and quality of whole maize plants for silage

W pracy przedstawiono wyniki trzyletnich badań przeprowadzonych w latach 2003–2005 w Zakładzie Produkcyjno-Doświadczalnym w Bałcynach. Badania dotyczyły wpływu zróżnicowanego nawożenia azotem: 0 (kontrola), 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270 kg N·ha⁻¹ na plonowanie dwóch odmian kukurydzy: Junak (FAO 210-220) i Boruta (FAO 230-240) uprawianych z przeznaczeniem na kiszonkę z całych roślin. Wykazano, że plon surowca kiszonkarskiego był determinowany warunkami pogodowymi w poszczególnych latach badań. W warunkach Polski północno-wschodniej badane odmiany Junak i Boruta, plonowały na wysokim i bardzo zbliżonym poziomie, dając plon suchej masy roślin odpowiednio 171,9 dt·ha⁻¹ i 170,0 dt·ha⁻¹. Dawka 150 kg N·ha⁻¹ w uprawie kukurydzy kiszonkowej okazała się najbardziej plonotwórcza i jednocześnie uzyskany plon charakteryzował się korzystnym udziałem kolb. Systematyczny wzrost plonu białka następował do dawki 240 kg N·ha⁻¹, a plon energii brutto do dawki 150 kg N·ha⁻¹. Zwiększenie nawożenia azotem do 270 N·ha⁻¹ powodowało przyrost zawartości białka ogółem w roślinach. Wzrost nawożenia azotem zdecydowanie obniżał zawartość tłuszczu i włókna surowego w surowcu kiszonkarskim, wpływ dawki był zmienny.

Słowa kluczowe: białko ogółem, kukurydza, nawożenie azotem, odmiana, plon świeżej masy, plon suchej masy, plon energii brutto,

The results are presented of the 3-years field trials conducted in 2003-2005 in the Production - Experimental Station in Bałcyny. The research aimed at evaluation of the effects of different doses of nitrogen fertilization: 0 (the control), 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270 kg N·ha⁻¹ on yields of two maize cultivars: Junak (FAO 210-220) and Boruta (FAO 230-240) grown for silage. The yield of silage raw material was determined by weather conditions in the years of study. In the conditions of North-East Poland dry matter yields of the cultivars Junak and Boruta were similar and relatively high: 171,9 dt·ha⁻¹ and 170,0 dt·ha⁻¹, respectively. The dose of 150 N kg·ha⁻¹ in cultivation of the silage maize caused the highest yield increase characterized also by a favourable participation of cobs. A gradual increase of protein yield was observed up to the N dose 240kg ha⁻¹, and the yield of brutto energy grew up to the N dose 150 kg·ha⁻¹. The increase of nitrogen fertilization to 270·ha⁻¹ caused an increase of total protein content. The increased nitrogen fertilization reduced the content of fat and raw fibre in silage material, however the effect of N dose was variable.

Key words: brutto energy, cultivar, dry matter, green matter, nitrogen fertilization, maize yield, total protein

WSTĘP

Kukurydza zwyczajna (*Zea mays* L.) należy do najcenniejszych i najbardziej wydajnych roślin pastewnych uprawianych na świecie, w tym również i w Polsce (Dubas i Michalski, 2002). Jest surowcem wykorzystywanym do produkcji pasz objętościowych, które stanowią podstawowe źródło składników pokarmowych w zimie, a także coraz częściej w całorocznym żywieniu zwierząt przeżuujących (Bodarski i in., 2005). Wiodącą paszą całorocznego zestawu pokarmowego jest zazwyczaj kiszonka z całych roślin kukurydzy. Jednym z istotnych warunków uprawy kukurydzy na kiszonkę z całych roślin jest właściwy dobór odmian. Podstawowymi kryteriami doboru odmian do użytkowania kiszonkowego są ich wczesność i poziom plonowania, które wpływają na ogólny plon suchej masy oraz zawartość składników pokarmowych (Sulewska, 1997, Dubas i Michalski, 2002). W warunkach klimatycznych Polski mieszańce przeznaczone na kiszonkę z całych roślin powinny być na tyle wczesne, aby ich ziarno osiągało w sezonie wegetacyjnym dojrzałość przynajmniej woskową. Należy jednak pamiętać, iż właściwości genetyczne mieszańca nie dają 100% gwarancji sukcesu procesu produkcyjnego, który jest kształtowany w dużym stopniu nawożeniem mineralnym. Elementarnym celem nawożenia jest zapewnienie roślinom odpowiedniej ilości składników pokarmowych dla wytworzenia plonu bez pogorszenia jego jakości. Spośród składników nawozowych za najbardziej plonotwórczy uznawany jest azot. Nawożenie azotem kukurydzy powinno być ściśle dopasowane do jej wymagań zarówno pod względem wielkości dawki, formy nawozu azotowego, terminu i sposobu aplikacji (Lipski, 2000).

Celem przeprowadzonych badań była ocena wpływu rosnących dawek azotu na plonowanie oraz wartość pokarmową dwóch odmian mieszańcowych kukurydzy z przeznaczeniem na kiszonkę z całych roślin, uprawianych w warunkach Polski północno-wschodniej.

MATERIAŁ I METODY

Badania polowe wykonano w Zakładzie Produkcyjno Doświadczalnym w Bałczynach k. Ostródy w latach 2003–2005, a materiałem badawczym była kukurydza (*Zea mays* L.). Doświadczenia prowadzono w układzie „split-plot” z 2 czynnikami, w 4 powtórzeniach. Czynnikiem 1. rzędu były dwie mieszańcowe odmiany kukurydzy różniące się wczesnością dojrzewania (FAO): wczesna — Junak (FAO 210–220) i średnio wczesna — Boruta (FAO 230–240); czynnikiem 2- rzędu było 9 dawek azotu, które zwiększano co 30 kg N·ha⁻¹ (od 30 do 270 kg N·ha⁻¹) na tle kontroli (bez nawożenia azotem). Azot (w formie mocznika 46%) w dawkach od 30 do 120 kg·ha⁻¹ aplikowano przedsiewnie, natomiast dawki wyższe — od 150 do 270 kg·ha⁻¹ — stosowano w dwóch terminach — 120 kg przedsiewnie, a resztę pogłównie w stadium 6 liści (skala BBCH — 16). Nawożenie P i K wykonano przedsiewnie w dawkach: 52,4 kg P·ha⁻¹ w formie superfosfatu potrójnego (46% P₂O₅) i 149,5 kg K·ha⁻¹ w formie soli potasowej (60% K₂O). Gęstość wysiewu ustalono w oparciu o parametry jakościowe materiału siewnego, przyjmując obsadę 12 roślin·m⁻² po wschodach. Kukurydzę pielęgnowano chemicznie; przed zwarciem rzędów wykonano

oprysk herbicydem Atrasan 500 SC (atrazyna — 500 g/dm^3) w ilości $2 \text{ dm}^3/\text{ha}$. Zbiór roślin na kiszonkę przeprowadzono w fazie dojrzałości woskowej ziarna. W monecie osiągnięcia przez rośliny dojrzałości technologicznej na próbie 10 roślin, pobranej losowo z każdego poletka, określono wysokość roślin, liczbę kolb na roślinie, udział kolb, liści i łodyg w świeżej masie roślin. Następnie rośliny wysuszono do absolutnie suchej masy w celu ustalenia procentowej zawartości suchej masy w całej roślinie oraz jej organach. Obliczono plon suchej masy roślin.

Do badań laboratoryjnych jakości surowca kiszonkarskiego pobrano 100 gramową reprezentatywną próbę, pochodzącą z materiału zsypanego z 4 powtórzeń z dwóch pierwszych sezonów wegetacyjnych (lata 2003 i 2004).

Ocenę jakościową plonu przeprowadzono następującymi metodami:

- dla obliczenia zawartości białka i plonu białka określono zawartość azotu (metoda wg PN-EN ISO 5983-1:2006), mnożąc określoną po hydrolizie, destylacji i miareczkowaniu zawartość azotu ogólnego przez współczynnik 6,25,
- tłuszcz surowy metodą Soxhleta, poprzez ekstrakcję tłuszczu z wysuszonego i rozdrobnionego materiału,
- włókno surowe metodą Hannenberga-Stohmanna,
- popiół surowy, metodą standardową,
- związki bezazotowe wyciągowe, przez odjęcie od 100% zawartości związków oznaczonych metodami laboratoryjnymi,
- wartość energetyczną (koncentrację energii) oznaczono w kalorymetrze KL 6, poprzez spalanie próbek w tlenie w bombie kalorymetrycznej.

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie wykorzystując analizę wariancji, a różnice graniczne oszacowano za pomocą testu T-Duncana dla błęd $\alpha = 5\%$.

Doświadczenie prowadzono na glebie płowej typowej, wytworzonej z gliny lekkiej klasy bonitacyjnej IIIa, należącej do 2. kompleksu przydatności rolniczej. Zasobność gleby w składniki pokarmowe i jej kwasowość przedstawia tabela 1.

Tabela 1

Warunki glebowe w Balcynach w latach 2003–2005
Soil conditions at Balcyny in 2003–2005

Lata Years	Zawartość składników w warstwie ornej — Content of components in arable layer					pH w KCl pH in KCl
	N-NH ₄	N-NO ₃	P	K	Mg	
	mg·kg ⁻¹ gleby — mg·kg ⁻¹ of soil					
2003	17,0	31,0	78,0	145,0	94,0	6,4
2004	13,0	26,0	70,0	146,0	85,0	6,6
2005	16,0	32,0	74,0	154,0	78,0	6,5

Warunki termiczne w latach prowadzenia badań były sprzyjające dla wzrostu i rozwoju kukurydzy (tab. 2). Natomiast korzystne warunki wilgotnościowe w początkowym okresie wegetacji roślin wystąpiły jedynie w 2004 roku. W pozostałych latach, miesięczny rozkład sum opadów w okresie wegetacji kukurydzy znacznie odbiegał od sum zanotowanych w wieloleciu, a okresy suszy wystąpiły w czerwcu 2005 roku oraz w sierpniu i wrześniu (2003 i 2005).

Tabela 2

Charakterystyka warunków pogodowych w okresie wegetacji w latach 2003–2005 i średnie z wielolecia 1961–2000**Characteristics of climatic conditions of the vegetation periods 2003–2005 and long term means from the period of 1961–2000**

Wyszczególnienie Specification	Rok Year	Miesiące — Months							
		IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
Średnia dobową temperaturę (°C) Mean daily temperature (°C)	2003	6,1	14,2	16,5	18,9	17,3	13,7	4,8	
	2004	8,9	11,8	15,3	17,0	19,2	14,2	10,5	
	2005	8,2	11,6	14,2	19,7	16,9	18,1	10,5	
Wielolecie 1961–2000 Period of 1961–2000		7,0	12,5	15,8	17,2	16,8	12,6	8,1	
Suma opadów (mm) Rainfall sum (mm)	2003	23,6	78,6	60,7	118,2	34,9	19,1	66,1	
	2004	51,5	87,1	90,6	78,8	89,3	41,9	77,6	
	2005	22,0	68,2	35,4	83,9	39,6	17,9	19,3	
Wielolecie 1961–2000 Period of 1961–2000		35,4	57,6	69,5	81,6	75,2	59,0	53,5	

WYNIKI I DYSKUSJA

Wysokość roślin była zależna od układu czynników pogodowych w poszczególnych latach. W 2004 i 2005 roku wartość zbonitowanej cechy wynosiła odpowiednio 191,2 cm i 206,2 cm i mieściła się w jednym przedziale istotności (NIR $\alpha = 0,05$: lata — 16,5).

Tabela 3

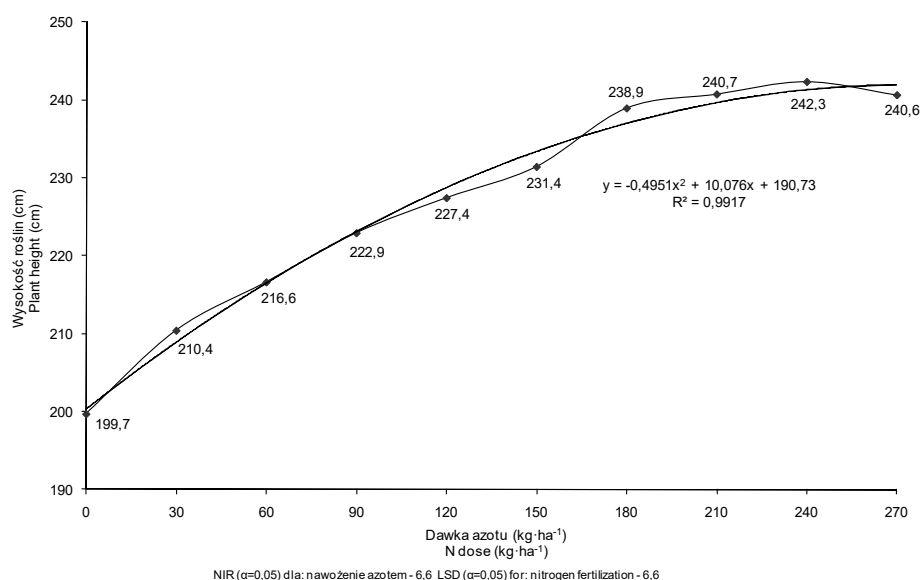
Wpływ nawożenia azotem na wysokość roślin i liczbę kolb na 10 roślinach odmian kukurydzy w latach 2003–2005**Effect of nitrogen fertilization on plant height and number of cobs on 10 plants of the maize cultivars in 2003–2005**

Odmiana Cultivar	Poziom nawożenia azotem (kg N·ha ⁻¹) — Nitrogen fertilization level, kg N·ha ⁻¹										Średnia Mean
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	
Wysokość roślin — Plant height, cm											
Junak	202,9	215,5	220,3	227,2	234,6	233,8	245,0	246,0	248,5	245,1	231,9
Boruta	196,5	205,4	212,9	218,7	220,3	229,1	232,8	235,4	236,1	236,1	222,3
$\bar{x}$	199,7	210,4	216,6	222,9	227,4	231,4	238,9	240,7	242,3	240,6	—
NIR _{0,05} — LSD _{0,05} dla — for:											
odmiany — cultivar — 5,3											
nawożenia azotem — nitrogen fertilization — 6,6											
odmiany × nawożenia azotem — cultivar × nitrogen fertilization — różnice nieistotne — non-significant differences											
Liczba kolb na 10 roślinach — Number of cobs on 10 plants											
Junak	9,3	9,3	9,8	9,8	9,8	10,1	9,8	9,8	10,2	10,1	9,8
Boruta	9,3	9,4	9,3	9,8	9,8	9,6	10,1	10,4	10,2	9,8	9,7
$\bar{x}$	9,3	9,3	9,5	9,8	9,8	9,8	9,9	10,1	10,2	9,9	—
NIR _{0,05} — LSD _{0,05} dla — for:											
odmiany — cultivar — różnice nieistotne — non-significant differences											
nawożenia azotem — nitrogen fertilization — 0,5											
odmiany × nawożenia azotem — cultivar × nitrogen fertilization — różnice nieistotne — non-significant differences											

W 2003 roku, rośliny były wyższe. Badane odmiany kukurydzy różniły się wysokością, a różnica była statystycznie istotna na poziomie $\alpha = 0,05$. Średnio za trzy lata, dłuższą (o

9,6 cm) łodygę wykształciły rośliny wczesnej odmiany Junak, w porównaniu do średnio wczesnego mieszańca Boruta (tab. 3).

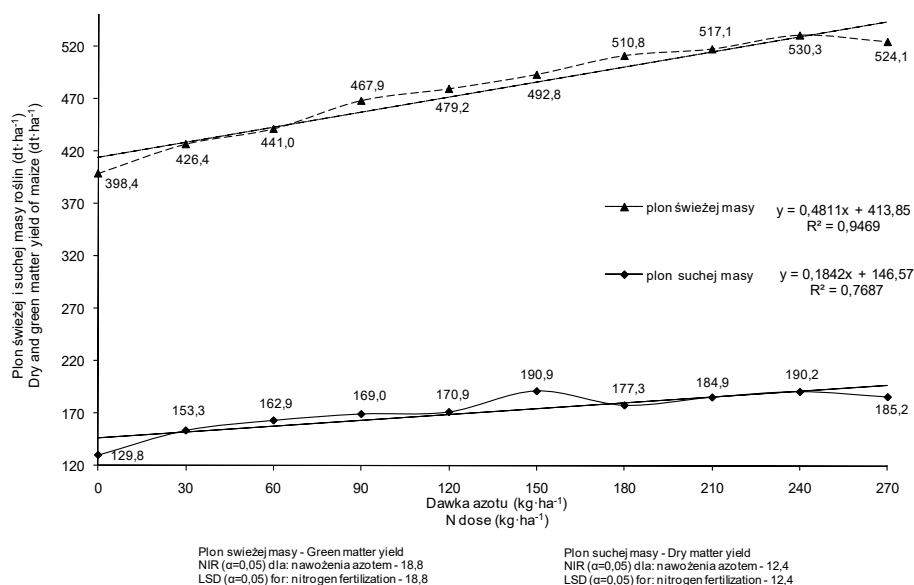
Uzyskane wyniki znajdują potwierdzenie w charakterystyce odmian COBORU (Lista Opisowa Odmian, 2002). Azot istotnie stymulował wydłużanie łodyg, powodując wzrost wysokości roślin w stosunku do kontroli. Silniejszy przyrost występował w niższym zakresie dawek, a od 180 do 240 kg N·ha⁻¹ różnice były bardzo niewielkie. Wzrost poziomu nawożenia do 270 kg N·ha⁻¹ spowodował nieistotne skrócenie łodyg.



Rys. 1. Wpływ nawożenia azotem na wysokość roślin (cm)
Fig. 1. Effect of nitrogen fertilization on plant height (cm)

Liczba kolb na 10 roślinach badanych form mieszańcowych kukurydzy nie była różnicowana przez czynnik odmianowy i była statystycznie podobna (tab. 3). Istotny wpływ na tę cechę wywarło nawożenie azotem. Każda aplikowana dawka N, za wyjątkiem 30 kg N·ha⁻¹ na której otrzymano taką samą liczbę kolb jak z obiektu bez azotu (średnio 9,3 szt.), powodowała wzrost ich liczby. Wyliczona analiza wariancji wskazuje na istotny przyrost liczby kolb na roślinie dopiero po zastosowaniu azotu w ilości 90 kg·ha⁻¹, dalsze nawożenie w zakresie dawek 120–270 kg N·ha⁻¹ wpłynęło na zwiększanie liczby kolb na roślinie, ale analizowane średnie mieściły się w jednym przedziale istotności (NIR $\alpha = 0,05$: nawożenie azotem — 0,5). Najwięcej kolb na 10 roślinach zawiązała kukurydza nawożona 240 kg N·ha⁻¹ (średnio 10,2 kolby). W badaniach własnych nie wykazano wpływu współdziałania nawożenia N i lat na obie badane cechy morfologiczne odmian kukurydzy, co pozwoliło na prezentację i analizę średnich trzyletnich.

Jednym z ważniejszych kryteriów oceny przydatności kukurydzy do uprawy na kiszonkę z całych roślin jest plon świeżej i suchej masy, który był istotnie różny w latach. Najwyższy plon świeżej i suchej masy uzyskano w roku 2003 (odpowiednio 543,6 i 202,9 dt z ha). W drugim roku badań (2004) plon zielonej masy kukurydzy przewyższał o 2,4% plon uzyskany w roku 2005 (441,0 dt z ha), jednak sytuacja diametralnie zmieniła się w przypadku plonu suchej masy roślin (odpowiednio 124,4 i 187,0 dt z ha), co mogło być powodowane wyższą sumą opadów i niższymi średnio dobowymi temperaturami w początkowym okresie wegetacji roślin w roku 2004, przez co akumulowały one znacznie więcej wody. W przeprowadzonych badaniach stwierdzono istotnie różne możliwości plonotwórcze dwóch odmian kukurydzy. Chociaż plon świeżej masy odm. Boruta o 22 dt·ha⁻¹ przewyższał plon odm. Junak (467,8 dt·ha⁻¹), to plon suchej masy odm. Junak był wyższy o 0,9 dt·ha⁻¹ niż Boruta (171,0 dt·ha⁻¹). Uzyskane wyniki potwierdzają opinię Dubasa (1995) i Sulewskiej (1997), w badaniach których niższe plony otrzymano z uprawy mieszańców wczesnych. Biorąc pod uwagę średnie obiektywne dla nawożenia regularny wzrost plonu świeżej masy kukurydzy notowano aż do dawki 240 kg N·ha⁻¹, plonu suchej masy do 150 kg N·ha⁻¹ (rys. 2) i na tych dawkach azotu osiągnięto maksimum (530,3 dt·ha⁻¹ świeżej i 190,9 dt·ha⁻¹ suchej masy).

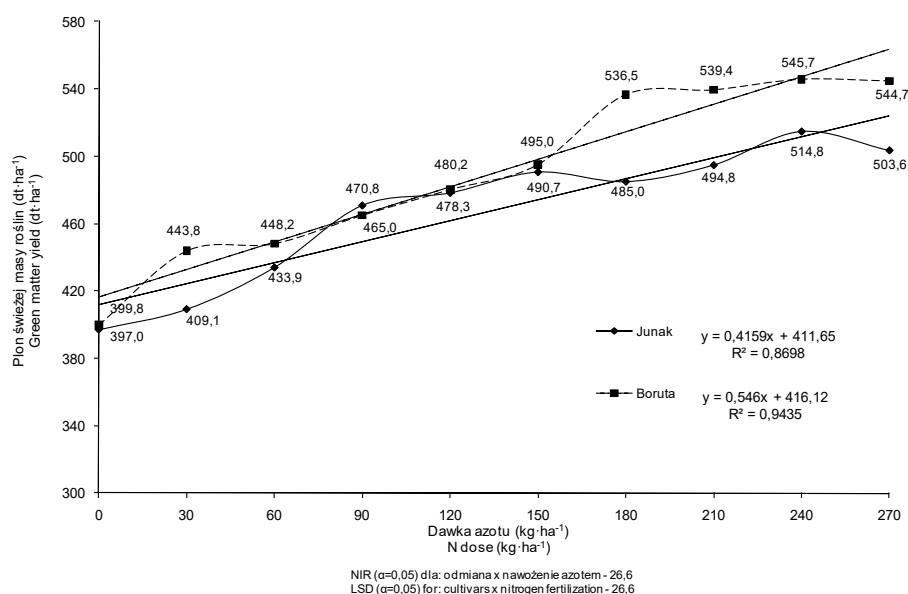


Rys. 2. Wpływ nawożenia azotem na plon świeżej i suchej masy roślin kukurydzy (dt·ha⁻¹)
 Fig. 2. Effect of nitrogen fertilization on green and dry matter yield of maize (dt·ha⁻¹)

Najwyższy przyrost plonu świeżej i suchej masy wystąpił po zastosowaniu N w ilości 30 kg·ha⁻¹. Różnica była istotna, co w wolumenie plonu stanowiło odpowiednio 28,0 i 23,5 dt z ha. Każde następne zwiększenie dawki o 30 kg N·ha⁻¹ nie dawało już tak wysokich przyrostów plonu zielonej i suchej masy kukurydzy, a istotnie większą wydajność, w

porównaniu do plonów otrzymanych z obiektów nawożonych 30 kg N, uzyskano dopiero po zastosowaniu azotu w ilości od 90 do 270 kg·ha⁻¹. Borowiecki (1987) oraz Sulewska (1997) za optymalny poziom nawożenia uznali 120 kg N·ha⁻¹, a Czerniawska (1988) podaje, że gwarancją uzyskanie dużego plonu masy kiszonkowej jest nawożenie na poziomie 160 kg N·ha⁻¹. Według Fotymy (1994) optymalna dawka azotu pod kukurydzę uprawianą na kiszonkę wynosi 150 kg N·ha⁻¹, a odpowiadający jej plon — 130,0 dt·ha⁻¹. Natomiast Machul i Borowiecki (2000) najwyższy plon suchej masy roślin uzyskali nawożąc kukurydzę 60 kg N·ha⁻¹ (114,3 dt·ha⁻¹). Dawka wyższa (150 kg N·ha⁻¹) okazała się mniej produktywna, a plon kształtował się na poziomie 112,6 dt·ha⁻¹.

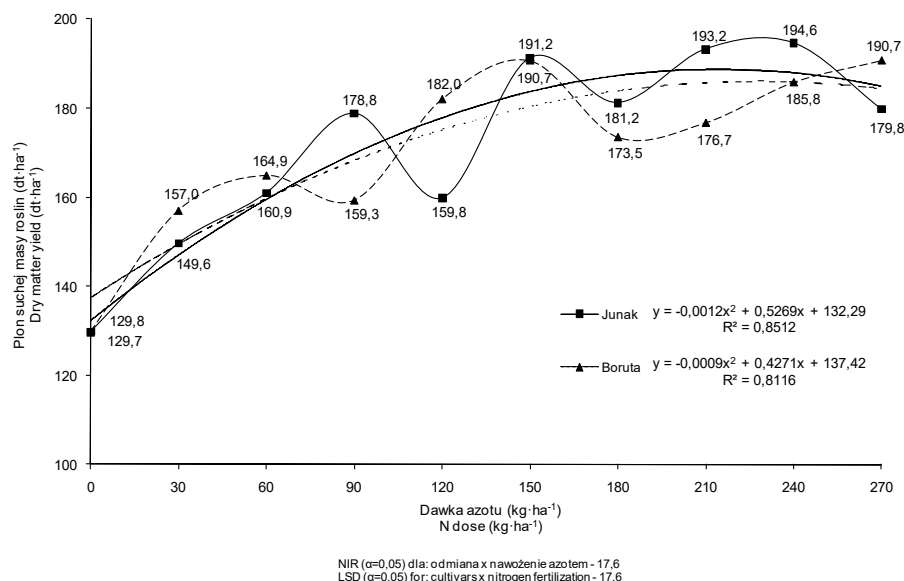
Reakcja badanych odmian na nawożenie azotem nie była jednakowa. Boruta już na najniższą dawkę N zareagowała istotnym zwiększeniem plonu zielonej i suchej masy; odmiana Junak dopiero po zastosowaniu 60 kg N·ha⁻¹ dała istotnie wyższy plon suchej masy niż rośliny z obiektu bez azotu (rys. 3 i 4).



Rys. 3. Wpływ nawożenia azotem na plon świeżej masy roślin odmian kukurydzy (dt·ha⁻¹)
Fig. 3. Effect of nitrogen fertilization on green matter yield of the maize cultivars (dt·ha⁻¹)

W odniesieniu do plonu świeżej masy roślin, plonotwórcze działanie N w przypadku odmiany Boruta obserwowano do poziomu 240 kg·ha⁻¹, odm. Junak również korzystnie reagowała na azot do dawki 240 kg·ha⁻¹, ale wzrost plonu nie był jednak tak systematyczny. Potwierdzają to proste regresji (rys. 3). Na podstawie otrzymanych zależności plonu od dawki N można stwierdzić, że odmiana Boruta silniej reagowała na nawożenie azotem niż Junak. Świadczą o tym współczynniki nachylenia krzywych i kwadraty współczynników korelacji. Według wyliczonych zależności każdy kilogram azotu zastosowany w uprawie odm. Boruta dawał przyrost plonu zielonej masy w ilości 0,6 dt·ha⁻¹. W przypadku odm.

Junak wartość ta ukształtowała się na niższym poziomie — 0,4 dt·ha⁻¹. Najwięcej suchej masy odmiana Junak wytworzyła po zastosowaniu 240 kg N·ha⁻¹, Boruta porównywalny plon osiągnęła po nawożeniu 150 kg N·ha⁻¹ (rys. 4). Tyle samo suchej masy z uprawy odmiany Boruta zebrano z obiektów nawożonych 270 kg N·ha⁻¹. Warto jednak podkreślić, że dawki pośrednie (180, 210, i 240 kg N·ha⁻¹) okazały się mniej korzystne niż 150 i 270 kg N·ha⁻¹. Szczególnie silny regres odnotowano po zastosowaniu 180 kg N·ha⁻¹. Ze względu na plon suchej masy roślin, zalecaną dawkę azotu pod obydwie odmiany można by kształtować na zbliżonym poziomie — ok. 150 kg N·ha⁻¹.



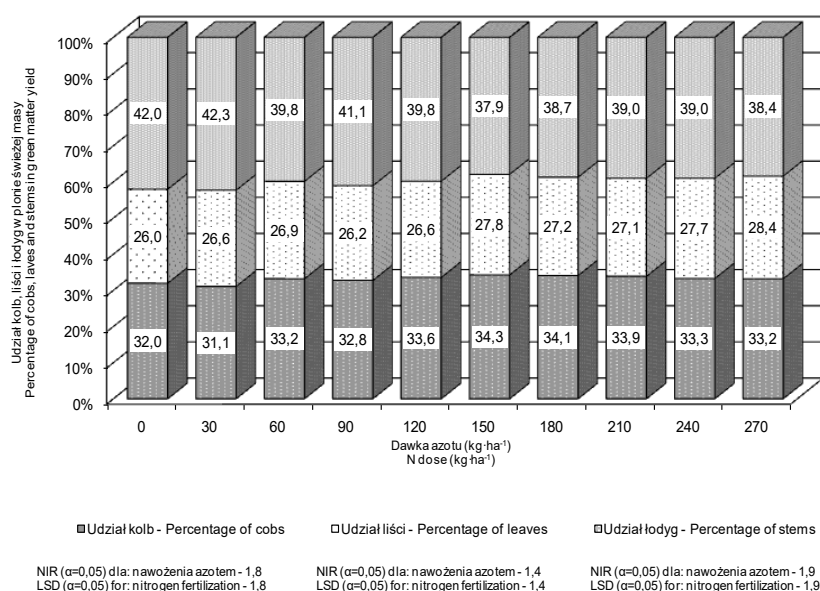
Rys. 4. Wpływ nawożenia azotem na plon suchej masy roślin odmian kukurydzy (dt·ha⁻¹)
Fig. 4. Effect of nitrogen fertilization on dry matter yield of the maize cultivars (dt·ha⁻¹)

Warunkiem uzyskania dobrej jakości surowca kiszonkarskiego jest odpowiednia struktura roślin, a więc udział kolb, liści i łodyg w plonie roślin. Najwyższym (36,6%) udziałem kolb w świeżej masie plonu charakteryzowały się rośliny w roku 2005, istotnie niższym w 2003 i 2004 (odpowiednio 31,5 i 31,4%). Odwrotnie kształtował się udział świeżej masy liści w plonie roślin, najmniej odnotowano w pierwszym roku badań (24,5%), więcej o 4,2% w drugim i o 3,4% w trzecim. Natomiast udział świeżej masy łodyg w plonie roślin był najniższy w ostatnim roku badań (35,5%), istotnie wyższy w pierwszych dwóch sezonach wegetacyjnych (44,0% — 2003 rok i 39,9% — 2004). Podobnie jak w przypadku świeżej masy, również w plonie suchej masy udział kolb, liści i łodyg zmieniał się istotnie w zależności od roku badań. Najwyższy udział suchej masy kolb w plonie uzyskano w 2005 roku — 55,3%, nieco niższy w 2003 (52,6%), a istotnie najniższy w 2004 (49,1%), w którym otrzymano największy udział liści w porównaniu do kukurydzy zbieranej w pierwszym i drugim roku badań. W pierwszych dwóch latach (2003 i 2004) łodygi w suchej

masie plonu stanowiły ten sam odsetek (25,7%). Istotnie niżej wartość ta ukształtowała się w roku 2005 (21,0%).

Betrin (1995) oraz Daccord i wsp. (1996) sugerują, że dobra kiszzonka z kukurydzy powinna zawierać 40–45% ziarna w suchej masie, jednak nie więcej niż 55%. Odmiany wykazują pewne różnice pod względem udziału kolb w plonie ogólnym suchej masy oraz zawartością suchej masy w kolbach i całych roślinach (Machul i Małysiak, 1993). Średnio w czasie trzyletnich badań odmiana Junak dała o 2,5% większy udział kolb w świeżej masie plonu niż Boruta (31,9%). W przypadku łodyg odnotowano odwrotną zależność. U odmiany Boruta stwierdzono o 2,0% większy udział łodyg niż u Junaka (40,8%). Testowane mieszańce nie różniły się istotnie udziałem liści w plonie roślin, zauważono jedynie nieznacznie większe ulistnienie Boruty. W trzyletnich badaniach własnych cechy osobnicze testowanych odmian kukurydzy istotnie wpłynęły jedynie na udział liści w plonie suchej masy roślin. Odwrotnie niż w przypadku świeżej masy, w plonie suchej masy odmiany Junak liście stanowiły istotnie większy odsetek (24,5%) niż w odmianie Boruta (22,6%), która z kolei charakteryzowała się wyższym o 1,3% udziałem suchej masy kolb (53,0%) i o 0,6% wyższym udziałem łodyg (24,4%).

Badane dawki azotu istotnie zmieniały udział kolb, liści i łodyg w plonie świeżej masy roślin (rys. 5).

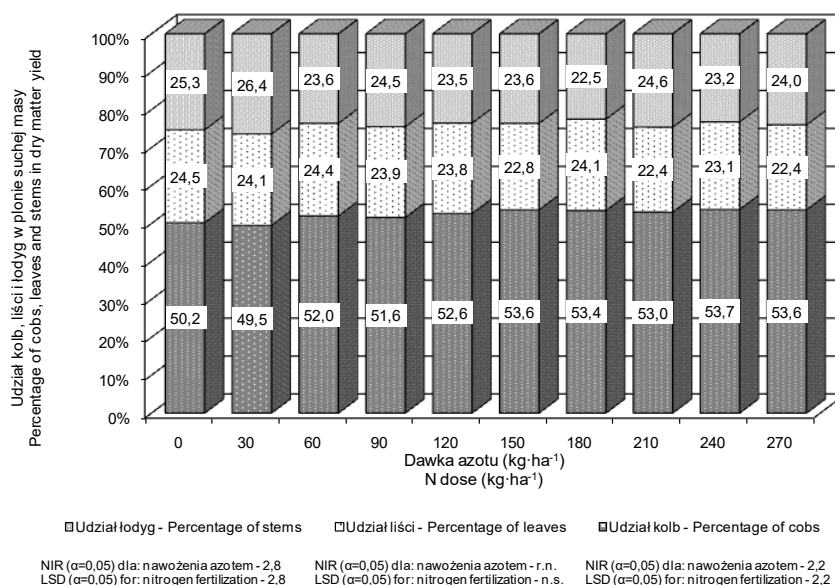


Rys. 5. Wpływ nawożenia azotem na udział kolb, liści i łodyg w plonie świeżej masy kukurydzy
Fig. 5. Effect of nitrogen fertilization on the percentage of cobs, leaves and stems in green matter of yield

Najniższa dawka N spowodowała zmniejszenie udziału kolb w plonie z jednoczesnym zwiększeniem udziału łodyg i liści. Można przypuszczać, że 30 kg N·ha⁻¹ zastosowane

przed siewem ziaren wystarczyło na bardziej wydajny wzrost wegetatywny, który w rezultacie doprowadził do zmniejszonego udziału kolb w plonie świeżej masy roślin. Dawki N od 60 do 90 kg·ha⁻¹ działały już korzystniej, jednak najlepszy efekt dawało nawożenie azotem od 150 do 210 kg·ha⁻¹. Na wszystkich obiektach nawozowych odnotowano wyższy udział liści w plonie roślin w stosunku do kontroli (bez azotu). Dawki azotu od 150 do 270 kg N·ha⁻¹ sprzyjały większemu ulistnieniu kukurydzy, niż mniejsze stosowane w badaniach. Odwrotnie niż w przypadku liści, udział łodyg w plonie świeżej masy zdecydowanie obniżał się po zastosowaniu azotu w ilości powyżej 150 kg·ha⁻¹.

Azot okazał się składnikiem silnie kształtującym również udział suchej masy kolb i łodyg w plonie roślin (rys. 6).



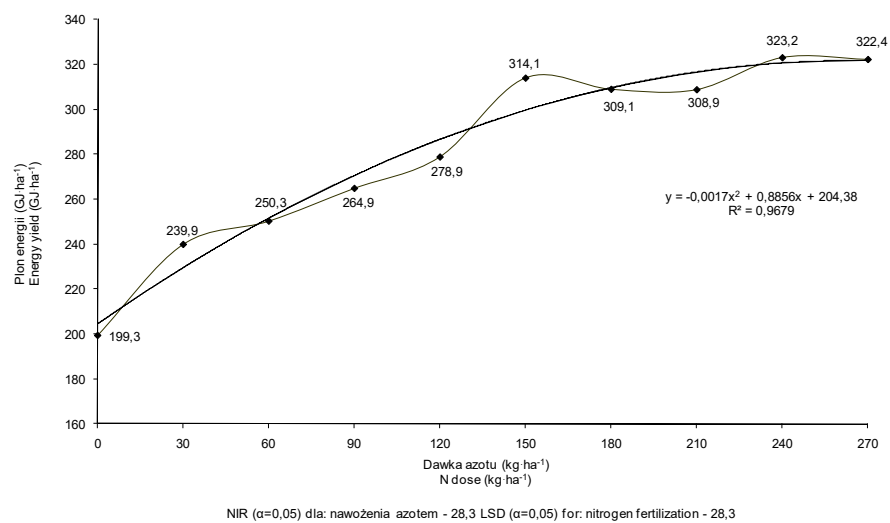
Rys. 6. Wpływ nawożenia azotem na udział kolb, liści i łodyg w plonie suchej masy kukurydzy
Fig. 6. Effect of nitrogen fertilization on the percentage of cobs, leaves and stems in dry matter of yield

Wzrost poziomu nawożenia z reguły wywierał pozytywny wpływ na masę kolb w plonie roślin, przy czym najniższa dawka N doprowadziła do nieistotnego regresu omawianego komponentu struktury plonu. Na istotne zwiększenie udziału kolb w suchej masie plonu pozwoliło nawożenie dopiero na poziomie 120 kg N·ha⁻¹, gdy w badaniach Machuła i Borowieckiego (2000) już nawożenie 90 kg N·ha⁻¹ powodowało ten efekt. Jeszcze korzystniejsze działanie zaobserwowano w zakresie dawek od 120 do 270 kg N·ha⁻¹, co jest potwierdzeniem wcześniejszych badań Borowieckiego i Kotera (1983). Odwrotny skutek działania azotu zaobserwowano w przypadku łodyg, których masa w stosunku do kolb, choć nie systematycznie, zmniejszała się w miarę zwiększania dawek azotu. Jednak 30 kg N·ha⁻¹ okazało się sprzyjające większemu nagromadzeniu suchej masy w łodygach (26,4%), co było efektem największego udziału łodyg w suchej masie plonu w porównaniu

do kukurydzy z pozostałych obiektów nawozowych. Prawie wszystkie kolejne dawki N, za wyjątkiem 90 i 210 kg·ha⁻¹, kształtowały omawiany składnik na istotnie niższym poziomie. W porównaniu do kontroli, jedynie dawka 180 kg N·ha⁻¹ istotnie zmniejszała udział łądyg w suchej masie plonu. Udział suchej masy liści w plonie kukurydzy nie zależał od dawki azotu.

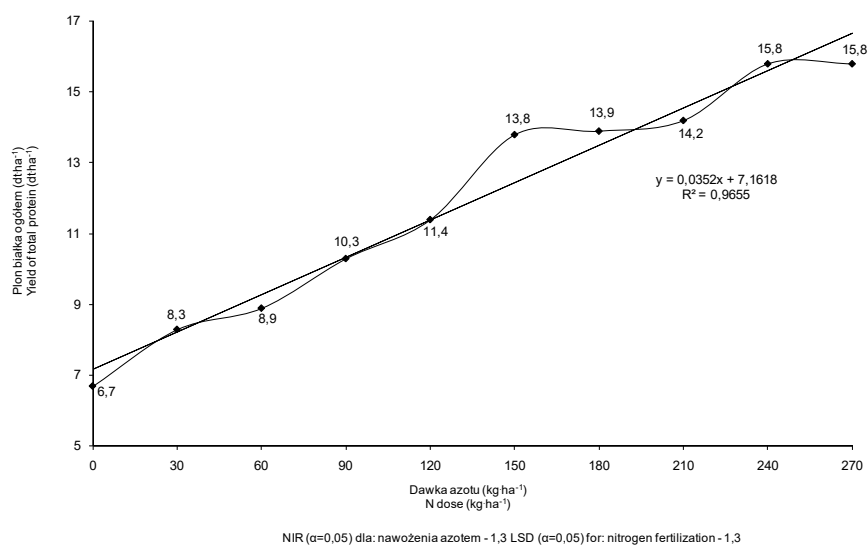
Kukurydza po odpowiednim pocięciu i zakiszeniu jest doskonałą paszą dla zwierząt przeżuwających. Jakość kiszonek, według Mullera (1997), powinna określać przede wszystkim koncentracja energii obliczona w stosunku do suchej masy całych roślin. W przeprowadzonych badaniach własnych, średnia wydajność energii brutto odmian w pierwszym roku badań (2003) wynosiła 348,9 GJ·ha⁻¹, a w następnym była aż o 135,5 GJ·ha⁻¹ niższa. Również średni plon białka analizowanych odmian był istotnie wyższy w pierwszym roku (14,1 dt·ha⁻¹), różnica w stosunku do roku 2004 sięgała 30,5%. Podkówka i wsp. (1998) twierdzą, że wczesność odmian nie ma wpływu na skład chemiczny surowca do zakiszania, natomiast Ackermann, Beyer (1983), Binderova (1986), Bojanowski (1979), Michalski (1980) wykazali większą wydajność energii brutto odmian późniejszych niż odmian wczesnych. Mimo zróżnicowania w strukturze plonu, porównywane w badaniach Dubasa i wsp. (1993) formy mieszańcowe reprezentowały podobną wartość pastewną wyrażoną energią brutto przypadającą na 1 kg suchej masy plonu. Analogiczne wyniki uzyskano w doświadczeniach własnych. Plon energii nie był istotnie zależny od odmiany. Badania wykazały, że nieznacznie większy plon energii brutto wydała odmiana Junak w pierwszym roku (350,4 dt·ha⁻¹). W 2004 roku odm. Junak osiągnęła niższy plon niż odm. Boruta aż o ok. 35%. W efekcie średnia wydajność energii brutto formy mieszańcowej Boruta była nieco wyższa (o 4 GJ·ha⁻¹) w porównaniu do odm. Junak (279,1 GJ·ha⁻¹). Natomiast czynnik odmianowy nie różnicował statystycznie istotnie plonu białka ogółem w suchej masie kukurydzy.

Jankowiak i wsp. (1997) uważają, że azot jest podstawowym składnikiem, który wpływa na strukturę uzyskanego plonu kukurydzy, skład chemiczny roślin, a tym samym na wartość użytkową plonu kiszonkowego. W doświadczeniu Goneta i Stadejka (1990) zwiększenie nawożenia azotem z 80 do 120 kg·ha⁻¹ nie miało wpływu na wartość energetyczną plonu kukurydzy, ale powodowało zauważalny wzrost zawartości białka strawnego od blisko 32,0 g·kg⁻¹ (80 kg N·ha⁻¹) i 74,0 g·kg⁻¹ (120 kg N·ha⁻¹). W badaniach prowadzonych na polu w Bałcynach poziom nawożenia azotem wpływał istotnie na plony energii brutto. Regularny przyrost plonu następował wraz ze zwiększaniem dawki azotu do 150 kg·ha⁻¹, przy której otrzymano 36,5% wzrost plonu energii brutto w stosunku do kontroli (bez azotu). Dwie kolejne dawki (180 i 210 kg·ha⁻¹) nieznacznie zmniejszały plon. Zwiększenie nawożenia do 240 kg N·ha⁻¹ owocowało nieistotnym wzrostem plonu energii. Wyliczona z kwadratowej funkcji produkcji energii optymalna dawka azotu wynosiła 260 kg·ha⁻¹ (rys. 7).



7. Funkcja produkcji energii odmian kukurydzy w zależności od poziomu nawożenia azotem w latach 2003–2004

Fig. 7. Function of energy production in relation to the level of N fertilization in the years 2003–2004



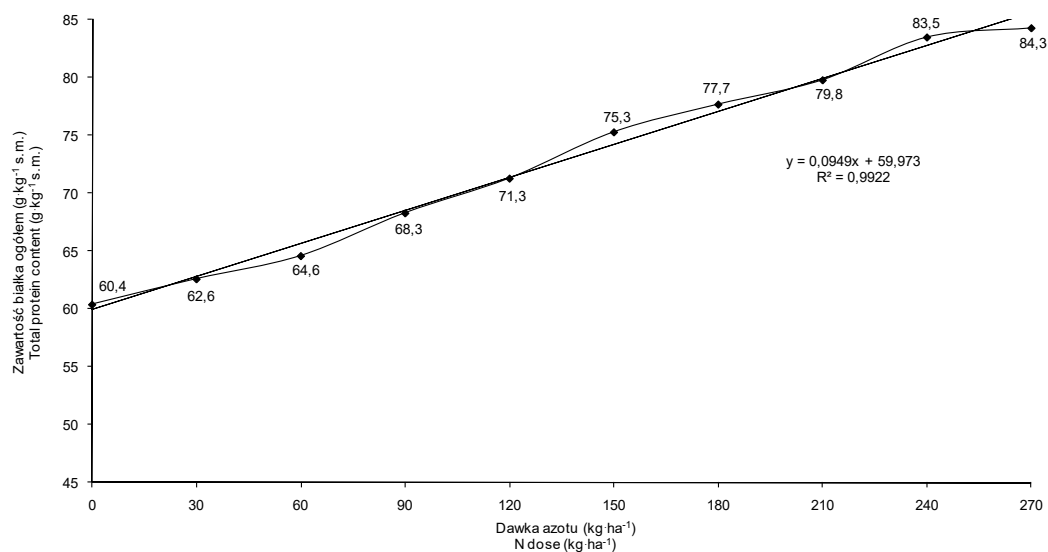
Rys. 8. Wpływ nawożenia azotem na plon białka ogółem kukurydzy (dt ha⁻¹)
Fig. 8. Effect of nitrogen fertilization on total protein yield of maize (dt ha⁻¹)

Zgodnie z oczekiwaniami, azot prawie w całym zakresie stosowanych dawek dodatnio wpłynął na plon białka surowego. Dawka 30 kg N·ha⁻¹ spowodowała przyrost plonu białka o ok. 20%. Podwyższenie nawożenia do 120 kg N·ha⁻¹ wywołało przyrost plonu o ok. 40%, a do 240 kg N·ha⁻¹ o dalsze 40% (rys. 8). Przyrost plonu białka pod wpływem nawożenia azotem był istotny do dawki 150 kg N·ha⁻¹.

Również Jankowiak i wsp. (1997) dowiedli, iż zastosowanie azotu w ilości 120–130 kg N·ha⁻¹ zapewnia uzyskanie plonu o dobrej wartości pastewnej. Na skutek zwiększenia nawożenia azotem ilość białka systematycznie wzrastała z 82,7 g·kg⁻¹ w obiekcie kontrolnym do 103 g·kg⁻¹ w obiekcie z dawką 120 kg N·ha⁻¹, tj. o ok. 8,3%.

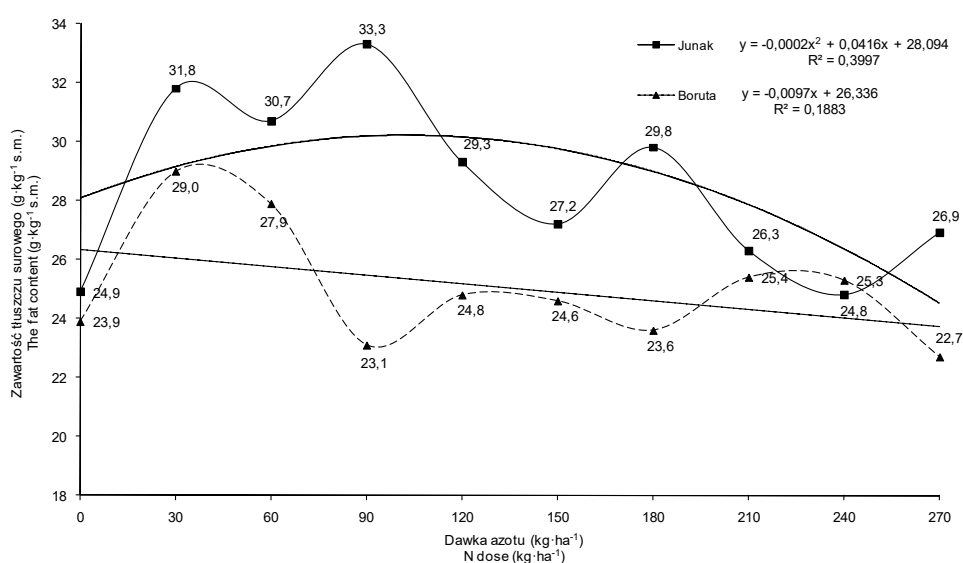
Kukurydza odmiany Boruta zawierała nieznacznie więcej niż odm. Junak: białka ogółem (odpowiednio 73,5 i 72,0 g·kg⁻¹ s.m.) i włókna surowego (odpowiednio 183,2 i 179,8 g·kg⁻¹ s.m.). W roślinach obydwu odmian stwierdzono porównywalną zawartość związków bezazotowych wyciągowych (Junak — 670,1 g·kg⁻¹ s.m., Boruta — 668,1 g·kg⁻¹ s.m.). Większe różnice w składzie chemicznym suchej masy roślin kukurydzy zaobserwowano głównie w zawartości tłuszczu surowego (odm. Junak — 28,5 g·kg⁻¹ s.m., odm. Boruta — 25,0 g·kg⁻¹ s.m.).

Zastosowane w doświadczeniu dawki azotu powodowały systematyczny przyrost zawartości białka ogółem w suchej masie roślin z jednoczesną tendencją do obniżania zawartości tłuszczu i włókna. Zwiększenie dawki N o 30 kg·ha⁻¹ pozwalało na wzrost zawartości białka ogółem od 0,8 do 4,0 g·kg⁻¹. Największy przyrost białka uzyskano zwiększając nawożenie ze 120 do 150 kg N·ha⁻¹, zaś najmniejszy przy zwiększeniu dawki N z 240 do 270 kg·ha⁻¹ (rys. 9). W badaniach Jankowiaka i wsp. (1997) zawartość białka ogółem regularnie zwiększała się wraz ze wzrostem nawożenia do 200 kg N·ha⁻¹.



Rys. 9. Wpływ nawożenia azotem na zawartość białka ogółem w roślinach kukurydzy (g·kg⁻¹ s.m.)
Fig. 9. Effect of nitrogen fertilization on total protein content in maize (g·kg⁻¹ s.m.)

Biorąc pod uwagę średnie obiektywne dla nawożenia okazało się, że największe ilości tłuszczu surowego gromadziły się w kukurydzy nawożonej $30 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ ($30,4 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$). Zwiększanie nawożenia, co $30 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ do $270 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ powodowało prawie systematyczne ograniczanie nagromadzenia tłuszczu w roślinach. Obliczony współczynnik regresji obrazujący przebieg średniej, a także współczynnik determinacji, kształtowały się następująco: $y = -0,0001x^2 + 0,0172x + 27,158$; $R^2 = 0,4071$. Odmiana Junak (FAO 210) najwięcej tłuszczu ($33,3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.) zgromadziła w tkankach po nawożeniu $90 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, a odmiana Boruta (FAO 230) po zastosowaniu $30 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ ($29,0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$). W przypadku odm. Junak zarówno pod wpływem mniejszych jak i większych dawek N niż $90 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (za wyjątkiem $240 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) koncentracja tłuszczu utrzymała się na wyższym poziomie niż w roślinach pochodzących z obiektu kontrolnego. Natomiast u odm. Boruta po nawożeniu 90, 180 lub $270 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ odnotowano zmniejszenie zawartości tłuszczu surowego poniżej koncentracji tego składnika w roślinach uprawianych bez azotu (rys. 10).



Rys. 10. Wpływ nawożenia azotem na zawartość tłuszczu surowego w odmianach kukurydzy ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.)
Fig. 10. Effect of nitrogen fertilization on fat content in the maize cultivars ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.)

Zawartość włókna surowego w kukurydzy odmiany Junak uprawianej bez N kształtowała się na poziomie $199,3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, natomiast średnia zawartość tego składnika z obiektów nawożonych azotem wynosiła $176,8 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$. W przypadku odmiany Boruta było to odpowiednio $192,9 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $182,2 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Działanie N w odniesieniu do obydwu odmian, podobnie jak w przypadku tłuszczu, nie było zdecydowanie ukierunkowane.

W suchej masie roślin badanych odmian kukurydzy stwierdzono porównywalny procentowy udział popiołu surowego i związków bezazotowych wyciągowych (tab. 4).

Tabela 4

Wpływ nawożenia azotem na udział składników chemicznych w suchej masie roślin
Effect of nitrogen fertilization on chemical composition of dry matter of plants

Odmiana Cultivar	Poziom nawożenia azotem (kg N·ha ⁻¹) — Nitrogen fertilization level, kg N·ha ⁻¹										Średnia Mean
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	
Udział białka ogółem (%) s.m. – Total protein (%) d.m.											
Junak	6,6	6,9	6,5	6,8	7,1	6,9	6,9	7,8	8,3	8,3	7,2
Boruta	6,5	6,6	6,7	6,7	7,4	7,7	7,4	7,8	8,1	8,6	7,4
Średnia Mean	6,5	6,7	6,6	6,8	7,3	7,3	7,2	7,8	8,2	8,4	-
Udział tłuszczu surowego (%) s.m. – Crude fat (%) d.m.											
Junak	2,4	2,8	3,1	3,3	2,9	3,4	2,5	2,9	2,5	2,7	2,8
Boruta	2,6	2,5	2,5	2,4	2,5	2,5	2,5	2,6	2,5	2,3	2,5
Średnia Mean	2,5	2,6	2,8	2,8	2,7	2,9	2,5	2,7	2,5	2,5	-
Udział włókna surowego (%) s.m. – Crude fiber (%) d.m.											
Junak	19,5	18,9	17,8	17,7	18,4	16,7	18,6	16,7	18,3	16,8	17,9
Boruta	17,7	17,0	18,4	19,2	18,3	18,4	18,5	17,7	18,8	19,3	18,3
Średnia Mean	18,6	18,0	18,1	18,5	18,4	17,6	18,6	17,2	18,5	18,0	-
Udział popiołu surowego (%) s.m. – Crude ash (%) d.m.											
Junak	5,5	4,7	4,6	5,2	5,0	4,8	5,3	4,7	5,0	5,1	5,0
Boruta	5,3	4,8	5,1	5,1	4,9	5,0	5,1	4,8	5,1	5,4	5,1
Średnia Mean	5,4	4,7	4,8	5,1	5,0	4,9	5,2	4,8	5,1	5,3	-
Udział związków bezazotowych wyciągowych (%) s.m. – N-free extract (%) d.m.											
Junak	66,0	66,8	68,1	67,0	66,6	68,2	66,7	68,0	65,9	67,1	67,0
Boruta	68,0	69,2	67,3	66,6	66,9	66,4	66,5	67,1	65,6	64,5	66,8
Średnia Mean	67,0	68,0	67,7	66,8	66,7	67,3	66,6	67,5	65,8	65,8	-

Nawożenie azotem w ograniczonym zakresie zmieniało udział ww. składników, a jego wpływ można ocenić jako niewielki i nieregularny. Żadna z aplikowanych dawek N nie przyczyniła się do większej koncentracji popiołu w suchej masie roślin, natomiast najniższa stosowana w badaniach dawka azotu spowodowała największą koncentrację związków bezazotowych w roślinach.

WNIOSKI

1. W warunkach Polski północno-wschodniej badane odmiany Junak i Boruta, z przeznaczeniem na kiszonkę z całych roślin, plonowały na wysokim i bardzo zbliżonym poziomie, dając plon suchej masy roślin odpowiednio 171,9 dt·ha⁻¹ i 170,0 dt·ha⁻¹.
2. Z wykorzystanego do obliczeń rachunku regresji wynika, iż optymalna dawka azotu dla odmiany Junak kształtuje się na poziomie 220 kg N·ha⁻¹, dla odmiany Boruta 237 kg N·ha⁻¹.
3. Średnio dla obu odmian kukurydzy z przeznaczeniem na kiszonkę z całych roślin, najbardziej plonotwórcza okazała się dawka 150 kg N·ha⁻¹ i jednocześnie uzyskany plon charakteryzował się korzystnym udziałem kolb.
4. Systematyczny wzrost plonu białka następował do dawki 240 kg N·ha⁻¹, a plon energii brutto do dawki 150 kg N·ha⁻¹.

5. Zwiększenie nawożenia azotem do $270 \text{ N} \cdot \text{ha}^{-1}$ powodowało przyrost zawartości białka ogółem w roślinach. Azot zdecydowanie obniżał zawartość tłuszczu i włókna surowego w surowcu kiszonkarskim, jednak wpływ dawki był zmienny.

LITERATURA

- Ackermann R., Beyer B. 1983. Produktion von Trockensubstanz — und energiereicher Maissilage und ihr Einsatz in der Bullenmast. *Tierzucht*. 2: 69 — 71.
- Betrin C. 1995. Yves Barriere, director of research at INRA: maize silage is a question of compromise. *Prod. Lait. Mod.* 251: 41 — 42.
- Binderova A. 1986. Obsah a produkce glicidove slozky u kukurice na silaz. *Rostlinna Vyroba* 1: 1 — 7.
- Bodarski R., Wertelecki T., Kowalik T. 2005. Wpływ chemicznych dodatków na skład chemiczny, jakość i tlenową trwałość kiszonki z całych roślin kukurydzy. *Pam. Puł.* 140: 7 — 14.
- Bojanowski J. 1979. Uprawa kukurydzy po życie poplonowym. *Biul. IHAR* 136: 125 — 130.
- Borowiecki J. 1987. Efektywność nawożenia azotem kukurydzy kiszonkowej w zależności od obsady roślin. *Mat. z sesji naukowej, IUNG Puławy*. 2: 32 — 37.
- Borowiecki J., Koter M. 1983. Porównanie saletry amonowej i mocznika jako źródła azotu dla kukurydzy. *Pam. Puł.*, z. 81: 77 — 89.
- Czerniawska A. 1988. Porównanie plonowania i wartości pokarmowej kukurydzy na tle zróżnicowanego nawożenia azotem. *Mat. z sesji naukowej pt.: „Stan badań nad agrotechniką kukurydzy w Polsce.” IUNG Puławy* 2: 25 — 31.
- Daccord r., Arrigo Y., Vogel R. 1996. Nutritive value of maize silage. *Rev. Suisse Agric.* 28, 1: 17 — 21.
- Dubas A. 1995. Rejonizacja uprawy kukurydzy w Polsce i dobór odmian. *Top agar Polska*, 4: 22 — 23.
- Dubas A., Michalski T. 2002. Kukurydza w Polsce po II wojnie światowej. *Pam. Puł.* 130: 115 — 123.
- Dubas A., Michalski T., Sulewska H. 1993. Przydatność odmian kukurydzy o różnej wczesności do uprawy na kiszonkę. *Rocz. Nauk Roln. Ser. A* 110, 1–2: 93 — 101.
- Fotyma E. 1994. Reakcja roślin uprawy polowej na nawożenie azotem. III Kukurydza, *Fragm. Agron.* 4 (44), 20 — 35.
- Gonet Z., Stadejek H. 1990. Wpływ nawożenia azotem i ilości wysiewu na plon kukurydzy uprawianej na zielonkę do bezpośredniego skarmiania. *Fragm. Agron.* 3 (27): 30 — 43.
- Jankowiak J., Kruczek A., Fotyma E. 1997. Efekty nawożenia mineralnego kukurydzy na podstawie wyników badań krajowych. *Zesz. Prob. Post. Nauk Roln.* 1997. z. 450: 79 — 116.
- Lipski S. 2000. Zasady przyjaznego dla środowiska nawożenia kukurydzy azotem. *Pam. Puł.* z. 120: 225 — 229.
- Lista Opisowa Odmian 2002. COBORU, Słupia Wielka.
- Machul M., Borowiecki J. 2000. Wpływ nawożenia azotem na wielkość i jakość plonu kukurydzy uprawianej na kiszonkę z kolb (CCM). *Pam. Puł.* z. 121: 117 — 125.
- Machul M., Małyśiak B. 1993. Plonowanie kukurydzy uprawianej na kiszonkę z całych roślin, kiszonkę z kolb (CCM) i na ziarno w zależności od obsady roślin. *Pam. Puł.* z. 102: 91 — 103.
- Michalski T. 1980. Wpływ obsady roślin, wczesności odmian oraz terminów zbioru na plony i wartość pastewną kukurydzy kiszonkowej. *Rocz. AR Poznań, Rozprawy Naukowe* 104.
- Muller J. 1997. The quality of maize silage is not an abstract concept. Quality must be defined and has to be attainable with measurable criteria in the examination of different varieties. *Mais* 4: 124 — 127.
- Podkówka W., Podkówka Z., Cermak B. 1998. Plonowanie i skład chemiczny zielonki z kukurydzy. *Zesz. Prob. Post. Nauk Roln.* 1998. z. 465: 85 — 91.
- Sulewska H. 1997. Uprawa kukurydzy na zielonkę w świetle badań własnych i literatury *Zesz. Prob. Post. Nauk Roln.* 450: 185 — 200.

CEZARY TRAWCZYŃSKI

Zakład Agronomii Ziemiaka

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB, Oddział Jadwisin

Wykorzystanie azotu z nawozów przez odmiany ziemniaka o zróżnicowanych wymaganiach w stosunku do tego składnika

Nitrogen utilization from fertilizers by potato cultivars with differentiated requirements in relation to this component

Celem badań polowych przeprowadzonych w latach 2007–2009 w Instytucie Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Oddział w Jadwisinie było określenie wykorzystania azotu z nawozów mineralnych przez bulwy odmian ziemniaka o małych (odmiana Asterix), średnich (odmiana Wiking) i dużych (odmiana Maryna) wymaganiach w stosunku do tego składnika. Badania przeprowadzono na glebie lekkiej, nawożonej organicznie słomą i międzyplonem gorczycy białej. W doświadczeniach stosowano 5 poziomów nawożenia azotem: 0, 50, 100, 150 i 200 kg N·ha⁻¹ oraz stały poziom fosforu 52,3 kg P·ha⁻¹ i potasu 149,4 kg K·ha⁻¹. Wykorzystanie azotu z nawozów mineralnych zależało od poziomu nawożenia tym składnikiem i warunków klimatycznych okresu wegetacji. Wykorzystanie azotu malało od około 53 do 31% wraz ze wzrostem dawki N od 50 do 200 kg N·ha⁻¹. Wyższe wykorzystanie azotu stwierdzono w latach sprzyjających kumulacji plonu bulw oraz u odmiany o dużych wymaganiach w porównaniu do odmiany o małych wymaganiach w odniesieniu do azotu.

Słowa kluczowe: dawki azotu, odmiany ziemniaka, plon bulw, wykorzystanie azotu

The aim of the field experiment conducted in the years 2007–2009 at the Plant Breeding and Acclimatization Institute, Department in Jadwisin, was to assess the nitrogen utilization from mineral fertilizers by tubers of potato cultivars showing low (cv. Asterix), medium (cv. Wiking) and high (cv. Maryna) requirements in relation to this component. The investigations were carried out on light soil fertilized organically with straw and after crop of white mustard. Five levels of nitrogen fertilization were applied: 0, 50, 100, 150 and 200 kg N·ha⁻¹ with stable phosphorus and potassium levels of 52.3 kg·ha⁻¹ and 149.4 kg·ha⁻¹, respectively. Nitrogen uptake by potato plants from mineral fertilizers greatly depended on the level of nitrogen fertilization and weather conditions in the vegetation periods. It decreased from about 53% to 31% with increasing N rates from 50 to 200 kg·ha⁻¹. Better nitrogen utilization by the potato cultivars was observed in the years with favourable conditions for tuber yield cumulation. The cultivar showing high requirements for nitrogen fertilization was characterized by the better utilization of this component as compared to the cultivar with low requirements.

Key words: nitrogen doses, nitrogen utilization, potato cultivars, tuber yield

WSTĘP

Nawożenie azotem jest jednym z elementów agrotechniki mającym podstawowe znaczenie w kształtowaniu plonu ziemniaka (Jabłoński, 1996; Chotkowski, 1997). Rośliny ziemniaka reagują zwyczajami plonu bulw pod wpływem wysokich dawek azotu (Trawczyński, 2008), lecz wraz ze wzrostem dawek azotu zmniejsza się wykorzystanie tego składnika z zastosowanych nawozów, co w znacznym stopniu kształtować mogą również warunki klimatyczne okresu wegetacji (Lis, Wierzejska-Bujakowska 2000; Lis i in. 2002). Dotychczas przeprowadzone badania wskazują, że zapotrzebowanie na azot należy rozpatrywać w odniesieniu do odmian ziemniaka, gdyż odznaczają się one dużym zróżnicowaniem wzrostu plonu pod wpływem nawożenia azotem (Kaczorek, Wierzejska-Bujakowska, 1988; Wierzejska-Bujakowska, 1994; Jabłoński, 2004; Trawczyński, 2007). Wieloletnie doświadczenia z wpływem zróżnicowanego poziomu nawożenia azotem na wielkość plonu bulw odmian ziemniaka umożliwiły ustalenie maksymalnych dawek tego składnika z podziałem na 3 grupy: o małych, średnich i dużych wymaganiach (Wierzejska-Bujakowska, 1996; Trawczyński, 2004). Celem przeprowadzonych badań było określenie wykorzystania azotu z nawozów mineralnych przez bulwy odmian ziemniaka o ustalonych wymaganiach w stosunku do tego składnika w zależności od nawożenia azotem i warunków klimatycznych w okresie wegetacji.

MATERIAŁ I METODY

W ścisłych doświadczeniach polowych przeprowadzonych w Zakładzie Agronomii Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin w Jadwisinie, na podstawie plonu bulw i zawartości azotu ogólnego w bulwach określono pobranie, a następnie wykorzystanie azotu z zastosowanych nawozów w odniesieniu do trzech odmian ziemniaka o różnych wymaganiach pod względem zapotrzebowania na ten składnik. Doświadczenia zakładano w układzie losowanych bloków w 3 powtórzeniach. Wielkość pojedynczego poletka wynosiła 14,85 m². Czynniki 1-rzędu stanowiły dawki azotu (0, 50, 100, 150, 200 kg·ha⁻¹), czynnikiem 2-rzędu były średnio wczesne odmiany jadalne (Asterix, Wiking, Maryna o odpowiednio małych, średnich i dużych wymaganiach odnośnie do maksymalnej dawki azotu), a czynnik 3-rzędu stanowiły lata badań (2007, 2008, 2009). Wielkości maksymalnych dawek azotu dla odmian określono we wcześniejszych doświadczeniach na podstawie parametrów funkcji kwadratowej z zależności pomiędzy wielkością plonu bulw a wzrastającą dawką azotu. Na podstawie wyliczonych wielkości maksymalnych dawek azotu zakwalifikowano te odmiany do 3 różnych grup: o małych (poniżej 145), średnich (145–177) i dużych wymaganiach nawozowych (powyżej 177 kg·ha⁻¹N) (Wierzejska-Bujakowska, 1994 i 1996; Trawczyński, 2004).

Badania przeprowadzono na glebie lekkiej, o składzie mechanicznym piasku gliniastego lekkiego. Gleba w poszczególnych latach badań wykazywała kwaśny odczyn, wysoką do bardzo wysokiej zasobność w przyswajalny fosfor, średnią do bardzo wysokiej zawartość magnezu oraz średnią zawartość potasu (tab. 1). Warunki klimatyczne okresów wegetacji oceniono na podstawie ilości opadów i temperatur powietrza (tab. 2). W roku

2007 niedobór opadów stwierdzono w kwietniu, czyli na początku okresu wegetacji i w okresie kumulacji plonu bulw, w lipcu. Ponadto rok 2007 był chłodny, gdyż w głównych miesiącach wegetacji temperatury były niższe w stosunku do wieloletnich. W roku 2008 niedoborem opadów charakteryzował się czerwiec, czyli okres zawiązywania się bulw, natomiast w okresie kumulacji plonu bulw (lipiec, sierpień 2008) zanotowano więcej opadów niż w tym czasie w 2007 roku. Ponadto w 2008 roku temperatury były wyraźnie wyższe niż w 2007 roku. W roku 2009 niedobór opadów wystąpił głównie w kwietniu i wrześniu, co nie miało negatywnego wpływu na tuberyzację i kumulację plonu bulw. Poza tym, w 2009 roku, z wyjątkiem maja i sierpnia temperatury były wyższe od średniej z wielolecia. Przebieg pogody w latach 2008 i 2009 był korzystniejszy do rozwoju roślin ziemniaka i kumulacji plonu bulw, niż 2007 rok.

Tabela 1

Zawartość P, K, Mg oraz pH gleby w latach 2007-2009
Soil content of P, K, Mg and pH in the years 2007-2009

Rok Year	pH w KCl KCl pH	Zawartość w glebie — Content in soil		
		P	K	Mg
2007	4,6	10,6	8,7	3,9
2008	5,6	9,8	12,4	8,5
2009	4,8	8,6	12,0	5,5

Tabela 2

Rozkład opadów w okresie wegetacji oraz średnie temperatury powietrza
Rainfall distribution during vegetation period and average air temperatures

Rok — Year Miesiąc — Month	Opady atmosferyczne (mm) Rainfalls			Temperatura powietrza (°C) Air temperature		
	suma z miesiąca sum for month	średnia wielolecia multiyear mean	odchylenie deviation	średnia miesięczna mean for month	średnia wielolecia multiyear mean	odchylenie deviation
2007						
IV	16,3	39	-22,7	7,8	7,7	0,1
V	78,4	52	26,4	13,1	13,6	-0,5
VI	109,6	77	32,6	15,7	16,5	-0,8
VII	54,1	73	-18,9	17,6	18,4	-0,8
VIII	74,3	62	12,3	17,8	17,8	0,0
IX	103,7	51	52,7	10,8	13,1	-2,3
2008						
IV	29,3	38	-8,7	7,4	7,7	-0,3
V	62,9	52	10,9	13,6	13,6	0,0
VI	43,5	77	-33,5	17,1	16,5	0,6
VII	68,8	73	-4,2	18,1	18,4	-0,3
VIII	80,9	62	18,9	17,6	17,7	-0,1
IX	48,8	51	-2,2	11,6	13,1	-1,5
2009						
IV	0,0	36	-36,0	9,7	7,8	1,9
V	80,8	53	27,8	12,3	13,6	-1,3
VI	72,4	76	-3,6	17,3	16,5	0,9
VII	85,6	73	12,6	21,3	18,5	2,9
VIII	83,1	58	25,1	17,3	17,8	-0,5
IX	18,8	49	-30,2	14,2	13,1	1,1

Nawożenie organiczne stanowiła słoma (z dodatkiem N) przyorywana podorywką oraz poplon ścierniskowy z gorczycy białej przyorywany jesienią orką przedzimową. Nawożenie mineralne fosforem stosowano w dawce $52,3 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ P, a potasem w dawce $149,4 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ K. Jesienią pod orkę przedzimową wysiewano $39,2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ P i $99,6 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ K, a wiosną przed sadzeniem uzupełniające dawki fosforu i potasu, tj. $13,1 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ P i $49,8 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ K. Azot w dawkach 50 i $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ wysiewano bezpośrednio przed sadzeniem bulw. Na poletkach nawożonych dawką 150 i $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ N uzupełniono nawożenie wysiewając 50 i $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ przed wschodami ziemniaków.

Ziemniaki sadzano ręcznie w III dekadzie kwietnia w rozstawie $75 \times 33 \text{ cm}$, a zbierano w II i III dekadzie września (2007, 2009 rok) oraz I dekadzie października (2008 rok). Podczas zbioru określono poziom plonu świeżej masy bulw oraz pobierano 5-kilogramowe próby z każdego poletka. W próbach tych oznaczono między innymi zawartość suchej masy (105°C) oraz azotu ogólnego metodą Kjeldahla z wykorzystaniem automatycznego destylatora Kjeltec 2200 firmy Foss.

Wykorzystanie azotu z zastosowanych nawozów mineralnych (W_N) obliczono według poniższego wzoru:

$$W_N = (P_N - P_0) / N,$$

gdzie:

W_N — współczynnik wykorzystania azotu [%],

P_N — pobranie azotu z plonem bulw w obiekcie z dowolną dawką N [$\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$],

P_0 — pobranie azotu z plonem bulw w obiekcie kontrolnym [$\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$],

N — dawka azotu [$\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$].

Wyniki doświadczeń opracowano posługując się programem statystycznym SAS Enterprise Guide. Analizę porównania średnich przeprowadzono metodą Tukeya.

WYNIKI I DYSKUSJA

W przeprowadzonych badaniach wykazano istotny wpływ nawożenia azotem na plon bulw, zawartość azotu ogólnego w bulwach oraz pobranie azotu z zastosowanych nawozów mineralnych z plonem bulw przez odmiany ziemniaka o zróżnicowanych wymaganiach względem tego składnika. Istotny wzrost plonu suchej masy bulw, średnio dla odmian stwierdzono do dawki $150 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, ale ich reakcja była zróżnicowana. U odmiany o małych wymaganiach względem dawki azotu (Asterix) przyrost plonu pod wpływem nawożenia dawką $150 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ w stosunku do obiektu z niższą dawką azotu $100 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ wyniósł $0,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, zaś po zastosowaniu $200 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ stwierdzono istotne obniżenie plonu bulw. Udowodniony wzrost plonu bulw odmiany Wiking, o średnich wymaganiach w stosunku do azotu stwierdzono do dawki $100 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, z tym, że pod wpływem dawki $200 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ plon nie uległ obniżeniu w stosunku do plonu na obiektach z dawkami 100 i $150 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Odmiana Maryna o dużych wymaganiach nawozowych reagowała wysokim przyrostem plonu bulw, większym niż odmiany Asterix i Wiking do dawki $150 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ (tab. 3). Wyniki potwierdzają zróżnicowaną reakcję plonu odmian ziemniaka na nawożenie azotem, co stwierdzono także w dotychczas przeprowadzonych badaniach własnych (Trawczyński, 2004, 2007) oraz innych (Kaczorek, Wierzejska-Bujakowska, 1988; Wierzejska-Bujakowska, 1996; Jabłoński 2006). Różnice w plonie odmian stwierdzono

również w odniesieniu do lat badań. Wyższy plon bulw stwierdzono w latach 2008 i 2009 w porównaniu do 2007 roku.

Pod wpływem wzrastających dawek azotu odnotowano zwiększenie zawartości azotu ogólnego w bulwach (Lis, Wierzejska-Bujakowska, 2000). Największą zawartością azotu ogólnego charakteryzowały się bulwy odmiany Asterix, istotnie mniejszą bulwy odmiany Wiking, zaś najmniejszy poziom tego składnika odnotowano w bulwach odmiany Maryna. Wraz ze wzrostem wymagań nawozowych odmian stwierdzono zmniejszenie zawartości azotu ogólnego w bulwach (tab. 3).

Tabela 3

Wpływ nawożenia azotem ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) na plon suchej masy bulw, zawartość N oraz pobranie azotu z plonem odmian ziemniaka o zróżnicowanych wymaganiach w stosunku do tego składnika
The effect of nitrogen fertilization ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) on the yield of tubers dry matter, content of N and nitrogen uptake of potato cultivars showing different requirements for this component

Dawka N i lata N dose and years	Odmiana — Cultivar			Średnia Mean
	Asterix	Wiking	Maryna	
Plon suchej masy bulw t·ha ⁻¹ — Yield of tuber dry matter t·ha ⁻¹				
0	9,2	10,4	9,4	9,5
50	10,4	10,9	10,8	10,7
100	10,7	11,3	11,9	11,3
150	11,2	11,4	12,8	11,8
200	9,8	11,4	12,3	11,2
Średnia — Mean	10,3	11,0	11,4	
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}		0,2		0,4
2007	6,7	8,8	7,9	7,8
2008	12,0	11,7	13,6	12,5
2009	12,0	12,5	12,6	12,4
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}				0,2
Zawartość azotu w suchej masie bulw (%) — Nitrogen content in dry tuber matter (%)				
0	1,23	1,18	1,13	1,18
50	1,37	1,33	1,19	1,30
100	1,62	1,44	1,34	1,46
150	1,61	1,51	1,40	1,51
200	1,73	1,57	1,44	1,58
Średnia — Mean	1,51	1,40	1,30	
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}		0,03		
2007	1,75	1,57	1,55	1,62
2008	1,48	1,45	1,17	1,37
2009	1,30	1,20	1,18	1,23
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}				0,03
Pobranie azotu z plonem bulw (kg·ha ⁻¹) — Nitrogen uptake with tuber yield (kg·ha ⁻¹)				
0	111,9	117,4	104,4	111,2
50	140,4	144,8	127,4	137,5
100	168,8	162,8	155,3	162,3
150	174,8	171,4	172,5	172,9
200	165,8	174,2	171,8	170,6
Średnia — Mean	152,3	154,1	146,3	
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}		5,0		7,5
2007	118,6	138,8	125,8	127,8
2008	179,2	171,5	162,6	171,1
2009	159,2	152,0	150,4	153,9
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}				5,0

W latach 2008 i 2009, sprzyjających wysokiej kumulacji plonu stwierdzono mniejszą zawartość azotu ogólnego w bulwach w porównaniu do 2007 roku (tab. 3). Lis i Wierzejska-Bujakowska (2000) potwierdziły, że w latach niesprzyjających kumulacji plonu bulw większa była zawartość azotu ogólnego w bulwach.

O ilości azotu pobranego decyduje plon bulw. Wykazano większą zbieżność pobrania azotu przez bulwy z uzyskanym plonem niż z zawartością azotu ogólnego w bulwach. Niezależnie od wielkości zastosowanej dawki azotu odmiany Asterix i Wiking, o małych i średnich wymaganiach nawozowych nie różniły się pobraniem azotu z plonem bulw. Natomiast odmiana Maryna, o dużych wymaganiach charakteryzowała się istotnie mniejszym pobraniem azotu z plonem bulw w stosunku do dwóch pozostałych odmian (tab. 3).

Wraz ze wzrostem poziomu nawożenia azotem od 0 do 200 kg N·ha⁻¹ malało wykorzystanie azotu wniesione w nawozach mineralnych. Współczynnik wykorzystania azotu, średnio dla odmian wahał się od 52,6% przy dawce 50 kg N·ha⁻¹ do 30,7% po zastosowaniu dawki 200 kg N·ha⁻¹ (tab. 4).

Tabela 4

Wpływ nawożenia azotem (kg·ha⁻¹) na wykorzystanie azotu z nawozów przez odmiany ziemniaka o zróżnicowanych wymaganiach w stosunku do tego składnika
The effect of nitrogen fertilization (kg·ha⁻¹) on the nitrogen utilization from fertilizers by potato cultivars with different requirements for this component

Dawka N i lata N dose and years	Odmiana, Cultivar			Średnia Mean
	Asterix	Wiking	Maryna	
Wykorzystanie azotu przez bulwy (%) — Utilization of nitrogen by tubers (%)				
50	50,8	54,6	52,6	52,6
100	44,6	44,8	51,0	46,8
150	37,0	35,8	45,3	39,4
200	27,0	31,5	33,6	30,7
Średnia — Mean	39,8	41,7	45,6	
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}		5,3		6,7
2007	34,7	36,1	41,8	37,5
2008	43,9	48,2	50,0	47,4
2009	40,8	40,7	45,0	42,2
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}				5,3

Podobny stopień wykorzystania azotu oraz jego zmniejszanie się wraz ze wzrostem dawek N prezentowane są w badaniach (Greenwood, Draycott, 1988; Fotyma, 1997; Lis, Wierzejska-Bujakowska, 2000; Mackenzie, Tauveau, 2001). Wykorzystanie azotu zależało od warunków pogodowych w latach. Wyższe wykorzystanie azotu stwierdzono w latach sprzyjających kumulacji plonu bulw, co potwierdzono w innych badaniach (Lis, Wierzejska-Bujakowska, 2000; Mazurczyk i in., 2005). Z badań Mazurczyka i wsp. (2005) wynika, że ponad 40% całkowitej zmienności w wykorzystaniu azotu można przypisać warunkom klimatycznym okresu wegetacji, a około 14% nawożeniu azotem. W literaturze brak jest danych dotyczących wykorzystania zastosowanego nawożenia azotem w nawiązaniu do zróżnicowania wymagań odmian. Spotyka się jedynie sugestie dotyczące wykorzystania azotu uwarunkowane zmianami składu chemicznego poszczególnych

organów, dystrybucji azotu w obrębie rośliny czy rozwoju systemu korzeniowego (Vos, Marshall, 1993; Zebarth i in., 2004). Wyniki prezentowane w niniejszej pracy przemawiają za istnieniem zróżnicowania między odmianowego w wykorzystaniu azotu. Wraz ze zwiększeniem wymagań nawozowych odmian stwierdzono wzrost współczynnika wykorzystania azotu z zastosowanych nawozów mineralnych. Średnio dla nawożenia azotem udowodnioną statystycznie różnicę w procentowym wykorzystaniu azotu wykazano pomiędzy odmianą o małych i dużych wymaganiach względem tego składnika (tab. 4). Dobór do uprawy odmian ziemniaka o określonych wymaganiach nawozowych i wiedza na temat wykorzystywania przez nie azotu z zastosowanych nawozów mineralnych skutkować może bezpośrednio mniejszymi ilościami tego składnika pozostającymi w środowisku glebowym po zbiorze bulw.

WNIOSKI

1. Wraz ze wzrostem nawożenia azotem od 50 do 200 kg·ha⁻¹ zmniejszało się wykorzystanie azotu z zastosowanych nawozów mineralnych średnio dla odmian od około 53 do 31%.
2. Istotnie większe wykorzystanie azotu z nawozów stwierdzono u odmiany o dużych wymaganiach (Maryna) w porównaniu do odmiany o małych wymaganiach (Asterix) w stosunku do tego składnika.
3. Warunki pogodowe w latach badań istotnie modyfikowały wykorzystanie azotu z zastosowanych nawozów mineralnych i wyższe wykorzystanie stwierdzono w latach sprzyjających wysokiemu plonowaniu.

LITERATURA

- Chotkowski J. 1997. Produkcja ziemniaków. Technologia – Ekonomia – Marketing. Wyd. IHAR Oddział Bonin: 352 ss.
- Fotyma E. 1997. Efektywność nawożenia azotem podstawowych roślin uprawy polowej. *Fragm. Agronom.* 1 (53): 46 — 66
- Greenwood D. J., Draycott A. 1988. Recovery of fertilizer-N by diverse vegetable crops in processes and models. In: *Nitrogen efficiency in agricultural soils*. Jenkinson D. S., Smith K. A. (eds), Elsevier Applied Science, London: 46 — 61.
- Jabłoński K. 1996. Nawożenie ziemniaków. Fundacja „Rozwój SGGW”, Warszawa: 38 — 48.
- Jabłoński K. 2004. Wpływ nawożenia azotowego na plon i jakość nowych odmian ziemniaka jadalnego uprawianych na glebach średnio zwięzłych. *Biul. IHAR* 232: 157 — 165.
- Jabłoński K. 2006. Wpływ poziomu nawożenia azotem na plon i zawartość skrobi oraz na jakość nowych odmian ziemniaka. *Zesz. Prob. Post. Nauk Rol.* z. 512: 193 — 200.
- Kaczorek S., Wierzejska-Bujakowska A. 1988. Wymagania nawozowe 32 odmian ziemniaka. *Ziemniak*: 45 — 59.
- Lis B., Wierzejska-Bujakowska A. 2000. Wykorzystanie azotu przez jadalne odmiany ziemniaka a ich plonowanie. *Biul. IHAR* 213: 87 — 98.
- Lis B., Mazurczyk W., Trawczyński C., Wierzbicka A. 2002. Czynniki ograniczające wykorzystanie azotu przez rośliny ziemniaka a zagrożenie środowiska. *Zesz. Prob. Post. Nauk Rol.* 489: 165 — 174.
- Mackenzie G. H., Tauveau J. C. 2001. Recommendation systems for nitrogen — a review. *Nawozy i Nawożenie* 4 (9): 5 — 51.

- Mazurczyk W., Wierzbicka A., Wroniak J. 2005. Wykorzystanie azotu z nawozów mineralnych przez odmiany wczesne ziemniaka. *Fragm. Agronom.* XXII nr 1 (85): 512 — 520.
- Trawczyński C. 2004. Zależność między dawką azotu a plonem odmian ziemniaka. *Biul. IHAR* 232: 131 — 140.
- Trawczyński C. 2007. Reakcja kilku nowych odmian ziemniaka na nawożenie azotem. *Biul. IHAR* 246: 73 — 81.
- Trawczyński C. 2008. Reakcja nowych odmian ziemniaka na nawożenie azotem. *Zesz. Prob. Post. Nauk Rol.* z. 530: 187 — 196.
- Vos J., Marshall B. 1993. Nitrogen and potato production: strategies to reduce nitrate leaching. 12th Trienn. Conf. of EAPR Paris: 101 — 110.
- Wierzejska-Bujakowska A. 1994. Rola odmian w dążeniu do zwiększenia efektywności nawożenia azotem. W: *Makroproblemy produkcji ziemniaka w Polsce w okresie przemian organizacyjno-ekonomicznych. Sesja Naukowa PAN. Inst. Ziemn. Bonin*: 48 — 51.
- Wierzejska-Bujakowska A. 1996. Maksymalne biologicznie dawki azotu dla 22 odmian ziemniaka i ich zmiana pod wpływem ochrony przed zarazą ziemniaka (*Phytophthora infestans* (Monu) de Bary). *Biul. Inst. Ziemn.* 46: 51 — 62.
- Zebarth B. J. 2004. Nitrogen use efficiency characteristics of commercial potato cultivars. *Can. J. Plant Sci.* 84: 589 — 598.

MICHAŁ KOSTIW**BARBARA ROBAK**

Zakład Nasiennictwa i Ochrony Ziemniaka w Boninie

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy

Presja wirusów Y, M, S i liściozwoju ziemniaka w latach 2006–2008 w Boninie

Infection pressure of PVY, PVM, PVS and PLRV in the period 2006–2008 in Bonin

Badania przeprowadzono w warunkach polowych w Boninie k. Koszalina na północy Polski w latach 2006–2008. Ich celem było poznanie presji wirusów PVY, PVM, PVS i PLRV w okresie wegetacji roślin. Zgodnie z założoną metodyką prac, co 10 dni, w terminie od 21 maja do 1 września, dokonywano ekspozycji w polu, każdorazowo po 20 (lata 2006 i 2007) lub 30 (w 2008 roku) zdrowych roślin ziemniaka (traktowanych jako rośliny testowe) w wieku 7–10 dni, które przygotowano w szklarni w doniczkach o średnicy 18 cm wypełnionych mieszanką torfu z dodatkiem ziemi kompostowej. Każdorazowo po 10 dniach ekspozycji rośliny przenoszono do szklarni wolnej od owadów. Po zakończeniu wegetacji zbierano bulwy potomne oddzielnie z każdej rośliny i w następnym roku poddawano je diagnostyce na obecność PVY, PVM, PVS i PLRV w próbie oczkowej w szklarni. Największe zagrożenie dla ziemniaka w latach badań stanowił PVY, a jego szerzenie się było najintensywniejsze w pierwszej dekadzie lipca. Średni z 3 lat udział bulw porażonych w tym terminie wyniósł ponad 80%. Kilkakrotnie mniejsza była presja PVM i PVS. Przebieg dynamiki szerzenia się PVY, PVM i PVS był na ogół podobny przez cały sezon wegetacyjny, co może świadczyć, że najważniejszymi wektorami tych wirusów są zasadniczo te same gatunki mszyc. Stwierdzono wysoką presję PVY, PVM i PVS w bardzo wczesnym terminie wegetacji roślin. W 2007 roku odsetek bulw porażonych już w trzeciej dekadzie maja wyniósł dla tych wirusów odpowiednio: 46,9, 50,1 i 35,2%. Można zatem przypuszczać, że w niektórych latach o porażeniu plantacji nasiennych przez te wirusy decydują infekcje dokonane właśnie w tym wczesnym terminie wegetacji roślin. Stwierdzona niezmiernie niska presja PLRV (odsetek bulw porażonych nie przekroczył średnio 1,8%), może oznaczać, że w warunkach Bonina wirus ten nie miał istotnego znaczenia ekonomicznego.

Słowa kluczowe: presja PVY, PVM, PVS i PLRV, ziemniak

The investigations were carried out under field conditions in Bonin (the northern region of Poland) in the years 2006–2008. The aim of the work was to determine and compare infection pressure of PVY, PVM, PVS and PLRV at different periods of the growing season. In accordance with the established methodology, every 10 days between 21 May and 1 September healthy test plants were exhibited in the field, in the number of 20 (2006 and 2007) or 30 (2008). Test plants were 7–10 days old and they were grown in an insect-proof greenhouse in pots with a 18 cm in diameter, filled with a mixture of peat soil and compost. A field exposure of plants lasted 10 days and then the plants were transferred to the greenhouse. After finishing the growing season, the tubers were harvested and kept in storage house. All tubers were tested for presence of PVY, PVM, PVS and PLRV (tuber indexing) in May and June.

PVY showed the highest infection pressure, and its spread was most intense in the first decade of July. The average for 3 years indicates that the percentage of tubers infected in that period reached over 80%. PVM and PVS infection pressures were several times lower. The dynamics of PVY, PVM and PVS spread was generally at the same level throughout the growing season. It may indicate that the most important vectors of these viruses are essentially the same species of aphids. High PVY, PVM and PVS infection pressure was recorded in the very early period of plant vegetation. In 2007, the percentage of tubers infected with these viruses in the third decade of May was 46.9, 50.1 and 35.2%, respectively. It can therefore be assumed that in some years, the infection occurring in the early period of plant vegetation may have the decisive impact on tubers infection. The extremely low level of infection with PLRV (1.8% of infected tubers) strongly suggest that this virus has no economic significance under conditions of this part of Poland.

Key words: infection pressure of PVY, PVM, PVS and PLRV, potato

WSTĘP

Polska jest nadal czołowym producentem ziemniaków w Europie i na świecie, mimo że już od wielu lat, wobec mniejszego zapotrzebowania rynku, powierzchnia uprawy z roku na rok zmniejsza się. W latach 1962 (2,9 mln ha) — 2009 (0,49 mln ha) zmniejszyła się prawie sześciokrotnie. Nadal jest niskie zużycie kwalifikowanego materiału nasienneego. Jest to główna przyczyna niższych plonów, niższej jakości bulw i w konsekwencji słabszych efektów produkcyjnych. Dlatego niekwestionowany postęp polskiej hodowli ziemniaka w okresie powojennym, głównie pod względem takich cech jak odporność na wirusy, wielkość plonu czy zawartość skrobi w bulwach, nie może być w pełni wykorzystany właśnie ze względu na zbyt niskie zużycie kwalifikowanego materiału nasienneego (Chotkowski, 2009).

W uprawie ziemniaka wartość materiału nasienneego ma o wiele większe znaczenie niż w uprawie roślin polowych rozmnażanych przez nasiona. Bulwa sadzeniaka jest organem wegetatywnym, a przy tym sposobie rozmnażania silny wpływ na jakość wytworzonego materiału nasienneego mają choroby przenoszone właśnie z bulwami. Szczególne znaczenie w nasiennictwie mają choroby wirusowe, głównie wirus Y ziemniaka (*Potato Virus Y*, PVY). Według opinii niektórych autorów (Chrzanowska, 2004, 2009) zagrożenie tym patogenem zwiększa się w naszym kraju, a jedną z przyczyn są rozpowszechniające się w uprawie odmiany zagraniczne ziemniaka, charakteryzujące się na ogół niską nań odpornością. Innym powodem mogą być zmiany w populacji szczepów wirusa powstające w wyniku rekombinacji (Nie i Singh, 2003; Chikh Ali i in., 2010). Szczególnie silne zmiany wystąpiły w ostatnich 30 latach (Chrzanowska, 2009). W 1983 roku w Polsce wykryto nowy łagodny dla ziemniaka szczep PVY^N, który został nazwany jako PVY^{NW} (od odmiany Wilga w której został wykryty). Szczep ten uznano za odmienny od dotychczas opisywanych szczepów tzw. nekrotycznych. Powstał w wyniku rekombinacji między szczepami PVY^N i PVY⁰. PVY^{NW} jest wysoce infekcyjny i szerzy się bardzo szybko, ale na roślinach ziemniaka wywołuje objawy słabe, znacznie słabsze niż szczep normalny (PVY⁰). Są one często trudne do rozpoznania, a wyrazistość symptomów choroby jest w dużym stopniu uzależniona od odmiany ziemniaka (Chrzanowska, 2009).

Według Chrzanowskiej i Doroszewskiej (1997) rekombinantem o rosnącym znaczeniu w ostatnich kilkunastu latach jest PVY^{NTN}. W Polsce wykryto go po raz pierwszy w 1994

roku (Chrzanowska, 2009). Odznacza się większą patogennością niż PVY^{NW}. Na roślinach wielu odmian ziemniaka wywołuje silne objawy, często nekrotyczne. Ważną gospodarczo cechą izolatów tego szczepu jest możliwość wywoływania objawów pierścieniowej nekrotycznej choroby bulw ziemniaka (potato tuber necrotic ring diseases–PTNRD). Stanowi to duży problem, szczególnie wówczas, gdy bulwy stanowią surowiec do przetwórstwa spożywczego.

Zdaniem Golnik i wsp. (2007) obydwie omawiane szczepy dominują na terenie Polski w uprawach ziemniaka w proporcji około 80% (PVY^{NW}) do około 20% (PVY^{NTN}). Popularny przed laty szczep normalny wirusa Y ziemniaka (PVY⁰) występuje obecnie już bardzo rzadko.

Od szeregu lat w Polsce nie notuje się dużego zagrożenia wirusem liściozwoju ziemniaka (*Potato leafroll virus*, PLRV). W połowie lat 70–tych ubiegłego wieku znaczenie gospodarcze tego patogena było równie duże jak PVY (Gabriel, 1989). Przyczyny tego zjawiska nie są jeszcze poznane. Jedną z przyczyn wydaje się być malejąca liczba źródeł wirusów w terenie i zwiększająca się izolacja przestrzenna między poszczególnymi plantacjami ziemniaka, ograniczająca naloty mszyc wektorów wirusa z zewnątrz. Jest to efekt wspomnianej już malejącej od lat powierzchni uprawy ziemniaków w kraju. Inną przyczyną stosunkowo niskiej presji PLRV może być fakt, że w Polsce jedynym wektorem tego wirusa o znaczeniu ekonomicznym jest wyłącznie jeden gatunek mszycy. Jest nią mszyca brzoskwińowa *Myzus persicae* (Sulz.) przenosząca PLRV w sposób trwały. Ten sposób przenoszenia sprawia, że zwalczanie chemiczne wektora daje dobre efekty w ograniczaniu szerzenia się wirusa i wielu producentów sadzeniaków tę metodę stosuje w praktyce. Należy też brać pod uwagę występowanie zjawiska rekombinacji, w wyniku której dochodzi do powstawania nowych izolatów mających zmienione właściwości. Rouze Jouan i in. (2004) podają, że spośród 9 testowanych izolatów PLRV zebranych w różnych rejonach Tunezji wszystkie były efektywnie przenoszone przez *M. persicae* (40–100%) oprócz izolatu PLRV 14,2, który nie był przenoszony przez żaden z 6 tunezyjskich klonów *M. persicae*.

Natomiast wektorami wirusów przenoszonych w sposób nietrwały (np. PVY) są liczne gatunki tych owadów, w większości niezwiązanych pokarmowo z rośliną ziemniaka. Boiteau i wsp. (1988) podają, że jest ich ponad 50. W naszym kraju na uprawy ziemniaka nalatuje ponad 20 gatunków (Kostiw, Robak 2008) i nawet jeżeli zwalczymy je wewnątrz plantacji nie mamy wpływu na naloty z zewnątrz.

Do znacznie mniej groźnych należą wirusy M i S ziemniaka (*Potato virus M*, PVM; *Potato virus S*, PVS). Powodują zniżkę plonu bulw od 0% do 30%. W Polsce przeważają izolaty PVM wywołujące słabe objawy chorobowe na roślinach, ujawniające się na ogół w postaci lekkiej mozaiki, przejaśnienia nerwów liści, słabego zwijania liści górnych rośliny i zdrobnienia liści. Znaczenie patogena może być jednak duże w przypadku porażenia roślin odmian wyraźnie nań reagujących, bowiem przy silnej reakcji następuje widoczna deformacja liści i zahamowanie wzrostu roślin (Zagórska i Chrzanowska, 2007). Zgodnie z obowiązującymi przepisami w nasiennictwie, silne symptomy chorobowe są

kwalifikowane jako ostre schorzenia i stanowią podstawę do degradacji lub dyskwalifikacji plantacji nasiennych.

PVS nie ma większego znaczenia w produkcji towarowej ziemniaka, ale jako powszechnie występujący może być uciążliwy w produkcji nasiennej. Często porażone rośliny nie wykazują żadnych objawów chorobowych albo są one ledwo dostrzegalne i tylko doświadczony obserwator jest w stanie odróżnić rośliny porażone od zdrowych. Na zainfekowanych roślinach można niekiedy dostrzec symptomy słabej mozaiki, rozjaśnienia liści wierzchołkowych, żółknięcia liści dolnych lub przejaśnienia nerwów.

Celem badań było określenie i porównanie presji PVY, PVM, PVS i PLRV w różnych terminach okresu wegetacyjnego roślin w latach 2006–2008 w Boninie na północy Polski oraz uzyskanie informacji, czy zaobserwowane wcześniej tendencje dotyczące malejącego zagrożenia PLRV w nasiennictwie ziemniaka utrzymują się nadal.

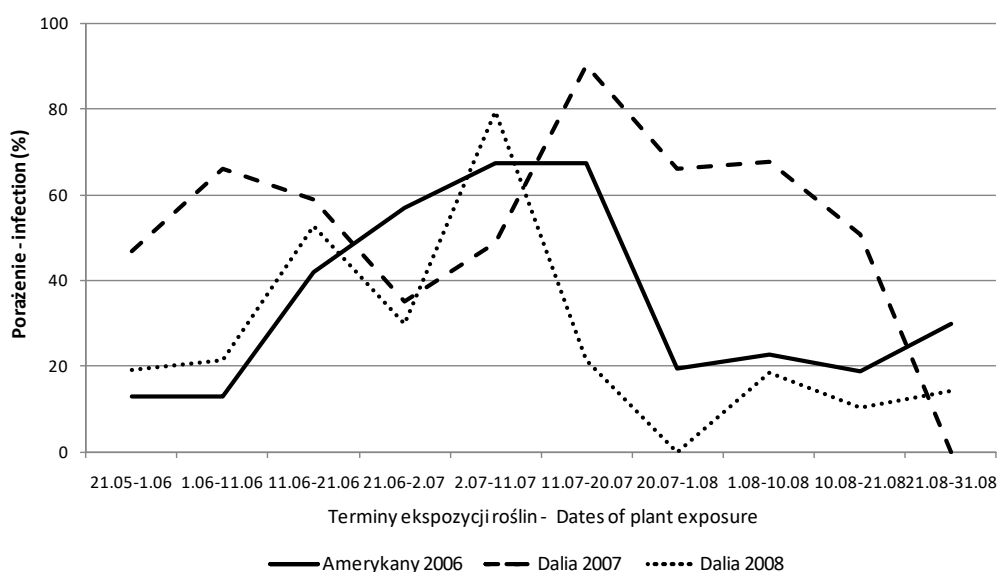
MATERIAŁ I METODY

Badania przeprowadzono w warunkach polowych w Boninie, woj. zachodniopomorskim. Zgodnie z założoną metodyką prac, co 10 dni, w terminie od 21 maja do 1 września, dokonywano ekspozycji w polu, w warunkach dość silnej presji infekcyjnej, każdorazowo po 20 (lata 2006 i 2007) lub 30 (w 2008 roku) zdrowych roślin ziemniaka w wieku 7–10 dni, które wyprodukowano w szklarni w doniczkach o średnicy 18 cm wypełnionych mieszanką torfu z dodatkiem ziemi kompostowej. W 2006 roku były to rośliny odmiany Amerykany (ocenianej jako wrażliwa na PVY i średnio wrażliwa na PLRV), a w latach 2007–2008 rośliny odm. Dalia (odporność na PVY, PLRV, PVM odpowiednio 5,0, 5,0 i 3,0 w skali 9-stopniowej). Wymienione odmiany wybrano wyłącznie ze względu na ich niską odporność na wirusy. Każdorazowo po 10 dniach ekspozycji w polu, rośliny przenoszono do szklarni wolnej od owadów i niezwłocznie traktowano insektycydem w celu zwalczania mogących znajdować się na nich mszyc. Po zakończeniu wegetacji z każdej rośliny zebrano bulwy potomne i umieszczono w przechowalni w temperaturze 4–6°C. Wiosną następnego roku z bulw wycięto wycinki oczkowe i wysadzono w szklarni do doniczek o średnicy 8 cm wypełnionych mieszanką torfu i ziemi kompostowej. Po około 6-tygodniowej wegetacji z każdej rośliny pobrano oddzielnie po 1–2 liście piętra środkowego i niezwłocznie wyciśnięto z nich sok, który poddano diagnostyce na obecność PVY, PVM, PVS i PLRV. Posłużono się zestawami diagnostycznymi firmy Bioreba. Wyniki diagnostyki stanowiły podstawę do wyliczenia procentowego udziału bulw porażonych poszczególnymi wirusami i w poszczególnych terminach ekspozycji roślin testowych. Do wyliczania wartości średnich porażenia z lat brano dane transformowane według wzoru $\arcsin \sqrt{x}$ (gdzie „x” oznacza porażenie), które następnie retransformowano.

WYNIKI

W nasiennictwie ziemniaka duże znaczenie ma presja wirusów we wczesnym terminie okresu wegetacyjnego, kiedy te są bardzo młode i szczególnie podatne na infekcję,

ponieważ nie zdążyły jeszcze nabyć odporności związanej z wiekiem. We wszystkich 3 latach badań stwierdzono wysoką presję PVY, PVM i PVS nawet w bardzo wczesnym terminie wegetacji roślin. W latach 2006 i 2008 udział bulw porażonych PVY w trzeciej dekadzie maja wyniósł odpowiednio 12,9 i 19,2%, a o wiele większy był w 2007 roku, osiągając aż 46,9% (rys. 1). Dane dla PVM w tym samym terminie i wymienionych latach badań kształtowały się na poziomie odpowiednio: 18,4 i 0% oraz 50,1% (rys. 2). PVS stanowił wysokie zagrożenie w latach 2006 i 2007. W trzeciej dekadzie maja stwierdzono odpowiednio 18,4 i 35,2% bulw porażonych. Natomiast wszystkie bulwy zbioru 2008 roku były zdrowe (rys. 3). Z danych zestawionych na rys. 4 widać, że PLRV zaczął się szerzyć w terminie znacznie późniejszym niż PVY, PVM i PVS. W latach 2006 i 2007 była to dopiero druga dekada lipca z odsetkiem bulw porażonych wynoszącym odpowiednio 12,9 i 10,5. Bulwy zbioru 2008 były całkowicie wolne od tego wirusa.

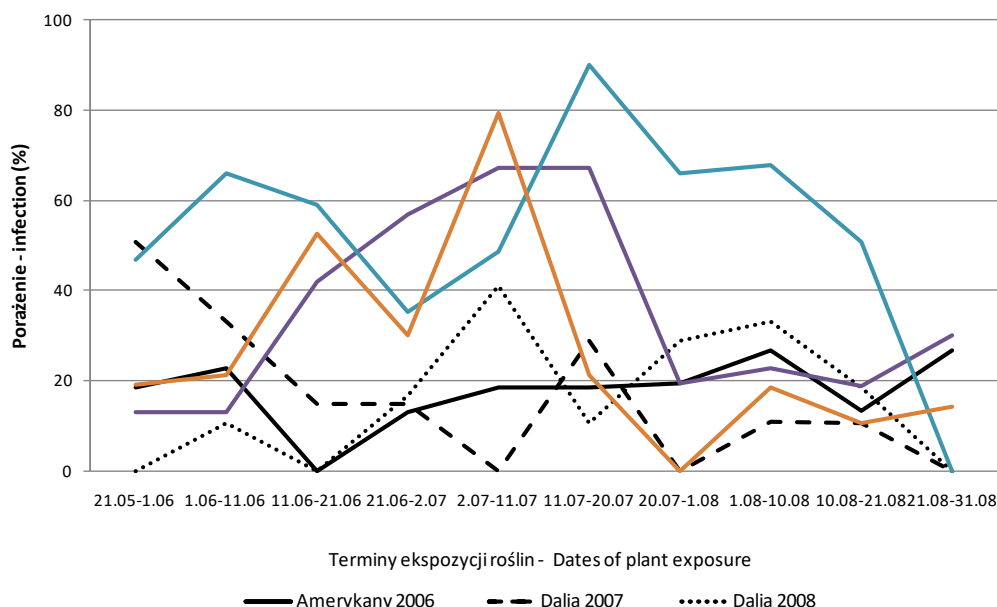


Rys. 1. Procent bulw porażonych przez PVY w różnych terminach okresu wegetacyjnego w latach 2006, 2007 i 2008 w Boninie

Fig. 1. Share of tubers infected with PVY in different periods of growing season in the years 2006, 2007 and 2008 in Bonin (%)

Najwyższą presję PVY, PVM i PVS notowano w różnych terminach okresu wegetacyjnego, od trzeciej dekady maja do trzeciej dekady sierpnia, zależnie od wirusa i roku badań. W latach 2006 i 2008 szczytowa presja PVY wystąpiła w pierwszej dekadzie lipca (rys. 1). Stwierdzono odpowiednio 67,2 i 80,0% udział bulw porażonych. Jeszcze większa była w 2007 roku w drugiej dekadzie tego miesiąca (90,0%). W tym samym roku najwyższy 50,8% udział bulw porażonych PVM (rys. 2) wystąpił bardzo wcześnie bo już w trzeciej dekadzie maja. Z kolei w 2006 roku zbliżone wartości porażenia utrzymywały

się w dekadach od trzeciej maja i pierwszej czerwca (odpowiednio 18,4 i 22,8%) do trzeciej dekady sierpnia (26,6%) z wyłączeniem drugiej dekady czerwca (brak porażenia) oraz drugiej dekady sierpnia ze stosunkowo niższym (13,3%) udziałem bulw w których wykryto PVM. W 2008 roku wyraźne optimum porażenia (41,2%), świadczące o największej presji PVM wystąpiło w pierwszej dekadzie lipca. Dość wysoki udział bulw porażonych w tym roku wystąpił też w trzeciej dekadzie lipca (28,9%) i pierwszej sierpnia (33,2%).



Rys. 2. Procent bulw porażonych przez PVM w różnych terminach okresu wegetacyjnego w latach 2006, 2007 i 2008 w Boninie

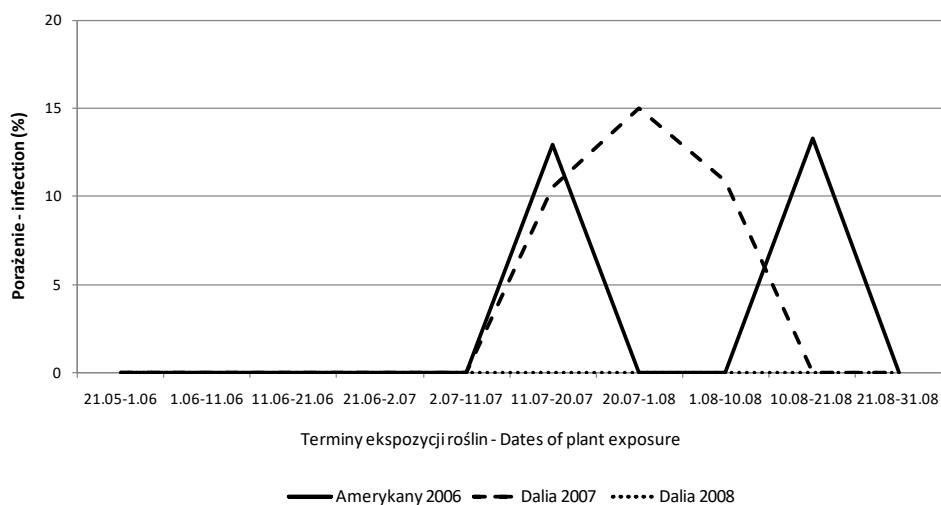
Fig. 2. Share of tubers infected with PVM in different periods of growing season in the years 2006, 2007 and 2008 in Bonin (%)

W 2006 roku największa presja PVS (rys. 3), mierzona procentowym udziałem bulw porażonych wystąpiła w drugiej dekadzie czerwca (30,0%), pierwszej dekadzie lipca (33,2%) i pierwszej sierpnia (30,0%). W 2007 roku były to dekady trzecia maja i pierwsza czerwca (odpowiednio 35,2 i 45,0%) oraz druga dekada lipca (43,1%). Z kolei w 2008 roku PVS stanowił zagrożenie jedynie w trzech kolejnych dekadach — drugiej i trzeciej czerwca (odpowiednio 21,4 i 30,0%) oraz pierwszej lipca (37,3%). Bulwy zebrane z roślin eksponowanych w pozostałych terminach były w tym roku w pełni zdrowe.



Rys. 3. Procent bulw porażonych przez PVS w różnych terminach okresu wegetacyjnego w latach 2006, 2007 i 2008 w Boninie

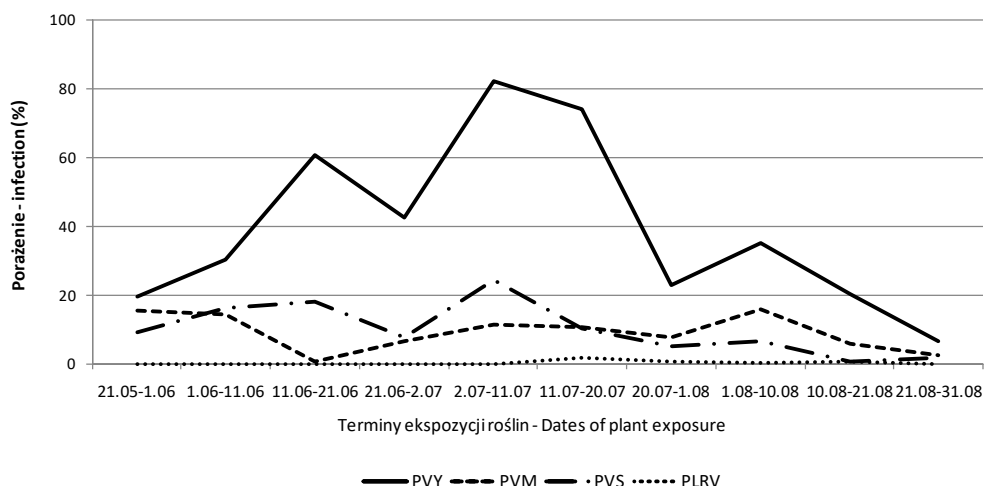
Fig. 3. Share of tubers infected with PVS in different periods of growing season in the years 2006, 2007 and 2008 in Bonin (%)



Rys. 4. Procent udział bulw porażonych przez PLRV w różnych terminach okresu wegetacyjnego w latach 2006, 2007 i 2008 w Boninie

Fig. 4. Share of tubers infected with PLRV in different periods of growing season in the years 2006, 2007 and 2008 in Bonin (%)

Na rysunku 5 przedstawiono wartości średnie z 3 lat (2006–2008). Największe zagrożenie stanowił PVY przez cały sezon wegetacyjny. Odsetek bulw nim porażonych był kilkakrotnie wyższy w porównaniu do wartości uzyskanych dla PVM, PVS, a szczególnie PLRV. Najwyższą presję PVY notowano w pierwszej dekadzie lipca z 82,4% udziałem bulw porażonych. Uzyskane dla tego samego terminu wartości dotyczące porażenia PVM i PVS były o wiele niższe i wyniosły odpowiednio 11,5 i 24,4%. Jedynie w pierwszej dekadzie lipca udział bulw z PVS przekroczył 24,4%.



Rys. 5. Procent bulw porażonych przez PVY, PVM, PVS i PLRV w różnych terminach okresu wegetacyjnego (średnie z lat 2006–2008) w Boninie
Fig. 5. Share of tubers infected with PVY, PVM, PVS i PLRV in different periods of growing season (average 2006–2008) in Bonin (%)

Uzyskane wyniki wykazały wyraźnie, że PLRV nie stanowił praktycznie żadnego zagrożenia dla ziemniaków. Procent bulw porażonych nie przekroczył średnio 1,8. To bardzo niewielkie porażenie wystąpiło w późniejszym okresie sezonu wegetacyjnego, bo dopiero w drugiej dekadzie lipca.

DYSKUSJA

Uzyskane wyniki dowodzą wyraźnie, że w warunkach przeprowadzonych badań, spośród najważniejszych patogenów wirusowych atakujących ziemniaki, PVY stanowi nadal zdecydowanie największe zagrożenie. W nasiennictwie ziemniaka właśnie temu patogenowi należy poświęcić najwięcej uwagi. Na podkreślenie zasługuje fakt, że wirus szerzy się intensywnie również w bardzo wczesnym okresie wegetacji roślin, ponieważ jest przenoszony przez liczne gatunki mszyc w sposób nietrwały (na klujce), w większości niezwiązanych pokarmowo z rośliną ziemniaka. Niektóre z nich nalatują na plantacje tej

rośliny w terminie bardzo wczesnym na wiosnę, średnio około 2 tygodnie wcześniej niż mszyce „ziemniaczane” (Kostiw i Robak, 2008, 2009) i atakują rośliny młode, które nie nabyły jeszcze odporności na wirusy związanej z wiekiem. Dotyczy to w głównej mierze odmian o niskiej odporności na PVY. Według danych COBORU (Chotkowski i Stypa, 2009) na 101 odmian jadalnych będących w Krajowym Rejestrze Odmian w 2009 roku, odporność „5” i niższą w skali 9–stopniowej posiadało aż 39 odmian. W większości są to kreacje hodowli zagranicznych, poszukiwane ze względu na wysokie walory jakościowe, wykorzystywane m.in. w przetwórstwie spożywczym.

Presja PVM i PVS była na ogół podobna, jednak przeciętnie znacznie niższa niż presja PVY (rys. 5), aczkolwiek w niektórych terminach okresu wegetacyjnego zagrożenie tymi wirusami było wysokie. Dotyczyło to również, jak w przypadku PVY, bardzo wczesnego terminu. Przykładem jest wysoki odsetek bulw porażonych przez PVM w 2007 roku już w trzeciej dekadzie maja (50,8%) oraz znacznie mniejszy, ale również znaczący (18,4%) w tym samym terminie w 2006 roku. Również PVS stanowił dość duże zagrożenie dla ziemniaków w równie wczesnym terminie okresu wegetacyjnego. W latach 2006 i 2007 udział bulw porażonych tym patogenem wyniósł odpowiednio 19,4 i 35,2%. Uzyskane wyniki mają istotne znaczenie w epidemiologii chorób wirusowych ziemniaka, która stanowi podstawę nasiennictwa tej rośliny. Informują nas o potencjalnej skali zagrożenia plantacji nasiennych ziemniaka przez wirusy już na początku wegetacji roślin. Infekcji zachodzącej w bardzo wczesnym terminie praktycznie nie można zapobiec, gdyż dochodzi do niej niekiedy nawet na etapie wschodów roślin.

Dane średnie z 3 lat przedstawione na rys. 5, obrazujące przebieg dynamiki porażenia bulw przez PVY, PVM i PVS w całym sezonie wegetacyjnym, wykazały, że był on na ogół podobny dla wszystkich 3 wirusów. Można zatem przypuszczać, że w ich szerzeniu brały udział przynajmniej niektóre wspólne gatunki mszyc. Różnica dotyczyła poziomu porażenia. PVY zdecydowanie przeważał pod tym względem nad PVM i PVS. W literaturze jest mało informacji na temat możliwości przenoszenia PVM i PVS przez mszyce. Według danych różnych autorów (Kostiw, 1987) wśród wektorów tych wirusów wymienia się odpowiednio 7 i 5 gatunków mszyc. W warunkach Polski niektóre z nich licznie nalatują na ziemniaki (Kostiw, Robak, 2008, 2009) i podczas dokonywania próbnych nakłuć roślin (w poszukiwaniu właściwej rośliny żywicielskiej), biorą udział w szerzeniu wirusów przenoszonych w sposób nietrwały.

Zagrożenie ziemniaków przez PLRV w latach badań było wyjątkowo niskie i w żadnym roku oraz terminie ekspozycji roślin udział bulw potomnych porażonych tym patogenem nie przekroczył 15%, a ponadto do pierwszych infekcji dochodziło w znacznie późniejszym okresie sezonu wegetacyjnego w porównaniu do PVY, PVM i PVS (np. w 2006 roku dopiero w drugiej dekadzie lipca). We wcześniejszych badaniach na temat presji omawianych wirusów, obejmujących lata 1989–1992 oraz 1996–2000 (Kostiw, 2004) uzyskano zbliżone wyniki do obecnych. Można zatem ostrożnie wnioskować, że zagrożenie ziemniaków przez PVY, utrzymuje się od lat przeciętnie na niezmiennym wysokim poziomie. Z kolei presja PVM i PVS jest mniejsza niż PVY i również w miarę stabilna. Utrzymujące się od wielu lat niskie lub nawet bardzo niskie zagrożenie PLRV

sprawia, że w nasiennictwie ziemniaka wirus ten nie ma obecnie większego znaczenia ekonomicznego. Również w innych badaniach (Kostiw, Sekrecka, 2009), przeprowadzonych w latach 2006–2008 w miejscowości Cewlino, oddalonej 10 km od Bonina, których zadaniem była ocena przydatności 8 wybranych odmian ziemniaka (w tym odm. Dalia) do uprawy w rolnictwie ekologicznym, zebrane jesienią bulwy potomne były całkowicie wolne od PLRV, niezależnie od roku zbioru. Tymczasem udział bulw porażonych PVY, PVM i PVS był wysoki.

WNIOSKI

1. Największe zagrożenie dla upraw nasiennych ziemniaka w latach 2006–2008 stanowił PVY. Presja PVM i PVS była średnio kilkakrotnie mniejsza.
2. Przebieg dynamiki szerzenia się PVY, PVM i PVS był podobny w ciągu całego sezonu wegetacyjnego. Może to świadczyć, że najważniejszymi wektorami tych wirusów są zasadniczo te same gatunki mszyc.
3. Stwierdzona wysoka presja PVY, PVM i PVS już w bardzo wczesnym terminie sezonu wegetacyjnego, może świadczyć, że w niektóre lata, decydujące znaczenie o porażeniu plantacji nasiennych przez te wirusy mogą mieć infekcje dokonane właśnie w tym wczesnym terminie wegetacji roślin.
4. PLRV szerzył się wyjątkowo słabo. Potwierdziły się więc wyniki badań wcześniejszych o malejącym jego znaczeniu w produkcji nasiennej ziemniaka.

LITERATURA

- Boiteau G., Singh R. P., Parry R. H., Pelletier Y. 1988. The spread of potato virus Y⁰ in new Brunswick potato field: Timing and vectors. *Am. Potato J.* 65: 639 — 649.
- Chikh_Ali M., Maoka T., Natsuaki T., Natsuaki K. 2010. PVY^{NTN-NW}, a novel recombinant strain of Potato virus Y predominating in potato fields in Syria. *Plant Pathology* 59: 30 — 41.
- Chotkowski J. 2009. Czynniki kształtujące zużycie kwalifikowanego materiału nasiennego w rolnictwie (na przykładzie ziemniaka). *Studia i Raporty IUNG — PIB* 17: 129 — 138.
- Chotkowski J., Stypa I. 2009. Odmiany Ziemniaka charakterystyka tabelaryczna. Zakł. Nas. i Ochr. Ziemn. IHAR w Boninie: 17 s.
- Chrzanowska M., Doroszevska T. 1997. Comparison between PVY isolates obtained from potato and tobacco plants grown in Poland. *Phytopathol. Pol.* 13: 63 — 71.
- Chrzanowska M. 2004. Wirusy ziemniaka, nasilenie występowania, zachodzące zmiany i ich przyczyny. W: *Nasiennictwo i Ochrona Ziemniaka. Konf. nauk.-szk. Kołobrzeg, 4–5.03. IHAR ZNiOZ Bonin*: 53 — 56.
- Chrzanowska M. 2009. Rosnące zagrożenie plantacji ziemniaka wirusem Y ziemniaka. *Wiś Jutra* 2 (127): 7 — 9.
- Gabriel W. 1989. *Epidemiologia chorób wirusowych ziemniaka*. PWN Warszawa: 204 s.
- Golnik K., Syller J., Chrzanowska M., Sztangret-Wiśniewska J. 2007. Metody identyfikacji szczepów wirusa Y ziemniaka. *Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin* 47 (2): 94 — 96.
- Kostiw M. 1987. Przenoszenie ważniejszych wirusów ziemniaka przez mszyce. *Inst. Ziemn. Bonin*: 105s.
- Kostiw M. 2004. Presja infekcyjna PVY, PVM, PVS i PLRV w latach 1989–1992 i 1996–2000 w warunkach Polski północnej. *Biul. IHAR* 233: 251 — 257.
- Kostiw M., Robak B. 2008. Skład gatunkowy, termin migracji i dynamika liczebności mszyc „nieziemniaczanych” w uprawie ziemniaka w różnych rejonach kraju. *Progress In Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin* 48 (3): 881 — 888.

- Kostiwn M., Robak B. 2009. Ocena zagrożenia plantacji nasiennych ziemniaka przez wirusy Y i liściozwoju w 2009 roku. *Ziemniak Polski* 4: 4 — 10.
- Kostiwn M., Sekrecka D. 2009. Infection of potato tubers of chosen cultivars by Y, M, S and potato leaf roll viruses in ecological crops in the north of Poland in years 2006–2008. *Phytopathologia* 51: 45 — 52.
- Nie X., Singh R. 2003. Specific differentiation of recombinant PVYN:O and PVYNTN isolate by multiplex RT-PCR. *J. of Virological Methods* 113: 69 — 77.
- Rouze Jouan J., Djilami Khouadja J., Bouhache M., Gauthier J.P., Marrakchi M. 2004. Transmission efficiency of Tunisian Potato leafroll virus isolates by Tunisian clones of the *Myzus persicae* complex (*Hemiptera: Aphididae*). *Boletin de Sanidad vegetal Plagas*. Vol. 30, nr. 1: 47 — 56.
- Zagórska H., Chrzanowska M. 2007. Analiza wyników badań z lat 1973–2005 nad reakcją odmian ziemniaka na wirus M ziemniaka. *Biul. IHAR* 243: 227 — 234.

EDWARD BERNAT**JERZY OSOWSKI**Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB, Radzików
Zakład Nasiennictwa i Ochrony Ziemniaka, Bonin

Zastosowanie systemu decyzyjnego NegFry do zwalczania zarazy ziemniaka

The use of decision support system NegFry to late blight control

Badania nad przydatnością systemu wspomagania decyzji NegFry, w chemicznej ochronie ziemniaka przed zarazą (*Phytophthora infestans*), w porównaniu do różnych systemów ochrony, prowadzono w Instytucie Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Zakładzie Nasiennictwa i Ochrony Ziemniaka w Boninie w latach 2007–2008. Ochrona prowadzona wg systemu NegFry pozwoliła na istotne ograniczenie rozwoju zarazy ziemniaka i zredukowanie liczby zabiegów fungicydowych o 2 w porównaniu do konwencjonalnej metody ochrony (7 zabiegów).

Słowa kluczowe: ochrona chemiczna, NegFry, system wspomagania decyzji, zaraza ziemniaka, ziemniak

The assessment of usefulness of a decision support system (DSS) NegFry for chemical control of late blight (*Phytophthora infestans*) was carried out at the Plant Breeding and Acclimatization Institute, Department of Potato Protection and Seed Science in Bonin in the years 2007–2008. The DSS NegFry was compared to different potato protection systems. The results obtained show that plant protection performed according to NegFry system significantly restricted late blight development and reduced the number of fungicide treatments by two in comparison to the conventional protection method (7 treatments).

Key words: chemical protection, decision support system, NegFry, late blight, potato

WSTĘP

Chorobą o największym znaczeniu gospodarczym w Polsce i na świecie w uprawach ziemniaka jest zaraza ziemniaka wywoływana przez organizm grzybopodobny *Phytophthora infestans* [Mont.] de Bary. W ostatnich latach obserwuje się wzrost potencjału infekcyjnego wynikającego ze zmian genetycznych zachodzących w składzie populacji patogenu (Kapsa 2001). Również coraz częściej stwierdzany jest wcześniejszy termin występowania i rozwoju epidemii, wzrastające nasilenie choroby oraz występowanie nietypowych objawów. Wzrasta także wysokość strat powodowanych przez

sprawcę. Pietkiewicz (1989) oceniał wysokość strat w Polsce na 20–25%, obecne badania Kapsy (2004) szacują straty wywołane rozwojem choroby w zakresie od 22% do 57%.

Wcześniejszy termin rozwoju epidemii i jej gwałtowniejszy przebieg sprawiają, że dotychczasowy sposób prowadzenia ochrony przeciwko zarazie ziemniaka staje się mniej skuteczny i zmusza to do sięgania po nowe rozwiązania. Sposobem pozwalającym na skuteczne hamowanie rozwoju choroby jest zastosowanie systemów decyzyjnych. Jest to jeden z elementów rolnictwa precyzyjnego, który w krajach o wysokorozwiniętym rolnictwie jest coraz powszechniej stosowany. Rolnictwo precyzyjne jest sposobem na połączenie dążeń do ograniczenia intensyfikacji ochrony chemicznej i ochrony środowiska.

W Polsce od lat prowadzone są badania nad wykorzystaniem do zarządzania zwalczaniem zarazy ziemniaka systemu decyzyjnego NegFry. Jest to, jak ocenia Hansen (1995), system najmniej zawodny, który zapewnia wysoką skuteczność działania nawet w latach o wysokiej presji infekcyjnej choroby. Wieloletnie badania polskie i zagraniczne, przeprowadzone w różnych warunkach glebowo—klimatycznych nie wykazały rzeczywistego wystąpienia choroby przed terminem wyznaczonym przez system (Kapsa i wsp. 2005).

Celem badań przeprowadzonych w latach 2007–2008 w IHAR — Zakładzie Nasiennictwa i Ochrony Ziemniaka w Boninie było sprawdzenie skuteczności systemu decyzyjnego (SD) NegFry w warunkach glebowo-klimatycznych Pomorza Zachodniego.

MATERIAŁ I METODY

Badania przeprowadzono w Instytucie Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Zakład Nasiennictwa i Ochrony Ziemniaka w Boninie w latach 2007–2008. W doświadczeniach użyto odmiany Irga, charakteryzującej się wysoką podatnością na sprawcę choroby (2 wg skali 9-stopniowej). Skuteczność systemu decyzyjnego NegFry sprawdzano w doświadczeniach polowych przeprowadzonych w układzie losowanych bloków, w 4. powtórzeniach; testowano następujące warianty:

- Kontrola (brak ochrony przeciwko zarazie ziemniaka),
- Ochrona intensywna — Altima 500 SC stosowana w dawce 0,4 l·ha⁻¹, co 7 dni od momentu zwierania się roślin w rzędach,
- Ochrona wg NegFry — Altima 500 SC stosowana w dawce 0,4 l·ha⁻¹, pierwszy i kolejne terminy zabiegów były wyznaczane przez SD NegFry,
- Ekologiczny wg NegFry — Miedzian Ekstra 350 SC (środek ochrony roślin dopuszczony przez MRiRW do stosowania w uprawach ekologicznych) w dawce 5,0 l·ha⁻¹, pierwszy i kolejne terminy zabiegów były wyznaczane przez SD NegFry,
- Minimalny (dwa zabiegi) — Ridomil Gold MZ 68 WG stosowany w dawce 2,0 kg·ha⁻¹ oraz Altima 500 SC — 0,4 l·ha⁻¹, początek ochrony w momencie wystąpienia pierwszych objawów zarazy ziemniaka.

Na wariacie ochrony intensywnej wykonano po 7 zabiegów ochronnych w każdym z lat prowadzenia doświadczenia. Liczba zabiegów wykonanych w wariantach według DS NegFry wynosiła 5.

Sadzeniaki odmiany Irga były wysadzane w 3.dekadzie kwietnia (27.04.2007 oraz 30.04.2008), gdy temperatura gleby przekraczała 6°C i pozwalały na to warunki atmosferyczne w danym roku. Na wszystkich poletkach doświadczalnych stosowano pełną ochronę mechaniczną oraz chemiczną przeciwko chwastom i stoncy ziemniaczanej.

Obserwacje tempa i nasilenia rozwoju *Phytophthora infestans* na roślinach ziemniaka odmiany Irga przeprowadzano w odstępach 7–10 dniowych od momentu wystąpienia pierwszych objawów choroby do całkowitego zniszczenia części nadziemnej na wariantcie kontrolnym. Ocena wykonywana była wg skali 9-stopniowej, gdzie 9 oznacza pojedyncze plamy nekrotyczne i zniszczenie powierzchni asymilacyjnej do 0,5% a 1— całkowite zniszczenie rośliny (skala wg Pietkiewicza, 1972).

Po zakończeniu okresu wegetacji określono tempo szerzenia zarazy ziemniaka obliczane jako przyrost zniszczenia naci w jednostce czasu wg van der Planka (1963). Jesienią po zbiorze określono wielkość plonu ogólnego bulw potomnych, plonu handlowy (bulwy o średnicy powyżej 30 mm) i plonu bulw dużych (bulwy o średnicy powyżej 60 mm).

Wyniki badań opracowano statystycznie za pomocą 2-czynnikowej analizy wariancji a najniższe istotne różnice wg testu Tukeya.

WYNIKI

Przebieg warunków meteorologicznych w Boninie przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Warunki meteorologiczne w okresie wegetacji ziemniaka Weather conditions during the vegetation of potato							
Miesiąc Month	Dekada Decade	Opady Rainfalls (mm)			Temperatura powietrza Air temperature (°C)		
		2007	2008	1977–2006	2007	2008	1977–2006
Czerwiec June	1.	14,8	0,2	32,9	18,6	18,6	15,1
	2.	28,4	31,6	33,4	17,7	13,7	14,6
	3.	83,4	53,6	31,5	15,7	15,7	15,6
	Suma — Sum	126,6	85,4	97,8			
	Średnia — Mean				17,3	16,0	15,1
Lipiec July	1.	89,0	18,6	33,2	15,5	17,5	17,0
	2.	16,4	33,0	29,9	19,0	17,0	16,9
	3.	98,2	3,8	24,8	16,5	19,5	17,7
	Suma — Sum	203,6	55,4	87,9			
	Średnia — Mean				17,0	18,0	17,2
Sierpień August	1.	35,6	34,6	25,3	18,5	18,8	18,0
	2.	12,0	79,4	25,6	18,6	17,4	17,2
	3.	26,6	21,2	41,2	16,5	16,0	16,0
	Suma — Sum	74,2	135,2	92,1			
	Średnia — Mean				17,8	17,4	17,1
Suma Sum VI–VIII		404,4	276,0	277,8			
Średnia Mean VI–VIII					17,0	18,2	17,5

Warunki meteorologiczne w latach prowadzenia badań różniły się między sobą. Rok 2007 charakteryzował się dużą ilością opadów w miesiącach czerwiec-lipiec, co skutkowało wczesnymi porażeniami roślin *Phytophthora infestans* (3 dekada czerwca). Przebieg warunków meteorologicznych w 2008 w miesiącu czerwcu oraz w 1. dekadzie lipca nie sprzyjał wystąpieniu i rozwojowi infekcji zarazy ziemniaka, wzrost ilości opadów w 2. dekadzie lipca stworzył korzystne warunki dla rozwoju choroby (pierwsze objawy zauważono 17 lipca).

Pomimo różnic w terminie wystąpienia pierwszych objawów infekcji zarazy ziemniaka w danym roku badań (1 lipca 2007 oraz 17 lipca 2008 — różnica ponad 2 tygodnie), przebieg choroby na kontroli (bez ochrony chemicznej przeciw *P. infestans*) miał gwałtowny (epidemiczny) charakter (tab. 2).

Tabela 2

Rozwój zarazy ziemniaka na wariantach doświadczenia (odm. Irga) w latach 2007 i 2008
The late blight development in experimental variants (cv. Irga) in the years 2007 and 2008

Rok Year	Wariant Variant	Liczba zabiegów Number of treatments	Poziom zniszczenia naci (%) Haulm destruction level (%)				Skuteczność ochrony chemicznej (%) Chemical protection effectiveness (%)
			A*	B*	C*	D*	
2007	Kontrola — Control	0	0,2	4,7	98,9	99,8	
	Ochrona intensywna Intensive protection	7	0,2	1,1	4,7	4,7	95,3
	Ochrona wg NegFry Protection by NegFry	5	0,2	0,5	2,3	2,3	97,7
	Ekologiczny wg NegFry Ecological by NegFry	5	0,2	0,8	2,3	13,9	86,1
	Minimalny — Minimal	2	0,2	1,1	4,7	78,3	21,6
2008	Kontrola — Control	0	0,1	0,5	7,4	81,7	
	Ochrona intensywna Intensive protection	7	0,1	0,2	0,5	4,7	94,2
	Ochrona wg NegFry Protection by NegFry	5	0,0	0,2	0,4	3,8	95,3
	Ekologiczny wg NegFry Ecological by NegFry	5	0,0	0,2	0,7	4,7	94,2
	Minimalny — Minimal	2	0,0	0,2	1,7	26,2	67,9
NIR-LSD ($\alpha=0,05$)						12,3	
2007			0,2	1,6	22,6	39,8	
2008			0,0	0,3	2,1	24,2	
NIR-LSD ($\alpha=0,05$)						3,9	
Kontrola — Control			0,1	2,6	53,2	90,8	
Ochrona intensywna — Intensive protection			0,1	0,7	2,6	4,7	94,8
Ochrona wg NegFry — Protection by NegFry			0,1	0,4	1,4	3,1	96,5
Ekologiczny wg NegFry — Ecological by NegFry			0,1	0,5	1,5	9,3	90,2
Minimalny — Minimal			0,1	0,7	3,2	52,2	44,7
NIR-LSD ($\alpha=0,05$)						8,7	

* Daty obserwacji; Observation date:

A — 1 VII 2007 & 17 VII 2008

B — 9 VII 2007 & 23 VII 2008

C — 19 VII 2007 & 29 VII 2008

D — 1 VIII 2007 & 11 VIII 2008

Prowadzenie ochrony chemicznej, niezależnie od wariantu doświadczenia, wpłynęło na istotne ograniczenie porażenia naci zarazą ziemniaka. Średnio w latach badań 2007–2008, najniższe porażenie końcowe oraz najwyższą skuteczność stwierdzono odpowiednio dla ochrony wg NegFry (3,1%; 96,5%) oraz ochrony intensywnej (4,7%; 94,8%). Nieco niższą skuteczność, na poziomie 90,2%, zaobserwowano dla wariantu ekologicznego prowadzonego wg systemu decyzyjnego NegFry. Ochrona prowadzona wg wariantu minimalnego (2 zabiegi) nie spełniła swojego zadania, gdyż jego skuteczność była na niskim poziomie — 44,7%.

W tabeli 3 przedstawiono tempo zatrzymania szerzenia zarazy ziemniaka oraz termin zniszczenia 50% naci (teoretyczny moment gromadzenia plonu bulw potomnych pod krzakiem).

Tabela 3

Tempo szerzenia zarazy ziemniaka
The rate of late blight development

Rok Year	Warinat Variant	Tempo szerzenia zarazy ziemniaka Rate of late blight development	Termin zniszczenia 50% naci od momentu pojawu <i>P. infestans</i> * Time of 50% haulm destruction from appearance of <i>P. infestans</i> * (dni – days)
2007	Kontrola — Control	0,377	17
	Ochrona intensywna Intensive protection	0,097	65
	Ochrona wg NegFry Protection by NegFry	0,075	85
	Ekologiczny wg NegFry Ecological by NegFry	0,132	48
	Minimalny Minimal	0,222	29
2008	Kontrola — Control	0,307	20
	Ochrona intensywna Intensive protection	0,128	49
	Ochrona wg NegFry Protection by NegFry	0,113	55
	Ekologiczny wg NegFry Ecological by NegFry	0,128	49
	Minimalny Minimal	0,205	31
2007		0,181	49
2008		0,176	41
	Kontrola — Control	0,342	19
	Ochrona intensywna Intensive protection	0,113	57
	Ochrona wg NegFry Protection by NegFry	0,094	70
	Ekologiczny wg NegFry Ecological by NegFry	0,130	49
	Minimalny Minimal	0,214	30

* Termin wystąpienia pierwszych objawów choroby: 1 VII 2007 & 17 VII 2008

*The date of first disease symptoms appearance: July 1 2007 & July 17 2008

W wariancie kontrolnym — średnie z lat 2007–2008 — zaobserwowano szybkie tempo szerzenia się choroby (0,342) a zahamowanie gromadzenia plonu bulw pod krzakiem nastąpiło już po 19 dniach od momentu wystąpienia pierwszych objawów choroby (odpowiednio rok 2007 — po 17 dniach; 2008 — po 20 dniach). W wariancie doświadczenia, gdzie zastosowano jedynie dwa zabiegi ochronne (program minimalny), tempo szerzenia choroby było niewiele niższe (2007 — 0,307 i 2008 — 0,205) niż w wariancie kontrolnym a termin gromadzenia plonu był tylko od 5 do 9 dni dłuższy w zależności od roku badań.

Najwolniejsze tempo rozwoju zarazy ziemniaka stwierdzono dla programu ochrony prowadzonej według SD NegFry (0,075–0,113), jednocześnie wariant ten „wydłużył” okres gromadzenia plonu odpowiednio o 68 dni (2007) i 35 dni (2008) w stosunku do wariantu kontrolnego. Tempo szerzenia się choroby na wariantach: ochrona intensywna oraz ekologiczny według NegFry było nieznacznie niższe.

Tabela 4

Plon i jego struktura. Bonin 2007–2008
Yield and yield structure. Bonin 2007–2008

Rok Year	Wariant Variant	Plon — Yield (t/ha)		
		ogólny total	handlowy ($\phi > 30$ mm) marketable ($\phi > 30$ mm)	bulw dużych ($\phi > 60$ mm) big tubers ($\phi > 60$ mm)
2007	kontrola — control	26,5	24,6	6,4
	ochrona intensywna intensive protection	45,8	45,2	27,8
	ochrona wg NegFry protection by NegFry	47,2	46,5	27,8
	ekologiczny wg NegFry ecological by NegFry	39,7	38,9	21,3
	minimalny — minimal	35,6	34,8	14,7
2008	kontrola — control	29,8	29,2	19,4
	ochrona intensywna intensive protection	43,7	42,6	28,2
	ochrona wg NegFry protection by NegFry	45,5	44,5	29,4
	ekologiczny wg NegFry ecological by NegFry	40,2	38,8	21,1
	minimalny — minimal	36,1	35,2	20,4
NIR–LSD ($\alpha = 0,05$)		3,5	3,7	6,3
2007		39,0	38,0	19,6
2008		39,1	38,1	23,7
NIR–LSD ($\alpha = 0,05$)		1,5	1,7	2,8
Kontrola — Control		28,2	26,9	12,9
Ochrona intensywna Intensive protection		44,8	43,9	28,0
Ochrona wg NegFry Protection by NegFry		46,4	45,5	28,6
Ekologiczny wg NegFry Ecological by NegFry		39,9	38,9	21,2
Minimalny — Minimal		35,8	35,0	17,5
NIR–LSD ($\alpha = 0,05$)		2,5	2,6	4,4

Wielkość plonu bulw potomnych odmiany Irga oraz jego strukturę (podział użytkowy) w zależności od wariantów doświadczenia przedstawiono w tabeli 4.

Gwałtowny przebieg choroby i „skrócony” okres gromadzenia plonu (termin zniszczenia 50% naci, średnio dla lat, po 19 dniach od momentu wystąpienia zarazy ziemniaka) skutkował istotnym obniżeniem plonu bulw potomnych w wariancie kontrolnym (bez ochrony chemicznej).

Zastosowanie ochrony chemicznej dla badanych wariantów doświadczenia w każdym roku badań wpłynęło na istotny wzrost wielkości plonu ogólnego bulw potomnych w stosunku do kontroli (NIR–2,5 t·ha⁻¹). Najniższe zwwyżki plonów (handlowego i bulw dużych) zaobserwowano dla wariantu minimalnego (2 zabiegi ochronne) — wynosiły one odpowiednio 30,1% i 35,6%.

Najwyższy przyrost plonu spowodowany „wydłużeniem” okresu jego gromadzenia stwierdzono dla wariantów: ochrona intensywna (7 zabiegów ochronnych) i ochrona wg NegFry (5 zabiegów). Wzrost ten dla plonu handlowego wynosił w zakresie od 17,0–18,6 t·ha⁻¹.

DYSKUSJA

Zaraza ziemniaka wywoływana przez organizm grzybopodobny *Phytophthora infestans* jest chorobą o największym znaczeniu gospodarczym na świecie oraz w polskich warunkach klimatycznych (Kapsa, 2001; Sawicka i Kapsa, 2001). Znaczenie tej choroby wynika między innymi z wysokości strat powodowanych w okresie wegetacji i przechowywania bulw. Jak podaje Henahan (2006) największe straty wywołane wystąpieniem zarazy odnotowano w Irlandii w latach 1845–1849, kiedy to zmarło w wyniku śmierci głodowej ponad milion ludzi. Obecnie wysokość strat powodowanych przez *Phytophthora infestans* na plantacjach, gdzie nie prowadzono ochrony chemicznej jest oceniana na 70% (Hoffman, Schmutterer 1983) do 100% (Fry, 1994).

Najpowszechniejszym sposobem ochrony plantacji ziemniaka jest aplikowanie środków ochrony roślin w cotygodniowych odstępach od momentu zwierania się roślin w rzędach do końca wegetacji, bez względu na lokalny stopień zagrożenia chorobą (Lacroix i in., 2001). Taki sposób prowadzenia ochrony chemicznej przeciw *P. infestans* powoduje, że ilość zabiegów może dochodzić przy uprawie odmian o długim okresie wegetacji nawet do 20 (Kapsa i in., 2005). Intensyfikacja prowadzenia ochrony chemicznej jest jak ocenia Doruchowski (2005) czynnikiem stabilizującym plon, który co prawda, pomaga w utrzymaniu poziomu produkcji żywności, ale jednocześnie jest czynnikiem, który zwiększa zagrożenie zatrucia środowiska. Powstaje swego rodzaju sytuacja patowa, z której sposobem wyjścia staje się rolnictwo precyzyjne (zintegrowane).

Jedną z metod ograniczenia ilości stosowania środków ochrony roślin na plantacjach ziemniaka jest użycie do planowania strategii ochrony przeciw *P. infestans* systemów wspomagania decyzji (SD). Na świecie wykorzystuje się wiele systemów wspomagania decyzji: amerykański Cooka; niemiecki "Negative Prognosis"; amerykański BLITECAST; niemiecki PHYTEB; szwajcarski PhytoPRE; holenderski ProPhy; Frya; duński NegFry i inne (Zaliwski, 2007).

W Polsce najlepiej przebadanym systemem wspomagania decyzji jest NegFry. Wykorzystuje on do swojego działania szereg parametrów, takich jak: temperatura powietrza, wilgotność względna powietrza, ilość opadów atmosferycznych, stopień podatności odmiany na zarazę ziemniaka, datę wschodów, rodzaj zastosowanego środka ochrony roślin. Na podstawie ww. parametrów wylicza tzw. indeks ryzyka, który jest podstawą do przeprowadzenia zabiegu ochronnego.

Badania przeprowadzone w latach 2007–2008 w IHAR Zakładzie Nasiennictwa i Ochrony Ziemniaka potwierdzają przydatność SD NegFry w zarządzaniu prowadzeniem ochrony chemicznej przeciw zaraze ziemniaka. W warunkach klimatycznych Pomorza Zachodniego prowadzenie ochrony chemicznej w sposób intensywny (zabieg, co 7–10 dni) wymaga, w zależności od presji infekcyjnej patogena w danym roku, przeciętnie 6–10 aplikacji — w doświadczeniach wykonano 7 zabiegów chemicznej ochrony. Przy wykorzystaniu SD NegFry ilość wykonywanych zabiegów spadła do 5 w ciągu sezonu, przy jednoczesnym utrzymaniu wysokiej skuteczności ochrony. Doświadczenia z wykorzystaniem SD NegFry przeprowadzone w Niemczech, Danii, Szwecji i Norwegii wg Hansen (1995) redukowały ilości zabiegów o 50% w porównaniu do ochrony konwencjonalnej (aplikacja, co 7–10 dni) oraz o ok. 30% na Litwie, Łotwie i Estonii (Hansen i in., 2000). W Polsce podobną redukcję ilości zabiegów chemicznej ochrony ziemniaka przed zarazą uzyskała Kapsa i wsp. (2003).

W badaniach przeprowadzonych w latach 2007–2008 podobne efekty plonotwórcze uzyskano na poletkach doświadczalnych, niezależnie czy zostały ochronione przed *Ph. infestans* za pomocą metody konwencjonalnej (7 zabiegów) czy też wg SD NegFry (5 zabiegów). Prowadzenie ochrony chemicznej na plantacjach ziemniaka wg systemu decyzyjnego NegFry pozwala na jednoczesne ograniczenie ilości zabiegów (obniżenie kosztów produkcji) oraz zmniejszenie wprowadzanych do środowiska ilości substancji aktywnych — stanowi ważny wkład w ochronę środowiska.

W rolnictwie ekologicznym jedynymi dopuszczonymi fungicydami do zwalczania zarazy na plantacjach ziemniaka są środki miedziowe: siarczan miedzi (trójtlenkowy), tlenek miedzi, wodorotlenek miedzi i tlenochlorek miedzi. Obecnie dopuszczone jest stosowanie do 8 kilogramów czystej miedzi na 1 hektar w trakcie sezonu wegetacyjnego (Nowacki i in., 2004). Przy stosowaniu fungicydu Miedzian Ekstra 350 SC w dawce 5 l·ha⁻¹ do jednego zabiegu zużywane jest około 1 kilograma czystej miedzi — w badaniach przeprowadzonych w ZNiOZ Bonin wykonywano 5 zabiegów w trakcie sezonu wegetacyjnego. Przebadany w doświadczeniach wariant z wykorzystaniem do ochrony preparatu miedziowego (wariant ekologiczny) wykazał efektywność w zwalczaniu zarazy ziemniaka porównywalną z wariantem ochrony intensywnej i ochrony z wykorzystaniem systemu NegFry. Możliwość zmniejszenia ilości zastosowanych zabiegów ochronnych przy jednoczesnej wysokiej efektywności stanowi mocny punkt w ekologicznej uprawie ziemniaków.

WNIOSKI

1. Stosowanie w ochronie ziemniaka przed *Phytophthora infestans* systemu decyzyjnego NegFry pozwala na istotne ograniczenie tempa rozwoju choroby w warunkach klimatycznych Pomorza Zachodniego.
2. Skuteczność ochrony przed zarzą ziemniaka prowadzonej wg SD NegFry była na poziomie skuteczności ochrony konwencjonalnej.
3. Prowadzenie ochrony chemicznej wg NegFry pozwoliło na zmniejszenie ilości aplikacji środków ochrony roślin o 2 w porównaniu do ochrony konwencjonalnej (7 zabiegów).

LITERATURA

- Doruchowski G. 2005. Elementy rolnictwa precyzyjnego w ochronie roślin. Inżynieria Rolnicza 6: 131 — 139.
- Fry W. E. 1994. Role of early and late blight suppression in potato pest management. In: Advances in Potato Pest Biology and Management. Zehnder G. W., Powelson M. L., Jansson R. K., Raman K. V. (eds.). The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, USA: 166 — 177.
- Hansen J. G. 1995. Meteorological dataflow and management for potato late blight forecasting in Denmark. SP Report, Danish Institute of Plant and Soil science, Vol 10: 57–63.
- Hansen J. G., Lassen P., Turka I., Stuogiene L., Valskyte A., Koppel M. 2000. Validation and implementation of a Danish decision support system for the control of potato late blight in the Baltic countries. PAV — Special Report 6/2000. Proc. Workshop on the European Network for Development of an Integrated Control Strategy of Potato Late Blight. Belgium, Ostend 29.09–3.10.1999: 117 — 130.
- Henahan S. 2006. The great famine: gone, but not forgotten. Access Excellence @ the National Health Museum. HTML electronic document.
- Hoffman G. M., Schmutterer H. O. 1983. Parasitäre Krankheiten und Schädlinge an landwirtschaftlichen Kulturpflanzen. Verlag Eugen Ulmer. Stuttgart.
- Kapsa J. 2001. Zaraza (*Phytophthora infestans* /Mont./de Bary) występująca na łodygach ziemniaka. Monogr. i rozpr. nauk. IHAR 11: 1 — 108.
- Kapsa J. 2004. Zmiany stanu zagrożenia i ochrony plantacji przed zarzą (*P. infestans*) w Polsce na tle krajów europejskich. Progress in Plant Protection. Postępy w Ochronie Roślin, Vol. 44 (1): 129–137.
- Kapsa J., Bernat E., Kasprzak M. 2005. Przydatność systemu decyzyjnego NegFry w ochronie ziemniaka przed zarzą w różnych warunkach meteorologicznych. Biul. IHAR 237/238: 177 — 186.
- Kapsa J., Osowski J., Bernat E. 2003. NegFry — decision support system for late blight control in potato crops — results of validation trials in north Poland. J. Plant Prot. Resch. 43: 171 — 179.
- Lacroix G., Latorse M. P., Mercer R. 2001. Phenomena: A new fungicide for the control potato late blight. PAV-Special Raport No. 7: 91 — 98.
- Nowacki W., Gruczek T., Zarzyńska K. 2004. Produkcja ziemniaków w rolnictwie ekologicznym. Krajowe Centrum Rolnictwa Ekologicznego — Regionalne Centrum Doradztwa Rozwoju Rolnictwa i Obszarów Wiejskich w Radomiu: 40 s.
- Pietkiewicz J. 1972. Badanie odporności ziemniaków na zarzę ziemniaczaną (*Phytophthora infestans* de Bary) na odciętych liściach. Biul. Inst. Ziemn. 9: 17 — 31.
- Pietkiewicz J. 1989. Zwalczanie zarazy ziemniaka. Instrukcja Upowszechnieniowa 1/89. Instytut Ziemniaka, Bonin: 20 ss.
- Püntener W. 1989. Podręcznik Doświadczalnictwa Polowego w Ochronie Roślin. PWRiL, Warszawa, s. 40.

- Sawicka B., Kapsa J. 2001. Effect of varietal resistance and chemical protection on the potato late blight (*Phytophthora infestans* [Mont.] de Bary) development. *Potato Res.* 44 (3): 303–304.
- Van der Plank J. E. 1963. *Plant Disease: Epidemics and Control*. Academic Press, New York. pp: 345.
- Zaliwski A. S. 2007. Modele zarazy ziemniaka. http://www.dss.iung.pulawy.pl/Documents/ior/blight_models.html#.

WŁODZIMIERZ MAJTKOWSKI¹**PIOTR MIROSLAW SZULC**²**JERZY GACA**²**JAN MIKOŁAJCZAK**²¹ Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB, Krajowe Centrum Roślinnych Zasobów Genowych, Ogród Botaniczny w Bydgoszczy² Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy

Ocena wykorzystania *Silphium perfoliatum* L. w fitoremediacji terenów zanieczyszczonych metalami ciężkimi

Assessment of the use of *Silphium perfoliatum* L. in phytoremediation of sites contaminated with heavy metals

W doświadczeniu vegetacyjnym założonym w hali vegetacyjnej Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy badano możliwość wykorzystania roznika przerośniętego (*Silphium perfoliatum* L.) w fitoremediacji gleb zanieczyszczonych ołowiem i kadmem. Wykazano, iż roślina ta w czasie jednego roku vegetacji pobrała niewielkie ilości ołowiu oraz nie stwierdzono zmian w zawartości kadmu w roślinach w czasie trwania doświadczenia. Roznik przerośnięty zakumulował w nadziemnych częściach vegetatywnych od 10,77 do 29,26 mg Pb·kg⁻¹ s.m. Zawartość ołowiu w badanych roślinach była istotnie wyższa niż w roślinach kontrolnych. Stwierdzono, że wraz ze wzrostem dawki zastosowanego ołowiu i kadmu następowało istotne zmniejszenie plonu świeżej masy badanych roślin. Uzyskane wyniki wskazują na ograniczone możliwości wykorzystania badanej rośliny w procesie fitoremediacji, przy czym zebrany materiał roślinny może być wykorzystany do produkcji kiszzonek na biogaz.

Słowa kluczowe: *Silphium perfoliatum* L., doświadczenie wazonowe, fitoremediacja, Pb, Cd

In the experiment carried out in the vegetation hall the possibility of using *Silphium perfoliatum* L. in phytoremediation of soils contaminated with lead and cadmium was studied. It was shown that this species has taken up a small quantity of lead during one growing season and that there was no change in cadmium content in the plants throughout the experiment. *Silphium perfoliatum* accumulated from 10.77 to 29.26 mg Pb·kg⁻¹ d.m. in the aboveground vegetative parts. These values were significantly higher than those measured for plants used as the control. Significant decrease in the yield of plant fresh weight with increasing doses of lead and cadmium was recorded. The results indicate that usefulness of *Silphium perfoliatum* in the process of phytoremediation is rather limited.

Key words: *Silphium perfoliatum* L., pot experiment, phytoremediation, Pb, Cd

WSTĘP

Postęp cywilizacyjny przyczynił się do nieodwracalnych zmian środowiska przyrodniczego. Znacznie zwiększyła się zawartość metali ciężkich, które dostają się do gleby i wód powierzchniowych, głównie na skutek: przemysłowej emisji gazów, pyłów, spalania paliw kopalnych w elektrociepłowniach i ciepłowniach, gromadzenia odpadów komunalnych i przemysłowych, emisji spalin z pojazdów samochodowych oraz ze stosowanych w rolnictwie nawozów sztucznych i środków ochrony roślin (Kabata-Pendias i Pendias, 1999; Susarla i in., 2002; Gwóźdź i Kopyra, 2003). Akumulacja metali ciężkich w glebach, szczególnie w formie łatwo dostępnej dla roślin, prowadzi do zaburzeń w ich wzroście i rozwoju. Powoduje to obniżenie plonu roślin uprawnych i warzyw (Ciećko i Wyszowski, 1998; Terelak i in., 2000; Su i Wong, 2004; Szulc i in., 2008). Jednocześnie szereg roślin jest wykorzystywanych do usuwania z gleby lub detoksykacji metali ciężkich i innych substancji chemicznych w procesie fitoremediacji, tj. biologicznej metody oczyszczania środowiska glebowego. W tej metodzie wykorzystana zostaje zdolność niektórych gatunków roślin do pobierania metali ciężkich i gromadzenia ich w tkankach w ilościach wielokrotnie przekraczających typowe zawartości w tkankach innych roślin (Kucharski i in., 1999; Ensley, 2000; Pulford i in., 2002; Gwóźdź i Kopyra, 2003; Maciejewska i Pusz, 2003). W zależności od środowiska i charakteru procesu można wyróżnić kilka technologii fitoremediacyjnych. W oczyszczaniu gleb z metali ciężkich za najbardziej popularną metodę uznaje się fitoekstrakcję wykorzystującą zdolność roślin (tzw. hiperakumulatorów) do gromadzenia szkodliwych zanieczyszczeń w organach nadziemnych. Za hiperakumulatory uważa się rośliny zdolne do szczególnie efektywnego pobierania metali ciężkich z gleby. Rośliny te charakteryzują się dużym przyrostem biomasy oraz wytrzymałością na niekorzystne warunki środowiska. Do grupy najbardziej wydajnych hiperakumulatorów zaliczyć należy gorczycę sarepską (*Brassica juncea*), tobołki (*Thlaspi sp.*) zwłaszcza tobołki alpejskie (*Thlaspi caerulescens*), szarłat szorstki (*Amaranthus retroflexus*), wierzbę (*Salix spp.*) oraz grubosz Helmsa (*Crassula helmsii*) (Salt i in., 1995; Kärenlampi i in., 2000; Pulford i in., 2002; Gwóźdź i Kopyra, 2003; Mijovilovich i in., 2009; Küpper i in., 2009). W wielu ośrodkach badawczych prowadzone są badania nad nowymi gatunkami roślin, które mogą być wykorzystane w fitoremediacji (Prasad, 2003; Szulc i in., 2008). Jednym z takich gatunków może być rożnik przerośnięty (*Silphium perfoliatum*) ze względu na niewielkie wymagania glebowe oraz relatywnie wysoki plon, wynoszący 100-120 t·ha⁻¹ świeżej masy, który uzyskuje się w warunkach odpowiedniej wilgotności gleby i optymalnego nawożenia (Puia i Szabo, 1985; Stanford, 1990; Wolski i in., 1999; Kowalski, 2004).

Celem niniejszych badań była ocena możliwości wykorzystania *Silphium perfoliatum* w fitoremediacji gleb zanieczyszczonych kadmem i ołowiem.

MATERIAŁ I METODY

W hali wegetacyjnej Wydziału Rolnictwa i Biotechnologii Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy założono w czterech powtórzeniach, w

układzie całkowicie losowym, wazonowe doświadczenie wegetacyjne. Wazony wypełniono 10 kg podłoża glebowego pobranego z poziomu orno-próchnicznego czarnej ziemi, której właściwości przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Wybrane właściwości chemiczne gleby
Chosen chemical properties of soil

pH w 1N KCl	Zawartość wybranych składników w glebie Content of particular nutrients in soil									
	C (g·kg ⁻¹)	N (g·kg ⁻¹)	C/N	NaCl (g·dm ⁻³)	Cu (mg·kg ⁻¹)	Zn (mg·kg ⁻¹)	Mn (mg·kg ⁻¹)	Fe (mg·kg ⁻¹)	Pb (mg·kg ⁻¹)	Cd (mg·kg ⁻¹)
6,2	21,0	1,8	11,7	0,96	16,23	21,50	456,00	5997,10	20,75	0,73

Podłoże to w losowo wybranych wazonach zanieczyszczano przez wprowadzenie badanych soli metali ciężkich. W doświadczeniu zastosowano: sole ołowiu w postaci Pb(NO₃)₂ w ilości 300,0; 600,0 i 900,0 mg·kg⁻¹ gleby oraz 3,0; 6,0 i 9,0 mg Cd·kg⁻¹ gleby w postaci CdCl₂·2H₂O. Kontrolę stanowiła gleba w wazonach, do których nie dodano badanych metali. Po upływie dwóch tygodni od przygotowania podłoża do każdego wazonu wysadzono siewkę *Silphium perfoliatum* wyhodowaną w warunkach kultur *in vitro*, z nasion otrzymanych z Ogrodu Botanicznego Krajowego Centrum Roślinnych Zasobów Genowych IHAR w Bydgoszczy. W okresie wegetacji roślin zastosowano nawadnianie, utrzymując połowę pojemność wodną podłoża (mierzoną za pomocą tensjometrów) na poziomie 70%. Po 129 dniach ścięto nadziemną część roślin. Zebrany materiał zważono na wadze analitycznej, następnie wysuszono do powietrznie suchej masy, a w dalszej kolejności materiał roślinny suszono w temperaturze 105°C do uzyskania stałej suchej masy. Tak przygotowany materiał roślinny rozdrobniono, zhomogenizowano i poddano dygestii mikrofalowej w roztworze 65% HNO₃. Całkowitą zawartość ołowiu i kadmu oznaczono metodą atomowej spektrometrii emisyjnej z indukcyjnie sprzężoną plazmą (ICP).

Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej. Zastosowano układ całkowicie losowy jednoczynnikowy. Ocenę istotności różnic między średnimi obiektowymi wykonano z zastosowaniem testu Tukeya.

WYNIKI

W opisywanym doświadczeniu zastosowano ołów w dawkach 300,0; 600,0 i 900,0 mg·kg⁻¹ gleby oraz kadm w dawkach 3,0; 6,0 i 9,0 mg·kg⁻¹ gleby. Zaobserwowano, że wzrastające dawki ołowiu w podłożu glebowym powodują istotny wzrost jego zawartości w nadziemnych organach wegetatywnych *Silphium perfoliatum*. Najwyższą zawartość ołowiu tj. 29,26 mg Pb·kg⁻¹ s.m. stwierdzono w roślinach nawożonych dawką 900,0 mg Pb·kg⁻¹ gleby. Zawartość ta była istotnie wyższa w porównaniu do koncentracji tego pierwiastka w częściach nadziemnych roślin rosnących w wazonach, do których dodano 300,0 i 600,0 mg Pb·kg⁻¹ gleby (tab. 2). Analizując wpływ badanego pierwiastka na plon świeżej masy stwierdzono istotny spadek świeżej masy roślin po skażeniu podłoża dawkami

600,0 i 900,0 mg Pb·kg⁻¹ gleby w porównaniu do plonu roślin z wazonów kontrolnych. Najniższy plon zebrano z wazonów, do których wprowadzono 900,0 mg Pb·kg⁻¹ gleby. Zebrany plon wynosił 14,83 g i był niższy o 28,28 g niż uzyskany z wazonów kontrolnych (tab. 3).

W przypadku zastosowanych dawek kadmu nie stwierdzono dla dawek 3,0; 6,0; i 9,0 mg Cd·kg⁻¹ gleby akumulacji tego metalu w nadziemnych organach wegetatywnych *Silphium perfoliatum*. Podobnie rośliny zebrane z wazonów kontrolnych nie zawierały kadmu (tab. 2). Analizując wpływ kadmu na plon świeżej masy zaobserwowano istotne jego zmniejszenie po zastosowaniu dawki 6,0 i 9,0 mg Cd·kg⁻¹ gleby w porównaniu do najniższej dawki pierwiastka oraz kontroli. Najniższy plon roślin *Silphium perfoliatum*, wynoszący 29,35 g świeżej masy, zebrano z wazonów wypełnionych podłożem skażonym 6,0 mg Cd·kg⁻¹ gleby, natomiast najwyższy, tj. 45,48 g, gdy podłoże w wazonie wegetacyjnym było skażone najniższą badaną dawką kadmu (tab. 3).

Tabela 2

Wpływ skażenia podłoża metalami ciężkimi na ich zawartość w częściach nadziemnych *Silphium perfoliatum* (mg·kg⁻¹ sm.)

The effect of soil contamination with heavy metals on their content in the aboveground parts of *Silphium perfoliatum* (mg·kg⁻¹ d.m.)

Badana cecha Tested feature	Rodzaj i dawka zastosowanych metali ciężkich (mg·kg ⁻¹ gleby) Type and dose of applied heavy metals (mg·kg ⁻¹ soil)							
	zawartość w kontroli content in control		Pb			Cd		
	Pb	Cd	300,0	600,0	900,0	3,0	6,0	9,0
Zawartość metali ciężkich (mg·kg ⁻¹ s.m.) Content of heavy metals (mg·kg ⁻¹ d.m.)	0	0	10,77	18,31	29,26	0	0	0
NIR _{0,05}	X	X		2,68			n.i.	n.s.
LSD _{0,05}								

Tabela 3

Wpływ skażenia podłoża metalami ciężkimi na zebraną świeżą masę części nadziemnych *Silphium perfoliatum* L. (g·wazon⁻¹)

The effect of soil contamination with heavy metals on the amount of harvested fresh mass of aboveground parts of *Silphium perfoliatum* L. (g·pot⁻¹)

Badana cecha Tested feature	Rodzaj i dawka zastosowanych metali ciężkich (mg·kg ⁻¹ gleby) Type and dose of applied heavy metals (mg·kg ⁻¹ soil)							
	kontrola control	Pb			Cd			
		300,0	600,0	900,0	3,0	6,0	9,0	
Świeża masa (g·wazon ⁻¹) Fresh mass (g·pot ⁻¹)	43,21	30,70	23,25	14,83	45,48	29,35	32,98	
NIR _{0,05}	X		16,34			8,56.		
LSD _{0,05}								

DYSKUSJA

Większość gleb uprawnych Polski (97%) charakteryzuje się naturalną zawartością metali ciężkich. Gleby zanieczyszczone stanowią zaledwie 0,15% użytków rolnych (Terelak i in., 2000). W przypadku niższej koncentracji metali ciężkich w glebie skuteczną metodą ich rekultywacji może okazać się fitoremediacja. Jest to metoda korzystna z ekonomicznego punktu widzenia ponieważ można ją stosować do oczyszczania większych powierzchni skażonych metalami ciężkimi (Pulford i in., 2002). Jedną z wykorzystywanych w fitoremediacji roślin może być *Silphium perfoliatum*, uznawana za roślinę o niewielkich wymaganiach siedliskowych (Wolski i in., 1999).

Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano negatywny wpływ ołowiu i kadmu na wzrost i rozwój *Silphium perfoliatum*. Wszystkie analizowane w niniejszym doświadczeniu dawki ołowiu powodowały zmniejszenie plonu świeżej masy części nadziemnej roślin w porównaniu do plonu zebranego z wazonów kontrolnych. Istotne zmniejszenie plonu zaobserwowano dla dwóch najwyższych zastosowanych dawek metalu. Natomiast w przypadku najniższej dawki kadmu stwierdzono niewielki wzrost plonu świeżej masy w porównaniu do plonu świeżej masy roślin zebranych z wazonów kontrolnych. Antonkiewicz i Jasiewicz (2002, 2003) wykazali istotne zmniejszenie plonu roznika przerośniętego, topinamburu i ślazuwca pensylwańskiego po zastosowaniu dawek ołowiu i kadmu, zbliżonych do zastosowanych w niniejszym doświadczeniu. Ciećko i in. (2000) stwierdzili niewielki spadek plonu naci marchwi jadalnej wraz ze wzrostem zawartości kadmu w glebie.

W niniejszym doświadczeniu stwierdzono, iż wraz ze wzrostem zastosowanych dawek ołowiu istotnie zwiększyła się zawartość badanego pierwiastka w częściach nadziemnych *Silphium perfoliatum*. Stwierdzona zawartość ołowiu była znacznie wyższa od tej, jaką zaobserwowali Antonkiewicz i Jasiewicz (2003) w częściach nadziemnych roznika przerośniętego, która wahała się od 0,77 do 3,92 mg·kg⁻¹ s.m. Zawartość ołowiu w częściach nadziemnych topinamburu wahała się od 0,58 do 6,12 mg·kg⁻¹ s.m., a ślazuwca pensylwański zakumulował od 4,26 do 8,92 mg·kg⁻¹ s.m. (Antonkiewicz i Jasiewicz, 2002).

W doświadczeniu przeprowadzonym w hali wegetacyjnej UTP w Bydgoszczy nie zaobserwowano akumulacji kadmu w analizowanym materiale roślinnym. Jednakże nawet niska koncentracja tego metalu w glebie powodowała istotny spadek plonu świeżej masy *Silphium perfoliatum*. Na tej podstawie można wnioskować, że roślina ta nie powinna być wykorzystywana w fitoremediacji gleb skażonych tym pierwiastkiem. Jednak ze względu na niską zawartość ołowiu i kadmu w analizowanej świeżej masie organów nadziemnych *Silphium perfoliatum*, ewentualny plon rośliny może być wykorzystany do produkcji biomasy na cele energetyczne lub paszowe.

WNIOSKI

1. Wykazano, iż *Silphium perfoliatum* L. może być wykorzystana w fitoremediacji gleb o niskiej zawartości ołowiu. Badana roślina w pierwszym roku uprawy akumuluje

- niewielkie ilości tego metalu. Wysoka koncentracja ołowiu w podłożu glebowym powodowała spadek plonu świeżej masy.
2. *Silphium perfoliatum* L. jest rośliną o bardzo ograniczonej przydatności w procesie rekultywacji gleb zanieczyszczonych kadmem. W badanym zakresie stężeń kadmu roślina nie zakumulowała tego pierwiastka w nadziemnych organach wegetatywnych, a zawartość kadmu w zakresie 6,0–9,0 mg·kg⁻¹ gleby powodowała istotne zmniejszenie plonu świeżej masy rośliny.

LITERATURA

- Antonkiewicz J., Jasiewicz Cz. 2002. Ocena przydatności różnych gatunków roślin do fitoremediacji gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi. *Acta Scientiarum Polonorum, Formatio Circumiectus* 1–2: 119 — 130.
- Antonkiewicz J., Jasiewicz Cz. 2003. Effect of soil contamination with heavy metals on element contents in *Silphium perfoliatum* L. *Chemia i Inżynieria Ekologiczna* 10 (3–4): 199 — 210.
- Ciećko Z., Wyszowski M. 1998. Reakcja rzepaku jarego na skażenie gleby ołowiem. *Zeszyty Naukowe Komitetu "Człowiek i Środowisko" PAN* 21: 289 — 294.
- Ciećko Z., Rzoska R., Rolka E., Harnisz M. 2000. Wpływ zanieczyszczenia gleby kadmem na plonowanie i skład chemiczny marchwi. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 471: 889 — 894.
- Ensley B. D. 2000. Rationale for use of phytoremediation. In: *Phytoremediation of toxic metals: Using plants to clean up the environment*. Raskin I., Ensley B. D., (eds.). John Wiley & Sons, New York: 3 — 12.
- Gwóźdź E. A., Kopyra M. 2003. Reakcja komórek roślinnych na metale ciężkie — aspekty biotechnologiczne. *Biotechnologia* 3 (62): 107 — 123.
- Kabata-Pendias A., Pendias H. 1999. *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. PWN Warszawa.
- Kowalski R., 2004. Growth and development of *Silphium integrifolium* in the first 3 years of cultivation. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 32: 389 — 395.
- Kucharski R., Sas-Nowosielska A., Pogrzeba M., Kryński K., Malkowski E. 1999. Perspektywy stosowania metody fitoekstrakcji do oczyszczania gleb w warunkach polskich. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* 18: 60 — 67.
- Kärenlampi S., Schat H., Vangronsveld J., Verkleij J. A. C., van der Lelie D., Mergeay M., Tervahauta A. I. 2000. Genetic engineering in the improvement of plants for phytoremediation of metal polluted soils. *Environmental Pollution* 107: 225 — 231.
- Küpper H., Götz B., Mijovilovich A., Küpper F. C., Meyer-Klaucke W. 2009. Complexation and toxicity of copper in higher plants. I. Characterization of copper accumulation, speciation, and toxicity in *Crassula helmsii* as a new copper accumulator. *Plant Physiology* 151: 702 — 714.
- Maciejewska A., Pusz A. 2003. Problematyka rekultywacji gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi w świetle literatury. *Obieg Pierwiastków w Przyrodzie*, t. 2: 539 — 550.
- Mijovilovich A., Leitenmaier B., Meyer-Klaucke W., Kroneck P. M. H., Götz B., Küpper H. 2009. Complexation and toxicity of copper in higher plants. II. Different mechanisms for copper versus cadmium detoxification in the copper-sensitive cadmium/zinc hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* (Ganges Ecotype)^[OA]. *Plant Physiology* 151: 715 — 731.
- Prasada M. N. V. 2003. Phytoremediation of metal-polluted ecosystems: Hype for commercialization. *Russian Journal of Plant Physiology* 50 (5): 686 — 700.
- Puia I., Szabo A. T. 1985. Experimental cultivation of a new type of forage. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 15: 15 — 20.
- Pulford D., Riddell-Black D., Stewart C. 2002. Heavy metal uptake by Willow clones from sewage sludge-treated soil: The potential for phytoremediation. *International Journal of Phytoremediation* 4 (1): 59 — 72.
- Salt D. E., Blaylock M., Kumar N. P. B. A., Dushenkov V., Ensley B. D., Chet I., Raskin I. 1995. Phytoremediation: A novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. *Nature Biotechnology* 13: 468 — 474.

- Stanford G. 1990. *Silphium perfoliatum* (cup plant) as a new forage. Proceedings of the twelfth North American prairie conference 1990: 33 — 38.
- Su D. C., Wong J. W. C. 2004. Selection of mustard oilseed rape (*Brassica juncea* L.) for phytoremediation of cadmium contaminated soil. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 72: 991 — 998.
- Susarla S., Medina V. F., McCutcheon S. C. 2002. Phytoremediation: an ecological solution to organic chemical contamination. Ecological Engineering 18: 647 — 658.
- Szulc P. M., Kobierski M., Zamorski R., Piłat J., Mikołajczak J., Gaca J. 2008. Effects of heavy metals on the yield and application of oilseed rape seeds for animal feeding. 13th International Conference Forage Conservation, Production of forage crops and climatic changes, Nitra, Slovak Republic, 3–5 September 2008: 60 — 61.
- Terelak H., Motowicka-Terelak T., Stuczyński T., Pietruch C. 2000. Pierwiastki śladowe (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) w glebach użytków rolnych Polski, IOŚ Warszawa.
- Wolski T., Kowalski R., Mardarowicz M., Weryszko-Chmielewska E. 1999. Rożnik przerośnięty (*Silphium perfoliatum* L.) nowa roślina alternatywna. Cz. 2. Badania fitochemiczne. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych 468: 507 — 517.

MONIKA ŻUREK¹BARBARA WIEWIÓRA²GRZEGORZ ŻUREK³¹ Zakład Genetyki i Hodowli Roślin, Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB² Zakład Nasiennictwa i Nasionoznawstwa, Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB³ Zakład Traw, Roślin Motylkowatych i Energetycznych, Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB

Występowanie grzybów endofitycznych na trwałych użytkach zielonych województwa mazowieckiego

The occurrence of endophyte fungi on permanent grasslands in Mazovia region

Grzyby endofityczne z rodzaju *Neotyphodium* to organizmy zdolne do bezobjawowego zasiedlania tkanek swoich gospodarzy, którymi są trawy. Do najczęściej zasiedlanych przez endofity gatunków traw należą: kostrzewa łąkowa (*Festuca pratensis* Huds.), k. trzcinowa (*F. arundinacea* Schreb.) oraz życica trwała (*Lolium perenne* L.). Celem pracy była ocena występowania grzybów endofitycznych w runi 31 trwałych użytków zielonych województwa mazowieckiego. Badania przeprowadzono na ekotypach należących do następujących gatunków (oprócz wymienionych powyżej): *Festuca rubra* L., *F. ovina* L., *F. capillata* L., *Lolium multiflorum*, *Poa pratensis* L., *P. nemoralis* L. i *Deschampsia caespitosa* (L.) P.B. Obecność grzybów z rodzaju *Neotyphodium* stwierdzono w ekotypach 5 gatunków traw: *F. pratensis*, *F. arundinacea*, *F. rubra*, *L. perenne* i *D. caespitosa*. Najwyższa częstotliwość zasiedlenia przez endofity wystąpiła w przypadku *F. pratensis* (62,9%). Ponadto stwierdzono zależność pomiędzy presją użytkową (koszenie, spaszanie) występującą na danym użytku zielonym a częstotliwością zasiedlenia przez endofity.

Słowa kluczowe: gatunki traw, ekotypy, *Neotyphodium*, endofity, użytkowanie

Endophytic fungi from the genus *Neotyphodium* are able to cause asymptomatic infection in their grass hosts. Grass species that are most often infested by endophytes include meadow fescue (*Festuca pratensis* Huds.), tall fescue (*F. arundinacea* Schreb.) and perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). The aim of our study was to estimate the endophyte incidence in swards of 31 permanent grasslands in the Mazovia region. The study objects were ecotypes of the following species: *F. pratensis*, *F. arundinacea*, *F. rubra*, *F. ovina*, *F. capillata*, *Lolium perenne*, *L. multiflorum*, *Poa pratensis*, *P. nemoralis* and *Deschampsia caespitosa*. The presence of *Neotyphodium* fungi was related in the ecotypes of five grass species: *F. pratensis*, *F. arundinacea*, *F. rubra*, *L. perenne* and *D. caespitosa*. The highest frequency of endophyte infection was observed in *F. pratensis* (62.9%). Moreover, the relationship between a type of site usage (grazing or cutting) and the endophyte occurrence were found.

Key words: grass species, ecotypes, *Neotyphodium*, endophyte, usage

WSTĘP

W Polsce trwałe użytki zielone zajmują powierzchnię ponad 3270000 ha, w tym na terenie województwa mazowieckiego znajduje się ok. 530000 ha, co stanowi 16% ogólnej powierzchni kraju (GUS, 2008). Powierzchnia województwa mazowieckiego wynosi 35557 km², zaś użytki zielone (łąki i pastwiska) stanowią 14,9% jego powierzchni, przy średniej krajowej wynoszącej około 16,7%. Najważniejszymi z rolniczego i ekonomicznego punktu widzenia gatunkami traw występującymi w runi użytków zielonych są: życica trwała (*Lolium perenne* L.) oraz gatunki kostrzew: łąkowej (*Festuca pratensis* Huds.), czerwonej (*F. rubra* L.) i trzcinowej (*F. arundinacea* Schreb.) (Bony i Delatour, 2000). Gatunki te są równocześnie uważane za głównych gospodarzy grzybów endofitycznych (Latch i in., 1984; Gams i in., 1990; Morgan-Jones i Gams, 1982). Według systematyki, grzyby endofityczne zasiedlające trawy są zakwalifikowane do grzybów niedoskonałych rodzaju *Neotyphodium*, jednak prowadzone badania filogenetyczne wskazują na konieczność zmian w ich taksonomii (Leuchtmann i Schardl, 1998). Organizmy te żyją w przestrzeniach międzykomórkowych części wegetatywnych traw oraz w ich nasionach. Występują w roślinach bezobjawowo, najczęściej zasiedlając podstawę pochwy liściowej lub stożki wzrostu. Śladowe ilości endofitów znajdowano także w blaszkach liściowych oraz w korzeniach traw (Kemp i in., 2007). Do najbardziej powszechnych i najlepiej poznanych grzybów z rodzaju *Neotyphodium* należą: *N. coenophialum* Morgan-Jones & Gams, *N. uncinatum* Gams, Petroni & Schmidt, *N. lolii* Latch, Christensen & Samuels, oraz *N. typhinum* Morgan-Jones & Gams (Prończuk, 2005). Grzyby z rodzaju *Neotyphodium* określane są terminem „seed borne fungi”, ponieważ mają zdolność przenoszenia się z nasionami (White i Cole, 1986; White, 1987). Ich grzybnia zasiedla głównie warstwę aleuronową, ale jej rozmieszczenie w nasionach traw bywa różne. Zasiedlone ziarniaki nie posiadają widocznych objawów obecności tych grzybów (Wiewióra i Prończuk, 2006). Endofity mogą tworzyć ze swoimi gospodarzami zarówno układy pasożytnicze, jak i saprotroficzne (Prończuk, 2005). Grzyby endofityczne występujące na trawach czerpią korzyści pobierając składniki odżywcze, roślina stanowi dla nich schronienie, a także zyskują możliwość przenoszenia się do kolejnego pokolenia zainfekowanej rośliny poprzez nasiona (Müller i Kraus, 2005). Również zainfekowana roślina korzysta z obecności grzybni endofitycznej w swoich tkankach. Dotychczas udowodniono następujące pozytywne aspekty zasiedlania traw przez grzyby z rodzaju *Neotyphodium*:

- odporność na choroby grzybowe (Latch, 2007);
- większa odporność roślin zakażonych endofitami na stres suszy (jednakże cecha ta zależna jest od gatunku, odmiany i fazy rozwojowej, w jakiej znajduje się roślina) (Pańka i Żurek, 2005);
- lepsza zdolność do regeneracji uszkodzeń w wyniku suszy — ten korzystny aspekt obecności grzybów endofitycznych w trawach został najlepiej udokumentowany w przypadku kostrzewy trzcinowej (Hahn i in., 2007);
- większa żywotność siewek i lepsze krzewienie — potwierdziły to australijskie badania przeprowadzone w 1999 i 2000 roku nad życicą trwałą (Reed, 2002);

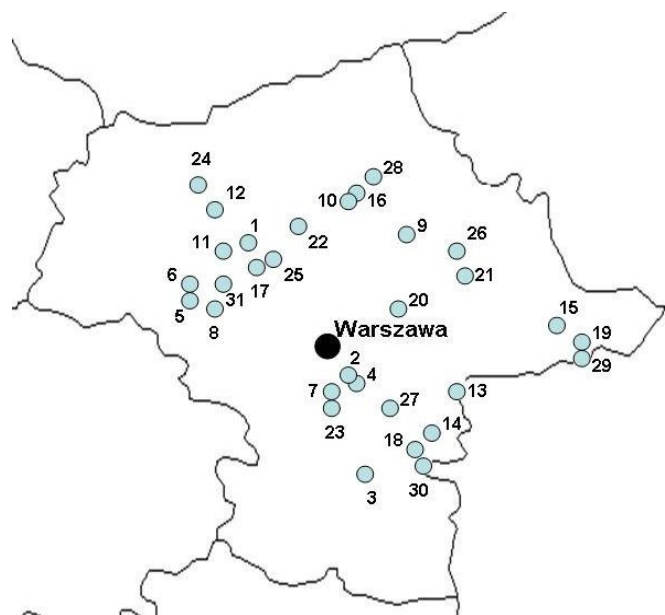
— odporność na insekty — dotychczas udokumentowano odporność zainfekowanych przez grzyby endofityczne traw na 45 gatunków owadów (Kuldau i Bacon, 2008).

Większość tych korzystnych cech wzbudzana jest w roślinach poprzez wytwarzane przez endofity alkaloidy i inne substancje. Jednak niektóre z tych alkaloidów są toksyczne i powodują stany chorobowe u zwierząt, a nawet mogą stanowić duże zagrożenie dla ich życia, np. alkaloid lolitrem B może powodować chorobę zwaną „ryegrass staggers syndrome”, a ergovalina — „fescue toxicosis”. Z punktu widzenia dobrostanu zwierząt, najbardziej korzystną formą karmienia zwierząt, jest spasanie ich na trwałych użytkach zielonych. Z tego względu należy mieć pewność, że uprawy te są wolne od grzybów endofitycznych, a co za tym idzie są bezpieczne dla spasnianych tam zwierząt gospodarskich.

Celem pracy jest ocena występowania grzybów z rodzaju *Neotyphodium* na trawach najczęściej występujących w runi trwałych użytków zielonych na terenie województwa mazowieckiego.

MATERIAŁ I METODY

W celu pozyskania ekotypów traw do badań, przeprowadzono 4 ekspedycje na przełomie czerwca i lipca 2008 r. w rejonie województwa mazowieckiego. W czasie ekspedycji zebrano następujące informacje na temat badanych siedlisk: koordynaty geograficzne wg wskazań GPS, wilgotność oraz typu gleby, warunki fizjograficzne. Rozmieszczenie badanych użytków zielonych przedstawia rysunek 1.

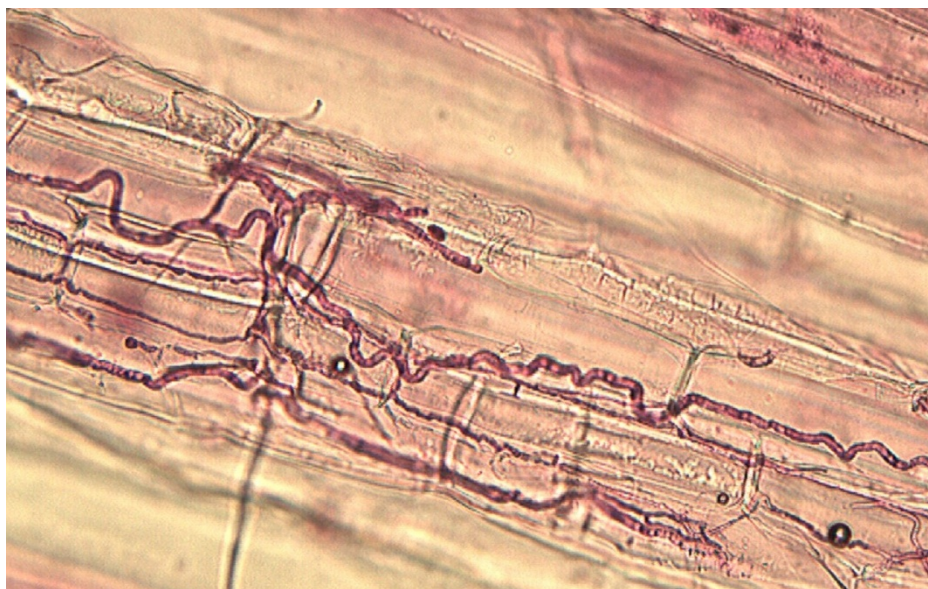


Rys. 1. Rozmieszczenie stanowisk zbioru ekotypów traw (numery korespondują z numerami miejscowości w tabeli 1)

Fig. 1. Distribution of ecotype collection sites (numbers refer to site numbers in Table 1)

Określono również szacunkowo procentowy udział traw ogółem oraz udział poszczególnych gatunków traw w runi na badanych stanowiskach. Typ użytkowania określano w oparciu o lustrację stanowisk. Stanowisko określano jako nie użytkowane, jeśli runi nie była skoszona bądź zgryziona, widoczne były kwiatostany traw oraz chwastów dwuliściennych jak również siewki drzew i krzewów. O koszeniu badanego stanowiska wnioskowano w oparciu o ślady tego zabiegu w runi, oraz ewentualnie pozostawione siano. Najbardziej ewidentnym dowodem na spasanie badanego stanowiska była obecność bydła na wypasie, ewentualnie ślady jego żerowania oraz grodzenia kwater. Z tak scharakteryzowanych stanowisk pobierano po 4–6 roślin w obrębie każdego z pozyskiwanych ekotypów. Przyjęto zasadę, iż z jednego stanowiska pozyskiwano tylko jeden ekotyp w obrębie każdego z występujących tam gatunków. Zebrane rośliny wysadzono na polu doświadczalnym Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin w Radzikowie, w rozstawie 25 × 25 cm.

Obecność grzybów z rodzaju *Neotyphodium* w zebranych roślinach badanych ekotypów określano metodą barwieniową z wykorzystaniem różu bengalskiego według Saha i wsp. (1988). Standardowy roztwór barwiący zawierający 0,5% barwnika rozpuszczano w 5% roztworze wodnym alkoholu etylowego. Do wykonania preparatu, miękisz blaszki liściowej pozyskiwano z pochwy liściowej 10 losowo wybranych pędów każdej z badanych roślin, umieszczano na szkiełku podstawkowym w 1–2 kroplach standardowego roztworu barwiącego i wybarwiano przez 30–60 sekund. Obecność grzybni endofitów identyfikowano na wybarwionych preparatach, używając powiększenia 100× oraz 400×. Grzybnie endofitów w wybarwionych preparatach miała kolor różowy lub czerwony (rys. 2).



Rys. 2. Charakterystyczna grzybnia endofita przerastająca komórki liścia
Fig. 2. A typical endophyte hyphae overgrown in leaf cells

- Na podstawie przeprowadzonych analiz laboratoryjnych określono:
- stopień zasiedlenia ekotypów (procentowy udział roślin, dla których stwierdzono obecność grzybni w co najmniej jednym z badanych pędów, w ogólnej liczbie roślin przypadających na badany ekotyp);
 - frekwencję zasiedlenia badanych gatunków traw przez endofity (procentowy udział ekotypów zasiedlonych w łącznej liczbie pozyskanych);
 - zasiedlenie średnie dla gatunków i miejscowości (średnia wartość zasiedlenia dla pozyskanych ekotypów) oraz dla typu użytkowania.

WYNIKI I DYSKUSJA

Ekotypy traw pozyskano z 31 trwałych użytków zielonych. Badane stanowiska położone były na równinach wzdłuż dróg, rzek, pod lasami lub obok pól uprawnych. Były to głównie łąki, które stanowiły 87% wszystkich użytków zielonych, zaś pozostałe 13% to pastwiska i nieużytki. Dominującym typem użytkowania było spasanie (42% stanowisk), zaś pozostałe stanowiska były koszone (29%) lub nie były w ogóle użytkowane (29%). Większość (68%) badanych użytków zielonych charakteryzowała się średnią wilgotnością podłoża. Na badanych siedliskach występowały trzy rodzaje podłoża: mineralno-organiczne (52% stanowisk), organiczne (32%) oraz mineralne (16%) (tab. 1).

Tabela 1

Wykaz stanowisk zbioru oraz ich podstawowe charakterystyki
List of ecotype collection sites and its basic characteristics

L.p No.	Nazwa miejscowości Name of locality	Ogólny opis siedliska zbioru General description of collection site	Typ użytkowania Type of usage	Wilgotność podłoża Soil moisture	Rodzaj gleby Type of soil
1	2	3	4	5	6
1	Borkowo	łąka pod lasem meadow near the forest	spasanie grazed	średnia medium	mineralne mineral
2	Brzezinka	łąka meadow	nie użytkowane not used	wysoka high	mineralno-organiczne min.- organic
3	Brzoza	łąka wzdłuż drogi meadow near the road	spasanie grazed	średnia medium	mineralno-organiczne min.-organic
4	Całowanie	pastwisko dla koni pasture for horses	spasanie grazed	wysoka high	organiczne organic
5	Famułki Brochowickie	łąka wzdłuż drogi meadow near the road	nie użytkowane not used	niska low	mineralno-organiczne min.- organic
6	Gorzewnica	łąka nad rzeką meadow near the river	spasanie grazed	średnia medium	mineralno-organiczne min.- organic
7	Góra Kalwaria	łąka nad rzeką meadow near the river	koszenie cut	średnia medium	mineralno-organiczne min.- organic
8	Granica	łąka pod lasem meadow near the forest	koszenie cut	średnia medium	mineralno-organiczne min.- organic
9	Gwizdały	łąka wzdłuż drogi meadow near the road	nie użytkowane not used	średnia medium	organiczne organic
10	Józefowo	łąka meadow	koszenie cut	niska low	mineralne mineral

c.d. Tabela 1

1	2	3	4	5	6
11	Koliszewo	łąka wzdłuż drogi meadow near the road	spasanie grazed	średnia medium	mineralno-organiczne min.- organic
12	Luszewo	łąka wzdłuż drogi meadow near the road	spasanie grazed	średnia medium	organiczne organic
13	Łopacianka	łąka wzdłuż drogi meadow near the road	koszenie cut	średnia medium	mineralno-organiczne min.-organic
14	Milanów	łąka wzdłuż drogi meadow near the road	nie użytkowane not used	średnia medium	organiczne organic
15	Mordy-Pieńki	łąka obok pola uprawnego meadow by the arable field	koszenie cut	średnia medium	mineralno-organiczne min.-organic
16	Nowy Gródek	łąka meadow	spasanie grazed	niska low	mineralne mineral
17	Okunin	łąka nad rzeką meadow near the river	nie użytkowane not used	niska low	mineralne mineral
18	Oronne	łąka wzdłuż drogi meadow near the road	spasanie grazed	średnia medium	organiczne organic
19	Ostoje	łąka wzdłuż drogi meadow near the road	koszenie cut	średnia medium	organiczne organic
20	Ostrówek	łąka meadow	nie użytkowane not used	niska low	mineralne mineral
21	Pierzchały	łąka pod lasem meadow near the forest	spasanie grazed	średnia medium	organiczne organic
22	Piskornia	łąka wzdłuż drogi meadow near the road	spasanie grazed	niska low	mineralno-organiczne min.- organic
23	Podosowa	łąka meadow	spasanie grazed	niska low	mineralno-organiczne min.- organic
24	Radzimowice- Starogrody	łąka wzdłuż drogi meadow near the road	koszenie cut	średnia medium	organiczne organic
25	Sikory	łąka pod lasem meadow near the forest	nie użytkowane not used	średnia medium	mineralno-organiczne / min.- organic
26	Stara Wieś	łąka wzdłuż drogi meadow near the road	nie użytkowane not used	średnia medium	organiczne organic
27	Stoczek	nieużytki wzdłuż drogi wasteland by the road	nie użytkowane not used	niska low	mineralno-organiczne min.-organic
28	Szarłat	las mieszany nad rzeką mixed forest by the river	spasanie grazed	średnia medium	mineralno-organiczne min.-organic
29	Tęczki	łąka wzdłuż drogi meadow near the road	koszenie cut	średnia medium	organiczne organic
30	Tyrzyn	łąka wzdłuż drogi meadow near the road	koszenie cut	średnia medium	mineralno-organiczne min.-organic
31	Wilków Polski	pastwisko dla koni pasture for horses	spasanie grazed	średnia medium	mineralno-organiczne min.-organic

Ogółem w czasie ekspedycji zgromadzono 121 ekotypów w następujących gatunkach: *Festuca rubra* – 30 ekotypów, *Lolium perenne* – 26, *F. pratensis* i *Deschampsia caespitosa* – po 24, *L. multiflorum*, *F. arundinacea* i *F. ovina* – po 4, *F. capillata* i *Poa pratensis* – po 2, *P. nemoralis* – 1.

W trakcie pobierania roślin z badanych stanowisk określono również procentowy udział w runi występujących na nich gatunków traw. Stwierdzono, że trawy stanowiły ogółem od 60 (Ostrówek) do 97% (Tyrzyn) wszystkich występujących gatunków roślin, a jedynie w przypadku miejscowości Podosowa było ich ok. 16% (tab. 2). W runi wszystkich badanych

stanowisk stwierdzono występowanie *Festuca rubra*. Średni udział tego gatunku wynosił 22,3% i zawierał się w przedziale od 1 (Podosowa i Józefowo) do 78% (Radzimowice - Starogrody). Na 26 stanowiskach stwierdzono oprócz tego występowanie *Lolium perenne* (udział w runi średnio 13,1%, od 0 do 70%), a na 24 stanowiskach — *Deschampsia caespitosa* (odpowiednio, 19,9% od 0 do 70%) oraz *Festuca pratensis* (7,6%, od 0 do 20%). Pozostałe gatunki występowały na kilku stanowiskach (*Lolium multiflorum*, *Festuca ovina*, *F. arundinacea*) lub tylko na jednym — *Poa nemoralis* (tab. 2).

Tabela 2

Udział poszczególnych gatunków traw w runi badanych stanowisk
Share of grass species in swards on examined localities

Nazwa miejscowości Name of locality	Udział w runi: Share in sward:		Udział gatunków traw w runi Share of grass species in sward									
	trawy grasses	gatunki inne other species	<i>Lolium perenne</i>	<i>Lolium multi- florum</i>	<i>Festuca pratensis</i>	<i>Festuca rubra</i>	<i>Festuca arundin- acea</i>	<i>Festuca capi- llata</i>	<i>Festuca ovina</i>	<i>Poa pratensis</i>	<i>Poa nemo- ralis</i>	<i>Descham- psia caespitosa</i>
Borkowo	95	5	40	10		5						
Brzezinka	80	20	10		10	30						15
Brzoza	95	5	5	5		25				5		10
Całowanie	70	30	10	10	5	20						10
Famulki	90	10				55				10		< 1
Brochowickie												
Gorzewnica	85	15	10		5	15				5		15
Góra Kalwaria	80	20			15	35			< 1			
Granica	95	5	5		5	35	5				< 1	30
Gwizdały	85	15	5		5	50						10
Józefowo	85	20	20	10	10	1	20					5
Koliszewo	90	10	70		5	10						
Luszewo	95	5	5	10	5	5		< 1				
Łopacianka	95	5	20		< 1	10						15
Milanów	80	20				30	15					20
Mordy-Pieńki	90	10	2		5	43						
Nowy Gródek	95	5	30		10	20						10
Okunin	95	5	5		5	70				10		< 1
Oronne	95	5	10			20				5		35
Ostoje	90	10	5		5	10	20					10
Ostrówek	60	40				15			25			
Pierzchały	90	10	2		5	12		< 1				70
Piskornia	90	10	30	20	10	5						10
Podosowa	16	84	1		< 1	1						5
Radzimowice- Starogrody	95		5		1	78			< 1			< 1
Sikory	90	10	5		5	10						60
Stara Wieś	85	15	5		20	10						20
Stoczek	80	20				10			< 1			
Szarłat	80	20	20		5	25				15		10
Tęczki	95	5	5		20	20						25
Tyrzyn	97	3	10		5	5						65
Wilków Polski	95	5	5		20	10						5
Średnio dla gatunków Mean for species	85,7	14,7	13,1	10,8	7,6	22,3	15,0	<1	6,9	8,3	<1	19,9

Tabela 3

Zasiedlenia ekotypów badanych gatunków traw przez endofity
Colonization of ecotypes of the examined grass species by endophytes

Miejscowość Locality	Częstotliwość zasiedlania traw przez endofity w badanych miejscowościach: Frequency of grass colonization by endophytes in examined localities:										średnio dla miejscowości mean for localities
	<i>Descham- psia caespitosa</i>	<i>Festuca arundin- acea</i>	<i>F. capil- lata</i>	<i>F. ovina</i>	<i>F. praten- sis</i>	<i>F. rubra</i>	<i>Lolium multi- florum</i>	<i>L. perenne</i>	<i>Poa nemo- ralis</i>	<i>P. praten- sis</i>	
Borkowo						14,3	0,0	33,3			15,9
Brzezinka	33,3				100,0	0,0		33,3			41,7
Brzoza	0,0					0,0	0,0	33,3		0,0	6,7
Całowanie	0,0				100,0	0,0	0,0	0,0			20,0
Famułki											
Brochowickie	0,0					0,0					0,0
Gorzewnica	0,0				80,0	0,0		20,0			25,0
Góra Kalwaria				0,0	100,0	33,3					44,4
Granica	0,0	50,0			50,0	0,0		0,0	0,0		16,7
Gwizdały	0,0				66,7	0,0		0,0			16,7
Józefowo	0,0	0,0			0,0	0,0	0,0	0,0			0,0
Koliszewo					100,0	0,0		0,0			33,3
Luszewo	0,0		0,0		66,7	20,0		0,0			17,3
Łopacianka	0,0				0,0	50,0		0,0			12,5
Milanów	0,0	0,0				0,0					0,0
Mordy-Pieńki					66,7	33,3		33,3			44,4
Nowy Gródek	0,0				100,0	0,0		0,0			25,0
Okunin	0,0					0,0		66,7			22,2
Oronne	25,0					33,3		100,0		0,0	39,6
Ostoje	0,0	0,0			50,0	0,0		0,0			10,0
Ostrówek				0,0		0,0					0,0
Pierzchały	0,0		0,0		100,0	0,0		66,7			33,3
Piskornia	0,0				33,3	0,0		0,0			8,3
Podosowa	0,0				0,0	0,0		0,0			0,0
Radzimowice- Starogrody	0,0			0,0	66,7	0,0		33,3			20,0
Sikory	0,0				0,0	0,0		0,0			0,0
Stara Wieś	0,0				100,0	0,0		0,0			25,0
Stoczek				0,0		0,0					0,0
Szarłat	0,0				66,7	25,0		33,3			31,3
Tęczki	0,0				66,7	33,3		33,3			33,3
Tyrzyn	0,0				100,0	0,0		0,0			25,0
Wilków Polski	0,0				33,3	100,0		0,0			33,3
Frekwencja zasiedlenia Colonization frequency	8,0	25,0	0,0	0,0	82,6	42,9	0,0	42,3	0,0	0,0	77,4
Średnie zasiedlenie Average colonization	2,3	12,5	0,0	0,0	62,9	11,0	0,0	18,7	0,0	0,0	21,2

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono całkowity brak obecności grzybów endofitycznych z rodzaju *Neotyphodium* w ekotypach pobranych z 7 miejsc (Podosowa, Stoczek, Milanów, Ostrówek, Famułki Brochowickie, Sikory oraz Józefowo). Średnie

procentowe zasiedlenie ekotypów na pozostałych stanowiskach wynosiło 21,2% i wahało się od 6,7% (Brzoza) do 44,4% (Góra Kalwaria) (tab. 3).

Pod względem gatunkowym, obecność endofitów z rodzaju *Neotyphodium* stwierdzono w: *Lolium perenne*, *Festuca pratensis*, *F. rubra*, *F. arundinacea* i *Deschampsia caespitosa*. W przypadku pozostałych gatunków (*Festuca ovina*, *Lolium multiflorum*, *F. capillata*, *Poa pratensis*, *P. nemoralis*) nie wykryto obecności grzybni endofitycznej. Najczęściej oraz najintensywniej zasiedlanym gatunkiem traw była *Festuca pratensis* (frekwencja zasiedlenia 82,6%, średnie zasiedlenie 62,9%). Znacznie rzadziej i mniej intensywnie zasiedlane były ekotypy *Lolium perenne* (frekwencja – 42,3%, średnie zasiedlenie 18,7%), *Festuca rubra* (odpowiednio, 42,9% i 11,0%), *F. arundinacea* (25% i 12,5%) oraz *Deschampsia caespitosa* (8% i 2,3%) (tab. 3).

Krajowe badania nad występowaniem endofitów traw są nieliczne, jednakże potwierdzają obecność grzybów endofitycznych w rodzimych ekotypach większości wymienionych wyżej gatunków traw (Wiewióra i in., 2006; Pańka i Żurek, 2005, 2008). Zbliżone wartości zasiedlenia traw przez endofity stwierdzono również w badaniach Pańki i Żurka (2008) nad nasionami pochodzącymi z różnych regionów kraju (*F. pratensis* — 93%, *F. rubra* — 63% oraz *L. perenne* — 60%). Krajowe doniesienia dotyczące zasiedlenia *D. caespitosa* określają je na poziomie 5–20% (w ziarniakach) (Wiewióra i Prończuk, 2006). Zasiedlenie tego gatunku przez endofity na poziomie 20% potwierdziły badania przeprowadzone w Finlandii przez Wäli i wsp. (2000).

Tabela 4

Zasiedlenie ekotypów traw w zależności od gatunku oraz typu użytkowania
Endophyte incidence in relation to grass species and type of usage

Typ użytkowania Type of usage	Rodzaj, gatunek Genus, species	Zasiedlenie ekotypów przez endofity: Colonization of ecotypes by endophytes :	
		frekwencja — frequency	zasiedlenie średnie — average colonization
Nieużytkowane Not used	<i>Lolium perenne</i>	20,0	20,0
	<i>Festuca pratensis</i>	75,0	66,7
	<i>Festuca rubra</i>	0,0	0,0
	<i>Festuca arundinacea</i>	0,0	0,0
	<i>Deschampsia caespitosa</i>	14,3	4,8
Średnia dla typu użytkowania — mean for usage type		21,9	18,3
Koszenie Cutting	<i>Lolium perenne</i>	37,5	12,5
	<i>Festuca pratensis</i>	77,8	55,6
	<i>Festuca rubra</i>	44,4	16,7
	<i>Festuca arundinacea</i>	33,3	16,7
	<i>Deschampsia caespitosa</i>	0,0	0,0
Średnia dla typu użytkowania — mean for usage type		38,6	20,3
Spasanie Grazing	<i>Lolium perenne</i>	46,2	22,0
	<i>Festuca pratensis</i>	90,0	68,0
	<i>Festuca rubra</i>	38,5	14,8
	<i>Festuca arundinacea</i>	0,0	0,0
	<i>Deschampsia caespitosa</i>	9,1	2,3
Średnia dla typu użytkowania — mean for usage type		36,8	21,4
NIR (P = 95%) dla średnich dla typu użytkowania		43,53	35,54
LSD (P = 95%) for mean for usage types			

Analizując uzyskane w pracy wyniki zaobserwowano także, że częstotliwość występowania endofitów była związana z charakterem użytkowania badanych siedlisk (tab. 4).

Endofity występowały na większości stanowisk poddanych presji użytkowej, tzn. koszonych lub spaszanych (odpowiednio od 90 do 92,3% stanowisk) oraz jedynie na 37% stanowisk zakwalifikowanych jako nie użytkowane. Wyniki te potwierdzają badania przeprowadzone przez innych autorów (Gwinn i in., 1998; Jensen i Roulund, 2004), które wykazały zależność między zasiedleniem pastwiska przez endofity, a typem użytkowania. Na pastwiskach intensywnie wypaszanych występowało wyższe zasiedlenie przez grzyby endofityczne. W niniejszym badaniu na stanowiskach nie użytkowanych nie stwierdzono zasiedlenia przez endofity ekotypów *Festuca rubra* i *F. arundinacea*. Pomimo braku istotnych statystycznie różnic we frekwencji zasiedlenia ekotypów przez endofity oraz średniego zasiedlenia w obrębie typów użytkowania, stwierdzono iż frekwencja zasiedlenia ekotypów *Lolium perenne* oraz *Festuca pratensis* wzrastała w miarę domniemanego wzrostu natężenia presji użytkowej (tab. 4).

WNIOSKI

1. Obecność grzybów endofitycznych stwierdzono w ekotypach głównych gatunków traw pastewnych (*Lolium perenne*, *Festuca pratensis*, *F. rubra*, *F. arundinacea*) jak i w gatunku uważanym z uporczywy chwast łąkowy — *Deschampsia caespitosa*.
2. Badane gatunki traw różnią się intensywnością zasiedlania przez grzyby endofityczne. Największe zasiedlenie stwierdzono w przypadku *F. pratensis*, zaś najniższe w przypadku *D. caespitosa*.
3. W zdecydowanej większości badanych stanowisk, obok gatunków traw pastewnych zasiedlonych przez endofity znajdowano gatunki wolne od nich. Świadczyć to może o selektywnym zasiedlaniu gatunków, niekoniecznie związanym z presją użytkową na danym stanowisku.
4. Intensywność presji użytkowej (spasanie, koszenie) ma wpływ na częstotliwość występowania endofitów w runi użytków zielonych oraz może sprzyjać pojawianiu się endofitów w takich gatunkach jak np. *Festuca rubra*, co może prowadzić do wzrostu zagrożenia dla zdrowia zwierząt ze strony toksyn produkowanych przez grzyby endofityczne. Zależność między intensywnością użytkowania pastwiska a obecnością endofitów wymaga dalszych badań.

LITERATURA

- Bony S., Delatour P. 2000. Relevance and impact of grass endophyte toxins in Europe. Proceedings of the 4th International *Neotyphodium*/Grass Interaction Symposium: 207 — 218.
- Gams, W., Petrini, O., Schmidt D. 1990. *Acremonium uncinatum*, a new endophyte in *Festuca pratensis*. Mycotaxon 37: 67 — 71.
- Główny Urząd Statystyczny. 2008. Produkcja upraw rolnych i ogrodnich w 2007 r., Wydawnictwa Statystyczne, Warszawa.

- Gwinn K. D., Fribourg H. A., Waller J. C., Saxton A. M., Smith M. C. 1998. Changes in *Neotyphodium coenophialum* infestation levels in tall fescue pastures due to different grazing pastures. *Crop Science* 38: 201 — 204.
- Hahn H., McManus M. T., Warnstorff K., Monahan B. J., Young C. A., Davies E., Tapper B. A., Scott B. 2007. *Neotyphodium* fungal endophytes confer physiological protection to *perennial ryegrass* (*Lolium perenne* L.) subjected to water deficit. *Environmental and Experimental Botany* 63: 183 — 199.
- Jensen A. M. D., Roulund N. 2004. Occurrence of *Neotyphodium endophytes* in permanent grassland with perennial ryegrass (*Lolium perenne*) in Denmark. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104: 419 — 427.
- Kemp H., Bourke Ch., Wheatley W. 2007. Endophytes of perennial ryegrass and tall fescue. www.dpi.nsw.gov.au.
- Kulda G., Bacon C. 2008. *Clavicipitaceous endophytes*: their ability to enhance resistance of grasses to multiple stresses. *Biological Control* 46: 57 — 71.
- Latch G. C. M. 2007. Diseases and endophytes. http://cropandsoil.oregonstate.edu/sites/default/files/people/hannaway/FINAL_08_Diseases_6_oct_08_NM.doc.
- Latch G. C. M., Christensen M. J., Samuels G. J. 1984. Five endophytes of *Lolium* and *Festuca* in New Zealand. *Mycotaxon*. 20:535 — 550.
- Leuchtmann A., Scharl C. L. 1998. Mating compatibility and phylogenetic relationship among two new species of *Epichloë* and other congeneric European species. *Mycol. Res.* 102: 1169 — 1182.
- Morgan-Jones G., Gams W. 1982. Notes on *Hyphomycetes*. XLI. An endophyte of *Festuca arundinacea* and the anamorphic of *Epichloë typhina*, new taxa in one of two new sections of *Acremonium*. *Mycotaxon*. 15: 311 — 318.
- Müller Ch. B., Krauss J. 2005. Symbiosis between grasses and asexual fungal endophytes. *Current Opinion in Plant Biology* 8: 450 — 456.
- Pańka D., Żurek G. 2005. Występowanie grzybów endofitycznych na trawach gazonowych a ich podatność na stres suszy. *Łąkarstwo w Polsce*, 8: 1 — 7.
- Pańka D., Żurek G. 2008. Zasiadlenie kolekcji nasion ekotypów traw z rodzaju *Festuca* i *Lolium* przez endofity z rodzaju *Neotyphodium* i *Epichloë*. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 529: 131 — 137.
- Prończuk M. 2005. Endofity traw — znaczenie, występowanie i metody wykrywania. *Przegląd literatury. Biul. IHAR* 235: 297 — 309.
- Reed K. 2002. The significance of the ryegrass endophyte, *Neotyphodium lolii*. In: *Victorian pasture*. www.animal-welfare.org.au/comm/download/abs02.html.
- Saha D. C., Jackson M. A., Johnson-Cicalese J. M. 1988. A rapid staining method for detection of endophyte fungi in turf and forage grasses. *The American Phytopathological Society*, No. 2, Vol. 78: 237 — 239.
- Wäli P., Saikkonen K., Helander M., Lehtimäki S., Lehtonen P. 2000. Seed transmitted endophytic fungi in wild grass populations in Finland. *Proceedings of the 4th International Neotyphodium/Grass Interaction Symposium*: 93 — 96.
- White J. F. Jr. 1987. Widespread distribution of endophytes in the *Poaceae*. *Plant Dis.* 71: 340 — 342.
- White J. F. Jr., Cole, G. T. 1986. Endophyte — host associations in forage grasses. V. Occurrence of fungal endophytes in certain species of *Bromus* and *Poa*. *Mycologia* 78: 846 — 850.
- Wiewióra B., Prończuk M. 2006. Porównanie metody mikroskopowej i immunologicznej do wykrywania grzybów endofitycznych w nasionach traw. *Biul. IHAR* 242: 277 — 284.
- Wiewióra B., Prończuk M., Ostrowska A. 2006. Infekcja nasion traw przez endofity w kolejnych latach użytkowania plantacji. *Biul. IHAR* 242: 285 — 293.

BARBARA WIEWIÓRA¹**GRZEGORZ ŻUREK**²**MONIKA ŻUREK**³¹ Zakład Nasiennictwa i Nasionoznawstwa, Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB² Zakład Traw, Roślin Motylkowatych i Energetycznych, Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB³ Zakład Genetyki i Hodowli Roślin, Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB

Ocena zasiedlenia przez grzyby endofityczne nasion wybranych mieszanek traw pastewnych dostępnych na rynku krajowym

Endophyte infestation of grass seeds in selected fodder mixtures available on the domestic market

Przy pomocy metody immunologicznej badano obecność grzybów endofitycznych w nasionach traw wchodzących w skład 10 mieszanek łąkowo-pastwiskowych dostępnych na rynku krajowym. Stwierdzono, że nasiona traw wchodzące w skład mieszanek pastewnych mogą być zasiedlone przez grzyby endofityczne. Spośród gatunków stanowiących główne komponenty mieszanek najczęściej zasiedlane były nasiona życicy trwałej, kostrzewy czerwonej i wiechliny łąkowej. Badania wskazują, że użycie na łąkach i pastwiskach materiału siewnego o nieznanej zawartości grzybów endofitycznych, może być przyczyną wprowadzania endofitów na tereny dotychczas wolne od nich, a to może wpływać na wzrost zagrożenia dla zwierząt hodowlanych.

Słowa kluczowe: endofity, materiał siewny, mieszanki pastewne, trawy

Ten fodder grass mixtures, available on the domestic market, were tested for the incidence of endophytic fungi using the immunoblot method. All the mixtures were found to be colonized by endophytes, irrespective of the grass species composition and the mixtures usage (pasture or meadow). The occurrence of endophytes was highest in perennial ryegrass, red fescue and smooth-stalked meadowgrass. It may be conclude from the results obtained that using seed material of undetermined level of endophyte colonization on newly sown or regenerated meadows and/or pastures can result in causing the unintended endophyte contamination of previously endophyte-free areas. The presence of endophytic fungi in permanent grasslands can be a great threat for domestic animals.

Key words: endophyte, fodder mixtures, grasses, sowing material

WSTĘP

Z punktu widzenia dobrostanu zwierząt, najbardziej korzystną formą odżywiania jest spasanie ich na trwałych użytkach zielonych. W celu założenia lub renowacji już istniejącego użytku zielonego, stosuje się wysiew nasion mieszanek pastewnych o zróżni-

cowanym składzie gatunkowym. Mieszanki tego typu najczęściej zawierają w swoim składzie następujące gatunki traw: *Lolium perenne* L. (życica trwała), *Festuca pratensis* Huds. (kostrzewa łąkowa), *F. arundinacea* Schreb. (kostrzewa trzcinowa), *F. ovina* L. (kostrzewa owcza) oraz *F. rubra* L. (kostrzewa czerwona). Gatunki te są równocześnie uważane za głównych gospodarzy grzybów endofitycznych (głównie z rodzaju *Neotyphodium*). Do najbardziej powszechnych i najlepiej poznanych grzybów z rodzaju *Neotyphodium* należą: *N. coenophialum* Morgan-Jones & Gams, *N. uncinatum* Gams, Petroni & Schmidt, *N. lolii* Latch, Christensen & Samuels, oraz *N. typhinum* Morgan-Jones & Gams (Prończuk, 2005). W stosunku do tych grzybów stosowany jest również termin „seed borne fungi”, ponieważ grzyby te przenoszą się z nasionami (White i Cole, 1986; White, 1987). Grzybnia zasiedla głównie warstwę aleuronową, ale jej rozmieszczenie w ziarniakach traw bywa różne. Zasiedlone ziarniaki nie posiadają widocznych objawów endofitów (Wiewióra i Prończuk, 2006).

Szkodliwość grzybów endofitycznych w stosunku do zwierząt roślinożernych związana jest z wytwarzaniem niebezpiecznych dla zdrowia kręgowców alkaloidów, głównie lolitremu B oraz ergowaliny (Lewis, 2000). W wielu krajach, np.: Nowej Zelandii, czy Stanach Zjednoczonych, choroby zwierząt wywoływane przez te toksyny stanowią poważny problem (Zabalgogezcoa i in., 2003). Przeprowadzone dotychczas krajowe badania nad zasiedleniem traw przez endofity wykazały, że mikroorganizmy te zasiedlają nasiona i rośliny powszechnie występujących gatunków traw (Pańka i Żurek, 2005; Wiewióra i in., 2008). Obecność endofitów stwierdzono także w odmianach traw o przeznaczeniu pastwiskowym (Wiewióra i in., 2006; 2008). Występowanie endofitów w runi użytków zielonych może wiązać się z produkowaniem przez nie alkaloidów, należy mieć pewność, że użytki zielone oraz mieszanki stosowane do ich zakładania, bądź renowacji są wolne od grzybów endofitycznych i dlatego są bezpieczne dla spasnanych tam zwierząt gospodarskich.

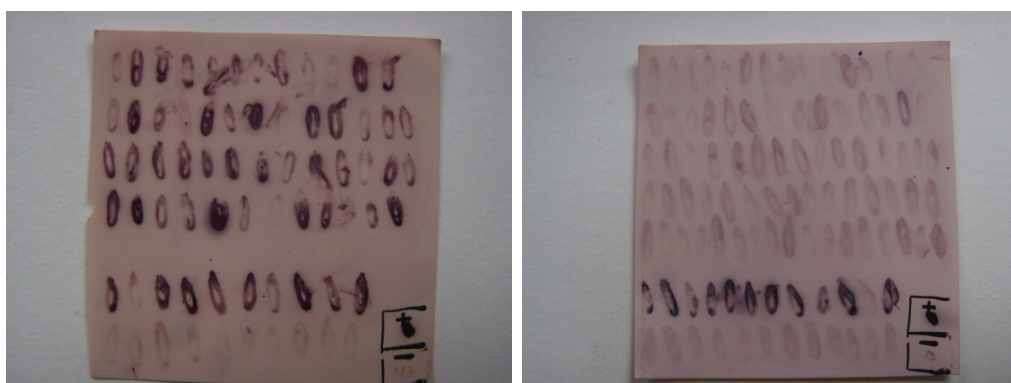
Celem pracy była analiza zasiedlenia przez grzyby endofityczne ziarniaków traw wchodzących w skład wybranych mieszanek pastwiskowych i łąkowych znajdujących się na rynku krajowym.

MATERIAŁ I METODY

Materiał badawczy stanowiły nasiona traw wchodzących w skład 10 mieszanek łąkowo-pastwiskowych dostępnych na rynku. Mieszanki te zakupiono w losowo wybranych sklepach branży ogrodniczo-nasiennej na terenie województw: mazowieckiego i podlaskiego. Z każdej zakupionej mieszanki pobrano losowo próbki ziarniaków do badania.

Badanie zawartości endofitów metodą immunologiczną przeprowadzono na 5 losowo wybranych z każdej mieszanki próbkach, po 100 ziarniaków na próbkę, według procedury opracowanej przez Hilla i wsp. (2002). W przypadku wykrycia w mieszance nasion traw zasiedlonych przez endofity, z mieszanki tej wybierano po 100 nasion każdego z gatunków wchodzących w jej skład. Nasiona poszczególnych gatunków analizowano następnie pod kątem zawartości grzybów endofitycznych, również metodą immunologiczną.

Badaną próbę ziarniaków, w celu ich zmiękczenia moczo w 5% roztworze NaOH. Po upływie około godziny, nasiona płukano destylowaną wodą i wykładano na nitrocelulozową membranę umieszczoną na gąbce zwilżonej buforem ekstrahującym. W wyznaczonych miejscach na membranie wykładano również nasiona o stwierdzonej obecności endofitów (E+) oraz wolne od endofitów (E-), których próbki dołączone są do każdego zestawu (kontrola pozytywna i negatywna). Membranę z ziarniakami inkubowano przez 15 godzin w temperaturze 45°C. Po inkubacji, nasiona usuwano z membrany, a membranę suszono w suszarce w 70°C przez 15 min. lub w temperaturze pokojowej przez 1 h. Następnie zalewano membranę 10 ml roztworu blokującego miejsca niespecyficznego wiązania przeciwciał i wytrząsano przez 30 min. na wytrząsarce. Po upływie tego czasu zlewano roztwór blokujący z szalki Petrie'go, zalewano membranę 10 ml roztworu zawierającego specyficzne dla *Neotyphodium*, przeciwciała monoklonalne i wytrząsano przez godzinę. Potem membranę płukano dwukrotnie w roztworze blokującym, zalewano roztworem przeciwciała wtórnego (*rabbit anti-mouse antibody*) i wytrząsano przez godzinę. Następnie płukano dwukrotnie w roztworze blokującym, zalewano membranę roztworem fosfatazy alkalicznej i wytrząsano przez 30 min. Po upływie tego czasu ponownie dwukrotnie płukano membranę w roztworze blokującym. Ostatnim etapem jest dodanie chromogenu (substrat fosfatazy) oraz przykrycie szalki Petriego folią aluminiową i wytrząsanie przez 20 min. do czasu wybarwienia miejsc na membranie, na których znajdowały się nasiona E+ (rys. 1). W celu zakończenia procesu wybarwienia, membranę kilkakrotnie płukano w wodzie destylowanej (Trento i in., 2007).



Rys. 1. Membrana przedstawiająca nasiona wykazujące pozytywną (lewa) i negatywną (prawa) reakcję na *Neotyphodium* spp. oraz kontrolę (dwa dolne rzędy) pozytywną (+) i negatywną (-)

Fig. 1. Membrane showing positive (left) and negative (right) reaction of grass seeds to *Neotyphodium* spp. Two bottom rows present positive (+) and negative (-) control

WYNIKI I DYSKUSJA

Badane mieszanki były zróżnicowane pod względem składu gatunkowego i odmianowego, jak również pod względem procentowego udziału poszczególnych komponentów. Średnia liczba komponentów gatunkowych w mieszankach wynosiła 6,6, z wahaniami od

2 (mieszanka nr 3) do 10 (mieszanka nr 10). Udział traw w badanych mieszankach wahał się od 75 do 100%, pozostałe gatunki to rośliny motylkowe drobnonasienne: lucerna siewna (*Medicago sativa* L.) oraz 4 gatunki koniczyn (*Trifolium* spp., tab. 1).

Tabela 1

Skład gatunkowy badanych mieszanek traw
Species composition of examined grass mixtures

Numer mieszanki oraz typ użytkowania Mixture number and type of use	Skład gatunkowy (%) Species composition (%)														
	<i>Dactylis glomerata</i>	<i>Festuca arundinacea</i>	<i>Festuca ovina</i>	<i>Festuca pratensis</i>	<i>Festuca rubra</i>	<i>Lolium perenne</i>	<i>Lolium spp.*</i>	<i>Phleum pratense</i>	<i>Poa pratensis</i>	<i>Bromus unioloides</i>	<i>Medicago sativa</i>	<i>Trifolium hybridum</i>	<i>Trifolium repens</i>	<i>Trifolium alexandrinum</i>	<i>Trifolium pratense</i>
1. Meadow Łąkowa	-	-	-	15	5	15	20	15	-	5	12,5	5	7,5	-	-
2. Pasture Pastwiskowa	-	-	-	5	28	20	17	20	-	-	-	5	-	5	-
3. Universal Uniwersalna	-	-	-	-	45	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. Pasture Pastwiskowa	-	-	-	16	20	20	13	20	4	-	-	4	3	-	-
5. Cut pasture Kośno-pastwiskowa	-	-	-	5	5	33	43	6	-	-	-	4	-	-	4
6. Fodder Pastewna	-	-	-	15	-	40	5	25	-	-	-	-	5	-	10
7. Fodder Pastewna	15	-	-	10	-	70	5	-	-	-	-	-	-	-	-
8. Meadow-pasture Łąkowo-pastwiskowa	-	-	-	5	12	38	35	10	-	-	-	-	-	-	-
9. Meadow Łąkowa	-	20	-	20	-	15	5	20	10	-	-	5	5	-	-
10. Cut pasture Kośno-pastwiskowa	10	10	5	10	10	20	10	15	-	-	5	-	5	-	-
Średnio Mean	12,5	15	5	11,2	17,9	32,6	17	16,4	7	5	8,75	4,6	5,1	5	7

* *L. multiflorum* + *Lolium × boucheanum*

Trawy w badanych mieszankach to 11 gatunków: życica trwała (*Lolium perenne* L.), życica wielokwiatowa (*L. multiflorum* L.) i życica mieszańcowa (*Lolium × boucheanum* Kunth.), kostrzewa łąkowa (*Festuca pratensis* Huds.), kostrzewa czerwona (*F. rubra* L.), kostrzewa trzcinowa (*F. arundinacea* Schreb.), kostrzewa owcza (*F. ovina* L.), wiechlina łąkowa (*Poa pratensis* L.), tymotka łąkowa (*Phleum pratense* L.), stokłosa bezostna (*Bromus inermis* Leyss.) i kupkówka pospolita (*Dactylis glomerata* L.). Gatunkami najczęściej występującymi w badanych mieszankach były życice: trwała (obecna we wszystkich badanych mieszankach), wielokwiatowa i mieszańcowa (łącznie wystąpiły w 9

mieszanek) oraz kostrzewa łąkowa (również w 9 mieszanek). Życica trwała była najczęściej i najobficiej występującym gatunkiem, a jej udział stanowił średnio 32,6% (od 15 do 70%). Pozostałe gatunki występowały w mniejszym natężeniu: średnio od 5,0% udziału kostrzewy owczej i stokłosa bezostnej do 17,9% dla kostrzewy czerwonej (tab. 1).

Tabela 2

Zasiedlenie przez endofity badanych mieszanek oraz ziarniaków ich komponentów gatunkowych
Endophyte infection of the examined mixtures and their components

Numer mieszanek oraz typ użytkowania Mixture number and type of use	% porażenia nasion mieszanek przez endofity Percentage of endophyte colonized seed in mixture	Obecność endofitów w gatunkach wchodzących w skład mieszanek: Presence of endophyte in species grass included in mixture composition:								
		<i>Dactylis glomerata</i>	<i>Festuca arundinacea</i>	<i>Festuca ovina</i>	<i>Festuca pratensis</i>	<i>Festuca rubra</i>	<i>Lolium perenne</i>	<i>Lolium spp.</i>	<i>Phleum pratense</i>	<i>Poa pratensis</i>
1. Meadow Łąkowa	12,0	*	*	*	-	-	-	-	+	*
2. Pasture Pastwiskowa	14,8	*	*	*	+	+	+	+	-	*
3. Universal Uniwersalna	25,2	*	*	*	*	+	+	*	*	*
4. Pasture Pastwiskowa	33,5	*	*	*	+	+	+	-	-	+
5. Cut pasture Kośno- pastwiskowa	26,0	*	*	*	+	+	+	+	+	*
6. Fodder Pastewna	20,8	*	*	*	+	*	+	+	+	*
7. Fodder Pastewna	20,0	-	*	*	+	*	+	+	*	*
8. Meadow- pasture Łąkowo- pastwiskowa	22,5	*	*	*	+	+	+	-	+	*
9. Meadow Łąkowa	14,8	*	+	*	-	*	+	+	+	+
10. Cut pasture Kośno- pastwiskowa	8,5	+	+	-	-	-	+	+	*	+

* Gatunek nie jest komponentem mieszanek; Species is not a mixture component

+ Gatunek zasiedlony przez endofity; Species colonized by endophyte

- Gatunek niezasiedlony przez endofity; Species not colonized by endophyte

Przeprowadzone analizy wykazały, że we wszystkich badanych mieszanek, niezależnie od ich przeznaczenia i składu gatunkowego, obecne były nasiona zasiedlone przez grzyby z rodzaju *Neotyphodium*. Mieszanki wykazywały zróżnicowany stopień zasiedlenia: od 8,5% dla mieszanek kośno-pastwiskowej (nr 10) do 33,5% dla mieszanek pastwiskowej (nr 4). Badania wykonane na komponentach gatunkowych mieszanek wykazały, że endofity występowały najczęściej w ziarniakach życicy trwałej (w 9 mieszanek na 10 badanych) i kostrzewy czerwonej (w 5 mieszanek na 7 badanych).

Stwierdzono również, że wszystkie próby ziarniaków wiechliny łąkowej występującej w składzie badanych mieszanek były zasiedlone przez endofity, ale zaznaczyć należy, że nasiona tego gatunku wystąpiły tylko w dwóch mieszankach (tab. 2).

Wyniki dotyczące obecności endofitów w materiale siewnym mieszanek pośrednio potwierdzają rezultaty analizy zasiedlenia przez endofity ziarniaków odmian, rodów i ekotypów 4 gatunków traw (kostrzewy łąkowej, k. czerwonej, życicy trwałej i śmiałka darniowego) uzyskane przez Wiewiórę i Prończuk (2006). Autorki badając 17 prób ziarniaków stwierdziły brak endofitów tylko w jednej próbie, zaś w przypadku 5 zasiedlenie ziarniaków wyniosło powyżej 70%. Równie wysokie zasiedlenie ziarniaków traw przez endofity (dochodzące nawet do 100%), zwłaszcza u gatunków *Festuca* i *Lolium perenne*, notowali Funk i wsp. (1994), Schöberlein i wsp. (1995), Eggstein i wsp. (1996), Guillaumin i wsp. (2000), Leyronas i Raynal (2001) oraz Cagaš (2005).

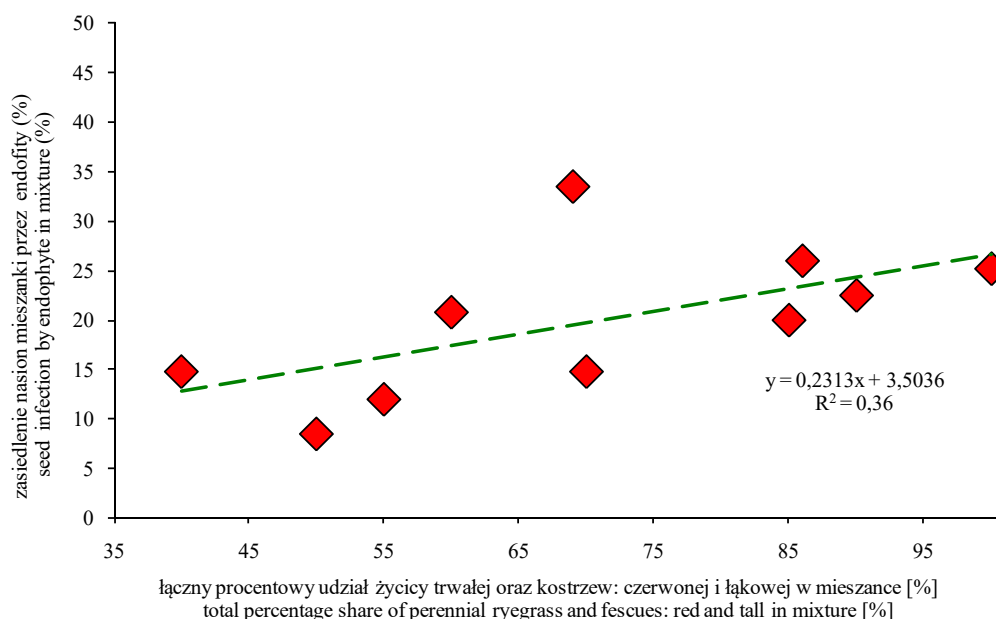
Największy udział w ogólnym zasiedleniu badanych mieszanek przez endofity miały: życica trwała — średnio 33,8% (od 0 do 92,5%) i wiechlina łąkowa — średnio 32,9% (od 21,2 do 44,6%; tab. 3).

Tabela 3

Porażenie przez endofity nasion poszczególnych komponentów gatunkowych mieszanek
Endophyte infestation of seeds of particular grass species in mixtures

Numer mieszanki oraz typ użytkowania / Mixture number and type of use	Zasiedlenie przez endofity nasion poszczególnych gatunków traw w mieszankach (%)								
	Endophyte infestation of particular grass species in mixtures (%)								
	<i>Dactylis glomerata</i>	<i>Festuca arundinacea</i>	<i>Festuca ovina</i>	<i>Festuca pratensis</i>	<i>Festuca rubra</i>	<i>Lolium perenne</i>	<i>Lolium spp.</i>	<i>Phleum pratense</i>	<i>Poa pratensis</i>
1. Meadow Łąkowa	-	-	-	0	0	0	0,0	100	-
2. Pasture Pastwiskowa	-	-	-	46,6	0	16,9	29,7	6,8	-
3. Universal Uniwersalna	-	-	-	-	7,5	92,5	-	-	-
4. Pasture Pastwiskowa	-	-	-	57,6	9	12,2	-	-	21,2
5. Cut pasture Kośno-pastwiskowa	-	-	-	3,8	20	12,4	60	3,8	-
6. Fodder Pastewna	-	-	-	12,5	-	47,1	30,8	9,6	-
7. Fodder Pastewna	0	-	-	-	-	83,5	16,5	-	-
8. Meadow-pasture Łąkowo-pastwiskowa	-	-	-	35,1	15,1	20	0	29,8	-
9. Meadow Łąkowa	-	6,2	-	0	-	23,6	2,0	23,6	44,6
10. Cut pasture Kośno-pastwiskowa	11,8	0	23,5	11,8	23,5	29,4	0	0	-
Średnio Mean	5,9	3,1	23,5	20,9	10,7	33,8	17,4	24,8	32,9

Udział pozostałych gatunków wchodzących w skład badanych mieszanek wahał się średnio od 3,1% dla kostrzewy trzcinowej do 24,8% dla tymotki łąkowej. Analiza korelacji wykazała istotną zależność pomiędzy łącznym udziałem ziarniaków życicy trwałej, kostrzewy łąkowej i kostrzewy czerwonej w mieszance, a stopniem zasiedlenia tej mieszanki grzybami endofitycznymi (rys. 2).



Rys. 2. Zależność między stopniem zasiedlenia nasion mieszanki przez grzyby endofityczne a łącznym udziałem życicy trwałej, kostrzewy łąkowej i kostrzewy czerwonej w mieszance
Fig. 2. The relationship between endophyte infection of seeds in the mixture and contribution of perennial ryegrass, tall fescue and red fescue in the mixture

Analizując skład gatunkowy mieszanki nr 4 i nr 10 zauważyć należy, że w pierwszej z nich (o 6 komponentach z grupy traw), nasiona 4 gatunków były zasiedlone przez grzyby endofityczne, czyli 60% nasion traw wchodzących w skład tej mieszanki (tab. 1 i 2). Ponadto największy udział w zasiedleniu miały nasiona życicy trwałej (57,6%), które w mieszance stanowiły 20% wszystkich nasion traw. W porównaniu do tego, w mieszance nr 10 o 8 komponentach z grupy traw, nasiona 5 z nich były zasiedlone przez grzyby endofityczne, czyli 55% nasion traw wchodzących w skład tej mieszanki (tab. 1 i 2). Podobnie jak w mieszance nr 4, w mieszance kośno-pastwiskowej nr 10 największy udział w zasiedleniu grzybami endofitycznymi miały nasiona życicy trwałej (stanowiące również 20% składu całej mieszanki), ale wyniósł on zaledwie 29,4% (tab. 3).

Wyniki te pozwalają na stwierdzenie, że materiał siewny mieszanek pastewnych dostępnych na rynku krajowym, może być przyczyną niezamierzonego wprowadzenia endofitów na tereny dotychczas wolne od nich w trakcie zakładania, bądź renowacji istniejących łąk i pastwisk. Jeżeli zaś wprowadzimy z nasionami endofity produkujące szkodliwe dla zwierząt alkaloidy, to jednocześnie stworzymy zagrożenie dla zwierząt hodowlanych. Badania przeprowadzone przez Hume i Barker (2005) na pastwiskach obsianych *L. perenne* wykazały, że nawet jeżeli pastwisko zakładane było przy użyciu

materiału siewnego wolnego od endofitów lub zasiedlonego w niewielkim stopniu, to w kolejnych latach użytkowania stopień zasiedlenia nasion wzrastał. Podobne wnioski w swojej pracy odnośnie wpływu lat użytkowania plantacji na poziom infekcji nasion traw przez endofity przedstawia Wiewióra i wsp. (2006). Zjawisko to można tłumaczyć pozostałością w glebie nasion zakażonych endofitami, lub selektywnością bydła w zjadaniu roślin zawierających endofity (szczególnie tych, które są zdolne do produkcji alkaloidów, Hume i Barker, 2005).

WNIOSKI

1. Badania materiału siewnego pastewnych mieszanek dostępnych na rynku krajowym pozwalają na stwierdzenie, że jest on zasiedlony przez grzyby endofityczne, czasami nawet w znacznym stopniu.
2. Spośród gatunków wchodzących w skład badanych mieszanek najczęściej zasiedlane były nasiona życicy trwałej, kostrzewy czerwonej i wiechliny łąkowej.
3. Konieczne jest prowadzenie monitoringu dostępnych na rynku mieszanek pastwiskowych pod kątem obecności w ziarniakach grzybów endofitycznych.

LITERATURA

- Cagaš B. 2005. The role endophytes *Neotyphodium* spp. in breeding of grasses for resistance to stress at the Grassland Research Station Rožnov-Zubří. W: Recent advances in genetics and breeding of the grasses. Zwierzykowski Z., Kosmala A (eds). IGR. PAN, Poznań: 177 — 190.
- Eggstein S., Pfannmöller M., Schöberlein W. 1996. *Acremonium* spp. — occurrence in cultivars and collected ecotypes of the genus *Festuca*. The 2nd International Conference on Harmful and Beneficial Microorganisms in Grassland, Pastures and Turf. Krohn K., Paul V. H. (eds.) IOBC wprs Bulletin Vol. 19 (7): 161 — 167.
- Funk C. R., Belanger F. C., Murphy J. A. 1994. Role of endophytes in grasses used for turf and soil conservation. In: Biotechnology of endophytic fungi of grasses. Bacon Ch. W., White J. F. Jr. (eds). CRC Press., Boca Raton: 201 — 209.
- Guillaumin J. J., Frain M., Pichon N., Ravel C. 2000. Survey of fungal endophytes in wild grass species in the Auvergne region (central France). Proc. of the 4th International *Neotyphodium*/Grass Interactions Symposium, Soest, Germany: 85 — 92.
- Hill N. S., Hiatt E. E., De Battista J. P., Griffiths C. H., Klap J., Thorogood D., Reeves J. H. 2002. Seed testing for endophytes by microscopic and immunoblot procedures. Seed Science and Technology 30: 347 — 355.
- Hume D. E., Barker D. J. 2005. Growth and management of endophytic grasses in pastoral agricultures. *Neotyphodium* in cool-season grasses. Blackwell Publ. 201 — 223.
- Lewis G. C. 2000. *Neotyphodium* endophytes: incidence, diversity, and hosts in Europe. Proceedings of the 4th International *Neotyphodium*/Grass Interaction Symposium.: 123 — 130.
- Leyronas C., Raynal G. 2001. Presence of *Neotyphodium*-like endophytes in European grasses. Ann. Appl. Biol. 139: 119 — 129.
- Pańska D., Żurek G. 2005. Występowanie grzybów endofitycznych na trawach gazonowych a ich podatność na stres suszy. Łąkarstwo w Polsce 8: 1 — 7.
- Prończuk M. 2005. Endofity traw — znaczenie, występowanie i metody wykrywania. Przegląd literatury. Biul IHAR 235: 297 — 309.
- Schöberlein W., Eggstein S., Pfannmöller M. 1995. Effects of endophyte-infected varieties of *Festuca pratensis* on seed production. Proc. of the Third International Herbage Seed Conference Yield and Quality in Herbage Seed Production, Halle (Saale), Germany: 438 — 442.

- Trento S. Elias S. Garay A. Zavala, J. 2007. Comparison of endophyte detection in fescue and ryegrass seeds using an immunoblot assay and a microscopic method. *Seed Science and Technology* Vol. 35 (No.1): 65 — 74.
- White J. F.Jr. 1987. Widespread distribution of endophytes in the *Poaceae*. *Plant Dis.* 71: 340 — 342.
- White Jr, J. F., Cole, G. T. 1986 Endophyte-host associations in forage grasses. V. Occurrence of fungal endophytes in certain species of *Bromus* and *Poa*. *Mycologia* 78: 846 — 850.
- Wiewióra B., Prończuk M. 2006. Porównanie metody mikroskopowej i immunologicznej do wykrywania grzybów endofitycznych w nasionach traw. *Biul. IHAR* 242: 277 — 284.
- Wiewióra B., Prończuk M., Ostrowska A. 2006. Infekcja nasion traw przez endofity w kolejnych latach użytkowania plantacji. *Biul. IHAR* 242: 285 — 293.
- Wiewióra B., Prończuk M., Ostrowska A., Żurek G. 2008. Występowanie endofitów w rodach hodowlanych kostrzewy łąkowej (*Festuca pratensis* Huds.) odmiany Pasja. Sympozjum „Choroby roślin na tle zmian klimatycznych, Wrocław 17–19 wrzesień 2008: 82.
- Zabalogueazcoa I., Vazquez de Aldana B. R., Ciudad G., Criado G. 2003. Fungal endophytes in grasses from semi-arid permanent grasslands of western Spain. *Grass and Forage Science* 58: 94 — 97.

MARIAN FLISZakład Ekologii i Hodowli Zwierząt Łownych
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Zmienność wielkości szkód wyrządzanych przez dziki w zróżnicowanych strukturach agrocenoz

Differentiation of damages caused by wild boars under different agrocenose structures

Celem badań była analiza wielkości i rozkładu przestrzennego oraz czasowego szkód wyrządzanych przez dziki, w graniczących ze sobą dwóch obwodach łowieckich charakteryzujących się zróżnicowaną strukturą agrocenoz, w odstępie 6 lat. Obydwa obwody łowieckie położone są w rejonie Wyżyny Lubelskiej i dzierżawione są przez to samo koło łowieckie, co sprawia, że zabiegi związane z prowadzeniem gospodarki łowieckiej są zbliżone. W ocenianym okresie na terenie jednego obwodu łowieckiego zarówno liczba, jak i areał szkód ogółem utrzymywały się na tym samym poziomie, zaś na terenie drugiego z obwodów stanowiących teren badań, liczba szkód wzrosła w tym samym okresie blisko 6-krotnie, przy jednoczesnym 3,5-krotnym wzroście powierzchni szkód. W okresie badań, nastąpił blisko 1,5-krotny wzrost liczebności dzików oraz kilkukrotny wzrost eksploatacji łowieckiej tego gatunku. Zróżnicowanie występowania szkód w cyklu rocznym w poszczególnych rodzajach upraw wskazuje na ścisłe ich powiązanie z cyklem rozwojowym roślin. W uprawach zbożowych szkody występowały zwłaszcza w okresie wiosennym oraz tuż przed zbiorem, co można bezpośrednio powiązać z dostępnością w tych okresach ziarniaków, zbóż w postaci materiału siewnego oraz dojrzewających kłosów. Podobna sytuacja występowała w uprawach kukurydzy, w których największe nasilenie szkód wystąpiło w maju, tuż po siewie tego gatunku oraz w sierpniu, wrześniu i październiku, czyli w okresie osiągnięcia dojrzałości ziarniaków u tego gatunku. W uprawach ziemniaków najwięcej szkód, niezależnie od terenu badań, wystąpiło w marcu i kwietniu, a w kolejnych miesiącach wielkość szkód poczynionych przez dziki w ocenianych obwodach łowieckich była różna. Najbardziej preferowanymi gatunkami roślin przez zwierzyńę były kukurydza oraz ziemniaki, zaś najmniej uprawy zbożowe.

Słowa kluczowe: dzik, preferencje żerowe, szkoda łowiecka, uprawy rolnicze

The survey was aimed at analyzing the extent as well as spatial and time distribution of damages caused by wild boars at a six-year interval in two adjacent hunting areas characterized by various agrocenose structures. The two hunting areas are localized in the Lublin Upland and are leased by the same hunting society, which makes similar the operations referring to the hunting management. In one of the hunting areas both the number and area of damages done by wild boars remained at the same level over the period of survey, whereas in the other area almost 6-fold and 3.5-fold increase in these parameters, respectively, was observed. Over the survey period, the wild boar population rose one and

half times, and hunting exploitation of this species increased several times. Differentiation of damages in particular crops within an annual cycle indicates their close association with stages of plant development. The damages to cereal crops were mostly done by wild boars in spring and just before harvest, which can be directly attributed to the availability of kernels, cereal seeding material and maturing ears. A similar situation was observed in maize plantations, where the greatest intensity of damages was recorded in May (just after sowing), and then in August, September and October, when maize kernels reach physiological maturity. In potato fields, the damages caused by wild boars in March and April were at high level in the two hunting areas, whereas those done in the succeeding months varied in damage size between the surveyed areas. The prey preference index values indicate that wild boars more often searched for food in maize and potato plantations than in cereal crops.

Key words: agricultural cultivations, game damage, prey preference, wild boar

WSTĘP

W ciągu ostatnich kilku lat obserwowane jest zjawisko gwałtownego wzrostu szkód wyrządzanych w uprawach rolnych przez dzikie zwierzęta. Pomimo znacznego zróżnicowania tego typu szkód, problem ten osiągnął rangę ogólnopolską. Jako główną przyczynę wzrostu szkód w uprawach rolniczych wymienia się najczęściej gwałtowny wzrost liczebności dzików, które poprzez swoje zmiany behawioralne, doskonale zaadaptowały się do użytkowania rozległych upraw polowych. W połączeniu ze zmianami siedliskowymi związanymi z intensyfikacją rolnictwa, głównie pod postacią wzrostu areалу upraw wielko łanowych, jak również coraz powszechniejszego wykorzystywania kukurydzy jako rośliny paszowej, bytowanie dzików w strukturach agrocenoz zasobnych w wysokoenergetyczną bazę żerową pociągnęło za sobą zmiany parametrów rozrodu u tego gatunku. Zmiany te, to przede wszystkim zwiększenie potencjału rozrodczego populacji, poprzez większe liczebnie mioty oraz przystępowanie młodszych samic do rozrodu jak również swoje rozregulowanie cyklu płciowego u tego gatunku, skutkujące wydawaniem potomstwa w zróżnicowanych porach roku (Kozdrowski i Dubiel, 2004; Flis, 2009 a). Wszystkie te elementy w sposób bezpośredni jak również pośredni, kompleksowo wpływają na wzrost szkód wyrządzanych przez ten gatunek w uprawach rolniczych.

Zróżnicowanie wielkości i rozmieszczenia przestrzennego oraz rozkładu szkód w cyklach rocznych, związane jest bezpośrednio z liczebnością dzików w danym terenie, jak również zależne jest od struktury agrocenoz w postaci mozaikowatości środowisk oraz wielkości kompleksów leśnych. Dodatkowo uzależnione jest od dostępności żeru w postaci buczyny i żołądzi w przyległych kompleksach leśnych. Samo nasilenie szkód w strukturach lokalnych wynika z cykli rozwojowych roślin uprawnych oraz rodzaju i intensywności zabiegów profilaktycznych, mających na celu ich ograniczanie (Mackin, 1970; Drozd, 1988; Flis, 2009 b).

Celem niniejszej pracy była analiza wielkości i rozkładu przestrzennego oraz czasowego szkód wyrządzanych przez dziki, w dwóch obwodach łowieckich, charakteryzujących się dość zróżnicowaną strukturą agrocenoz, w sześcioletnim odstępie czasowym.

MATERIAŁ I METODY

Analizę przeprowadzono w oparciu o badania dotyczące wielkości szkód wyrządzonych przez dzikie zwierzęta na terenie dwóch obwodów łowieckich, dzierżawionych przez Koło Łowieckie nr 155 „Sokół” w Stawach. W ocenie uwzględniono również zmiany liczebności, a tym samym i zagęszczenia dzików jak również poziom łowieckiej eksploatacji populacji tego gatunku. Badania prowadzono w sezonach łowieckich 2003/2004–2008/2009. W obwodzie łowieckim nr 136 o powierzchni 5000 hektarów, powierzchnia leśna stanowi 26,6%, a tym samym w kategoryzacji obwód ten ujmowany jest jako polny. Drugi obwód stanowiący teren badań (nr 137), to obwód o charakterze leśnym, gdyż na ogólną powierzchnię 7000 hektarów, lasy stanowią w nim 57% powierzchni. Miejsce występowania poszczególnych uszkodzeń roślin w uprawach polowych, zgłaszane było dzierżawcy obwodów, przez posiadaczy uszkodzonych upraw. Przedstawiciele dzierżawcy dokonywali szacowania wstępnego oraz ostatecznego powstałych szkód celem ustalenia wielkości przysługujących z tego tytułu odszkodowań (Ustawa Prawo łowieckie, 1995; Rozp. Min. Środ. z 15 lipca 2002; Flis, 2008). Podczas ostatecznego szacowania każdej szkody, celem precyzyjnego określenia zniszczeń ustalana jest tzw. powierzchnia zredukowana szkody, czyli teoretycznie wyliczona powierzchnia, na której rośliny zniszczone są w 100% (szkoda całkowita). W niniejszej pracy posłużono się kryterium powierzchni zredukowanej jako najbardziej obiektywnym i porównywalnym wskaźnikiem tego typu analiz. Celem określenia preferencji żerowych zwierzyny, obliczono wskaźnik atrakcyjności żerowej poszczególnych rodzajów roślin. Wskaźnik ten obliczono jako iloraz różnicy procentowego udziału zniszczonej uprawy i procentowego udziału danej uprawy w strukturze zasiewów, do procentowego udziału danej uprawy w strukturze zasiewów.

Obwody stanowiące teren badań położone są w północnej części Wyżyny Lubelskiej i oddzielone są od siebie drogą krajową Lublin-Warszawa. Również obydwie dzierżawione są przez to samo koło łowieckie, co sprawia, że intensywność zabiegów związanych z ich zagospodarowaniem, w tym również stosowaniem środków profilaktycznych jest zbliżona. W obydwu terenach badań, gospodarkę rolną cechuje typowe dla Lubelszczyzny rozdrobnienie upraw. Dodatkowo ze względu na fakt, że w obydwu obwodach tereny północnej ich części położone są w pradolinie rzeki Wieprz, która jednocześnie stanowi północną ich granicę administracyjną, w strukturach agrocenoz dość duży udział stanowią użytki zielone.

WYNIKI I DYSKUSJA

Kształtowanie się wielkości szkód w uprawach zbożowych, w ocenianym okresie, wykazywało znaczne zróżnicowanie w poszczególnych obwodach jak i gatunkach zbóż (tab. 1). W obwodzie łowieckim nr 136, niezależnie od okresu dominowały szkody w uprawach pszenicy i pszenżyta. Z kolei na terenie obwodu łowieckiego nr 137, w sezonie łowieckim 2003/2004 w uprawach zbożowych szkód nie odnotowano, a sześć lat później liczba szkód wynosiła 19, zaś wielkość uszkodzonej powierzchni wynosiła 3,04 ha, z czego

60% szkód wystąpiło w uprawach pszenicy, a dalsze 30% w uprawach owsa. W uprawach kukurydzy, w obwodzie łowieckim nr 136, w okresie badań liczba oraz powierzchnia szkód uległa zmniejszeniu.

Tabela 1

Liczba i wielkość szkód (ha* i %) w uprawach rolniczych w ocenianych okresach
Number and extent of damages (ha* and %) in agricultural cultivations in the evaluated periods

Rodzaj uprawy Type of cultivation		Nr obwodu łowieckiego Number of hunter district			
		136		137	
		2003/04	2008/09	2003/04	2008/09
Pszenica Wheat	n	1	1	—	9
	ha	0,03	0,16	—	1,81
	%	0,4	2,1	—	11,8
Pszenżyto Triticale	n	2	1	—	—
	ha	0,07	0,05	—	—
	%	1,0	0,6	—	—
Żyto Rye	n	—	—	—	3
	ha	—	—	—	0,22
	%	—	—	—	1,4
Mieszanaka zbożowa Cereal mixture	n	—	—	—	1
	ha	—	—	—	0,05
	%	—	—	—	0,3
Owies Oats	n	—	—	—	6
	ha	—	—	—	0,96
	%	—	—	—	6,2
Kukurydza Corn	n	9	6	—	15
	ha	5,39	3,54	—	2,78
	%	76,5	45,2	—	18,1
Użytki zielone Green lands	n	8	11	11	42
	ha	0,71	3,56	4,04	7,65
	%	10,0	45,5	92,7	49,8
Ziemniak Potato	n	5	4	7	25
	ha	0,85	0,09	0,32	1,47
	%	12,1	1,1	7,3	9,6
Inne uprawy** Other cultivations	n	—	2	—	2
	ha	—	0,43	—	0,43
	%	—	5,5	—	2,8
Ogółem Total	n	25	25	18	103
	ha	7,05	7,83	4,36	15,37
	%	100	100	100	100

* Wielkość szkód w hektarach podana dla powierzchni zredukowanej

* Extent of damages in hectares for the reduced area

** Gryka, fasolka szparagowa

** Buckwheat, string bean

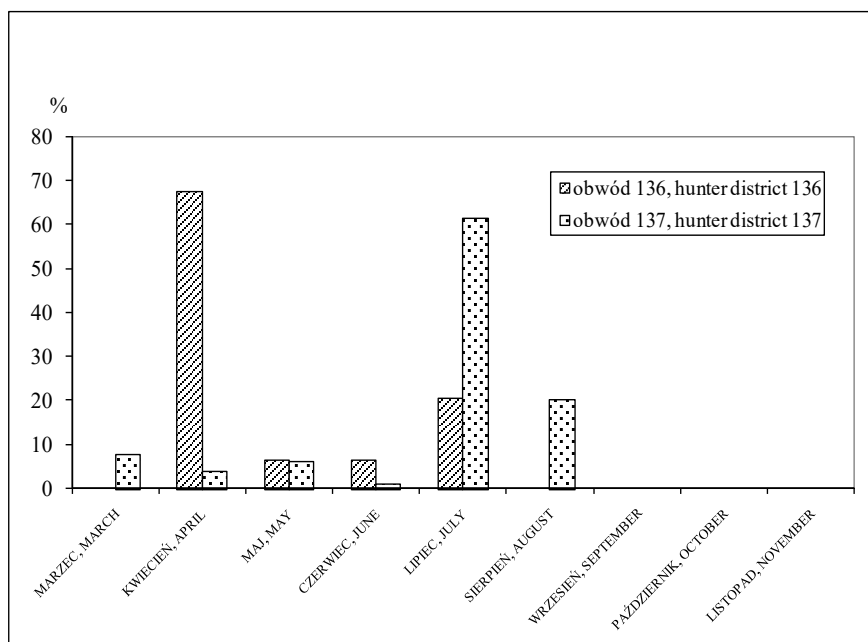
Na terenie obwodu łowieckiego nr 137 w sezonie łowieckim 2003/2004 szkód w uprawach kukurydzy nie odnotowano, a sześć lat później stwierdzono 15 szkód, a ich powierzchnia zredukowana stanowiła 2,78 ha. Na użytkach zielonych szkody występowały we wszystkich okresach oceny, a ich wielkość w obydwu obwodach w tym okresie uległa zwiększeniu. W obwodzie łowieckim nr 136 nastąpił wzrost udziału tego typu szkód z 10% do 45,5% ogólnej powierzchni szkód, zaś na terenie obwodu łowieckiego nr 137 nastąpił spadek udziału szkód z 92,7% w sezonie 2003/2004 do poziomu 49,8% ogólnej

powierzchni uszkodzeń upraw rolniczych w sezonie 2008/2009. Jednak spadek szkód na użytkach zielonych, powiązany był ze wzrostem szkód w innych rodzajach upraw w tym terenie. Wielkość szkód w uprawach ziemniaków w obwodzie łowieckim nr 136, w okresie oceny uległa znacznemu zmniejszeniu, przy symbolicznym wręcz spadku liczby szkód w tego typu uprawach. W obwodzie tym wystąpił też spadek udziału szkód w tego rodzaju uprawach z 12,1% w sezonie 2003/2004 do 1,1% ogólnej liczby szkód w sezonie 2008/2009. Z kolei na terenie obwodu łowieckiego nr 137, w okresie badań wystąpił gwałtowny wzrost zarówno liczby jak i powierzchni szkód w uprawach ziemniaków. W okresie tym liczba szkód zwiększyła się ponad 3-krotnie, zaś ich powierzchnia blisko 5-krotnie. Łącznie w okresie oceny na terenie obwodu łowieckiego nr 136, zarówno liczba jak i wielkość uszkodzeń była zbliżona, a na terenie obwodu łowieckiego nr 137 nastąpił blisko 6-krotny wzrost ilości szkód oraz 3,5-krotny wzrost powierzchni uszkodzeń. W okresie objętym oceną na terenie obwodu łowieckiego nr 136, średni areal pojedynczej szkody w obydwu okresach oceny, kształtował się na poziomie 0,3 ha, Z kolei na terenie obwodu łowieckiego nr 137, średnia wielkość pojedynczej szkody w pierwszym okresie oceny wynosiła 0,25 ha, zaś po okresie 5 lat, wielkość ta zmniejszyła się i wynosiła 0,14 ha.

Wykazany wzrost wielkości szkód wyrządzanych przez dziki w uprawach rolniczych, potwierdza ogólnopolską tendencję tego zjawiska. Najwięcej szkód wyrządzanych przez dziki występuje w rejonach największego ich zagęszczenia, tj. w rejonach zachodniej Polski (Flis, 2009 a). Niemniej jednak wzrost liczebności dzików, a tym samym i kwot wypłacanych odszkodowań dotyczy terenu całego kraju. W warunkach obwodu łowieckiego położonego na Lubelszczyźnie w ciągu ostatnich dziesięciu lat, wystąpił ponad 2,5-krotny wzrost wielkości powierzchni uszkodzeń, przy zbliżonej liczbie szkód, zaś w uprawach kukurydzy w ciągu ostatnich dziesięciu lat w tym samym terenie, wystąpił 30-krotny wzrost wielkości szkód (Flis, 2009 b). Uzyskane wyniki wskazują, że pomimo zróżnicowania w poszczególnych rejonach badań, w ostatnich latach zwiększeniu uległa średnia wielkość pojedynczej szkody w ujęciu powierzchni zredukowanej. Według Drozda (1988) w rejonie Lubelszczyzny w latach 1979–1983, wielkość ta kształtowała się na średnim poziomie 0,1 ha. Z kolei Flis (2009 b) podał, że w okresie 10 lat, w tym samym rejonie nastąpiło zwiększenie średniej wielkości pojedynczej szkody z 0,1 ha do 0,2 ha.

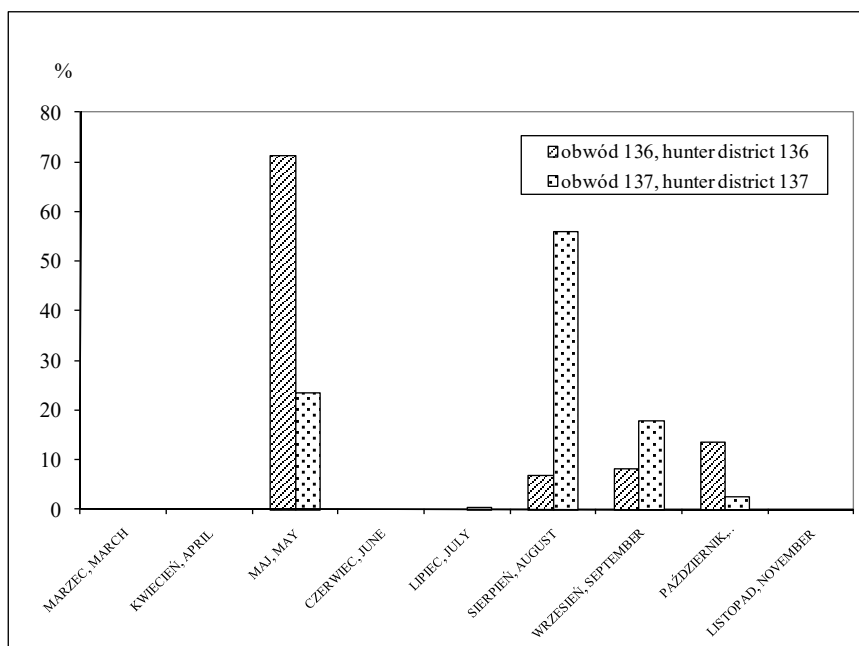
Ocena powstawania szkód w ciągu sezonu wegetacyjnego wskazuje, że nasilenie ich występowania ściśle powiązane jest z sezonem wegetacyjnym oraz dostępnością żeru w poszczególnych okresach. Pomimo zróżnicowania w poszczególnych rejonach badań, w uprawach zbóż okres ten ściśle związany jest z siewem zbóż jarych, które jako pierwsze pojawiają się na polach, jak również wzmożone nasilenie szkód występuje na przełomie lipca i sierpnia, co powiązać można z okresem dojrzałości ziarniaków u roślin zbożowych (rys. 1). Nasilenie szkód w uprawach kukurydzy występowało w maju tj. w okresie siewu tej rośliny oraz w sierpniu, wrześniu i październiku kiedy ziarniaki kukurydzy uzyskują poszczególne fazy dojrzałości (rys. 2). W uprawach ziemniaków największe nasilenie szkód występowało w maju i czerwcu, co powiązać można z terminem sadzenia tej rośliny, a tym samym dostępnością bulw w zależności od formy użytkowania i zmniejszało się w kolejnych miesiącach, aż do okresu zejścia tej rośliny z pól (rys. 3). Szkody wyrządzane

przez dziki na trwałych użytkach zielonych powstawały głównie w miesiącu marcu i kwietniu oraz począwszy od września do listopada (rys. 4). Fakt ten można powiązać w sposób bezpośredni z niewielką dostępnością innego rodzaju pożywienia na polach w okresie przedwiośnia jak również sukcesywnym ubywaniem pożywienia w okresie późno jesiennym.

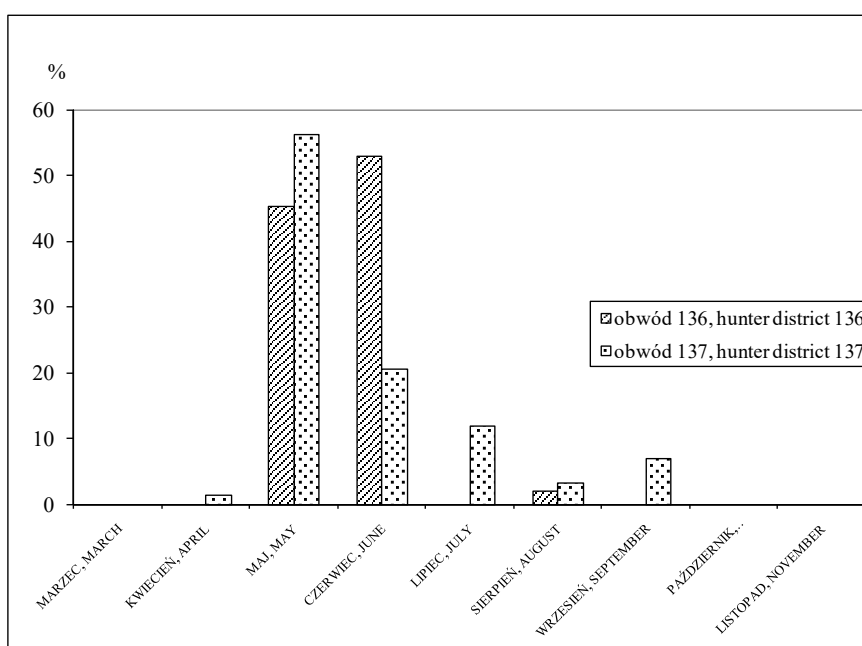


Rys. 1. Rozkład szkód w poszczególnych miesiącach w zbożach w latach 2003/2004-2008/2009
Fig. 1. Monthly distribution of damages in cereal plantations in 2003/2004-2008/2009

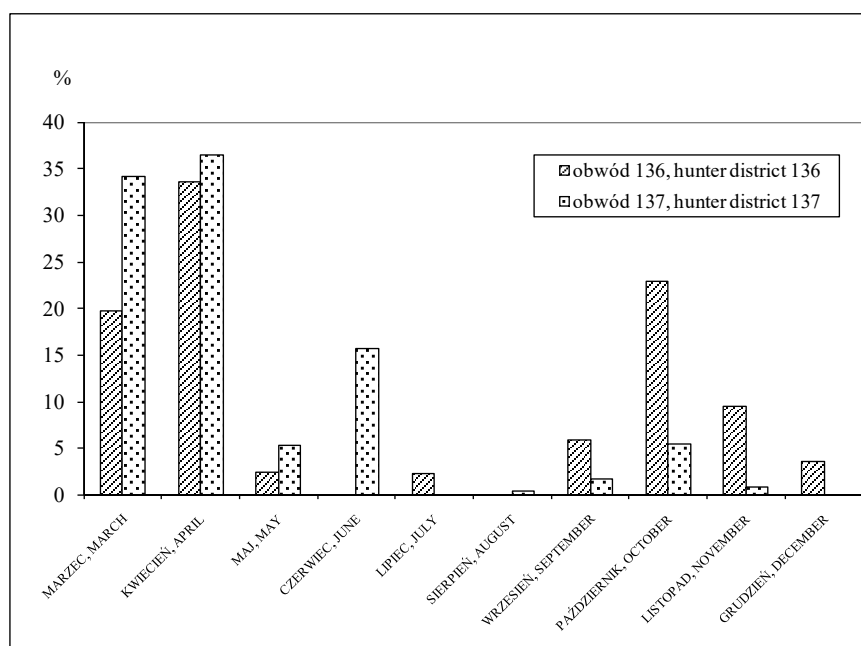
Podobne wyniki w zakresie największego nasilenia powstawania szkód w uprawach rolniczych, uzyskał Drozd (1988), prowadząc badania w makroregionie środkowo wschodniej Polski w latach 1979–1983, jak również Flis (2009b) prowadząc badania w warunkach obwodu łowieckiego polnego położonego na Wyżynie Lubelskiej. Z kolei w rejonie Polski północno-wschodniej, według Dubasa (1996) występowały dwa okresy nasilenia szkód. Pierwszy z nich obejmował okres maja i czerwca, zaś drugi okres przypadał na sierpień i wrzesień. Dodatkowo autor ten wykazał, że w specyfice żerowej dzikich zwierząt, istnieje pewien specyficzny łańcuch żeru polowego, który uwarunkowany jest sezonem wegetacyjnym poszczególnych upraw jak również terminem ich sprzętu z pól.



Rys. 2. Rozkład szkód w poszczególnych miesiącach w kukurydzy w latach 2003/2004-2008/2009
Fig. 2. Monthly distribution of damages in corns in 2003/2004-2008/2009



Rys. 3. Rozkład szkód w poszczególnych miesiącach w ziemniakach w latach 2003/2004-2008/2009
Fig. 3. Monthly distribution of damages in potatoes in 2003/2004-2008/2009



Rys. 4. Rozkład szkód w poszczególnych miesiącach na trwałych użytkach zielonych w latach 2003/2004-2008/2009

Fig. 4. Monthly distribution of damages in sustainable green lands in 2003/2004-2008/2009

Tabela 2

Wskaźniki atrakcyjności żerowej roślin uprawnych w okresie 2003/2004–2008/2009
Prey attractiveness indicators for crops in 2003/2004–2008/2009

Rodzaj uprawy Type of cultivation	Numer obwodu łowieckiego Number of hunter district	
	136	137
Zboża (razem) Cereal (total)	-0,92	-0,63
Kukurydza Corn	2,13	0,13
Ziemniak Potato	1,52	1,80
Trwałe użytki zielone Sustainable green lands	0,57	0,65

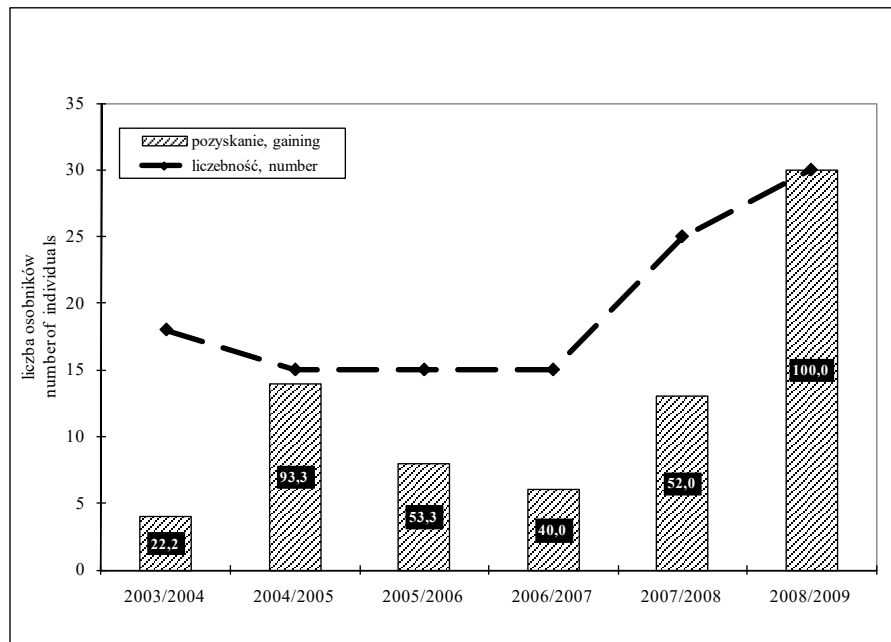
Obliczone wskaźniki atrakcyjności żerowej poszczególnych rodzajów roślin, wskazują, że w rejonie badań występowało zróżnicowanie preferencji żerowych (tab. 2). W obwodzie łowieckim nr 136 najbardziej preferowanym rodzajem upraw była kukurydza, dla której wskaźnik preferencji żerowej osiągnął wartość 2,13. Z kolei w obwodzie łowieckim nr 137, najbardziej preferowane były uprawy ziemniaków, dla których wskaźnik ten osiągnął wielkość 1,8. Również wysoką atrakcyjnością żerową cieszyły się uprawy ziemniaków na terenie obwodu łowieckiego nr 136, gdzie wskaźnik ich preferencji żerowej wynosił 1,52.

Najmniej atrakcyjnymi roślinami żerowymi, były uprawy roślin zbożowych, dla których niezależnie od terenu badań, wskaźnik atrakcyjności przyjmował wartości ujemne.

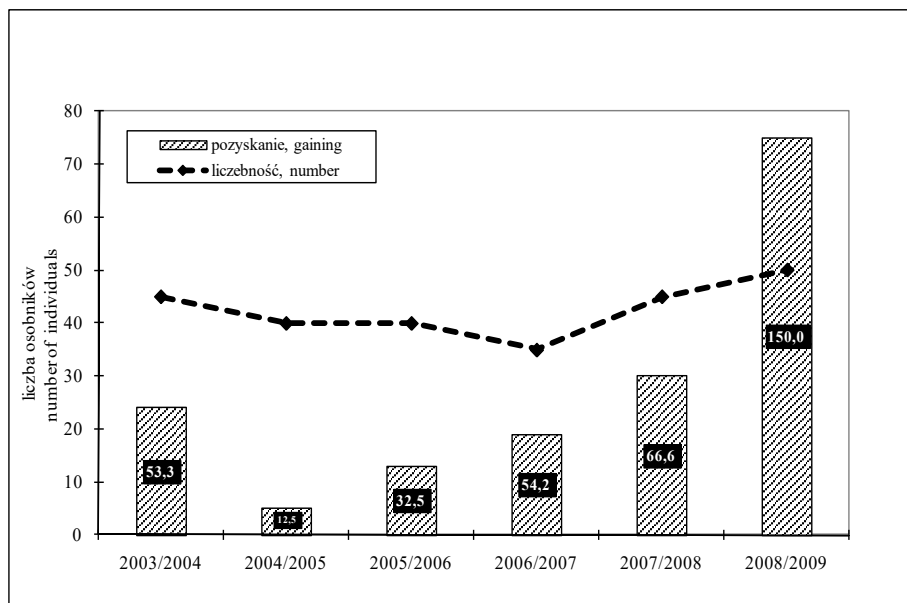
Uzyskane wyniki potwierdzają tezę o preferowaniu przez dziki upraw kukurydzy, które w zależności od regionu kraju, z reguły charakteryzują się większą jednostkową powierzchnią, a tym samym stwarzają optymalne warunki żerowe jak również osłonowe dla zwierzyny. Flis (2009 b) prowadząc badania w rejonie Wyżyny Lubelskiej wykazał, że najbardziej preferowaną rośliną przez dziki była również kukurydza. Z kolei Drozd (1988) prowadząc badania w tym samym rejonie w latach 1979–1983, wskazał, że pod względem atrakcyjności żerowej w tym okresie dominowały uprawy ziemniaków oraz owsa. W rejonie Polski północno-wschodniej pod względem atrakcyjności żerowej, w uprawach polowych dominowała również kukurydza oraz rzepak i ziemniaki (Dubas, 1996). Z kolei Mackin (1970) prowadząc badania w trzech rejonach Polski podała, że najbardziej preferowanymi roślinami żerowymi były uprawy owsa i ziemniaków. Jednak w okresie tym w Polsce nie występowały uprawy kukurydzy. Przesunięcie preferencji żerowych dzików w ostatnich kilkudziesięciu latach wynika, z faktu, zmniejszania udziału w strukturze upraw zarówno owsa jak i ziemniaków na korzyść upraw kukurydzy, wraz ze zwiększaniem jednostkowych powierzchni arealu jej uprawy (GUS, 2009; Chotkowski i Rembeza, 2006; Flis, 2007).

W okresie oceny liczebność oraz poziom łowieckiej eksploatacji populacji dzików uległ zwiększeniu w obydwu terenach badań. Na terenie obwodu łowieckiego nr 136 liczebność tego gatunku w ciągu 6 sezonów łowieckich zwiększyła się ponad 1,5-raza (rys. 5). W tym samym okresie poziom łowieckiej eksploatacji populacji tego gatunku wzrósł 4,5-krotnie i w ostatnim roku oceny wskaźnik ten kształtował się na poziomie 100% wiosennego stanu populacji tych zwierząt (dane na słupkach wykresu). Z kolei w obwodzie łowieckim nr 137, liczebność dzików w okresie oceny wykazywała cechy stabilności, z niewielką tendencją wzrostową (rys. 6). Stan taki wynikał z dość intensywnej presji łowieckiej na ten gatunek począwszy od sezonu łowieckiego 2005/06. W ostatnim sezonie łowieckim poziom łowieckiej eksploatacji populacji w tym terenie osiągnął wielkość 150% jej wiosennego stanu liczebnego.

Uzyskane wyniki potwierdzają ogólnopolską tendencję wzrostu liczebności dzików, na przełomie ostatnich lat. Wielkość tego wzrostu jest zróżnicowana na terenie kraju i wynika z warunków środowiskowych jak również łowieckiej presji na ten gatunek (Kamieniarz i Panek, 2008; Flis, 2009 b, Budny i in., 2010). Wzrost liczebności uwarunkowany jest głównie poprawą warunków żerowych dla tego gatunku, w postaci intensyfikacji rolnictwa i wzrostu arealu upraw kukurydzy. Dostępność wysokoenergetycznego żeru, w strukturach rozległych agrocenoz, wpływa dodatnio na wskaźniki rozrodu u tego gatunku (Kozdrowski i Dubiel, 2004; Flis, 2009 a).



Rys. 5. Liczebność i pozyskanie dzików w obwodzie 136
Fig. 5. Population and gaining of wild boars in hunter district 136



Rys. 6. Liczebność i pozyskanie dzików w obwodzie 137
Fig. 6. Population and gaining of wild boars in hunter district 137

WNIOSKI

1. W okresie oceny, wystąpiło zróżnicowanie ilości i arealu szkód w zależności od struktury terenu badań. W obwodzie łowieckim polnym, poziom uszkodzeń upraw w ciągu sześcioletniego okresu oceny utrzymywał się na zbliżonym poziomie, zaś w obwodzie łowieckim o charakterze leśnym, w ciągu tego samego okresu liczba szkód zwiększyła się prawie 6-krotnie, a ich powierzchnia 3,5-krotnie. Najbardziej narażonymi uprawami są uprawy położone w bezpośrednim sąsiedztwie lasu.
2. Rozkład szkód w ciągu sezonu wegetacyjnego, ściśle powiązany jest z terminem siewu lub sadzenia poszczególnych roślin uprawnych oraz terminem wydania plonu przez te rośliny i ich zbiorem. W uprawach roślin zbożowych jest to okres wiosenny oraz miesiąc lipiec i sierpień, a w uprawach kukurydzy nasilenie szkód występuje w okresie siewu tej rośliny oraz w okresie jej dojrzewania. W ziemniakach największe nasilenie szkód występuje w maju i w czerwcu, zaś na trwałych użytkach zielonych w okresie wczesnowiosennym i późnojesiennym.
3. Obliczony wskaźnik preferencji żerowych wskazuje, że preferencje te są zróżnicowane i zależne od rejonu oceny. Niemniej jednak najbardziej preferowaną rośliną jest kukurydza i ziemniaki. Najmniej preferowanymi rodzajami upraw są rośliny zbożowe.
4. W okresie objętym oceną wystąpiło zwiększenie liczebności dzików jak również poziomu łowieckiej eksploatacji tego gatunku. W rejonie badań w ostatnim roku oceny łowiecka eksploatacja populacji zawierała się w przedziale od 100 do 150% zinwentaryzowanego jej wiosennego stanu i w porównaniu z początkowym okresem oceny była ona średnio czterokrotnie większa. Wzrost poziomu łowieckiej eksploatacji populacji, warunkował umiarkowany jej przyrost, co w sposób bezpośredni przedkładało się również na poziom wyrządzanych szkód.

LITERATURA

- Budny M., Kamieniarz R., Kolanoś B., Mąka H., Panek M. 2010. Sytuacja zwierząt łownych w Polsce w latach 2008–2009. Biuletyn Stacji Badawczej w Czempiniu Nr 6: 23 — 25.
- Chotkowski J., Rembeza J. 2006. Tendencje zmian na rynku ziemniaków w Polsce. [w:] Produkcja ziemniaków. Chotkowski J. (red.) Wydawnictwo Wieś Jutra. Warszawa: 7 — 15.
- Drozd L. 1988. Wpływ rozdrobnienia kompleksów leśnych na szkody wyrządzane przez dziki w uprawach polowych w makroregionie środkowowschodniej Polski. Sylwan, Nr 11–12: 79 — 84.
- Dubas W. J. 1996. Szkody łowieckie w przyleśnych uprawach rolnych w północno-wschodniej Polsce. Sylwan, Nr 10: 45 — 56.
- Flis M. 2007. Szkody w ziemniakach. Łowiec Polski, Nr 9: 50 — 53.
- Flis M. 2008. Procedura szacowania szkód wyrządzonych przez zwierzęta w uprawach rolniczych. Biul. IHAR 248: 117 — 123.
- Flis M. 2009 a. Szkody w uprawach rolniczych w świetle szkodliwego oddziaływania rolnictwa na ekosystemy. Biotop. Zagrożenia biotopów leśnych. Uniwersytet Opolski, Opole: 123 — 132.
- Flis M. 2009 b. Wielkość szkód wyrządzanych przez dziki w uprawach rolniczych w obwodzie łowieckim polnym w latach 1999–2000 i 2008–2009. Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Nr 254: 179 — 187.
- Kamieniarz R., Panek M. 2008. Zwierzęta łowne w Polsce na przełomie XX i XXI wieku. Stacja Badawcza – OHZ PZŁ w Czempiniu: 46 — 49.
- Kozdrowski R., Dubiel A. 2004. Biologia rozrodu dzika. Medycyna Weterynaryjna, 60: 1251 — 1253.

- Mackin R. 1970. Dynamics of damage caused by wild boar to different agricultural crops. *Acta Theriologica*, Vol. 15: 447 — 458.
- Rocznik Statystyczny Rolnictwa i Obszarów Wiejskich. 2009. GUS Warszawa: 147 — 158.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 15 lipca 2002 roku, w sprawie postępowania przy szacowaniu szkód oraz wypłat odszkodowań za szkody w uprawach i płodach rolnych (Dz. U. z 2002 r. Nr 126, poz. 1081).
- Ustawa z dnia 13 października 1995 roku – Prawo łowieckie (Dz. U. 05.175.1462).

SPIS TREŚCI — CONTENTS

Andrzej Anioł	Wpływ biotechnologii i procesów globalizacji w gospodarce na hodowlę roślin i wspierające ten sektor badania naukowe The impact of biotechnology and globalization processes on plant breeding and its R&D component	3
Jacek Waga	Charakterystyka oraz dziedziczenie białek gliadynowych pszenicy ozimej pochodzącej z Nepału Characteristics and inheritance of gliadin proteins in winter wheat genotype coming from Nepal	15
Aleksandra Pietrusińska	Wykorzystanie markerów molekularnych do wprowadzania genów odporności na rdzę brunatną (<i>Puccinia recondita</i> f. sp. <i>tritici</i>) i mączniaka prawdziwego (<i>Blumeria graminis</i> f. sp. <i>tritici</i>) do pszenicy ozimej The use of molecular markers for introduction of leaf rust (<i>Puccinia recondita</i> f. sp. <i>tritici</i>) and powdery mildew (<i>Blumeria graminis</i> f. sp. <i>tritici</i>) resistance genes in winter wheat (<i>Triticum aestivum</i>)	31
Piotr Kraska	Jakość ziarna pszenicy jarej uprawianej w monokulturze w zależności od konserwujących wariantów uprawy roli oraz międzyplonów Grain quality of spring wheat cultivated in monoculture depending on the conservation tillage variants and catch crops	55
Aleksandra Głowacka	Plonowanie i struktura plonu pszenicy jarej w zależności od różnych metod uprawy i pielęgnacji Yielding and yield structure of spring wheat in dependence on different systems of cultivation and tending	73
Henryk J. Czembor Jerzy H. Czembor Aleksandra Pietrusińska Olga Domeradzka	Odporność odmian jęczmienia na mączniaka prawdziwego (<i>Blumeria graminis</i> f. sp. <i>hordei</i>) włączonych do badań rejestrowych w Polsce w latach 2007–2009 Resistance to powdery mildew (<i>Blumeria graminis</i> f. sp. <i>hordei</i>) of barley cultivars included in the registration trials in Poland in the years 2007–2009	81
Janusz Kozdój Dariusz R. Mańkowski Sylwia Oleszczuk	Analiza potencjału plonotwórczego linii podwojonych haploidów jęczmienia jarego (<i>Hordeum vulgare</i> L.) otrzymanych na drodze androgenezy Analysis of the potential for yield formation in doubled haploids of spring barley (<i>Hordeum vulgare</i> L.) obtained via androgenesis	97
Małgorzata Gołębiewska Edward Wróbel	Nawożenie azotem a plon i jakość roślin kukurydzy z przeznaczeniem na zakiszenie Effect of nitrogen fertilization on yield and quality of whole maize plants for silage	117
Cezary Trawczyński	Wykorzystanie azotu z nawozów przez odmiany ziemniaka o zróżnicowanych wymaganiach w stosunku do tego składnika Nitrogen utilization from fertilizers by potato cultivars with differentiated requirements in relation to this component	133

Michał Kostiw Barbara Robak	Presja wirusów Y, M, S i liściozwoju ziemniaka w latach 2006–2008 w Boninie Infection pressure of PVY, PVM, PVS and PLRV in the period 2006–2008 in Bonin	141
Edward Bernat Jerzy Osowski	Zastosowanie systemu decyzyjnego NegFry do zwalczania zarazy ziemniaka The use of decision support system NegFry to late blight control	153
Włodzimierz Majtkowski Piotr Mirosław Szulc Jerzy Gaca Jan Mikołajczak	Ocena wykorzystania <i>Silphium perfoliatum</i> L. w fitoremediacji terenów zanieczyszczonych metalami ciężkimi Assessment of the use of <i>Silphium perfoliatum</i> L. in phytoremediation of sites contaminated with heavy metals	163
Monika Żurek Barbara Wiewióra Grzegorz Żurek	Występowanie grzybów endofitycznych na trwałych użytkach zielonych województwa mazowieckiego The occurrence of endophyte fungi on permanent grasslands in Mazovia region	171
Barbara Wiewióra Grzegorz Żurek Monika Żurek	Ocena zasiedlenia przez grzyby endofityczne znasion wybranych mieszanek traw pastewnych dostępnych na rynku krajowym Endophyte infestation of grass seeds in selected fodder mixtures available on the domestic market	183
Marian Flis	Zmienność wielkości szkód wyrządzanych przez dziki w zróżnicowanych strukturach agrocenoz Variability of damages done by wild boars under different agrocenoses structures	193