



Kukurydza na polu w Radzikowie
Fot. Gabriela Wodzyńska-Lapińska

BIULETYN
INSTYTUTU HODOWLI
I AKLIMATYZACJI ROŚLIN
Nr 277/2015



Kukurydza na polu w Radzikowie. Fot. Gabriela Wodzyńska-Łapińska

RADZIKÓW 2015
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:

DANUTA BOROS (Przewodnicząca — Editor-in Chief)

HENRYK J. CZEMBOR, RENATA LEBECKA, ANNA LINKIEWICZ, WIESŁAW MĄDRY,

KATARZYNA MIKOŁAJCZYK, WOJCIECH NOWACKI, BARBARA ZAGDAŃSKA

GABRIELA WODZYŃSKA-ŁAPIŃSKA (Sekretarz Redakcji — Editorial Secretary)

Redaktor Statystyczny — WIESŁAW MĄDRY

CZASOPISMO UKAZUJE SIĘ OD 1951 ROKU

Redaktor techniczny i skład komputerowy

GABRIELA WODZYŃSKA-ŁAPIŃSKA

Druk: Biuro Wydawnictw i Reklamy „WiR”

PROFESOR DR HAB. MARIA RAKOWSKA**1923—2015****WSPOMNIENIE**

W dniu 13 czerwca 2015 roku odeszła od nas na zawsze Maria Rakowska, emerytowana profesor Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin-Państwowego Instytutu Badawczego w Radzikowie.

Pani Profesor, dr hab. Maria Rakowska, z domu Grekowicz, urodziła się 9 czerwca 1923 roku w Hruszwicy koło Równego na Wołyniu. Szkołę średnią ukończyła w okresie okupacji na tajnych kompletach w Warszawie.

W latach 1945–1949 studiowała na Wydziale Rolnym, Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie uzyskując stopień magistra nauk agrotechnicznych. Pracę dyplomową z dziedziny żywienia zwierząt wykonała pod kierunkiem profesora dr H. Malarskiego.

Pod Jego kierunkiem jeszcze podczas studiów, od września 1946 roku, rozpoczęła pracę zawodową w Katedrze Fizjologii i Żywienia Zwierząt, UMCS w Lublinie, odbywając jednocześnie staże w dziedzinie biochemii i żywienia zwierząt w Państwowym Instytucie Naukowym Gospodarstwa Wiejskiego w Puławach. W 1950 roku przeszła do pracy w Państwowym Zakładzie Higieny, gdzie pracowała do połowy 1963 roku. Równocześnie była pracownikiem dydaktycznym w Zakładzie Fizjologii i Żywienia Człowieka Akademii Medycznej w Warszawie oraz prowadziła wykłady, ćwiczenia i seminaria na kursach organizowanych dla pracowników Wojewódzkiej Stacji Epidemiologicznej, nauczycieli szkół gastronomicznych, instruktorek gospodarstwa domowego, pielęgniarek, lekarzy i dietetyczek.

W marcu 1956 roku otrzymała stopień naukowy Kandydata Nauk Rolniczych (obecny stopień doktora) na Wydziale Zootechnicznym SGGW na podstawie złożonych egzaminów oraz pracy kandydackiej pt. „Badania nad wartością odżywczą nasion niegorzkiego łubinu białego (*Lupinus albus*)”.

W latach 1959-1960 jako stypendystka Fundacji Rockefellera odbyła roczny staż w Zakładzie Biochemii Uniwersytetu Wisconsin w Madison, a następnie w Zakładzie Biochemii na Wydziale Żywienia Człowieka Uniwersytetu Cornell w Ithaca, w stanie Nowy Jork.

W latach 1963–1974 pracowała w Instytucie Żywności i Żywienia w Warszawie, najpierw na etacie asystenta, a następnie kierownika Zakładu Wartości Odżywczych. **W lutym 1970 roku uzyskała stopień doktora habilitowanego** nauk technicznych w zakresie żywienia człowieka na Wydziale Technologii Rolno-Spożywczej SGGW, po przedłożeniu pracy pt. „Badania nad retencją wapnia i azotu ze zwyczajowo spożywanej diety w wybranej grupie dzieci przedszkolnych”. Pracując w IŻŻ prowadziła także wykłady, ćwiczenia i seminaria z zakresu fizjologii żywienia człowieka dla magistrantów Zakładu Żywienia Człowieka na Wydziale Technologii Żywności SGGW w Warszawie.

Z początkiem 1975 roku Prof. Maria Rakowska swoje losy związała z Instytutem Hodowli i Aklimatyzacji Roślin w Radzikowie. Mianowana przez Ministra Rolnictwa na stanowisko docenta w tym instytucie podjęła się zorganizowania Zakładu Biologicznej Oceny Produktów Roślinnych, którym następnie kierowała przez okres 20 lat, tj. do momentu przejścia na emeryturę w grudniu 1990 roku. **Na emeryturę przeszła po 45 latach pracy.**

W Zakładzie Biologicznej Oceny Produktów Roślinnych Profesor Maria Rakowska ukierunkowała prace badawcze na wspieranie programów genetyczno-hodowlanych roślin zbożowych, oleistych i strączkowych nad poprawą ich wartości pokarmowej. W dziedzinie hodowli roślin szczególne znaczenie miały jej nowatorskie prace nad wartością pokarmową nowych odmian pszenżyta, w szczególności nad różnicami w składzie polisacharydów nieskrobiowych w porównaniu z żytem, nadające temu nowemu gatunkowi cechy korzystne w żywieniu młodego drobiu i trzody chlewnej. Rozwijiała badania nad substancjami hamującymi wykorzystanie składników pokarmowych w materiale roślinnym ze szczególnym uwzględnieniem żyta oraz rzepaku z grupy „00” i możliwościami jego selekcji w kierunku obniżonej zawartości włókna. Zapoczątkowane

przez Profesor Marię Rakowską kierunki prac znalazły uznanie światowych gremiów naukowych, czego dowodem były liczne zaproszenia na międzynarodowe konferencje, na których prezentowała wraz z zespołem wyniki uzyskiwanych badań oraz przyznane nagrody i wyróżnienia krajowe i międzynarodowe. Wśród tych nagród są między innymi: i. Nagroda II stopnia Ministra Rolnictwa za prace organizacyjne, metodyczne, badawcze i wdrożeniowe w zakresie biologicznej i biochemicznej oceny wartości żywieniowych materiałów hodowlanych roślin uprawnych w procesie selekcji nowych odmian (1982), ii. Nagroda Triticale Association za całokształt prac nad udoskonalaniem jakościowym odmian pszenżyta (Sydney 1986) oraz iii. Nagroda II stopnia Komitetu Nagród Państwowych za prace w dziedzinie techniki za wyhodowanie podwójnie ulepszonych odmian rzepaku ozimego (1988). W roku 1980 otrzymała ponadto nagrodę Wydziału Nauk Rolniczych, Leśnych i Weterynaryjnych PAN za pracę monograficzną pt.: „Biologiczna wartość białka żywności” — autorzy: M. Rakowska, W. Szkiłłądź, H. Kunachowicz, opublikowaną w 1978 roku. W 1976 roku Profesor Maria Rakowska została zaproszona na sześciomiesięczny staż do USA, jako „assistant professor” do Food and Drug Administration (FDA) w Waszyngtonie.

Rada Państwa nadała Profesor Marii Rakowskiej tytuły naukowe profesora nadzwyczajnego w 1983 oraz profesora zwyczajnego nauk przyrodniczych w 1989.

Pani Profesor Maria Rakowska była członkiem rad naukowych instytutów rolniczych i jednostek naukowych, w tym Instytutu Żywności i Żywienia, Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Instytutu Mleczarskiego, Centralnego Laboratorium Koncentratów Spożywczych, Centralnego Laboratorium Przemysłu Ziemniaczanego. Była także członkiem oraz pełniła szereg funkcji w organizacjach naukowych, takich, jak: Polskie Towarzystwo Nauk Żywieniowych, w którym od 1980 była przez dwie kadencje Przewodniczącą Oddziału Warszawskiego. W Stowarzyszeniu Technologów Żywności NOT w Warszawie zorganizowała Sekcję Żywienia Człowieka i będąc następnie jej przewodniczącą w okresie od 1970 do 1976. Profesor Maria Rakowska była również członkiem wielu komitetów naukowych Polskiej Akademii Nauk: Żywienia Człowieka (sekretarz 1956-1963), Chemii i Technologii Żywności (1971-1974), Fizjologii, Genetyki i Hodowli Roślin (1993-1995). Profesor Maria Rakowska nie szczędziła swojego czasu i wiedzy na pracę w Komitetach Redakcyjnych, jak „Żywienie i Metabolizm” oraz Biuletyn IHAR. Pełniła także funkcje społeczne, przez wiele lat była przewodniczącą Rady Załogi IHAR w Radzikowie.

W dorobku naukowym Profesor Marii Rakowskiej jest ponad 100 prac naukowych, wypromowała siedmiu doktorów, w tym troje na podstawie prac wykonanych w IHAR (dr Danutę Boros, dr Małgorzatę Cyran i dr Piotra Ochodzkiego). Za działalność naukową, organizacyjną i społeczną otrzymała m.in.: **Złoty Krzyż Zasługi nadany przez Ministra Zdrowia (1973); Srebrną Odznakę Zasłużonego Działacza SITR-NOT (1974), Odznakę Zasłużonego Pracownika Rolnictwa (1990), Medal im. Michała Oczapowskiego nadany przez Wydział Nauk Rolniczych PAN (1996).**

Ostatnie lata swego długiego i pracowitego życia Pani Profesor Maria Rakowska oddała rodzinie, darząc ich licznymi talentami i wspaniałym usposobieniem. Sporo czasu poświęciła na spisanie dziejów swojej rodziny, zostawiając potomnym pasjonujące

opowieści o życiu i losach najbliższych, w szczególności ojca Stanisława Grekowicza, bohatera szarży pod Rokitną i zesłańca syberyjskiego, brata Czesława Janczarskiego, znanego poety, czy warszawskiej artystycznie uzdolnionej rodzinie Jasińskich.

Pani Profesor dr hab. Maria Rakowska była niekwestionowanym autorytetem oraz cenionym nauczycielem w interdyscyplinarnej dziedzinie badań nad jakością surowców do produkcji żywności i pasz.

Była osobą pełną niespożytej energii, ciepła i życzliwości dla ludzi. Dzieląc się swoją wiedzą i doświadczeniem zarażała nas, swoich uczniów, pasją pracy naukowca. Pani Profesor, nasza wspańska Szefowa, pozostanie na zawsze w naszej pamięci.

*prof. dr hab. Danuta Boros
dr Piotr Ochodzki*

DANUTA BOROSSamodzielna Pracownia Oceny Jakości Produktów Roślinnych
Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB, Radzików

Alkilorezorcynole ziarna zbóż — ich znaczenie w żywności i paszy *

Alkylresorcinols of cereal grains — their importance in food and feed

Alkilorezorcynole (AR), stanowią grupę lipidów fenolowych, których znaczne ilości znajdują się w całym ziarnie zbóż. Największą zawartością tych związków charakteryzuje się ziarno żyta (360–2180 mg/kg), mniejsze ilości są znajdowane w ziarnie pszenżyta (294–1145 mg/kg) i pszenicy (268–943 mg/kg), a znacznie mniejsze w ziarnie jęczmienia (32–152 mg/kg). Na ogół nie stwierdza się ich obecności w ziarnie owsa. W latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych ubiegłego stulecia z uwagi na stwierdzoną wysoką zawartość AR w życie oraz niską wartość paszową tego zboża przypisano AR rolę składnika antyżywnościowego. Intensywne prace wielu zespołów wykazały w późniejszych latach, że czynnikiem odpowiedzialnym za niską strawność i przyswajalność wszystkich składników pokarmowych w przewodzie pokarmowym zwierząt monogastrycznych, w szczególności związków energetycznych w dietach opartych na ziarnie żyta jest wysoka zawartość frakcji arabinoksylianów rozpuszczalnych w wodzie, odznaczająca się dużą wodorochłonnością i wysoką lepkością w środowisku wodnym. W dzisiejszych czasach AR budzą ponownie duże zainteresowanie jako ważny składnik bioaktywny żywności i potencjalny biomarker spożycia produktów całoziarnowych. Z uwagi na różnice w składzie homologicznym AR pomiędzy pszenicą a żytem, rozważana jest możliwość użycia ich do identyfikacji rodzaju spożytego ziarna. Jako grupa związków fenolowych AR wykazują silne właściwości antyoksydacyjne, ale także antybakteryjne i antymutagenne.

Słowa kluczowe: alkilorezorcynole, występowanie, ziarno zbóż, znaczenie, właściwości bioaktywne

Alkylresorcinols (AR) are a group of phenolics lipids, found in substantial amounts in whole grain of cereals. Rye grain is characterised with the greatest content of these compounds (360–2180 mg/kg), while lower content has been found in triticale (294–1145 mg/kg) and wheat (268–943 mg/kg), and much lower in barley (32–152 mg/kg). In general, alkylresorcinols are not present in oat. In years of the sixties and seventies of the previous century, AR have been assigned a role of antinutrients in animal feeding, which was related to their high content and poor feeding quality of rye grain. The studies of many scientific groups, conducted later on, have shown that low digestibility and availability of all nutrients and in particular the energetic compounds in the intestinal tract of monogastric animals, in diets based on rye grain is a result of very high content of water-soluble fraction of arabinoxylans, that are characterized by a great water holding capacity and high viscosity in the aquatic environment. Nowadays, AR have been arousing again a great interest, as an important bioactive component of food

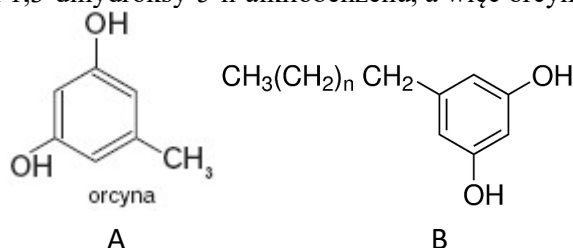
* Artykuł powstał dzięki dofinansowaniu MRiRW w ramach Programu Wieloletniego IHAR — PIB na lata 2015–2020

Redaktor prowadzący: Barbara Zagdańska

and potential biomarker for consumption of wholegrain products. Due to the differences in the homologue composition between wheat and rye, AR are considered to be used to identify the type of grain consumed. As a group of phenolic compounds the AR are a strong antioxidant, but they have also antibacterial and antimutagenic properties.

Key words: alkylresorcinols, occurrence, cereal grains, importance, bioactive properties

Alkilorezorcynole (AR), zwane również lipidami rezorcynolowymi, znana od dawna grupa naturalnych związków fenolowych, stały się ponownie obiektem intensywnych badań biologów, biochemików, chemików i żywieniowców. Uznane w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych ubiegłego stulecia za substancje niepożądane w ziarnie paszowym, wręcz szkodliwe dla zwierząt monogastycznych, drobiu i świń, w dzisiejszych czasach budzą duże zainteresowanie jako składnik bioaktywny żywności i potencjalny biomarker spożycia produktów całościarnowych. Alkilorezorcynole występują zarówno w świecie zwierzęcym jak i roślinnym, jednakże większość z nich jest pochodzenia roślinnego (Kozubek i in., 1996). Ich obecność została wykryta w bakteriach, gąbkach morskich oraz w grzybach, mchach, algach i w wielu innych gatunkach roślin. Do najbardziej przebadanych i najlepiej poznanych należą AR ziarna zbóż, w szczególności pszenicy i żyta (Wieringa, 1967; Verdal i Lorenz, 1977; Ross, 2003; Kulawinek i in., 2008). Związki te są pochodnymi 1,3-dihydroksy-5-n-alkilobenzenu, a więc orcyny (rys. 1 A).



Rys. 1. Chemiczna struktura orcyny (5-metylorezorcyny) (A) oraz 1,3-dihydroksy-5-n-alkilobenzenu (B)

Fig. 1. Chemical structure of orcine (5-methylresorcinol) (A) and 1,3-dihydroxy-5-n-alkylbenzene (B)

W zbożach alkilorezorcynole po raz pierwszy zostały wyizolowane z otrąb pszennych i na podstawie analizy magnetycznego rezonansu jądrowego i chromatografii gazowej określono ich strukturę. W badaniach tych Wenkert i in. (1964) wykazali, że AR w ziarnie pszenicy składają się głównie z homologów o prostych nasyconych łańcuchach bocznych zawierających 17, 19, 21, 23 i 25 atomów węgla. Stosując podobną metodykę, Wieringa (1967) znalazł takie same homologi AR w życie. Dodatkowo wykazał obecność w łańcuchu alifatycznym niewielkich ilości homologu o 15 atomach węgla (tab. 1). Do dalszego poznania struktury, ilości oraz właściwości żytnich AR przyczyniły się kompleksowe prace rozpoczęte na początku lat siedemdziesiątych XX wieku przez zespół z Uniwersytetu Wrocławskiego pod kierunkiem prof. W. Mejbaum-Katzenellenbogen (Mejbaum-Katzenellenbogen i in., 1975 a,b; 1978; Tłuścik i in., 1981), kontynuowane

przez prof. A. Kozubka (Kozubek i Tyman, 1995; 1999) i jego zespół (Gajda i in., 2008; Kulawinek i in., 2008). Z początkiem XXI wieku do prac dotyczących AR włączył się zespół ze Szwedzkiego Uniwersytetu Rolniczego (SLU) w Uppsali (Ross i in., 2001; Ross, 2003; Ross i in., 2003a,b; Landberg i in., 2008; 2009).

Cechą charakterystyczną cząsteczki AR jest występowanie w aromatycznym pierścieniu, w pozycji 5, bocznego łańcucha alkilowego o nieparzystej liczbie atomów węgla (rys. 1 B), którego długość jest zróżnicowana w zależności od gatunku (Kozubek i Tyman, 1995; 1999). Zazwyczaj łańcuch ten jest nasycony, jednakże znajdowane są również homologi nienasycone (zawierające od 1 do 3 wiązań podwójnych) lub z dodatkową grupą tlenową (Kozubek i Tyman, 1999). Zawartość poszczególnych homologów w ziarniakach różnych rodzajów zbóż jest różna, ale charakterystyczna dla danego gatunku (tab. 1)

Tabela 1

Skład homologiczny alkilorezorcynoli żyta i pszenicy wg różnych autorów (opracowanie własne)
Composition of alkylresorcinols from rye and wheat according to different authors

Homologi AR AR homologues	Żyto — Rye						Pszenica — Wheat				
	Wieringa (1967)	Kubus i Tłuścik (1983)	Rakow- ska i in. (1990)	Ross i in. (2003b)	Landberg i in. (2008)	Kula- winek i in. (2008)*	Wieringa (1967)	Rakow- ska i in. (1990)	Ross i in. (2003b)	Landberg i in. (2008)	Kula- winek i in. (2008)**
15	2	1,6	5,0	2		6	-	-	-		1
17	27	19,4	21,5	24	22	28	4	7,3	5	4	9
19	37	23,5	30,6	32	30	30	34	24,1	33	34	33
21	24	15,8	21,8	24	26	18	48	43,5	48	50	45
23	7	7,9	13,7	10	13	10	9	18,1	10	9	9
25	3	7,4	7,4	9	9	9	5	7,0	4	3	3
27	-	1,3	-	-	-		-	-		-	
Homologi nienasycone (%)			22,0					15,2			
Unsaturated homologues (%)											
Stosunek homologu C17 do C21	1:0,9	1:0,8	1:1,0	1:1,0	1:1,2	1:0,7	1:12,0	1:6,0	1:9,6	1:12,5	1:5,0
Ratio of homologue C17 to C21											

*Wartości średnie z 6 odmian — Mean values of 6 varieties

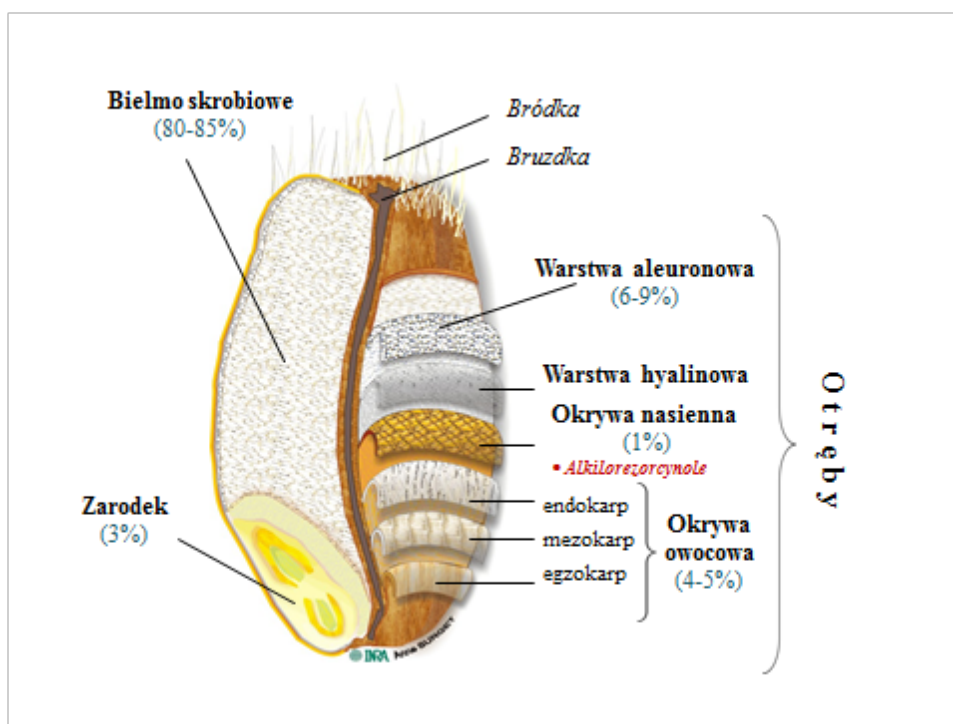
**Wartości średnie z 10 odmian — Mean values of 10 varieties

W ziarnie pszenicy tylko 5% badanych AR miało zmodyfikowany łańcuch alkilowy, podczas gdy w ziarnie żyta około 20% AR wykazywała obecność łańcuchów nienasyconych oraz keto pochodnych. W ziarnie życie wiązania podwójne występowały najczęściej w konfirmacji cis przy C8, C11 i C14 (Kozubek i Tyman, 1995; 1999). Ziarna zbóż odznaczają się największą liczbą homologów AR zawierających w łańcuchu bocznym od 13 do 27 atomów węgla. Długość łańcucha i liczbę wiązań nienasyconych w AR i innych alkilofenolach najczęściej opisuje się schematycznie, podobnie jak w przypadku

kwasów tłuszczowych, np. homolog o 17 atomach węgla i dwóch wiązaniach nienasyconych to C17:2 (Kozubek i Tyman, 1999).

LOKALIZACJA I ZAWARTOŚĆ ALKILOREZORCYNOLI W ZIARNACH ZBÓŻ

Alkilorezorcynole znajdują się wyłącznie w zewnętrznych warstwach ziarniaka. Według Tłuszcika (1978) obecne są w zewnętrznej warstwie okrywy nasiennej, tzw. kutykuli. Z kolei Landberg i in. (2008) wykazali, iż ponad 99% AR w ziarnie żyta i pszenicy zlokalizowana jest w środkowych częściach okrywy, na którą składają się warstwa hialinowa, okrywa nasienna (testa) oraz wewnętrzne warstwy okrywy owocowej, a więc perykarpu (endo i mezokarp), co ilustruje rysunek 2.



Rys. 2. Lokalizacja alkilorezorcynoli w ziarniaku pszenicy (w nawiasach podano procentowy udział poszczególnych części anatomicznych ziarniaka). Zaadoptowano z Surget i Barron (2005)

Fig. 2. Alkylresorcinols location in wheat grain (in brackets the percentages of anatomical parts of the kernel are given). Adapted from Surget and Barron (2005)

Mikroskopowe badania tych autorów umożliwiły lokalizację AR w zewnętrznej kutykuli okrywy nasiennej, co wcześniej sugerował Tłuszcik (1978) oraz wewnętrznej kutykuli perykarpu. Część zarodkowa oraz bielmo są całkowicie pozbawione AR, co oznacza, że są one wykrywane tylko w całym ziarnie, a w procesie przemiału ziarna na mąkę zostają usuwane razem z frakcją otrąb (Tłuszcik i in., 1981). Lokalizacja AR

w najbardziej zewnętrznych częściach okrywy owocowo-nasiennej umożliwia całkowitą ich ekstrakcję z ziarna niezmielonego rozpuszczalnikami organicznymi, co zostało wykorzystane w najczęściej stosowanej i obecnie polecanej metodzie oznaczania tych związków w zbożach (Tłuścik i in., 1981; Ross i in., 2001; Andersson i in., 2008 a; Gajda i in., 2008). Największą zawartość AR (tab. 2) stwierdzono w ziarnie żyta, w następnej kolejności pszenżyta, pszenicy oraz jęczmienia, natomiast w ziarnie owsa związki te w ogóle nie są wykrywane (Lorenz i Hengtrakul, 1990; Ross, 2003; Kulawinek i Kozubek, 2007). W całym ziarnie żyta zawartość AR waha się w granicach od około 360 mg/kg (Evans i in., 1973) do nawet 2180 mg/kg (Sałek, 1978). W ziarnie pozostałych zbóż zakresy zmienności są znacznie mniejsze i wahają się w ziarnie pszenicy od 268 mg/kg (Andersson i in., 2008 a) do 943 (Kulawinek i in., 2008), w ziarnie pszenżycie od 294 mg/kg (Hengtrakul i in., 1990) do 950 mg/kg (Vardeal i Lorenz, 1977) oraz w ziarnie jęczmienia od 32 mg/kg (Andersson i in., 2008 b) do 119 mg/kg (Boros i in., 2015).

Tabela 2

**Zawartość alkilorezorcynoli (AR) w ziarnie podstawowych gatunków zbóż wg różnych autorów
(opracowanie własne)**

Content of alkylresorcinols in the grain of basic cereal species according to different authors

Gatunek zboża Cereal species	Liczba próbek Number of samples	Zawartość AR (mg/kg) Content of AR (mg/kg)	Autor/ rzy Author/ s
Pszenica — Wheat	6	530–890	Evans i in. (1973)
	6	620–670	Vardeal i Lorenz (1977)
	1	600	Bock i in. (1981)
	63	406–712	Jakubowski i Stuczyńska, 1981
	45	317–655	Hengtrakul i in. (1990)
	3	489–642	Ross i in. (2003b)
	5	672–943	Kulawinek i in. (2008)
	151	268–674	Andersson i in. (2008a)
	24	426–697	Fraś (2011)
	57	386–668	Boros i in. (2015)
	12	660–950	Vardeal i Lorenz (1977)
	1	720	Bock i in. (1981)
Pszenżyto — Triticale	3617	394–1145	Jakubowski i Stuczyńska, 1981
	4	294–357	Hengtrakul i in. (1990)
	3	439–647	Ross i in. (2003b)
	29	381–706	Boros i in. (2015)
	1	991	Wieringa (1967)
Żyto — Rye	186	360–1790	Evans i in. (1973)
	4	1010–1240	Vardeal i Lorenz (1977)
	37	1140–2180	Sašek (1978)
	2	1188–1238	Bock i in. (1981)
	167	867–1424	Jakubowski i Stuczyńska, 1981
	3	720–761	Ross i in. (2003b)
	3	1058–1152	Kulawinek i in. (2008)
	18	752–934	Boros i in. (2015)
	1	100	Evans i in. (1973)
	10	121–152	Jakubowski i Stuczyńska, 1981
Jęczmień — Barley	3	42–51	Ross i in. (2003b)
	6	41–74	Żarnowski i in. (2002)
	10	32–103	Andersson i in. (2008b)
	25	47–119	Boros i in. (2015)

Tak duże zróżnicowanie zawartości AR w ziarnie poszczególnych rodzajów zbóż jest efektem nie tylko zróżnicowania genetycznego, ale także stosowania bardzo różnych procedur ich oznaczania. Analizy zawartości AR były wykonywane w ziarnie zmielonym (Wenkert i in., 1964; Wieringa, 1967; Evans i in., 1973; Verdeal i Lorenz, 1977; Sałek, 1978; Bock i in., 1981; Jakubowski i Stuczyńska, 1981) lub pełnym (Hengtrakul i in., 1990; Ross i in., 2003; Andersson i in., 2008 a,b; Fraś, 2011; Boros i in., 2015). Stosowano różne solwenty organiczne do ekstrakcji AR — najczęściej był to aceton, także octan etylu i metanol, a ilościowo ich zawartość oznaczano metodą kolorymetryczną, fluorometryczną, przy użyciu chromatografii cienkowarstwowej lub gazowej (GLC) czy cieczowej (HPLC) (Gajda i in., 2008; Kulawinek i Kozubek, 2008).

W metodzie kolorymetrycznej, która pozwala na szybkie oznaczenie AR stosowano różne standardy, takie jak orcyna, 5-pentadecylresorcynol, poszczególne homologi AR czy wyizolowane i oczyszczone żytnie AR, jak również różne substancje wywołujące reakcję barwną z AR, tj. chloroform z KOH, diazowany kwas siarkowy, diazowana p-nitroanilina, sól diazoniowa Fast Blue BF₄, Fast Blue B Zn oraz Fast Blue RR (Wieringa, 1967; Musehold, 1974; Mejbaum-Katzenellenbogen i in., 1975 a; Tłuścik i in. 1981; Gajda i in., 2008; Kulawinek i Kozubek, 2008; Landberg i in., 2009; Sampiero i in., 2009). Z lokalizacją AR w zewnętrznej kutykuli wiąże się bezpośrednio zależność zawartości tych związków z wielkością samego ziarniaka i jego masą właściwą (Wieringa, 1967; Musehold, 1974; Mejbaum-Katzenellenbogen i in., 1975b; Jakubowski i Stuczyńska, 1981). Tę zależność proponowano nawet do przeliczania zawartości AR w życie na stałą (30) ilość ziaren (Jakubowski i Stuczyńska, 1981).

Obecność alkilorezorcynoli w ziarnie zbóż wiąże się prawdopodobnie z ich aktywnością fitoncydową, chroniącą ziarniaki przed zagrożeniami z zewnątrz w okresie kiełkowania, zbioru i magazynowania. Zagrożeniami tymi są najczęściej grzyby i bakterie, ale także roztocza, owady, ptaki i gryzonie (Kulawinek i Kozubek, 2007). Z dużą zawartością AR w ziarnie wiąże się dużą odporność żyta na choroby i patogeny w porównaniu z innymi gatunkami zbóż.

WŁAŚCIWOŚCI ALKILOREZORCYNOLI

Alkilorezorcynole charakteryzują się różnymi właściwościami, chociaż ich rola w aktywności biologicznej i w regulacji procesów fizjologicznych oraz przemian metabolicznych jest poznana dotychczas tylko w niewielkim stopniu. Większość badań dotyczących aktywności biologicznej AR była wykonywana *in vitro* w różnych układach modelowych z wykorzystaniem różnych AR, bądź wybranych homologów. Dzięki obecności w cząsteczce dwóch przeciwstawnych regionów — hydrofilnego (pierścień dwuhydroksybenzenowy) i hydrofobowego (łańcuch alifatyczny), AR wykazują właściwości amfifilowe, a więc prawdopodobnie reagują ze strukturami błon biologicznych, jak i regionami hydrofobowymi białek (Kozubek i Tyman, 1999). Amfifilność AR skutkuje zmianą właściwości funkcyjnych błon i aktywności enzymów z nimi powiązanych. Poprzez regulowanie procesów wzrostu komórkowego, hamowanie syntezy DNA i RNA, zaburzanie aktywności enzymatycznej białek, jak również oddziaływanie z błonami

biologicznymi i regulację procesów utleniania lipidów, AR wykazują właściwości antymutagenne, antibakteryjne, grzybobójcze i cytotoksyczne. Na skutek tej właściwości zaliczane są do jednych z najskuteczniejszych substancji zapobiegających chorobom nowotworowym oraz chorobie niedokrwiennej serca. Ponadto opóźniają procesy starzenia, więc w rezultacie wpływają korzystnie na jakość życia. Duża koncentracja AR była śmiertelna dla niektórych mięczaków oraz hamowała rozwój pleśni w chlebie, jak też spowalniała rozwój bakterii gram dodatnich (Kozubek i Tyman, 1999). Jako związki fenolowe, AR wykazują w organizmie zdolność do ochrony lipidowych składników komórki przed utlenianiem (Nienartowicz i Kozubek, 1993; Korycińska i in., 2009). To działanie AR jest jednakże słabsze, w porównaniu do znanych antyoksydantów jak np. α -tokoferol (Kamal-Eldin i in., 2001). Właściwości antyoksydacyjne związków fenolowych polegają ogólnie na eliminowaniu reaktywnych form tlenu, blokowaniu i zmiataniu wolnych rodników, nasileniu dysmutacji wolnych rodników do związków o znacznie mniejszej reaktywności, chelatowaniu metali prooksydacyjnych, hamowaniu lub wzmacnianiu działania wielu enzymów. Związki fenolowe mogą ponadto wzmacniać działanie innych antyoksydantów, np. witamin rozpuszczalnych w tłuszczach i niskocząsteczkowych substancji rozpuszczalnych w wodzie (Kozubek i Tyman, 1999). Działanie przeciwnowotworowe AR zostało niedawno potwierdzone w odniesieniu do ich frakcji wyizolowanych z otrąb pszennych (Zhu i in., 2011). Oczyszczone 14 frakcji AR z otrąb pszennych wykazały bardzo silne działanie hamujące wzrost komórek HCT-116 i HT-29 ludzkiego raka okrężnicy. Z wydłużeniem się łańcucha alifatycznego obserwowano ponadto w tych badaniach zmniejszenie aktywności antyproliferacyjnej oraz jej wzrost, gdy frakcje AR wykazywały obecność wiązania podwójnego bądź ugrupowania ketonowego w łańcuchu bocznym. Podobnie Liu i in. (2012) udowodnili dużą cytotoksyczność AR wyizolowanych z otrąb pszennych, przy czym najbardziej aktywne w tym względzie okazały się AR występujące w mniejszych ilościach jak C17:0, C19:1, C21:1 i C23:Oxo. W badaniach *in vivo*, AR z otrąb pszennych powstrzymywały proces nowotworzenia u myszy z mutacją genu APC, u których istnieje bardzo wysokie ryzyko wystąpienia polipowatości gruczolakowatej, a tym samym inicjacji nowotworu jelita grubego (Sang i in., 2006). Właściwości AR oraz perspektywy ich wykorzystania w leczeniu zostały ostatnio obszernie opisane w pracy przeglądowej Biskup i in. (2015).

AR są wchłaniane z przewodu pokarmowego w zakresie 60–79%, a po dostaniu się do wątroby są metabolizowane najpierw do estrów acetylo-CoA, następnie do niskocząsteczkowych kwasów fenolowych i po sprzężeniu z kwasem glukuronowym lub siarkowym do glukuronidów lub siarczanów, lub do koniugatów obu tych związków, co udowodniono w badaniach z udziałem zwierząt doświadczalnych oraz ludzi (Tłuścik i in., 1990; Ross, 2003). Lepiej wchłaniane są krótkołańcuchowe homologi, a ich absorpcja ma miejsce w górnym odcinku jelita cienkiego, poprzez układ limfatyczny. Zmetabolizowane AR w 34% były wydalone w moczu szczurów, podczas gdy w 66% w kale (Ross, 2003; Ross i in., 2003 a). Niewielkie ilości AR mogą być kumulowane w tkance tłuszczowej (Ross, 2003; Ross i in., 2003 a).

WPLYW ALKILOREZORCYNOLI NA WSKAŹNIKI PRODUKCYJNE ZWIERZĄT
MONOGASTRYCZNYCH

Wyniki badań dotyczące alkilorezorcynoli w żywieniu zwierząt prowadzone z udziałem myszy, szczurów, kurcząt i świń nie są jednoznaczne. Od końca lat 60. minionego stulecia przez okres ponad 20 lat AR przypisywano działanie antyżywniowe, pogarszające wskaźniki produkcyjne zwierząt gospodarskich. Odnosiło się ono wyłącznie do AR w ziarnie żyta, w którym zawartość jest największa spośród ziarna wszystkich zbóż. Badania dotyczące szkodliwego wpływu AR na parametry produkcyjne zwierząt rozpoczęły się od bardzo kompleksowych badań żywieniowo-chemicznych Wieringa (1967). Na początku swych badań potwierdził on znaną już z literatury gorszą przydatność ziarna żyta w żywieniu zwierząt monogastrycznych. W układzie modelowym ze szczurami laboratoryjnymi Wieringa (1967) wykazał istotne różnice w spożyciu, przyroście masy ciała i współczynnikach wykorzystania diety między grupami otrzymującymi ziarno żyta oraz jęczmienia stanowiących główny składnik mieszanki paszowej. Szczury karmione dietą żytnią miały wartości tych wskaźników istotnie gorsze, jeśli obie diety doświadczalne miały wyrównany poziom wszystkich składników, w tym również włókna surowego. Wieringa (1967) wykazał także, że frakcja olejowa otrzymana z żyta po 8 godzinnej ekstrakcji benzyną ekstrakcyjną, czyli eterem naftowym lub acetonem, w temperaturze poniżej 40°C, dodana do diety żytniej lub diety podstawowej opartej na mące i białku ziemniaczanym, istotnie pogarszała przyrost masy ciała i współczynnik wykorzystania diety. Odnotował on przy tym bardzo wysoką śmiertelność szczurów. Podobny niekorzystny efekt obserwował, kiedy szczury były karmione dietą podstawową, z dodatkiem oczyszczonej frakcji olejowej AR żyta. Badania *post mortem* wykazały nieprawidłowości w wyglądzie organów wewnętrznych u wszystkich szczurów karmionych dietą z dodatkiem oleju żytniego, przede wszystkim zmieniony kolor nerek, które były bardzo jasne z ciemnymi plamami. Podobne ciemne nacieki były widoczne w tej grupie zwierząt także na wątrobie, płucach i w jednym przypadku na mięśniu sercowym. Olej żytni dodany w ilości odpowiadającej ekwiwalentowi żyta do kontrolnej diety jęczmienno-kukurydzianej, powodował istotne zmniejszenie także wzrostu prosiąt, porównywalne do tego jakie miało miejsce podczas stosowania diety żytniej. Wyniki tych doświadczeń upoważniły Wieringa (1967) do wnioskowania, że czynnik odpowiedzialny za niższą smakowitość oraz gorsze przyrosty zwierząt karmionych żytem był rozpuszczalny w eterze naftowym i acetonie i został zidentyfikowany jako 5-n-alkilorezorcynole.

Negatywny wpływ żyta i zawartych w nim AR był również wykazany przez Pawlika i in. (1976) w doświadczeniach wzrostowych z kurczętami brojlerami. Autorzy ci wykazali, iż wraz ze wzrostem udziału żyta w mieszance istotnie malała masa kurcząt oraz zwiększało się zużycie paszy na 1 kg przyrostu w okresie 0–4 tygodni ich odchovu. Dodatek do mieszanki kontrolnej preparatu AR, w ilości odpowiadającej pełnej porcji ziarna żyta surowego, powodował zwiększenie zużycia paszy, jednakże nie obserwowano zmniejszenia masy kurcząt. Z kolei kurczęta karmione żytem poekstrakcyjnym, traktowanym acetonem, osiągnęły najlepsze wyniki produkcyjne, chociaż różnice między

grupami doświadczalnymi były nieistotne. Stwierdzony przez Pawlika i in. (1976) spadek poziomu albumin w surowicy krwi i niski poziom seromukoidu oraz powiększenie wątroby u kurcząt, którym podawano mieszankę zawierającą śrutę żytnią lub surowy preparat AR, sugerowały wg tych autorów uszkodzenie wątroby, jednakże nie notowali oni dużej śmiertelności ptaków, tak jak w przypadku doświadczeń Wieringa (1967) ze szczurami. Sedlet i in. (1984) chcąc wyjaśnić przyczynę gorszych wskaźników wzrostu szczurów, którym podawano AR przeprowadzili doświadczenie z żywieniem wymuszonym. Autorzy ci wykazali, że spadek przyrostów masy ciała rosnących szczurów był prawie całkowicie wynikiem zmniejszonego spożycia diety, przy czym stwierdzono także niewielki efekt toksyczny AR użytych w tym doświadczeniu, które były syntetycznym 5-pentadecyrezorcynolem. Pogorszenie wskaźników wzrostu szczurów w badaniach Sedlet i in. (1984) było wykazane jednakże tylko w odniesieniu do diet zawierających więcej niż dwukrotną zawartość AR oznaczoną w ziarnie żyta, a mianowicie 0,26% i 0,65%.

Wyniki doświadczeń Wieringa (1967), Pawlika i in. (1976) oraz Sedlet i in. (1984) nie zostały potwierdzone w badaniach innych autorów. Bock i in. (1981) nie stwierdzili różnic w wysokości spożycia i przyrostach masy ciała szczurów albinotycznych, które karmiono dietami zawierającymi albo ziarno żyta, z którego całkowicie wyekstrahowano AR, albo dietą standardową, do której dodano wyekstrahowany olej żytni. Podobnie Fernandez i in. (1973) nie uzyskali poprawy przyrostu wagi kurcząt karmionych dietą żytnią pozbawioną AR. Szereg badań dotyczących wpływu AR na wartość paszową żyta została przeprowadzona w latach 80. minionego stulecia w IHAR pod kierunkiem prof. M. Rakowskiej (Rakowska i in., 1990). Przedmiotem badań było osiem linii żyta, otrzymanych od prof. H. Geigera, o zmniejszonej zawartości AR (do około 600 mg/g) oraz zmiennej zawartości nienasyconych homologów (w zakresie od 15 do 34%), pięć linii żyta o bardzo zróżnicowanej zawartości AR (od 270 do 1300 mg/g) ze Svalöv oraz trzy oczyszczone preparaty AR, wyizolowane przez dr F. Tłuszcika odpowiednio z ziarna żyta Dankowskie Żłote, pszenicy Grana oraz pszenżyta Lasko. Wyniki doświadczeń żywieniowych przeprowadzonych testem wzrostowym (10-dniowym) z kurczętami przepiórki japońskiej oraz ze szczurami (14-dniowym) nie wykazały szkodliwego wpływu AR na wskaźniki produkcyjne tych zwierząt (tab. 3). W badaniach Rakowskiej i in. (1990), podobnie jak w badaniach Sedlet i in. (1984) szkodliwy wpływ AR na spożycie, przyrost masy oraz wskaźnik zużycia diety przez szczury zaznaczył się istotnie dopiero przy podwojonej ilości AR w diecie, w stosunku do średniej ich zawartości w ziarnie żyta. Należy podkreślić, że podobny niekorzystny efekt dużej zawartości AR w diecie na wskaźniki wzrostu młodych szczurów, był odnotowany w tych badaniach także w odniesieniu do preparatów AR wyizolowanych z ziarna pszenicy i pszenżyta.

Intensywne prace wielu zespołów wykazały, iż głównym składnikiem ziarna żyta odpowiedzialnym za jego niską wartość paszową dla zwierząt monogastycznych, w szczególności młodego drobiu jest frakcja arabinoksylianów rozpuszczalna w wodzie (Antoniou i Marquardt, 1981; Boros i in., 1985; Fengler i Marquardt, 1988; Annison i Choct, 1991; Rakowska, 1994; Boros i in., 1997). W porównaniu do innych zbóż ziarno żyto zawiera największą ilość tych związków, które charakteryzując się dużą wodochłonnością i wysoką lepkością w środowisku wodnym powodują zmniejszenie spożycia

paszy, gorsze wykorzystanie zawartych w niej składników pokarmowych i energetycznych oraz wydalenie mokrego i lepkiego kału, a w efekcie obniżenie wagi ciała (Raczyńska-Bojanowska i in., 1988; Boros, 2002). Biorąc pod uwagę zróżnicowanie zawartości w ziarnie, arabinoksylany rozpuszczalne w wodzie są również odpowiedzialne za wykorzystanie energii z mieszanek paszowych opartych na ziarnie pszenicy przez kurczęta brojlera (Choct i Annison, 1992).

Tabela 3

Wyniki doświadczeń żywieniowych dotyczące wpływu alkilorezorcynoli (AR) na wskaźniki wzrostu młodych zwierząt (modyfikacja z Rakowska i in., 1990)
Results of feeding trials on the effect of alkylresorcinols (AR) on growth performance parameters of young animals (modification from Rakowska et al., 1990)

Dieta Diet	Zawartość AR w ziarnie AR content in grain (mg/kg)	Udział homologów nienasyconych Per cent of unsaturated homologs	Spożycie diety (g/dzień) Diet intake (g/day)	Przyrost wagi (g/dzień) Weight gain (g/day)	Wykorzystanie diety F/G ratio
Doświadczenie wzrostowe (10-dniowe) na kurczętach przepiórki japońskiej (dieta z 80% udziałem żyta lub pszenicy) Growth trial (10-days) on chickens of Japanese quail (diet formulated with 80% of rye or wheat)					
1	659	33,6	6,5	1,75	3,71
2	645	27,4	6,1	1,96	3,11
3	635	20,2	6,2	1,39	4,46
4	602	15,2	5,5	1,16	4,74
Pszenica Wheat	890	15,2	6,2	2,03	3,05
LSD = P<0,05			NS	0,47	0,14
Doświadczenie wzrostowe (14-to dniowe) na szczurach Wistar (dieta z 85% udziałem żyta) II. Growth trial (14-days) on Wistar rats (diet formulated with 85% of rye)					
SV 17/79	272	-	7,86	1,76	4,45
SV 37/79	306	-	7,64	1,41	5,43
SV 37/79	961	-	7,21	1,44	5,02
SV 37/79	1292	-	7,36	1,76	4,17
LSD = P<0,05			NS	NS	0,32
Doświadczenie wzrostowe (14-to dniowe) na szczurach Wistar z dodatkiem izolatów AR (dieta z 10% poziomem białka) III. Growth trial (14-days) on Wistar rats with supplement of AR isolates (diet with 10% of protein level)					
Dieta Diet	Dodatek AR (g/kg diety) AR supplement (g/kg diet)	Spożycie diety (g/dzień) Diet intake (g/day)	Przyrost wagi (g/dzień) Weight gain (g/day)	Wykorzystanie diety F/G ratio	
Kontrolna kazeinowa — Casein control	0	8,61	3,81	2,26	
Kontrolna + AR żyta	1	8,11	3,49	2,32	
Control + rye AR	2	7,76*	3,08*	2,52*	
Kontrolna + AR pszenżyta	1	8,17	3,40	2,40	
Control + tritcale AR	2	7,40*	2,99*	2,47*	
Kontrolna + AR pszenicy	1	8,44	3,72	2,27	
Control + wheat AR	2	7,72*	3,09*	2,50*	

Wartości oznaczone * różnią się istotnie od wartości uzyskanych na diecie kontrolnej
 Values with * differ significantly from values of control diet

ALKILOREZORCYNOL JAKO BIOMARKERY

Korzyści spożywania przez człowieka produktów zbożowych otrzymanych z całego ziarna zbóż zostały wykazane w wielu badaniach epidemiologicznych i klinicznych

w przeciągu ostatnich lat. Spożywanie całościarnowych produktów zbożowych wpływa na zmniejszenie ryzyka powstawania cukrzycy, otyłości, chorób serca, czy niektórych chorób nowotworowych. Dieta bogata w ziarno zbóż i produkty całościarnowe dostarcza organizmowi szereg związków bioaktywnych, w tym kompleks błonnika pokarmowego, witaminy, składniki mineralne, fityniany oraz szereg różnych związków fenolowych o silnym działaniu antyoksydacyjnym (Poutanen, 2012). W celu dokładniejszego poznania roli produktów całościarnowych w naszym organizmie, konieczna jest wiedza o ilości spożywanych produktów zbożowych w codziennym pożywieniu. Biomarker spożycia produktów całościarnowych mógłby być narzędziem w dalszym dostarczaniu dowodów na istnienie zależności między wielkością spożycia produktów całościarnowych a korzyściami zdrowotnymi ich spożywania.

Alkilorezorcynole, z uwagi na dużą ich zawartość w otrębach i całym ziarnie pszenicy, żyta i innych zbóż wykorzystywanych najczęściej do produkcji żywności oraz ze względu na ich brak w innych produktach roślinnych, zostały wskazane jako biomarker ilości spożycia produktów zbożowych (Ross, 2003). Zaproponowano wykorzystanie tych związków również do badania źródła pochodzenia spożytych produktów zbożowych. Przy takim podejściu wykorzystano relatywnie stały skład homologów alkilorezorcynoli w obrębie danego gatunku zboża, a bardzo zróżnicowany między różnymi gatunkami zbóż (tab. 2). Wskaźnikiem źródła pochodzenia alkilorezorcynoli miały być stosunek homologów nasyconych C17 do C21 przy całkowitym stężeniu tych związków fenolowych w surowym ziarnie i po spożyciu w osoczu krwi, wynoszący około 1,0 w ziarnie żyta, 0,1 w ziarnie pszenicy zwyczajnej i 0,01 w pszenicy twardej (Ross, 2003). W obu przypadkach możliwość wykorzystania AR jako biomarkerów wiąże się z metabolizmem AR w organizmie człowieka (Tłuścik i in., 1990). W miarę zwiększania spożycia produktów całościarnowych lub zawierających znaczne ilości otrąb, wykazano wzrost stężenia alkilorezorcynoli w osoczu (Ross, 2003). Są one absorbowane z przewodu pokarmowego szczurów, prosiąt i ludzi w zakresie 33–79%, prawdopodobnie *via* układ limfatyczny. Ważny jest również fakt, iż zawartość AR w chlebie żytnim na zakwasie nie ulega zmianie, co dowodzi braku wpływu zarówno kwaśnej fermentacji ciasta jak i samego wypieku na ich zawartość w chlebie (Liukokonen i in., 2003). Mniejsze ilości AR oznaczane w chlebie w porównaniu do surowca mogą wynikać z tworzenia się kompleksów ze skrobią i przez to niepełnej ekstrakcji AR powszechnie stosowanymi metodami (Ross, 2003). Całkowity odzysk AR z pieczywa może być uzyskany po zastosowaniu ekstrakcji z użyciem mieszaniny gorącego propanolu i wody w stosunku 3:1 v/v (Ross, 2003).

PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono ewoluowanie na przestrzeni ostatniego półwiecza wiedzy dotyczącej alkilorezorcynoli zawartych w ziarnie zbóż, w szczególności ich roli w żywieniu ludzi i zwierząt. Alkilorezorcynole początkowo uznane za składnik niepożądany w ziarnie paszowym, o szkodliwym wpływie na wzrost i parametry produkcyjne zwierząt, budziły również obawy o negatywne oddziaływanie na zdrowie ludności w krajach, w których tradycyjnie spożywano duże ilości pieczywa żytniego

wyprodukowanego z całego ziarna. Opinia taka była oparta na niskiej wartości paszowej ziarna żyta i wysokiej zawartości w nim AR. W hodowli żyta zapoczątkowano nawet prace nad zmniejszeniem ich ilości w ziarnie. W miarę przybywania wyników badań o czynnikach faktycznie determinujących przydatność żyta w żywieniu zwierząt jak również o korzyściach zdrowotnych spożywania chleba całościarnowego i o prozdrowotnych właściwościach AR oraz innych związków fenolowych, znaczenie alkilorezorcynoli w żywieniu ludzi uległo drastycznej zmianie. Związki te są obecnie rozważane nawet jako potencjalny biomarker spożycia produktów całościarnowych.

LITERATURA

- Andersson A. A. M., Kamal-Eldin A., Fraś A., Boros D., Åman P. 2008 a. Alkylresorcinols in wheat varieties in the HEALTHGRAIN diversity screen. *J. Agric. Food Chem.* 56: 9722 — 9725.
- Andersson A. A. M., Lampi A.-M., Nyström L., Piironen V., Li L., Ward J., Gebruers K., Courtin C. M., Delcour J. A., Boros D., Fraś A., Dynkowska W., Rakszegi M., Bedo Z., Shewry P. R., Åman P. 2008 b. Phytochemical and Fibre Components in Barley Varieties in the HEALTHGRAIN DIVERSITY SCREEN. *J. Agric. Food Chem.* 56: 9767 — 9776.
- Annisson G., Choct M. 1991. Anti-nutritive activities of cereal non-starch polysaccharides in broiler diets and strategies minimizing their effects. *World's Poultry Sci. J.* 47: 232 — 242.
- Antoniou T. C., Marquardt R. R. 1981. Influence of rye pentosans on the growth of chicks. *Poultry Sci.* 60: 1898 — 1904.
- Biskup I., Mizerska A., Fecka I. 2015. Alkilofenole pochodzenia naturalnego — właściwości i perspektywy wykorzystania ich w lecznictwie. *Postępy Fitoterapii.* 1: 37 — 44.
- Bock H. D., Flamme W., Kesting S. 1981. Preliminary experiments with rats on alkylresorcinols in rye. *Die Nahrung.* 25 (9): 805 — 810.
- Boros D. 2002. Lepkość rozpuszczalnych arabinoksylianów wskaźnikiem wartości pokarmowej żyta. *Monografie i Rozprawy Naukowe IHAR* Nr 16,: 1 — 44.
- Boros D., Fraś A., Gołębiewska K., Gołębiewski D., Paczkowska O., Wiśniewska M. 2015. Wartość odżywcza i właściwości prozdrowotne ziarna odmian zbóż i nasion rzepaku zalecanych do uprawy w Polsce. *Monografia pod. red. Boros D. i Fraś A. Monografie i Rozprawy Naukowe IHAR — PIB* 49: 1 — 119.
- Boros D., Madej L., Jagodzinski J. 1997. Perspectives of selection for better nutritive quality of rye I. Viscosity of grain water extract as an index of nutritive value of rye for broiler chicks. *Plant Breed. Seed Sci.* 41: 81 — 89.
- Boros D., Rakowska M., Raczynska-Bojanowska K., Kozaczyński K. 1985. The response of Japanese quails and chicks to the water-soluble antinutritive compounds from rye grain. *Nutr. Rep. Inter.* 32: 827 — 836.
- Choct M., Annison G. 1992. Anti-nutritive effect of wheat pentosans in broiler chickens: Role of viscosity and gut microflora. *Brit. Poultry Sci.* 33: 821 — 834.
- Evans L. E., Dedio W., Hill R.D. 1973. Variability in the alkylresorcinol content of rye grain. *Can. J. Plant Sci.* 53: 485 — 488.
- Fengler A. I., Marquardt R. R., 1988. Water-soluble pentosans from rye: II. Effects on rate of dialysis and on the retention of nutrients by the chick. *Cereal Chem.* 65: 298 — 302.
- Fernandez R., Lucas E., McGinnis J. 1973. Fractionation of a chick growth depressing factor from rye. *Poultry Sci.* 52: 2252 — 2259.
- Fraś A. 2011. Analiza zmienności zawartości błonnika pokarmowego i alkilorezorcynoli w ziarnie pszenicy zwyczajnej (*Triticum aestivum* L.). *Rozprawa doktorska IHAR-PIB*: 11 — 144.
- Gajda A., Kulawinek M., Kozubek A. 2008. An improved colorimetric method for the determination of alkylresorcinols in cereals and whole-grain cereal products. *J. Food Compos. Anal.* 21 (5): 428 — 434.
- Hengtrakul P., Lorenz K., Mathias M. 1990. Alkylresorcinols in U.S. and Canadian wheats and flours. *Cereal Chem.* 67: 413 — 417.

- Jakubowski S., Stuczyńska J. 1981. Zmienność zawartości 5-alkilorezorcyn (AR) w materiale hodowlanym żyta, pszenicy i pszenżyta oraz metodyka badań. Biul. IHAR 145: 17 — 25.
- Kamal-Eldin A., Pouru A., Eliasson C., Åman P. 2001. Alkylresorcinols as antioxidants: hydrogen donation and peroxy radical-scavenging effects. J. Sci. Food Agric. 81: 353 — 356.
- Korycińska M., Czelna K., Jaromin A., Kozubek A. 2009. Antioxidant activity of rye bran alkylresorcinols and extracts from whole-grain cereal products. Food Chem. 116: 1013 — 1018.
- Kozubek A., Pietr S., Czerwonka A. 1996. Alkylresorcinols are abundant lipid component in different strains of *Azotobacter chroococcum* and *Pseudomonas* spp. J. Bacteriol. 178: 4027 — 4030.
- Kozubek A., Tyman J. H. P. 1995. Cereal grain resorcinolic lipids: mono and dienolic homologues are present in rye grains. Chem. Phys. Lipids. 78: 29 — 35.
- Kozubek A., Tyman J. H. P. 1999. Resorcinolic lipids, the natural non-isoprenic amphiphiles and their biological activity. Chem. Rev. 99: 1 — 26.
- Kubus G., Tłuścik F. 1983. Alkyl resorcinols in grains from plants from the family *Gramineae*. Acta Soc. Bot. Polon. 52: 223 — 230.
- Kulawinek M., Kozubek A. 2007. 5-n-alkilorezorcynole ziaren zbóż i pełnoziarnistych produktów spożywczych jako biomarkery zdrowej żywności. Postępy Biochemii. 53: 287 — 296.
- Kulawinek M., Jaromin M., Kozubek A., Żarnowski R. 2008. Alkylresorcinols in selected Polish rye and wheat cereals and whole-grain cereal products. J. Food Agric. Chem. 56: 7236 — 7242.
- Kulawinek M., Kozubek A. 2008. Quantitative determination of alkylresorcinols in cereal grains: independence of the length of the aliphatic side chain. J. Food Lipids. 15: 251 — 262.
- Landberg R., Kamal-Eldin A., Salmenkallio-Marttila M., Rouau X., Åman P. 2008. Localization of alkylresorcinols in wheat, rye and barley kernels. J. Cereal Sci. 48: 401 — 406.
- Landberg R., Andersson A. A. M., Åman P., Kamal-Eldin A. 2009. Comparison of GC and colorimetry for the determination of alkylresorcinols homologues in cereal grains and products. Food Chem. 113: 1363 — 1369.
- Liu L., Winter K. M., Stevenson L., Morris C., Leach D. N. 2012. Wheat bran lipophilic compounds with *in vitro* anticancer effects. Food Chem. 130 (1): 156 — 164.
- Liukkonen K.-H., Katina K., Wilhelmsson A., Myllymäki O., Lampi A. M., Kariluoto S., Piironen V., Heinonen S.M., Nurmi T., Adlercreutz H., Peltoketo A., Pihlava J. M., Hietaniemi V., Poutanen K. 2003. Process-induced changes on bioactive compounds in whole grain rye. Proc. Nutr. Soc. 62: 117 — 122.
- Lorenz K., Hengtrakul K. 1990. Alkylresorcinols in cereal grains – nutritional importance and methods of analysis Lebensm.-Wiss. u.-Technol. 23: 208 — 215.
- Mejbaum-Katzenellenbogen W., Tłuścik F., Kozubek A., Sikorski A., Maresz Z. 1975 a. Alkylresorcinols in rye (*Secale cereale* L.) grains. I. Micromethod for determination of alkyl derivatives of resorcinol in rye grains. Acta Soc. Bot. Polon. 44: 479 — 489.
- Mejbaum-Katzenellenbogen W., Sikorski A., Tłuścik F. 1975b. Alkylresorcinols in rye (*Secale cereale* L.) grains. II. Dependence of alkylresorcinols level on weight and specific weight of grains. Acta Soc. Bot. Polon. 44: 597 — 606.
- Mejbaum-Katzenellenbogen W., Tłuścik F., Kozubek A. 1978. Alkylresorcinols in rye (*Secale cereale* L.) grains. IV. Three step preparation of 5-n-alkylresorcinols. Acta Soc. Bot. Polon. 47: 379 — 389.
- Musehold J. 1974. Zur Methodik der Selektion auf 5-alkyl-resorcin-arme pflanzen beim Roggen. Zeitschrift Pflanzenzuchtg. 71: 124 — 129.
- Nienartowicz B., Kozubek A. 1993. Antioxidant activity of cereal bran resorcinolic lipids. Polish J. Food Nutr. 2: 51 — 60.
- Pawlik J., Kudrewicz-Hubicka Z., Wilusz T. 1976. Wpływ ziarna żyta i zawartości w nim alkilorezorcynoli na wzrost i wydajność rzeźną oraz zachowanie się białek surowicy krwi kurcząt brojlerów. Roczn. Nauk. Zootech. 5: 109 — 125.
- Poutanen K. 2012. Past and future of cereal grains as food for health. Trends Food Sci. Technol. 25: 58-62.
- Raczyńska-Bojanowska K., Rakowska M., Wrzesińska K., Zębalska M., Boros D. 1988. Chemical indicators of nutritive value of rye grain. Hod. Rośl. Aklim. Nas. 32: 261 — 263.
- Rakowska M. 1994. Antinutritive compounds in rye grain. Hod. Rośl. Aklim. 38: 21 — 42.

- Rakowska M., Boros D., Tłuścik F., Szkiłłądź W. 1990. Studies on antinutritive components of the rye grain. Part I. Effect of isolated and in situ alkylresorcinols of rye grain on growth of laboratory animals and diet utilization. *Acta Alimentaria Polonica*, 16/1-2: 53 — 61.
- Ross A. B., Kamal-Eldin A., Jung C., Shepherd M. J., Åman P. 2001. Gas chromatographic analysis of alkylresorcinols in rye (*Secale cereale* L.) grains. *J. Sci. Food Agric.* 81: 1405 — 1411.
- Ross A. B. 2003. Alkylresorcinols in cereal grains. Occurrence, absorption, and possible use as biomarkers of whole grain wheat and rye intake. Doctoral Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala.
- Ross A. B., Shepherd M. J., Bach Knudsen K. E., Glitsø L. V., Bowey E., Phillips J., Rowland I., Guo Z. X., Massy D. J., Aman P., Kamal-Eldin A. 2003 a. Absorption of dietary alkylresorcinols in ileal-cannulated pigs and rats. *Br. J. Nutr.* 90: 787 — 794.
- Ross A. B., Shepherd M. J., Schüpphaus M., Sinclair V., Alfaro B., Kamal-Eldin A., Åman P. 2003b. Alkylresorcinols in cereals and cereal products. *J. Agric. Food Chem.* 51: 4111 — 4118.
- Sałek M. 1978. Oznaczanie zawartości 5-alkilorezorcyn w ziarnie i produktach przemiału żyta. *Roczniki PZH.* 29: 205 — 211.
- Sampiero D. A., Vattuone M.A., Catalán C.A.N. 2009. A new colorimetric method for determination of alkylresorcinols in ground and whole-cereal grains using the diazonium salt Fast Blue RR. *Food Chem.* 115: 1170 — 1174.
- Sang S., Ju J., Lambert J. D., Lin Y., Hong J., Bose M., Wang S., Bai N., He K., Reddy B. S., Ho C-T., Li F., Yang C. S. 2006. Wheat bran oil and its fractions inhibit human colon cancer cell growth and intestinal tumorigenesis in Apc^{min/+} mice. *J. Agric. Food Chem.* 54: 9792 — 9797.
- Sedlet K., Mathias M., Lorenz K. 1984. Growth-depressing effect of 5-n-pentadecylresorcinol: Model for cereal alkylresorcinols. *Cereal Chem.* 61: 239 — 241.
- Surget A., Barron C. 2005. Histologie du grain blé. *Industries des Céréales.* 145: 3 — 7.
- Tłuścik F. 1978. Localization of the alkylresorcinols in rye and wheat caryopses. *Acta Soc. Bot. Polon.* 44 (4): 211 — 218.
- Tłuścik F., Kozubek A., Mejbaum-Katzenellebogen W. 1981. Alkylresorcinols in rye (*Secale cereale* L.) grains. VI. Colorimetric micromethod for the determination of alkylresorcinols with the use of diazonium salt, Fast Blue B. *Acta Soc. Bot. Polon.* 50: 645 — 651.
- Tłuścik F., Kupiec R., Rakowska M. 1990. Studies on antinutritive components of the rye grain. Part II. Balance and metabolism of 5-n-alkylresorcinols isolated from rye grain in rats. *Acta Alimentaria Polonica.* 16/3: 119 — 127.
- Verdeal K., Lorenz K. 1977. Alkylresorcinols in wheat, rye and triticale. *Cereal Chem.* 54: 475 — 483.
- Wenkert E., Loeser E. M., Mahapatra N., Schenker F., Wilson E. M. 1964. Wheat grain phenoles. *J. Org. Chem.* 29: 435 — 439.
- Wieringa G. W. 1967. On occurrence of growth inhibiting substances in rye. Pub. 156. Ins. Storage Proc. Agric. Prod., Wageningen, Netherlands.
- Zhu Y., Conklin D. R., Chen H., Wang L., Sang S. 2011. 5-Alk(en)ylresorcinols as the major active components in wheat bran inhibit human colon cancer cell growth. *Bioorg. Med. Chem.* 19: 3973 — 3982.
- Żarnowski R., Suzuki Y., Yamaguchi I., Pietr S. 2002. Alkylresorcinols in barley (*Hordeum vulgare* L. *distichon*) grain. *Z. Naturforsch.* 57: 57 — 62.

ANNA FRAŚ**DANUTA BOROS**Samodzielna Pracownia Oceny Jakości Produktów Roślinnych
Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB w Radzikowie

Wpływ warunków środowiska na zmienność zawartości błonnika pokarmowego w ziarnie pszenicy ozimej

Influence of environmental conditions on the variability of dietary fibre content in winter wheat grain

Celem badań było wykazanie wpływu genotypu i warunków środowiska, w tym lat uprawy na zmienność zawartości błonnika pokarmowego, wyliczonego metodą pośrednią z różnicy podstawowych składników ziarna. Materiał badawczy stanowiło ziarno 20 odmian i 4 linii pszenicy ozimej z Hodowli Roślin Strzelce z lat uprawy 2005–2007. W celu obliczenia zawartości błonnika pokarmowego w ziarnie oznaczono zawartość następujących składników: białka, popiołu, lipidów, skrobi oraz cukrów wolnych. Wyniki zawartości błonnika pokarmowego poddano analizie statystycznej. Wykazano, że zmienność zawartości błonnika pokarmowego w ciągu trzech lat uprawy oraz lepkość wodnych ekstraktów ziarna były zdeterminowane warunkami środowiska (45%) oraz interakcją genotypowo-środowiskową (30%). Szeroki zakres zmienności genotypowej dotyczącej błonnika pokarmowego umożliwia wskazanie odmian o dużej zawartości tego składnika i wykorzystanie ich do produkcji pieczywa pszennego, którego udział w strukturze spożycia pieczywa jest największy.

Słowa kluczowe: błonnik pokarmowy, genotyp, lepkość, pszenica, środowisko, zmienność

The aim of the study was to show the effect of genotype and harvest year on the content and variability of dietary fibre and its viscous properties. Material for the study comprised of 20 varieties and 4 lines of winter wheat obtained from Plant Breeding Strzelce, harvested in years 2005–2007. Dietary fibre content was estimated with an indirect method and calculated from the difference of basic grain components (protein, ash, lipids, starch, free sugars). All data were submitted to statistical analysis. The results indicated that the variability of dietary fibre content and viscosity during three harvest years was significantly affected by the environmental conditions (45%) and genotype-environment interaction (30%). A wide range of genotype diversity gives possibility to identify wheat varieties with high content of dietary fibre, which should be recommended for use in the production of wheat bakery products that are in majority among the consumed bakery products.

Key words: dietary fibre, genotype, viscosity, wheat, environment, variability

Redaktor prowadzący: Barbara Zagdańska

WSTĘP

Pszenica, po ryżu i kukurydzy jest trzecim zbożem konsumpcyjnym na świecie. W Polsce, podobnie jak w innych krajach europejskich gatunek ten stanowi podstawowy surowiec do produkcji chleba i innych wyrobów piekarniczych oraz makaronów i kasz. Duży udział produktów pszennych we współczesnej diecie powoduje, że przetwory z tego zboża stanowią podstawowe źródło energii, pokrywają około 50% dziennego zapotrzebowania na węglowodany oraz 30% na białko, a także są bardzo ważnym źródłem witamin z grupy B (Boros, 2011). Pszenica jest również cennym źródłem substancji bioaktywnych o charakterze prozdrowotnym, z których najważniejszym jest błonnik pokarmowy. Korzystne działanie błonnika pokarmowego wiąże się w największym stopniu z jego wpływem na gospodarkę lipidową organizmu, metabolizm węglowodanów oraz regulację czynności całego przewodu pokarmowego (Kendall i in., 2010). Dieta bogata w błonnik zmniejsza ryzyko wystąpienia wielu chorób przewlekłych, takich jak miażdżycy, choroba niedokrwienna serca, cukrzyca czy otyłość. Zapobiega także powstawaniu chorób nowotworowych, a także opóźnia procesy starzenia (Van der Kamp i in., 2010; Saura-Calixto, 2011). Spożycie błonnika pokarmowego przez społeczeństwo zarówno w Polsce jak i w krajach Unii Europejskiej jest wciąż poniżej zalecanych norm. Dlatego w produkcji zbóż, zwłaszcza na cele konsumpcyjne istotne jest zwrócenie uwagi na odmiany charakteryzujące się dużą zawartością błonnika, jak również innych cennych składników bioaktywnych w ziarnie. Dla hodowców i producentów zbóż ważne są parametry jakościowe ziarna, które są silnie zależne od genotypu. Dodatkowo istotna jest również wiedza, jak poszczególne odmiany reagują pod względem wybranych parametrów na zmienne warunki środowiska. Prowadzone dotychczas badania dotyczyły w dużym stopniu określenia ilości podstawowych składników odżywczych w ziarnie oraz wybranych składników błonnika pokarmowego. Istnieje jednak potrzeba pozyskiwania odmian o dużej zawartości związków bioaktywnych, dlatego wiedza dotycząca ich zmienności w różnych warunkach środowiska może być bardzo przydatna.

Celem badań było określenie wpływu warunków środowiska, w tym lat uprawy na zmienność zawartości błonnika pokarmowego w ziarnie pszenicy ozimej, wyliczonego metodą pośrednią z różnicy podstawowych składników ziarna.

MATERIAŁ I METODY

Materiał badawczy stanowiły trzy zestawy ziarna pszenicy ozimej pochodzące z kolekcji roboczej Hodowli Roślin Strzelce. W skład materiału wchodziło 20 odmian i 4 linie hodowlane pszenicy ozimej, uprawiane w trzech kolejnych sezonach wegetacyjnych 2005–2007, przy czym w roku 2007 materiał stanowiło 20 odmian i 3 linie hodowlane. Charakterystykę miejsca uprawy oraz średni poziom opadów przedstawiono w tabeli 1 i na rysunku 1. Przed wykonaniem analiz chemicznych ziarno pszenicy zmielono w młynie laboratoryjnym Cyclotec firmy Tecator, i odsiano na sitach o średnicy 0,5 mm. Następnie w badanym materiale wyliczono zawartość błonnika pokarmowego (EDF) oraz oznaczono lepkość wodnych ekstraktów ziarna (WEV). Błonnik pokarmowy został

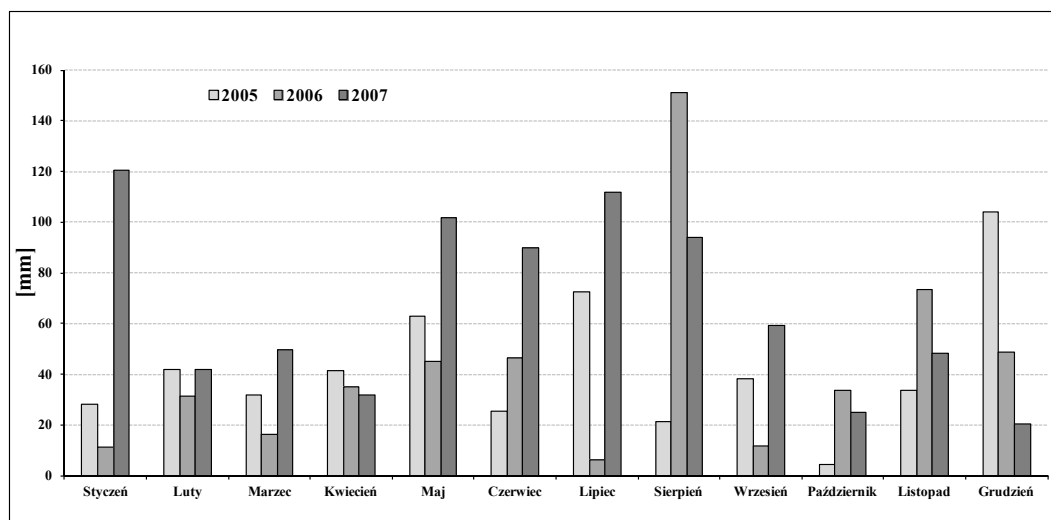
oszacowany z zastosowaniem metody pośredniej i obliczony z różnicy zawartości podstawowych składników ziarna: białka, popiołu, lipidów, skrobi oraz cukrów wolnych, według wzoru: $EDF [\%] = 100\% - [\text{białko} + \text{popiół} + \text{lipidy} + \text{skrobia} + \text{cukry wolne}]$ (Boros i Aman, 2009). Wyniki wyrażono w przeliczeniu na suchą masę, oznaczoną zgodnie z metodą AACC 44-15A (AACC, 2003). Zawartość białka oznaczono metodą Kjeldahla, przy użyciu aparatu Kjeltex Auto 1030 Analizer (Foss Tecator), zgodnie z metodą standardową ICC 105/2 (ICC Standards, 2005). Sumę składników mineralnych oznaczono grawimetrycznie, na podstawie zawartości popiołu według standardowej procedury AACC 08-01 (2003), natomiast ilość lipidów analizowano metodą grawimetryczną według Marchello i in. (1971). Skrobia przyswajalna została oznaczona metodą kolorymetryczną, przy użyciu zestawu K-TSTA (Megazyme), zgodnie ze standardową procedurą AACC 76-13 (2003). Zawartość cukrów wolnych analizowano metodą chromatografii gazowej według Bach Knudsen i Li (1991) jako sumę mono i disacharydów: fruktozy, glukozy, sacharozy i maltozy. Lepkość wodnych ekstraktów ziarna zmierzono przy użyciu lepkościomierza Brookefield (model LVDV-II+ Cone/Plate Digital) w temperaturze 30°C, przy prędkości ścinania 225s zmodyfikowaną metodą Boros i in. (1993) oraz Saulnier i in. (1995). Wszystkie analizy wykonano przynajmniej w dwóch powtórzeniach, błąd każdej z nich nie przekraczał 3%. Przedstawione wyniki są wartościami średnimi z trzech lat uprawy. Uzyskane wyniki poddano następującym analizom statystycznym: analiza współczynników korelacji Pearsona, analiza funkcji regresji liniowej, jedno i wielocechową analizę wariancji wraz z wyznaczeniem grup jednorodnych procedurą porównań wielokrotnych Tukeya, ocena komponentów wariancyjnych metodą największej wiarygodności z restrykcją (REML) w modelach liniowych. Analizy statystyczne wykonano przy użyciu Systemu SAS w wersji 9.2 (SAS Institute Inc., 2009).

Tabela 1

Charakterystyka miejsca uprawy odmian dla lat 2005–2007
Characterization of field trial location for years 2005–2007

Sezon Season	2004–2005	2005–2006	2006–2007
Rodzaj gleby Soil type	brunatna właściwa typical brown soil	brunatna właściwa typical brown soil	brunatna właściwa typical brown soil
Klasa gleby Soil class	III A	III A	II
pH gleby Soil pH	—	6,3–6,6	6,2–6,5
Przedplon Forecrop	owies oat	rzepak ozimy winter rapeseed	owies oat
Termin siewu Sowing date	01.10.2004	27.09.2005	03.10.2006
Termin zbioru Harvest date	01.08.2005	08.08.2006	23.07.2007

— Brak danych — No data



Rys. 1. Poziom opadów oznaczony w stacji meteorologicznej HR Strzelce dla lat 2005–2007
 Fig. 1. Level of rainfall from meteorological station of HR Strzelce in years 2005–2007

WYNIKI

Analiza zawartości makroskładników takich jak białko, skrobia, lipidy czy popiół jest często stosowaną procedurą w charakterystyce wartości technologicznej ziarna pszenicy zwyczajnej. W niniejszej pracy zawartości podstawowych składników odżywczych: białka, popiołu, lipidów, skrobi przyswajalnej i cukrów wolnych wykorzystano do oznaczenia błonnika pokarmowego metodą pośrednią. Średnia zawartość białka w ziarnie badanych odmian i linii wynosiła 15,6%. Zawartości tego składnika w ziarnie mieściły się w zakresie od 14,3 do 17,2%. Średnia zawartość popiołu wynosiła 1,8%, a lipidów 2,7%. Ilość skrobi w badanym materiale mieściła się w zakresie od 60,3 do 65,1%, a średnia zawartość cukrów wolnych wynosiła 1,3%. Największe zróżnicowanie wśród odmian uprawianych w Strzelcach stwierdzono w zawartości cukrów wolnych (CV = 12,0%) oraz lipidów (CV = 9,0%), natomiast najmniejsza zmienność dotyczyła zawartości skrobi (CV = 2,0%), popiołu (CV = 4,0%) oraz białka (CV = 5,0%) (tab. 2).

Analizę zmienności genotypowo-środowiskowej odmian pszenicy zwyczajnej uprawianej w latach 2005–2007 przeprowadzono odnośnie dwóch parametrów: błonnika pokarmowego oraz powiązanej z nim lepkości wodnych ekstraktów z ziarna. Średnia zawartość błonnika pokarmowego z trzech lat badań (2005–2007) była istotnie skorelowana z lepkością, a wartość współczynnika korelacji wynosiła $r = 0,47^*$ ($P \leq 0,05$). Z przeprowadzonej analizy wariancji wynika, że w latach 2005–2007 wystąpiły istotne różnice zarówno pomiędzy odmianami jak i latami badań pod względem zawartości błonnika pokarmowego oraz lepkości wodnych ekstraktów z ziarna. Dodatkowo odnośnie

lepkości stwierdzono występowanie istotnych interakcji pomiędzy odmianą a rokiem badań (tab. 3).

Tabela 2

Średnia zawartość oraz współczynniki zmienności (CV) składników odżywczych, błonnika pokarmowego (EDF) oraz lepkości wodnych ekstraktów (WEV) ziarna pszenicy ozimej uprawianej w latach 2005–2007

The average nutrients, dietary fibre content (EDF) and viscosity of water extracts (WEV) and coefficients of variation (CV) in winter wheat grain harvested in 2005–2007

Składnik Component	Wartość średnia Average value	Minimum Minimum	Maksimum Maximum	CV [%]
Białko — Protein [%]	15,6	14,3	17,2	5,3
Popiół — Ash [%]	1,8	1,7	1,9	4,0
Lipidy — Lipids [%]	2,7	2,2	3,1	9,2
Skrobia — Starch [%]	63,0	60,3	65,1	2,2
Cukry wolne — Free sugars [%]	1,3	1,1	1,7	11,8
EDF [%]	15,7	13,6	18,0	7,2
WEV [mPa.s]	2,3	1,6	4,1	23,8

Tabela 3

Analiza wariancji dotycząca zawartości błonnika pokarmowego (EDF) oraz lepkości (WEV) w ziarnie pszenicy ozimej uprawianej w latach 2005–2007

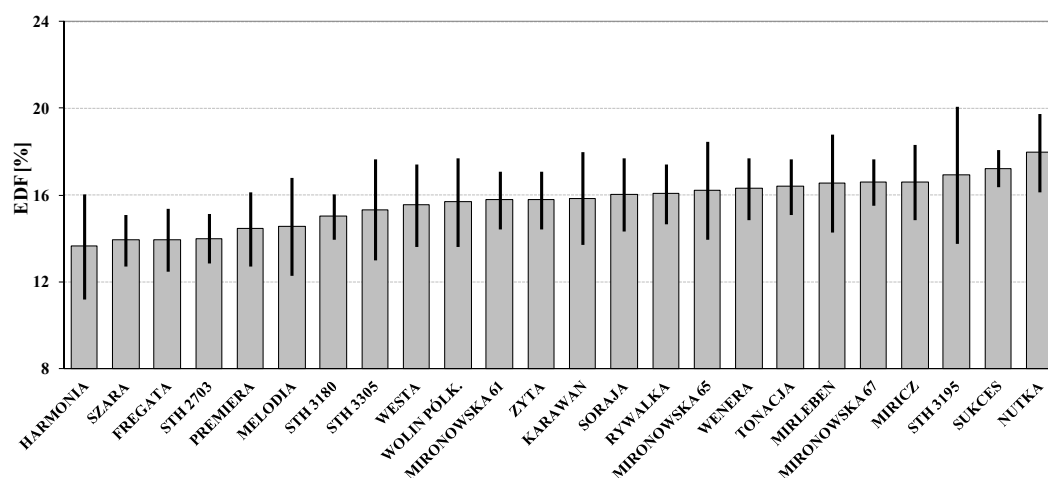
Analysis of variance for dietary fibre (EDF) content and viscosity (WEV) in winter wheat grain harvested in 2005–2007

	Odmiana Variety		Rok uprawy Harvest year		Interakcja G × E G × E interaction	
Składnik Component	MS ¹	statystyka F F statistic	MS ¹	statystyka F F statistic	MS ¹	statystyka F F statistic
EDF	3,721	2,81**	43,34	32,69**	NA ²	NA ²
WEV	2,090	3346**	20,92	33509**	0,591	946,5**

¹MS-średnia kwadratów; **dla P<0,01; *dla P<0,05; ²NA-nie oznaczany (jedno powtórzenie)

¹MS-mean square; **for P<0.01; *for P<0.05; ²NA-not analyzed (one repetition)

W ciągu trzech lat badań średnia zawartość błonnika pokarmowego wynosiła 15,7%, a wartość współczynnika zmienności 7,2% (tab. 2). W okresie prowadzonych badań pomiędzy odmianami występowały różnice w zawartości błonnika pokarmowego. Spośród badanych odmian największą zawartością tego składnika, charakteryzowała się odmiana Nutka (18,0%). Najmniejszą zawartość błonnika pokarmowego wykazały odmiany: Harmonia (13,6%), Szara (13,9%) i Fregata (13,9%) oraz linia STH 2703 (14%). Pozostałe odmiany zawierały od 14 do 17,9% tego składnika. Największą zmienność zawartości błonnika pokarmowego dotyczącą lat badań 2005–2007, wykazało 6 genotypów: linia STH 3195 (CV = 19,0%) oraz odmiany Harmonia (CV = 18,0%), Melodia (CV = 16,0%), Mironowska 65 (CV = 14,0%), Mirleben (CV = 14,0%) i linia STH 3305 (CV = 15,0%). Najślabszy stopień zróżnicowania wykazały cztery genotypy: Sukces (CV = 5,0%), Mironowska 67 (CV = 7,0%), STH 3180 (CV = 7,0%) oraz STH 2703 (CV = 8,0%) (rys. 2).



Rys. 2. Wartości średnie i odchylenia standardowe zawartości błonnika pokarmowego (EDF) w ziarnie pszenicy ozimej uprawianej w latach 2005-2007 (pionowymi liniami zaznaczono odchylenie standardowe w latach)

Fig. 2. The average values and standard deviations of dietary fibre content (EDF) in winter wheat grain harvested in 2005-2007 (standard deviation between years is marked within vertical lines)

Wartości współczynników zmienności genotypowej dotyczącej zawartości błonnika w kolejnych latach uprawy wynosiły odpowiednio: 2005 — 11,4%, 2006 — 8,1%, 2007 — 8,4%. Biorąc pod uwagę każdy rok badań zaobserwowano, że zawartość błonnika pokarmowego w 2005 roku mieściła się w zakresie od 12,2% u odmiany Melodia do 18,5% u odmiany Nutka; w 2006 roku od 13,4% u odmiany Fregata do 19,4% u odmiany Nutka; w 2007 roku od 11,8% u odmiany Harmonia do 16,7% u odmian Soraja i Rywalka. Średnia zawartość błonnika pokarmowego w poszczególnych latach była różna. Najwyższy jego poziom był w 2006 roku (17,2%) i istotnie różnił się w porównaniu z latami 2005 i 2007, w których wynosił odpowiednio 14,8% i 15,0% (tab. 4).

Tabela 4

Średnia zawartość błonnika pokarmowego (EDF), lepkości wodnych ekstraktów ziarna (WEV) oraz udział genotypu (G), lat uprawy (E) oraz interakcji $G \times E$ w zmienności tych parametrów w ziarnie pszenicy ozimej uprawianej w latach 2005–2007

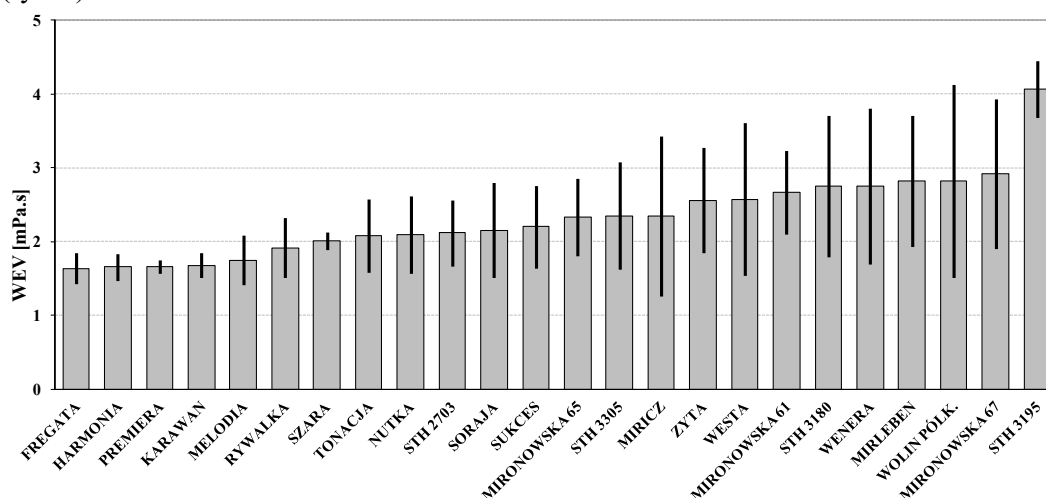
The average content of dietary fibre (EDF), viscosity of water extracts (WEV) and contribution of genotype (G), harvest year (E) and $G \times E$ interaction in variability of these parameters in winter wheat grain harvested in 2005–2007

Parametr — Parameter	Rok uprawy Harvest year			Udział procentowy Percentage of contribution		
	2005	2006	2007	G	E	$G \times E$
EDF [%]	14,8b	17,2a	15,0b	20,7	45,4	33,9
WEV [mPa.s]	2,4b	2,8a	1,7c	26,0	44,8	29,3

Wartości w kolumnach z różnymi literami są istotnie różne przy $p < 0,05$

Values within a given column not followed by the same letter are significantly different at $P < 0.05$

Lepkość wodnych ekstraktów z ziarna wynosiła średnio w latach 2005–2007 2,3 mPa.s i była cechą silnie różnicującą badane genotypy, a wartość współczynnika zmienności wynosiła 24,0% (tab. 2). Najniższą wartością lepkości charakteryzowały się odmiany Fregata (1,6 mPa.s), Harmonia (1,7 mPa.s), Premiera (1,7 mPa.s) i Karawan (1,7 mPa.s), natomiast najwyższą — linia STH 3195 (4,1 mPa.s). Najmniejsze zróżnicowanie odmianowe w latach wyrażone wartościami liczbowymi współczynników zmienności wykazano u odmian Premiera (CV = 6,0%), Szara (CV = 6,0%), Karawan (CV = 6,0%) oraz Harmonia (CV = 11,0%), natomiast największe zróżnicowanie w obrębie odmian wykazano dla pięciu genotypów: Wolińska Półkarłowa (CV = 46,0%), Miricz (CV = 46,0%), Westa (CV = 40,0%), Wenera (CV = 39,0%) oraz Mironowska 67 (CV = 35,0%) (rys. 3).



Rys. 3. Wartości średnie i odchylenia standardowe dotyczące lepkości wodnych ekstraktów (WEV) ziarna pszenicy ozimej uprawianej w latach 2005-2007 (pionowymi liniami zaznaczono odchylenie standardowe w latach)

Fig. 3. The average values and standard deviations for viscosity of water extracts (WEV) of winter wheat grain harvested in 2005-2007 (standard deviation between years is marked within vertical lines)

Najwyższą wartość współczynnika zmienności dotyczącej lepkości ekstraktu ziarna, wynoszącą aż 30,0% uzyskano w materiale z uprawy w 2006 roku; niższą wartość, 25,0% — z 2005 roku, a najniższą — 13,0% uzyskano oceniając odmiany z roku uprawy 2007. W poszczególnych latach uprawy odmiany istotnie różniły się między sobą pod względem lepkości wodnych ekstraktów z ziarna. W roku uprawy 2005 najniższą lepkością odznaczała się odmiana Karawan (1,6 mPa.s), a najwyższą linia STH 3195 (3,8 mPa.s); w 2006 roku zakres zmienności wynosił od 1,7 mPa.s u odmian Fregata i Premiera do 4,3 mPa.s w linii STH 3195. Odmiany z roku uprawy 2007 charakteryzowały się najniższą lepkością, a wartości skrajne wynosiły od 1,4 mPa.s u odmiany Miricz do 2,2 mPa.s u odmiany Mironowska 67. Spośród badanych genotypów statystycznie najwyższą lepkość wodnych ekstraktów ziarna w okresie badań stwierdzono w linii STH 3195. Pomiędzy

latami uprawy występowały istotne różnice w średniej wartości lepkości. Odmiany z 2006 roku charakteryzowały się największą wartością tego parametru (2,8 mPa.s), natomiast odmiany z uprawy w 2005 i 2007 roku wykazały istotnie niższe wartości, wynoszące odpowiednio 2,4 mPa.s oraz 1,7 mPa.s (tab. 4).

Dla wszystkich badanych odmian w latach 2005–2007 najwyższe średnie zawartości błonnika pokarmowego oraz lepkości stwierdzono dla materiału badawczego pochodzącego z uprawy w 2006 roku. Wartości te były istotnie wyższe niż uzyskane w latach 2005 i 2007 (tab. 4). Odnosnie powyższych parametrów przeprowadzono ocenę komponentów wariacyjnych, określając udział genotypu, środowiska oraz interakcji $G \times E$ w ogólnej zmienności i stwierdzono, że zmienność badanych parametrów w największym stopniu uzależniona była od roku uprawy (powyżej 40%) w następnej kolejności, cechy te zależne były od interakcji pomiędzy genotypem a środowiskiem (około 30%), a w najmniejszym stopniu od genotypu (tab. 4).

DYSKUSJA

Wszystkie analizowane parametry jakościowe istotnie różnicowały badane genotypy pszenicy zwyczajnej. Zawartość składników odżywczych w ziarnie jest w dużym stopniu uwarunkowana genetycznie, zatem pomiędzy poszczególnymi odmianami mogą występować znaczne różnice w odniesieniu do tych parametrów. Uzyskane wyniki dotyczące zawartości podstawowych składników odżywczych (tab. 2) są typowe dla ziarna pszenicy zwyczajnej i nie odbiegają od danych literaturowych. Zawartość białka w pszenicy w zakresie od 9,6 do 15% podają Gut i Bichoński (2007), a także Hristov i in. (2010), natomiast Myszkowski i in. (2011) podają średnią zawartość na poziomie 10,5%. Chen i in. (2009) badali zawartość popiołu i wykazali jego ilość w zakresie od 1,32 do 1,62%. Zawartość lipidów w badanym materiale również jest zgodna z danymi literaturowymi. Gąsiorowski i in. (2004) podają, że średnia zawartość tłuszczu w ziarnie pszenicy wynosi od 2 do 3%, natomiast Barteczko i in. (2009) uzyskali mniejsze zawartości tego składnika w przedziale od 0,9 do 2,3%. W odniesieniu do zawartości skrobi Gąsiorowski i in. (2004) oraz Aman i Hesselman (1984) otrzymali wartości na poziomie odpowiednio 59% i 69%. Aman i Hesselman (1984) analizowali również zawartość cukrów wolnych w ziarnie pszenicy, a podane przez nich wartości mieściły się w zakresie od 2,3% do 2,7%.

Zastosowana pośrednia metoda obliczania błonnika pokarmowego z założenia obejmuje wszystkie składniki, które z chemicznego punktu widzenia są komponentami błonnika pokarmowego. Ponadto szacowana tą metodą zawartość błonnika jest dodatkowo powiększona o grupy związków, które nie są jego składnikami, a także nie są składnikami odżywczymi ziarna. Zaliczyć tu można na przykład kwasy fenolowe, alkilorezorcynole czy witaminy. Według Jones (2010) i Fardet (2010) są to składniki współtowarzyszące błownikowi pokarmowemu (tzw. dietary fibre co-passengers lub co-travellers). Nietrawione w jelicie cienkim wzmacniają korzyści prozdrowotne błonnika pokarmowego i stanowią istotną część kompleksu błonnika pokarmowego. W związku z tym otrzymana w badaniach średnia zawartość błonnika pokarmowego (15,7%) była większa niż podawana w literaturze. Dane literaturowe dotyczą ilości błonnika oznaczanego

bezpośrednimi metodami standardowymi. Theander i Westerlund (1986) oznaczając zawartość błonnika pokarmowego w ziarnie pszenicy otrzymali średnią jego zawartość na poziomie 12,4%, natomiast Nyman i in. (1984) na poziomie 12,1%. W analizowanych odmianach pszenicy, uprawianych w latach 2005–2007 wykazano, że na zawartość błonnika istotny wpływ miały zarówno genotyp jak i środowisko (tab. 3). Większość analizowanych odmian należała do tej samej grupy jednorodnej, co świadczy o istotnym wpływie środowiska na ilość błonnika w ziarnie. Istotne różnice pomiędzy latami uprawy związane były z warunkami pogodowymi w miejscu uprawy. W 2006 roku zawartość błonnika była istotnie większa niż w pozostałych latach. Średnie opady atmosferyczne w okresie od maja do lipca w omawianym roku były najniższe, w porównaniu z latami 2005 i 2007. Niski poziom opadów może wskazywać na suszę i w związku z tym zakłócenia w prawidłowym rozwoju ziarniaka, co może skutkować małymi ziarniakami z dużym udziałem okrywy owocowo-nasiennej, a w efekcie dużą zawartością błonnika pokarmowego. Potwierdzeniem powyższych zależności są wyniki analizy komponentów wariancyjnych, z której wynika, że zmienność zawartości błonnika pokarmowego w ziarnie uprawianym w HR Strzelce w ciągu trzech lat uprawy była zależna przede wszystkim od warunków środowiska (45,4%). Interakcja genotypowo-środowiskowa oraz genotyp również miały istotny wpływ na zmienność tej cechy, jednak już nie tak duży jak środowisko. W literaturze dostępnych jest wiele danych dotyczących zmienności zawartości błonnika pokarmowego pod wpływem zmiennych warunków środowiska, jednak większość z nich dotyczy zawartości i właściwości poszczególnych frakcji błonnika. Kim i in. (2003) analizując wpływ opadów, regionu uprawy oraz lat uprawy na zmienność składu chemicznego ziarna pszenicy uzyskali negatywną korelację pomiędzy rocznymi opadami a zawartością kwaśnego włókna detergentowego ($r = -0,687$, $P < 0,01$), natomiast Choct i in. (1999) analizowali zawartość całkowitej frakcji nieskrobiowych polisacharydów (NSP), stanowiącej główną część błonnika i wykazali, że była ona istotnie zależna od roku uprawy. Coles i in. (1997) zaobserwowali zależność, w której poziom całkowity arabinoksylianów, stanowiących istotną część NSP malał wraz ze wzrostem ilości opadów. Boskov Hansen i in. (2003) przeprowadzili ocenę wpływu lat uprawy na skład i zawartość błonnika pokarmowego w ziarnie żyta. Uzyskane przez nich wyniki wykazały większy wpływ lat uprawy (27–55% całkowitej zmienności) niż genotypu na zawartość całkowitej ilości błonnika, jego części nierozpuszczalnej oraz całkowitej i nierozpuszczalnej frakcji arabinoksylianów. Na podstawie danych literaturowych dotyczących zmienności genotypowo-środowiskowej błonnika pokarmowego można stwierdzić, że ze względu na heterogenny charakter tego związku efekt końcowy zmienności będzie w istotnym stopniu zależny od zmienności poszczególnych jego komponentów.

Lepkość wodnych ekstraktów ziarna jest bardzo ważnym parametrem fizykochemicznym związanym z błonnikiem pokarmowym. Ponieważ lepkość bezpośrednio powiązana jest z zawartością frakcji rozpuszczalnej błonnika, a w szczególności rozpuszczalnych arabinoksylianów, więc prawdopodobną przyczyną wysokiego zróżnicowania tego parametru pomiędzy odmianami może być zmienna zawartość tych związków, a także różnice w ich budowie strukturalnej. Wyniki dotyczące lepkości oraz zakres

zmienności tej cechy uzyskane w niniejszej pracy są zbliżone do danych literaturowych. Saulnier i in. (1995) analizując lepkość ziarna pszenicy oznaczoną w podobny sposób jak w niniejszej pracy uzyskali wartości tego parametru w zakresie od 1,24 do 2,28 mPa.s. Z naszych badań wynika, że lepkość ekstraktów wodnych była istotnie skorelowana z zawartością błonnika pokarmowego. Korelacje te potwierdzają ważny wpływ lepkości na funkcjonalne właściwości błonnika pokarmowego. Lepkość wodnych ekstraktów ziarna w każdym badanym roku była parametrem o najwyższej wartości współczynnika zmienności genotypowej. Wykazano, że w ciągu trzech lat uprawy poziom lepkości był zależny zarówno od genotypu jak i od roku uprawy (tab. 3). Zatem wśród badanych odmian występowały genotypy nie reagujące na zmienne warunki środowiska oraz takie, których lepkość ulegała zmianie pod wpływem warunków atmosferycznych. Ponadto, wykazano interakcję ($G \times E$) pomiędzy odmianami i latami uprawy, co oznacza, że wśród badanych odmian występowała przynajmniej jedna, która reagowała inaczej od pozostałych na zmieniające się warunki środowiska. Zróżnicowanie pod względem lepkości w obrębie poszczególnych genotypów, w ciągu trzech lat uprawy było bardzo wysokie (rys. 3), co świadczy, że większa liczba badanych odmian była wrażliwa na warunki atmosferyczne. Z drugiej strony, widoczny jest też wpływ genotypu na poziom lepkości, czego przykładem może być linia STH 3195, która niezależnie od roku uprawy charakteryzowała się najwyższą wartością tego parametru. Lepkość wodnych ekstraktów ziarna była zależna w dużym stopniu od ilości opadów atmosferycznych w okresie dojrzewania ziarna. Największą ilość opadów, a tym samym najniższą lepkość zanotowano w 2007 roku, natomiast najmniej deszczu, w okresie od kłoszenia do zbioru, wystąpiło w 2006 roku, co jednocześnie wpłynęło na uzyskanie najwyższego wyniku lepkości wodnych ekstraktów ziarna (tab. 4). Po przeprowadzeniu oceny komponentów wariancyjnych stwierdzono, że parametr ten zdeterminowany był głównie warunkami środowiska (44,8%), co może tłumaczyć dość duże zróżnicowanie między odmianami. Udział genotypu (26%) oraz interakcji pomiędzy genotypem a latami uprawy (33,9%) był również istotny, co potwierdza występowanie odmian, które są bardziej stałe pod względem lepkości wodnych ekstraktów ziarna w zmiennych warunkach środowiska (tab. 4). Wielu autorów badało wpływ środowiska na lepkie właściwości ziarna, jednak w większości przypadków zwracano uwagę na zmienność rozpuszczalnych frakcji NSP, w szczególności rozpuszczalnych arabinoksylianów (S-AX), powiązanych bezpośrednio z lepkością ziarna. Dornez i in. (2008) badając wpływ lat uprawy na zawartość frakcji S-AX wykazali, że poziom tych związków w 57% uwarunkowany był przez genotyp, natomiast w 37% przez warunki środowiska. Ponadto autorzy otrzymali najwyższy poziom frakcji S-AX w roku badawczym, w którym ilość opadów atmosferycznych była największa. Również Finnie i in. (2006) oceniali wpływ lat uprawy na poziom S-AX w ziarnie pszenicy, a Gebruers i in. (2010) w mące pszennej i frakcji otrąb i podobnie jak wielu innych badaczy otrzymali silną zależność pomiędzy genotypem a zawartością rozpuszczalnych arabinoksylianów.

PODSUMOWANIE

1. Szeroki zakres zmienności genotypowej błonnika pokarmowego umożliwia wskazanie odmian o wysokiej zawartości tego składnika, które powinny być w większym stopniu wykorzystane do produkcji pieczywa pszennego stanowiącego największy udział w strukturze spożycia pieczywa ogółem.
2. Zmienność zawartości błonnika jak również lepkość wodnych ekstraktów z ziarna pszenicy ozimej zdeterminowana była przede wszystkim wpływem warunków środowiska oraz interakcją genotypowo-środowiskową.
3. Na podstawie analizy zmienności odmianowej dotyczącej zawartości błonnika pokarmowego wraz z jego lepкими właściwościami nie można jednoznacznie stwierdzić w jakim stopniu i które czynniki środowiskowe w badanym roku uprawy warunkują zmienność wyżej wymienionych parametrów oznaczonych w ziarnie pszenicy.

LITERATURA

- Aman P., Hesselman K. 1984. Analysis of starch and other main constituents of cereal grains. Swedish J. Agric. Res. 14: 135 — 139.
- Approved Methods of the AACC. 2003. AACC Method 44-15A, 08-01, 76-13, American Association of Cereal Chemists Inc., St. Paul, Minnesota, USA.
- Bach Knudsen K.E., Li B. W. 1991. Determination of oligosaccharides in protein — rich feedstuffs by gas — liquid chromatography and high — performance liquid chromatography. J. Agric. Food Chem. 39: 689 — 694.
- Barteczko J., Augustyn R., Lasek O., Smulikowska S. 2009. Chemical composition and nutritional value of different wheat cultivars for broiler chickens. J. Animal Feed Sci. 18: 124 — 131.
- Boros D., Marquardt R. R., Slominski B. A., Guenter W. 1993. Extract viscosity as an indirect assay for water — soluble pentosan content in rye. Cereal Chem. 70: 575 — 580.
- Boros D., Aman P. 2009. Total dietary fibre. In: Analysis of bioactive components in small grain cereals (ed. Shewry P. R., Ward J. L.), AACC International, Inc., USA: 167 — 176.
- Boros D. 2011. Zawartość składników odżywczych i bioaktywnych w ziarnie odmian pszenicy zwyczajnej. Agro Serwis: Zboża — wszechstronne wykorzystanie. Poradnik dla producentów, wyd. 5: 57 — 66.
- Boskov Hansen H., Rasmussen C. V., Bach Knudsen K. E., Hansen A. 2003. Effect of genotype and harvest year on content and composition of dietary fibre in rye (*Secale cereale* L.) grain. J. Sci. Food Agric. 83: 76 — 85.
- Chen Y., Dunford N. T., Edwards J., Carver B., Goad C. 2009. Genotype and environment affect phytosterol content and composition of wheat. Cereal Chem. 86 (1): 96 — 99.
- Choct M., Hughes R. J., Annison G. 1999. Apparent metabolisable energy and chemical composition of Australian wheat in relation to environmental factors. Australian Journal of Agricultural Research, 50: 447 — 451.
- Coles G. D., Hartunian-Sowa S. M., Jamieson P. D., Hay A. J., Atwell W. A., Fulcher R. G. 1997. Environmentally-induced variation in starch and non-starch polysaccharide content in wheat. J. Cereal Sci., 26, 47—54
- Dornez E., Gebruers K., Joye I. J., Ketelare B., Lenartz J., Massaux C., Bodson B., Delcour J. A., Courtin C.M. 2008. Effects of genotype, harvest year and genotype-by-harvest year interactions on arabinoxylans, endoxylanase activity and endoxylanase inhibitor levels in wheat kernels. J. Cereal Sci. 47: 180 — 189.
- Fardet A. 2010. New hypotheses for the health-protective mechanisms of whole-grain cereals: What is beyond fibre? Nutr. Res. Rev. 23: 65 — 134.

- Finnie S. M., Bettge A. D., Morris C. F. 2006. Influence of cultivar on water-soluble and water-insoluble arabinoxylans in soft wheat. *Cereal Chem.* 83 (6): 617 — 623.
- Gąsiorowski H., Kączkowski J., Kędzior Z., Konopka I., Rotkiewicz D. 2004. Skład chemiczny ziarna pszenicy. W: *Pszenica chemia i technologia* (red. Gąsiorowski H.). PWR i L. Poznań: 151 — 233.
- Gebruers K., Dornez E., Bedo Z., Rakszegi M., Fraś A., Boros D., Courtin C.M., Delcour J. A. 2010. Environment and genotype effects on the content of dietary fibre and its components in wheat in the Healthgrain diversity screen. *J. Agric. Food Chem.* 58 (17): 9353 — 9361.
- Gut M., Bichoński A. 2007. Technological quality and yield's components of winter wheat lines under Polish climatic conditions. *Cereal Res. Commun.* 35 (1): 151 — 161.
- Hristov N., Mladenov N., Djuric V., Kondic-Spica A., Marjanovic-Jeromela A., Simic D. 2010. Genotype by environment interactions in wheat quality breeding programs in southeast Europe. *Euphytica* 174: 315 — 324.
- ICC — Standards. 2005. Standard Methods of the International Association for Cereal Science and Technology. Vienna. ICC — Standard No. 105/2; No. 168.
- Jones J. M. 2010. Dietary fibre's co-passengers: is it the fibre or the co-passengers? Part 5. In: *Dietary fibre: New frontiers for food and health.* (ed. J. W. van der Kamp, J. M. Jones, B. V. McCleary and D. L. Topping), Wageningen Academic Publishers: 365 — 378.
- Kendall C. W., Esfahani A., Jenkins D. D. J. 2010. The link between dietary fibre and human health. *Food Hydrocolloid.* 24: 42 — 48.
- Kim J. C., Multan B. P., Simmins P. H., Pluske J. R. 2003. Variation in the chemical composition of wheats grown in Western Australia as influenced by variety, growing region, season, and post-harvest storage. *Austr. J. Agric. Res.*, 54: 541 — 550.
- Marchello J. A., Dryden F. D., Hale W. H. 1971. Bovine serum lipids. I. The influence of added animal fat on the ration. *J. Anim. Sci.* 32: 1008 — 1015.
- Myszka K., Kamińska B., Fraś A., Ploch M., Boros D. 2011. Metoda Dumasa alternatywną metodą oznaczania białka w produktach roślinnych – badania porównawcze z metodą Kjeldahla. *Biul. IHAR* 260/261: 155 — 161.
- Nyman M., Siljestrom M., Pedersen B., Bach Knudsen K. E., Asp N. G., Johansson C. G. 1984. Dietary fiber content and composition in six cereals at different extraction rates. *Cereal Chem.* 61 (1): 14 — 19.
- SAS Institute Inc. 2009. BASE SAS 9.2 Procedures Guide. SAS Publishing, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Saulnier L., Peneau N., Thibault J. F. 1995. Variability in grain extract viscosity and water-soluble arabinoxylans content in wheat. *J. Cereal Sci.*, 22: 259 — 264.
- Saura-Calixto F. 2011. Dietary fibre as a carrier of dietary antioxidants: an essential physiological function. *J. Agric. Food Chem.*, 59: 43 — 49.
- Theander O., Westerlund E. A. 1986. Studies on dietary fiber. 3. Improved procedures for analysis of dietary fiber. *J. Agric. Food Chem.*, Vol. 34, No. 2: 330 — 336.
- van der Kamp W. J., Jones J., McCleary B., Topping D. 2010. *Dietary Fibre: new frontiers for food and health.* Wageningen Academic Publishers; Wageningen, the Netherlands: 1 — 586.

PODZIĘKOWANIA

Dr inż. Dariuszowi R. Mańkowskiemu z Pracowni Ekonomiki Nasiennictwa i Hodowli Roślin, ZNIN IHAR — PIB za pomoc i zaangażowanie w opracowaniu statystycznym wyników niniejszej pracy. Pracownikom inżynieryjno-technicznym i technicznym SPOJPR IHAR — PIB za pomoc w wykonaniu analiz chemicznych.

TOMASZ GÓRAL¹**DOROTA WALENTYN-GÓRAL**¹**HALINA WIŚNIEWSKA**²¹ Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy, Radzików² Instytut Genetyki Roślin Polskiej Akademii Nauk, Poznań

Odporność typu I i II pszenicy i pszenżyta na fuzariozę kłosów*

Fusarium head blight resistance of types I and II in wheat and triticale

Określano odporności na infekcję (typ I) oraz na rozprzestrzenianie się *Fusarium* w kłosie (typ II) u 146 odmian i linii pszenicy ozimej oraz 30 linii pszenżyta ozimego. Kłosa inokulowano poprzez opryskiwanie lub punktową iniekcję zawiesiny zarodników *Fusarium culmorum* do środkowego kłosa w kłosie. Średnia odporność typu I wyniosła 2,4 punkty infekcji dla pszenicy oraz 2,9 dla pszenżyta. Różnica w odporności typu I pomiędzy pszenicą i pszenżytem była istotna statystycznie. Średnia odporność typu II wyniosła 2,4 porażone kłosa dla pszenicy oraz 2,1 dla pszenżyta. Różnica w odporności typu II pomiędzy pszenicą i pszenżytem była istotna statystycznie. Brak było zależności pomiędzy odpornością obu typów. Odporność pszenicy na fuzariozę kłosów określona w warunkach polowych korelowała istotnie ze odpornością typu I oraz II. W przypadku pszenżyta odporność polowa korelowała istotnie jedynie z odpornością typu II.

Słowa kluczowe: *Fusarium*, fuzarioza kłosów, typy odporności, pszenica, pszenżyto

Resistance to initial infection (type I) and to the spread of *Fusarium* within the spike (type II) of 146 cultivars and lines of winter wheat and 30 lines of winter triticale was determined. Spikes were inoculated by spraying or injection into the middle spikelet of the spore suspension of *Fusarium culmorum*. The average resistance of type I amounted to 2.4 points of infection for wheat and 2.9 for triticale. The difference in resistance type I between wheat and triticale was statistically significant. The average resistance of type II amounted to 2.4 infested spikelets for wheat and 2.1 for triticale. The difference in type II resistance between wheat and triticale was statistically significant. There was no relationship between both types of resistance. Wheat resistance to *Fusarium* blight in field conditions significantly correlated with resistances of the type I and type II. In the case of triticale field resistance correlated significantly only with type II resistance.

Key words: *Fusarium*, *Fusarium* head blight, resistance types, triticale, wheat

* Praca przedstawiona na konferencji IHAR — PIB, Zakopane, 3 lutego 2015 roku

Redaktor prowadzący: Wiesław Mądry

WSTĘP

Fuzarioza kłosów jest chorobą zbóż powodowaną przez grzyby z rodzaju *Fusarium*. Grzyby te porażają kłosy powodując nekrozę kłosek, porażenie i uszkodzenie ziarniaków, skażenie tkanek oraz ziarna toksynami fuzaryjnymi (Snijders, 2004). Gatunki *Fusarium* produkują liczne toksyny należące do różnych grup chemicznych, z których najważniejsza to trichoteceny (Bottalico i Perrone, 2002). Odporność na fuzariozę kłosów ma złożoną etiologię. Zidentyfikowano kilka typów (mechanizmów) tej odporności (Mesterházy i in., 1999; Foroud i Eudes, 2009). Zostały one opisane, jako: typ I — odporność na infekcję pierwotną; typ II — odporność rozprzestrzeniania się *Fusarium* w kłosie (Schroeder i Christensen 1963); typ III — odporność na porażenie ziarniaków przez *Fusarium*; typ IV — tolerancja na fuzariozę kłosów i toksyny (Mesterházy, 1995); typ V — odporność na kumulację toksyn fuzaryjnych w ziarnie poprzez: 1 — chemiczną modyfikację toksyn (Kluger i in., 2015), 2 — blokowanie syntezy toksyn (Boutigny i in., 2008). Poziom odporności typu I i II wpływa na nasilenie porażenia kłosa w warunkach polowych. Wysoki poziom odporności typu I jest istotny w przypadku silnej presji infekcyjnej *Fusarium* (Argyris i in., 2003). Z drugiej strony, niski poziom odporności typu II może skutkować silnym porażeniem kłosa mimo niskiej presji infekcyjnej.

Odporność na rozprzestrzenianie się *Fusarium* w obrębie kłosa jest związana głównie z odpornością na deoksyniwalenol i inne trichoteceny B. Podczas patogenyzy fuzariozy trichoteceny produkowane przez *Fusarium* powodują nekrozę tkanki pszenicy, która następnie jest kolonizowana przez grzybnie *Fusarium* (Gunnaiah i in., 2012). Główny gen odporności na fuzariozę *Fhb1* wyjaśniający 60% zmienności odporności typu II jest również odpowiedzialny za obniżenie akumulacji deoksyniwalenolu, a także niwalenolu (Lemmens i in., 2008; Buerstmayr i in., 2009).

Ocena odporności typu I jest trudna ze względu na czynniki, które wpływają na jej prawidłową kwantyfikację. Takim czynnikiem jest typ kwitnienia zboża (Kubo i in., 2010; Skinnis i in., 2010; Lu i in., 2013). Dla pszenicy i pszenżyta Kociuba i Kramek (2004) opisały trzy typy: otwarte (chazmogamiczne), gdy wszystkie trzy pylniki wydostają się na zewnątrz kwiatu, zamknięte (klejstogamiczne), gdy wszystkie pylniki pozostają wewnątrz kwiatu oraz kwitnienie mieszane, gdy wewnątrz kwiatu pozostają jeden lub dwa pylniki. Jak wykazano w opublikowanych badaniach najslabiej porażane były genotypy klejstogamiczne, natomiast najsilniej genotypy o typie mieszanym kwitnienia (Kubo i in., 2013 a). Takie obserwacje można wiązać z wpływem obecności pylników zawierających substancje (cholina, betaina glicynowa) stymulujące wzrost *Fusarium* (Miller i in., 2004; Strange i Smith, 1971; Strange i in., 1974; Pearce i in., 1976). Innym czynnikiem, który może utrudnić prawidłową ocenę jest rozprzestrzenianie się *Fusarium* do kolejnych kłosek. Na podstawie badań (Kang i Buchenauer, 2000; Miller i in., 2004) po około 5–7 dniach po infekcji patogen dociera do osadki kłosowej i rozrasta się w dół lub w górę kłosa. Wynika z tego, że do oceny odporności typu I należy wykorzystywać odpowiednią metodykę. Najczęściej stosuje się opryskiwanie kłosów zawiesiną zarodników i obserwację liczby porażonych kłosek około 7 dni po inokulacji. (Rudd i in., 2001). Kłosy powinny być opryskiwane w tej samej fazie rozwojowej w pełni kwitnienia. Stosuje się

również izolaty niewytwarzające trichotecenów, które mają niską zdolność rozprzestrzeniania się w kłosie (Gosman i in., 2010).

Precyzyjna ocena odporności na rozprzestrzenianie się *Fusarium* (typ II) jest łatwiejsza (Buerstmayr i in., 2014). W związku z tym ten typ odporności najczęściej wykorzystywany jest w badaniach genetycznych nad oznaczaniem *loci* cech ilościowych (QTL) (Bai i in., 2000; Buerstmayr i in., 2002, 2009). Metoda badania tej odporności jest, jednakże dość pracochłonna, ponieważ polega na punktowej inokulacji pojedynczych kłosów (Jin i in., 1999; Bai i in., 2001; Argyris i in., 2005). Wykonuje się to głównie poprzez iniekcję zawiesiny zarodników do kwiatka w środkowym kłosku w kłosie. Rzadziej wykorzystuje się kulki z waty nasączone zawiesiną lub drobne porażone ziarniaki np. prosa (Jin i in., 1999; Buerstmayr i in., 2002; Miedaner i in., 2003; Glichrist i in., 1997; Van Ginkel i Gilchrist, 2002). Rozwój choroby ocenia się określając liczbę kwiatków/kłosek z objawami nekrozy lub bielienia. Ocenę przeprowadza się jednorazowo po około 21 dniach po inokulacji lub kilkakrotnie po inokulacji w celu precyzyjnego określenia tempa rozwoju choroby (Bai i in., 2000; Miedaner i in., 2003; Argyris i in., 2005; Horevaj i in., 2011). Stwierdzono, że najwyższe genetyczne zróżnicowanie pod względem odporności występuje właśnie w terminie około 3 tygodni po inokulacji (Bai i in., 1999; Buerstmayr i in., 2002). U podatnych genotypów może występować zamieranie kłosa powyżej miejsca infekcji, będące silną reakcją na fitotoksyczne działanie deoksyniwalenolu (Buerstmayr i in., 2002; Horevaj i in., 2012).

Celem pracy było określenie odporności na infekcję (typ I) oraz na rozprzestrzenianie się *Fusarium* w kłosie (typ II) u odmian i linii pszenicy ozimej oraz pszenżyta ozimego, a także określenie wpływu odporności obu typów na „odporność polową”.

MATERIAŁ I METODY

W celu określenia odporności typu I oraz typu II odmiany i linii pszenicy ozimej i pszenżyta ozimego wysiano na poletkach 1-rzędkowych o długości 1 m w dwóch doświadczeniach na polu doświadczalnym IHAR — PIB w Radzikowie

W pierwszym doświadczeniu odporność typu I określono u 146 odmian i linii pszenicy ozimej oraz 30 linii pszenżyta ozimego. W fazie pełni kwitnienia (BBCH 65) kłosa opryskano zawiesiną zarodników 3 izolatów *F. culmorum* o stężeniu 10^5 zar./ml. Zastosowano izolaty wykorzystane w polowych doświadczeniach infekcyjnych: KF 846, ZFR16 i ZFR 112 (Góral i in., 2015). Liczbę punktów infekcji (LPI) oceniano po 7 dniach od inokulacji traktując kłosek z nekrozą, jako jeden PI. Metodyka oceny tej odporności była zbliżona do opisanej przez Kubo i in. (2013 b) oraz metodyki Patton-Ozkurt i in. dostępnej na stronie US Wheat and Barley Scab Initiative (http://scabusa.org/pdfs/ptt/cowger_type1-screening_protocol.pdf). Po 21 dniach po inokulacji przeprowadzono dodatkowo ocenę porażenia kłosów określając udział porażonych kłosek w kłosie (tylko w kłosach z objawami choroby) oraz udział kłosów prażonych na poletku. Z tych wartości wyliczono indeks fuzariozy kłosów (IFK):

$$IFK = (\% \text{ porażenia kłosa} \times \% \text{ kłosów porażonych na poletku}) / 100.$$

W drugim doświadczeniu przebadano odporność typu II u 146 odmian i linii pszenicy ozimej oraz 72 odmian i linii pszenżyta ozimego. Metodyka oceny tej odporności była zbliżona do opisanej przez G.H. Bai, dostępnej na stronie US Wheat and Barley Scab Initiative (http://scabusa.org/pdfs/ptt/Bai_Greenhouse-Screening.pdf). Kłosa inokulowano w fazie pełni kwitnienia (BBCH 65) poprzez umieszczanie kropli (ok. 50 μ l) zawiesiny zarodników *F. culmorum* w środkowym kłosku wybranych kłosów za pomocą samo napełniającej się strzykawki. Stężenie zawiesiny wynosiło 50×10^3 zar./ml co dawało około 2500 zarodników na kłosek. Zastosowano dwa izolaty: KF 846 i ZFR16 (Góral i in., 2015). Każdym izolatem inokulowano po 5 kłosów danej odmiany/linii. Nasilenie fuzariozy kłosów oceniano poprzez określanie liczby kłosków z objawami choroby — liczba kłosków porażonych (LPK) 21 dni po inokulacji. Objawy te to nekrozy, bielenie kłosków, w niektórych przypadkach zarodnikowanie *Fusarium* w postaci różowo-pomarańczowego nalotu. Obserwowano też zamieranie kłosa powyżej miejsca infekcji.

Oba doświadczenia przeprowadzono w warunkach częściowo kontrolowanych w tunelach foliowych z instalacją zraszającą. Po inokulacji utrzymywano wysoką wilgotność powietrza stymulującą rozwój choroby.

Badane odmiany i linie pszenicy ozimej i pszenżyta ozimego zostały wysiane również w infekcyjnych doświadczeniach polowych w Radzikowie. Metodyka oraz szczegółowe wyniki zostały opisane w pracach Górala i in. (2015) oraz Wiśniewskiej i in. (2015).

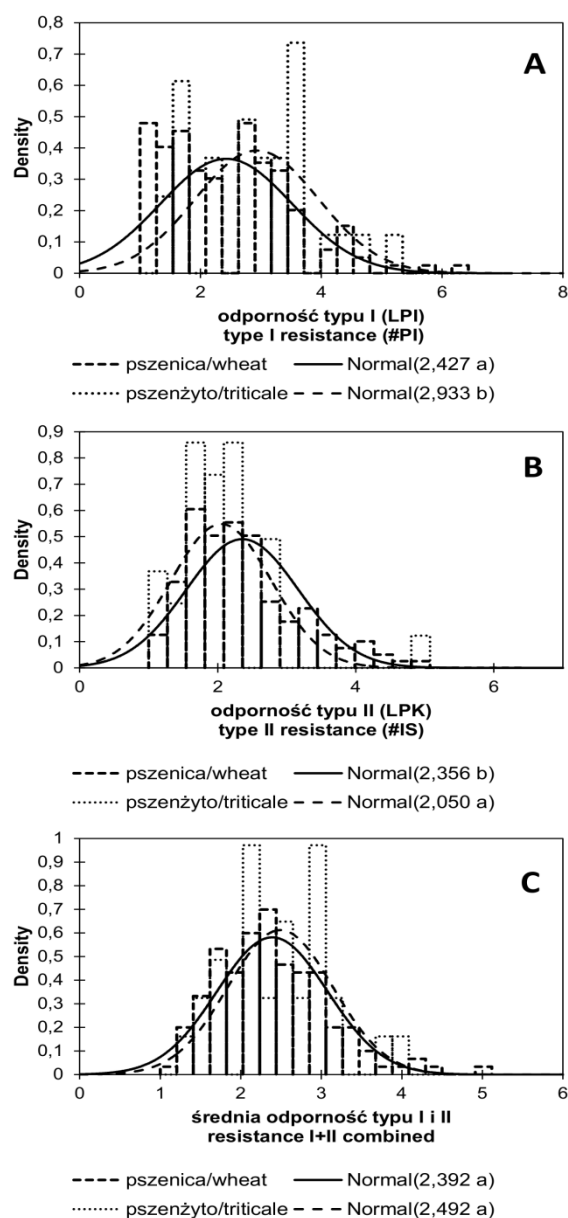
Analiza statystyczna została wykonana za pomocą pakietu Microsoft® Excel 2010/XLSTAT©-Pro (Version 2015.2.02, Addinsoft, Inc., Brooklyn, NY, USA). Obliczono współczynniki korelacji (XLSTAT: Correlation tests) oraz przeprowadzono analizę regresji liniowej (XLSTAT: Modeling data — Linear regression) indeksów fuzariozy kłosów względem odporności typu I i II. Istotność różnic pomiędzy pszenicą i pszenżytem pod względem odporności typu I i typu II określono za pomocą testu Manna-Whitneya (XLSTAT: Non-parametric tests — Comparison of two samples)

WYNIKI I DYSKUSJA

Średnia odporność typu I wyniosła 2,4 punkty infekcji (PI) dla pszenicy oraz 2,9 PI dla pszenżyta (rys. 1 A). Zakres reakcji mieścił się w granicach 1,0–6,3 PI dla pszenicy oraz 1,3–5,3 PI dla pszenżyta. Zmienność wśród pszenicy była wyższa, jednakże jedynie 25% linii osiągnęło liczbę PI powyżej 3,0, w przypadku pszenżyta było to 50% linii. Różnica w odporności typu I pomiędzy pszenicą i pszenżytem była istotna statystycznie.

Średni poziom odporności typu II wynosił 2,3 porażone kłoski (PK). Dla izolatu KF846 było to 2,3 PK, natomiast dla izolatu ZFR16 — 2,2 PK. Zakres relacji mieścił się w granicach 1,0–6,2 PK. Odporność typu II na oba izolaty korelowała wysoko istotnie ($r = 0,577$).

Dla pszenicy średnia odporność typu II (średnia dla dwóch izolatów) wyniosła 2,4 PK, natomiast dla pszenżyta 2,1 PK (rys. 1 B). Zakres relacji mieścił się w granicach 1,1–4,9 PK dla pszenicy oraz 1,1–5,0 PK dla pszenżyta. Zmienność wśród pszenicy była wyższa, a 25% linii osiągnęło liczbę PK powyżej 2,8. W przypadku pszenżyta było to 16% (12) linii, jednakże 11 linii osiągnęło liczbę PK do 3,4, jedynie jedna linia miała liczbę PK = 5,0.

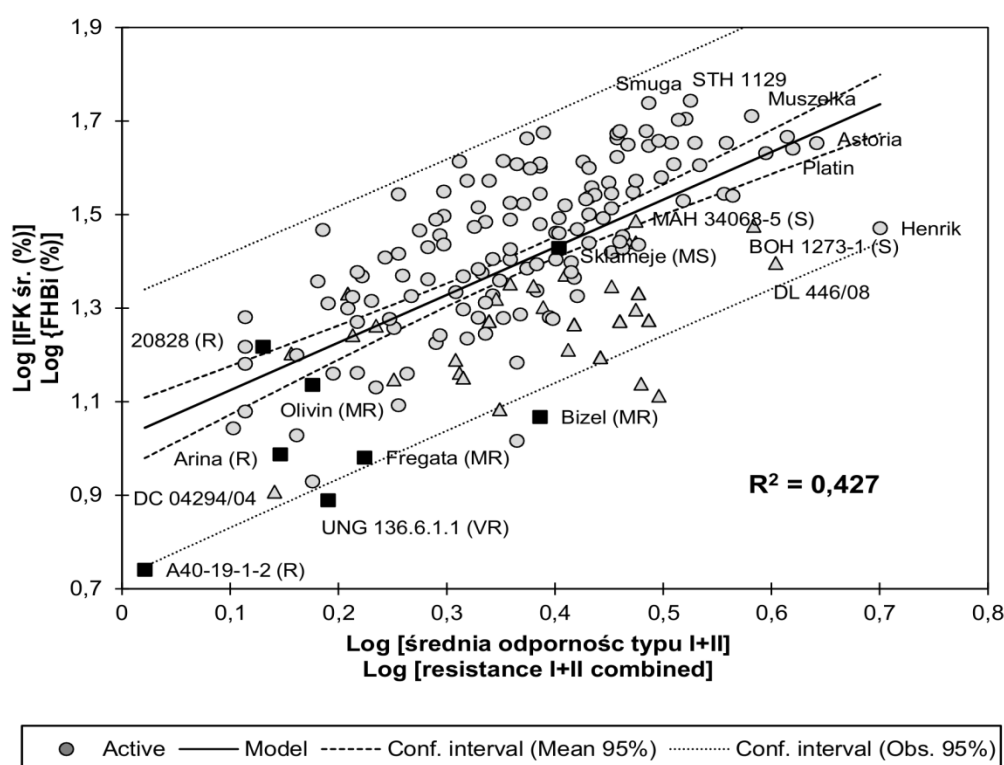


Rys. 1. Porównanie odporności typu I (A) i II (B) oraz średniej odporności obu typów (C) dla genotypów pszenicy (A, B, C — 146) i pszenżyta (A, C — 30, B — 72). LPI - liczba punktów infekcji, LPK - liczba porażonych kłosek. Średnie oznaczone tą samą literą nie różnią się statystycznie istotnie na podstawie testu Manna-Whitneya

Fig. 1. Comparison of resistances of type I (A) and II (B) and combined resistance I+II (C) for wheat (A, B, C — 146) and triticale lines (A, C — 30, B — 72). #IP — number of infection points, #IS — number of infected spikelets. Means marked with the same letter did not differ significantly according to Mann-Whitney test

Różnica w odporności typu II pomiędzy pszenicą i pszenżytem była istotna statystycznie. Zamieranie kłosów obserwowano u 28 odmian lub linii pszenicy (19%) oraz u 4 linii pszenżyta (6%). Najsilniejsze zamieranie wystąpiło u podatnej odmiany Torrild — 60% kłosów.

Określono zależności pomiędzy odpornością obu typów a średnim indeksem fuzariozy kłosów (IFK śr.) w warunkach kontrolowanych (tunel) i w warunkach polowych (IHAR Radzików) dla genotypów pszenicy i pszenżyta badanych w tych doświadczeniach.. Odporność typu I korelowała istotnie ze średnim IFK ($r = 0,547$). Jeżeli chodzi o odporność typu II to dla obu zbóż współczynnik były istotny ale miał niższą wartość ($r = 0,346$). Stwierdzono wyraźną zależność liniową średniego IFK od odporności typu I oraz słabszą zależność od odporności typu II. Najwyższą wartość współczynnika zanotowano dla korelacji średniej odporności obu typów ze średnim indeksem fuzariozy kłosów ($r = 0,649$). Stwierdzono silną zależność liniową pomiędzy obiema cechami (rys. 2). Brak było zależności pomiędzy typami odporności ($r = -0,015$).



Rys. 2. Regresja liniowa średniego indeksu fuzariozy kłosów (IFK %) wobec średniej odporności typu I i II dla 146 linii pszenicy (kółka) i 30 linii pszenżyta (trójkąty). Oznaczono genotypy wzorcowe pszenicy (kwadraty)

Fig. 2. Regression of Fusarium head blight index to mean combined resistance of type I + II for 146 wheat lines (circles) and 30 triticale line (triangles). Check cultivars of wheat are marked with squares

W pracy Spanic i in. (2013) badano różne typy odporności na fuzariozę kłosów u pszenicy. Autorzy stwierdzili brak korelacji pomiędzy odpornością typu I oraz II. Bardzo wysoki był natomiast współczynnik korelacji odporności typu I z tzw. odpornością ogólną określoną, jako procent kłosów porażonych na inokulowanym poletku. Odporność ta nie korelowała z odpornością typu II. Problem w porównaniu tych wyników z wynikami w niniejszej pracy stanowi metodyka oceny typu I zastosowana przez Spanic i in. (2013). Typ I oceniano jako liczbę kłosów porażonych na poletku, nie biorąc pod uwagę możliwości wystąpienia wielokrotnych infekcji na jednym kłosie. W prezentowanym doświadczeniu zaobserwowano do 8 punktów infekcji na pojedynczym kłosie u podatnej odmiany Platin.

Brak zależności między oboma typami wynika z różnicy w mechanizmach odporności, które zostały opisane we Wstępie. Konsekwencją tego są różne QTL lub geny warunkujące oba typy odporności (Buerstmayr i in., 2009). Spośród zmapowanych genów odporności o dużym efekcie dwa (*Fhb1*, *Fhb2*) związane są z odpornością na rozprzestrzenianie się *Fusarium* w kłosie (Cuthbert i in., 2006, 2007), dwa kolejne (*Fhb4*, *Fhb5*) przede wszystkim z odpornością na penetrację (Xue i in., 2010, 2011).

Odporność typu I miała istotny wpływ na IFK dla pszenicy, natomiast dla pszenżyta zależności były nieistotne (tab. 1, rys. 3). W przypadku odporności typu II dla obu zbóż zależności liniowe były istotne (z wyjątkiem IFK w tunelu dla pszenicy). Współczynniki korelacji przyjmowały znacznie wyższe wartości dla pszenżyta (rys. 4). Średnia odporność obu typów (I+II) miała istotny wpływ na średni IFK dla obu zbóż. Współczynnik korelacji był wyższy dla pszenicy (tab. 1). Wyniki wskazują, że u pszenicy na „odporność połową” wpływała zarówno odporność typu I, jak i II.

Tabela 1

**Współczynniki korelacji pomiędzy typami odporności I i II (przekształcone logarytmicznie)
a indeksami fuzariozy kłosów (IFK) dla 146 linii pszenicy i 30/72 linii pszenżyta**
**Coefficients of correlation between resistances of type I and II (log transformed) and FHB indexes
(FHBi) for 146 lines of wheat and 30/72 lines of triticale**

Zmienne Variables	Pszenica Wheat			Pszenżyto ¹ Triticale ¹		
	Log [typ I (LPI)]	Log [typ II (LPK)]	Log [typ I+II]	Log [typ I (LPI)]	Log [typ II (LPK)]	Log [typ I+II]
	Log [type I (#IP)]	Log [type II (#IS)]	Log [type I+II]	Log [type I (#IP)]	Log [type II (#IS)]	Log [type I+II]
IFK tunel (%) ³	0,738	0,150	0,711	0,328	0,615	0,566
FHBi tent (%) ³	0,738	0,150	0,711	0,328	0,615	0,566
IFK (%) ⁴	0,414	0,357	0,572	-0,068	0,565	0,241
FHBi (%) ⁴	0,414	0,357	0,572	-0,068	0,505 ²	0,241
IFK śr. (%) ⁵	0,696	0,262	0,747	0,205	0,729	0,532
FHBi mean (%) ⁵	0,696	0,262	0,747	0,205	0,729	0,532

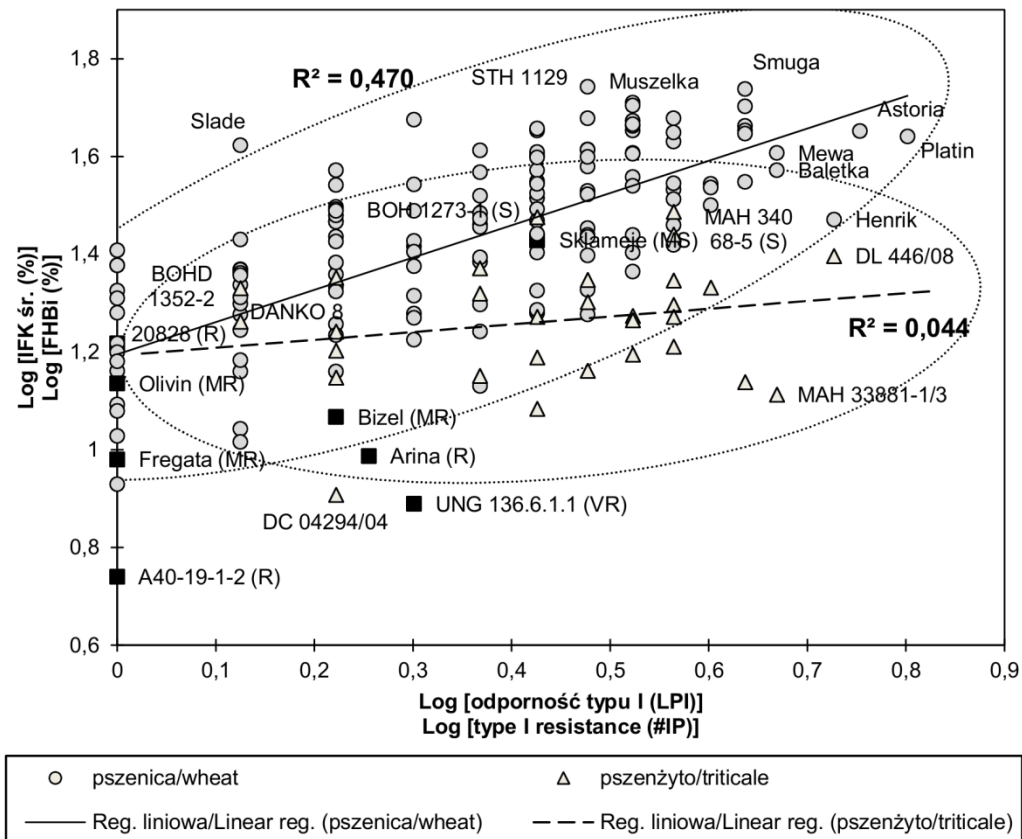
Wyróżnione współczynniki istotne statystycznie na poziomie $\alpha < 0,05$

Bolded coefficients significant at $P < 0.05$

¹ — wartości dla 30 linii; ² — współczynnik dla 72 linii; ³ — IFK oceniany 21 dpi w doświadczeniu w tunelu; ⁴ — doświadczenie polowe w Radzikowie; ⁵ — średnia IFK tunel i IFK

¹ — values for 30 lines; ² — coefficient for 72 lines; ³ — FHBi scored 21 dpi in experiment in polyethylene tent; ⁴ — field experiment in Radzików; ⁵ — mean of FHBi tent and FHBi

Zidentyfikowano genotypy pszenicy zarówno o niskiej, jak i o wysokiej odporności obu typów. Jak już wspomniano powyżej, Spanic i in. (2013) stwierdzili istotny wpływ odporności typu I na ogólną odporność (określoną tu, jako „polowa”). Silny związek tych cech mógł jednakże wynikać z tego, że nie były one oceniane w niezależnych doświadczeniach. Dla badanej populacji pszenżyta stwierdzono, że niższa średnia odporność typu I nie miała wpływu na zróżnicowanie „odporności polowej”, natomiast istotny wpływ zanotowano w przypadku bardziej zróżnicowanej odporności typu II (średnio wyższa niż u pszenicy) (rys. 3, 4).

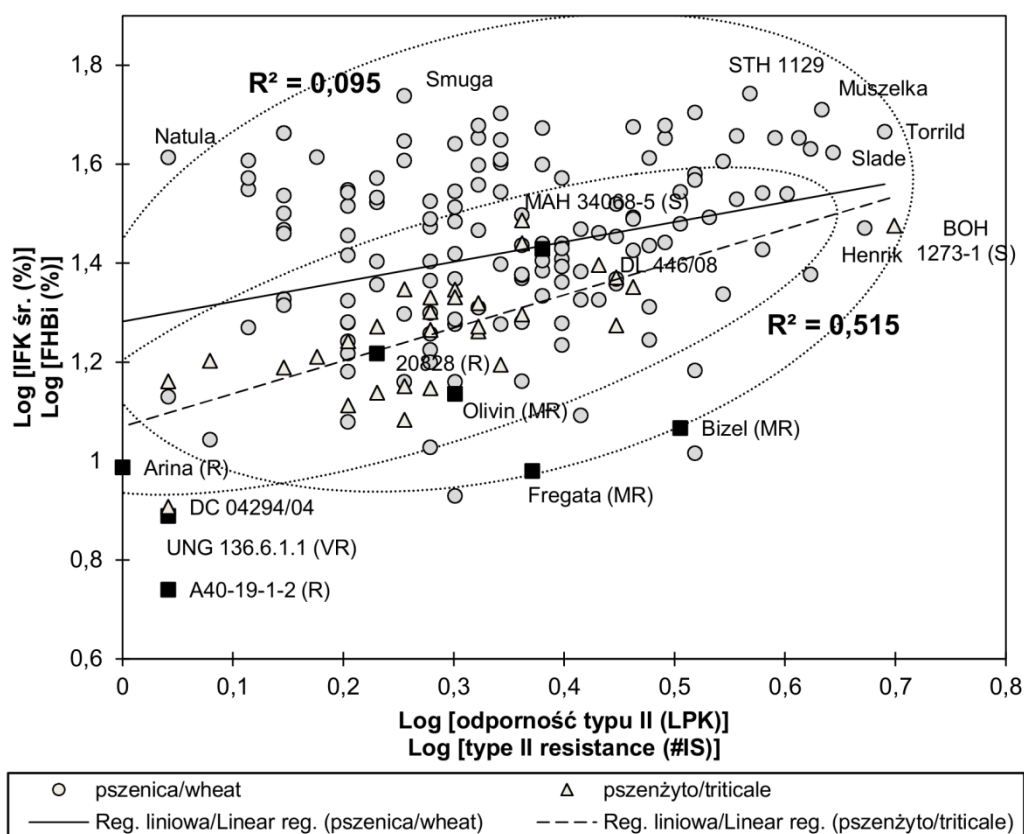


Rys. 3. Regresja liniowa średniego indeksu fuzariozy kłosów (IFK) wobec typu odporności I a dla 146 linii pszenicy (kółka) i 30 linii pszenżyta (trójkąty). Oznaczono genotypy wzorcowe pszenicy (kwadraty). LPI — liczba punktów infekcji

Fig. 3. Regression of Fusarium head blight index (FHBi) to type I resistance for 146 wheat lines (circles) and 30 triticale lines (triangles). Check cultivars of wheat are marked with squares. #IP — number of infection points

Langevin i in. (2009) zidentyfikowali linie pszenżyta jarego wskazujące wysoką odporność typu II. Odmiana wzorcowa Pronghorn o średniej odporności polowej wykazała

jednakże niską odporność typu II. Odporność połowa tej odmiany wynikała jednakże przede wszystkim z wysokiej odporności na infekcję (typu I). Badacze stwierdzają, że w przypadku pszenżyta należy się skupić przede wszystkim na poprawianiu odporności typu I, a także odporności na uszkodzenie ziarniaków (typ III). Odporność ta jest na niskim poziomie w populacji pszenżyta jarego w Kanadzie. Jak pokazują wyniki, również wśród polskich genotypów pszenżyta ozimego, odporność typu III jest niska (Wiśniewska i in., 2014, 2015).



Rys. 4. Regresja liniowa średniego indeksu fuzariozy kłosów (IFK) wobec typu odporności II dla 146 linii pszenicy (kółka) i 30 linii pszenżyta (trójkąty). Oznaczono genotypy wzorcowe pszenicy (kwadraty). LPK - liczba porażonych kłosków

Fig. 4. Regression of Fusarium head blight index (FHBi) to type II resistance for 146 wheat lines (circles) and 30 triticale lines (triangles). Check cultivars of wheat are marked with squares. #IS — number of infected spikelets

Odmiany wzorcowe wykazały zróżnicowaną odporność typu I. Odporne (LPI = 1) były odmiany A40-19-1-2, Fregata, Olivin, 20828. Średnio odporne były Bizel (LPI = 1,7), Arina (LPI = 1,8), UNG 136.6.1.1 (LPI = 2,0). Podobnie, jeżeli chodzi o odporność typu II wystąpiło zróżnicowanie reakcji form wzorcowych. Odporne (LPK = 1,1) były A40-19-1-

2 i UNG 136.6.1.1, średnio odporne — Arina (LPK = 1,4), 20828 (LPK = 1,7), Olivin (LPK = 2,0) i Fregata (LPK = 2,4). Mimo zróżnicowania odporności genotypy te charakteryzowały się słabym porażeniem kłosa w warunkach prowokacyjnych (tunel) i polowych. Pokazuje, to znaczenie badania typów odporności oraz ich łączenia w celu uzyskania odporności trwałej w różnych warunkach epidemiologicznych (Kubo i in., 2013b). Genotypy odporne w warunkach polowych kompensowały niższą odporność jednego typu wyższą odpornością innego. Przykładem jest linia UNG 136.6.1.1 zawierająca gen *Fhb1* (Buerstmayr i in., 1999; Paweł Czembor — niepublikowane) o wysokiej odporności typu II, ale średniej odporności typu I, lub odporna szwajcarska odmiana Arina (Paillard i in., 2004) o średnich wartościach odporności obu typów, ale wysokiej uśrednionej wartości tych odporności. Odmiana Fregata wykazała najwyższą odporność polową spośród zarejestrowanych odmian. Miała ona przeciętny poziom odporności typu II (rys. 4), natomiast wysoką odporność typu I (rys. 3).

WNIOSKI

1. Pszenżyto ozime miało niższą odporność typu I (na infekcję) w porównaniu do pszenicy ozimej.
2. Pszenica ozima miała niższą odporność typu II (na rozprzestrzenianie się *Fusarium* w kłosie) w porównaniu do pszenżyta ozimego.
3. Brak było korelacji pomiędzy odpornością typu I i odpornością typu II.
4. Odporność „polowa” pszenicy ozimej na fuzariozę kłosów korelowała istotnie ze średnią odpornością typu I i II.
5. Odporność „polowa” pszenżyta ozimego na fuzariozę kłosów korelowała istotnie jedynie z odpornością typu II.

LITERATURA

- Argyris J., Sanford D. Van, TeKrony D. 2003. *Fusarium graminearum* infection during wheat seed development and its effect on seed quality. *Crop Sci.* 43: 1782 — 1788.
- Argyris J., TeKrony D., Hershman D., VanSanford D., Hall M., Kennedy B., Rucker M., Edge C. 2005. *Fusarium* head blight infection following point inoculation in the greenhouse compared with movement of in seed and floral components. *Crop Sci.* 45: 626 — 634.
- Bai, G., Kolb F. L., Shaner G., Domier L. L. 1999. Amplified fragment length polymorphism markers linked to a major quantitative trait locus controlling scab resistance in wheat. *Phytopathology* 89: 343 — 348.
- Bai G. H., Shaner G., Ohm H. 2000. Inheritance of resistance to *Fusarium graminearum* in wheat. *Theor. Appl. Genet.* 100: 1 — 8.
- Bai G. H., Plattner R., Desjardins A., Kolb F. 2001. Resistance to *Fusarium* head blight and deoxynivalenol accumulation in wheat. *Plant Breed.* 120: 1 — 6.
- Bottalico A., Perrone G. 2002. Toxigenic *Fusarium* species and mycotoxins associated with head blight in small-grain cereals in Europe. *Eur. J. Plant Pathol.* 108: 611 — 624.
- Boutigny A.L., Richard-Forget F., Barreau C. 2008. Natural mechanisms for cereal resistance to the accumulation of *Fusarium* trichothecenes. *Eur. J. Plant Pathol.* 121: 411 — 423.
- Buerstmayr H., Ban T., i Anderson J. A. 2009. QTL mapping and marker-assisted selection for *Fusarium* head blight resistance in wheat: A review. *Plant Breed.* 128: 1 — 26.

- Buerstmayr H., Buerstmayr M., Schweiger W., Steiner B. 2014. Breeding for resistance to head blight caused by *Fusarium* spp. in wheat. CAB Rev. 9: 1 — 13.
- Buerstmayr H., Lemmens M., Berlakovich S., Ruckebauer P. 1999. Combining ability of resistance to head blight caused by *Fusarium culmorum* (W.G. Smith) in the F1 of a seven parent diallel of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). Euphytica 110: 199 — 206.
- Buerstmayr H., Lemmens M., Hartl L., Doldi L., Steiner B., Stierschneider M., Ruckebauer P. 2002. Molecular mapping of QTLs for Fusarium head blight resistance in spring wheat. I. Resistance to fungal spread (Type II resistance). Theor. Appl. Genet. 104: 84 — 91.
- Cuthbert P. A., Somers D. J., Brulé-Babel A. 2007. Mapping of *Fhb2* on chromosome 6BS: a gene controlling Fusarium head blight field resistance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Theor. Appl. Genet. 114: 429 — 437.
- Cuthbert P. A., Somers D. J., Thomas J., Cloutier S., Brulé-Babel A. 2006. Fine mapping *Fhb1*, a major gene controlling fusarium head blight resistance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Theor. Appl. Genet. 112: 1465 — 1472.
- Foroud N. A., Eudes F. 2009. Tricothecenes in cereal grains. Int. J. Mol. Sci. 10: 147 — 173.
- Gilchrist L., Rajarm S., van Ginkel M., Mujeeb-Kazi A., Franco J. 1997. Characterizing *Fusarium graminearum* resistance of CIMMYT bread wheat germplasm. Cereal Res. Commun. 25: 655 — 657.
- Gosman N., Steed A., Chandler E., Thomsett M., Nicholson P. 2010. Evaluation of type I Fusarium head blight resistance of wheat using non-deoxynivalenol-producing fungi. Plant Pathol. 59: 147 — 157.
- Góral T., Ochodzki P. 2006. Resistance of Polish winter triticale cultivars to Fusarium head blight and accumulation of *Fusarium* mycotoxins in grain. Proc. of 16th International Triticale Symposium, September 3–7 2006, Stellenbosch, South Africa: 140 — 143.
- Góral T., Wiśniewska H., Ochodzki P., Walentyn-Góral, D., Bełetr, J., Majka, M., Kwiatek, M., Bogacki, J., Drzazga, T., Ługowska B., Matysik P., Witkowski E., Rubrycki K., Woźna-Pawlak, U. 2015. Odporność genotypów pszenicy ozimej na fuzariozę kłosów i akumulację toksyn fuzaryjnych w ziarnie szcharakteryzowana za pomocą różnych typów odporności. Biul. IHAR 276: 19 — 37.
- Gunnaiah R., Kushalappa, A. C., Duggavathi, R., Fox, S., Somers, D. J. 2012. Integrated metabolite-proteomic approach to decipher the mechanisms by which wheat QTL (*Fhb1*) contributes to resistance against *Fusarium graminearum*. 7 (7): e40695. doi:10.1371/journal.pone.0040695.
- Horevaj P., Brown-Guedira G., Milus E.A. 2012. Resistance in winter wheat lines to deoxynivalenol applied into florets at flowering stage and tolerance to phytotoxic effects on yield. Plant Pathol. 61: 925 — 933.
- Horevaj P., Gale L., Milus E. A. 2011. Resistance in winter wheat lines to initial infection and spread within spikes by deoxynivalenol and nivalenol chemotypes of *Fusarium graminearum*. Plant Dis. 95: 31 — 37.
- Jin Y., Zhang X., Rudd R., Rudd J. 1999. A point inoculation method for evaluating scab resistance in wheat. In: Wagester J. A. et al. (ed.) Proceedings of the 1999 National Fusarium Head Blight Forum, Sioux Falls, South Dakota, December 5–7. Michigan State University, East Lansing, MI, USA 128 p.
- Kang Z., Buchenauer H. 2000. Cytology and ultrastructure of the infection of wheat spikes by *Fusarium culmorum*. Mycol. Res. 104: 1083 — 1093.
- Kluger B., Bueschl C., Lemmens M., Michlmayr H., Malachova A., Koutnik A., Maloku I., Berthiller F., Adam G., Krska R., Schuhmacher R. 2015. Biotransformation of the mycotoxin deoxynivalenol in *Fusarium* resistant and susceptible near isogenic wheat lines. PLoS ONE 10 (3): e0119656. doi:10.1371/journal.pone.0119656.
- Kociuba W., Kramek A. 2004. Analiza niektórych właściwości biologii kwitnienia pszenżyta przydatnych dla hodowli i reprodukcji odmian. Annales UMCS, Sec. E, 59, 1: 115 — 122.
- Kubo K., Fujita M., Kawada N., Nakajima T., Nakamura K., Maejima H., Ushiyama T., Hatta K., Matsunaka, H. 2013 a. Minor differences in anther extrusion affect resistance to Fusarium head blight in wheat. J. Phytopathol. 161: 308 — 314.
- Kubo K., Kawada N., Fujita M. 2013 b. Evaluation of Fusarium head blight resistance in wheat and the development of a new variety by integrating type I and II resistance. Jircas. Affrc. Go. Jp. 47: 9 — 19.
- Kubo K., Kawada N., Fujita M., Hatta K., Oda S., Nakajima T. 2010. Effect of cleistogamy on Fusarium head blight resistance in wheat. Breed. Sci. 60: 405 — 411.

- Langevin F., Eudes F., Comeau A., Dion Y., Rioux S., Randhawa H., Fedak G., Cao W., Gilbert J., Lachance C., Salmon D. 2009. Sources of type II *Fusarium* resistance for triticales breeding. Proceedings of the 6th Canadian Workshop on Fusarium Head Blight, November 1 — 4, Ottawa, Canada: 66.
- Lemmens M., Koutnik A., Steiner B., Buerstmayr H., Berthiller F., Schuhmacher R., Maier F., Schäfer W. 2008. Investigations on the ability of *Fhb1* to protect wheat against nivalenol and deoxynivalenol. Cereal Res. Commun. 36: 429 — 435.
- Lu Q., Lillemo M., Skinnnes H., He, X., Shi J., Ji F., Dong Y., Bjørnstad A. 2013. Anther extrusion and plant height are associated with Type I resistance to Fusarium head blight in bread wheat line „Shanghai-3/Catbird”. Theor. Appl. Genet. 126: 317 — 34.
- Mesterházy Á. 1995. Types and components of resistance to Fusarium head blight of wheat. Plant Breed. 114: 377 — 386.
- Mesterházy Á., Bartók T., Mirocha C.G., Komoróczy R. 1999. Nature of wheat resistance to Fusarium head blight and the role of deoxynivalenol for breeding. Plant Breed. 118: 97 — 110.
- Miedaner T., Moldovan, M., Ittu, M. 2003. Comparison of spray and point inoculation to assess resistance to Fusarium head blight in a multienvironment wheat trial. Phytopathology 93: 1068 — 72.
- Miller S., Chabot D., Ouellet T., Harris L. J., Fedak G. 2004. Use of a *Fusarium graminearum* strain transformed with green fluorescent protein to study infection in wheat (*Triticum aestivum*). Can. J. Plant Pathol. 26: 453 — 463.
- Paillard S., Schnurbusch T., Tiwari R., Messmer M., Winzeler M., Keller B., Schachermayr G. 2004. QTL analysis of resistance to Fusarium head blight in Swiss winter wheat (*Triticum aestivum* L.). Theor. Appl. Genet. 109: 323 — 332.
- Pearce R. B., Strange R. N., Smith H. 1976. Glycinebetaine and choline in wheat: Distribution and relation to infection by *Fusarium graminearum*. Phytochemistry 15: 953 — 954.
- Rudd J. C., Horsley R. D., McKendry A. L., Elias E. M. 2001. Host plant resistance genes for Fusarium head blight. Crop Sci. 41: 620 — 627.
- Schroeder H. W., Christensen J. J. 1963. Factors affecting resistance of wheat to scab by *Gibberella zeae*. Phytopathology 42: 720 — 727.
- Skinnnes H., Semagn K., Tarkegne Y., Marøy A. G., Bjørnstad Å. 2010. The inheritance of anther extrusion in hexaploid wheat and its relationship to Fusarium head blight resistance and deoxynivalenol content. Plant Breed. 129: 149 — 155.
- Snijders C. H. A. 2004. Resistance in wheat to *Fusarium* infection and trichothecene formation. Toxicol. Lett. 153: 37 — 46.
- Spanic V., Lemmens M., Drezner G. 2013. Variability in components of Fusarium head blight resistance among wheat genotypes. Cereal Res Commun. 41: 420 — 430.
- Strange R. N., Majer J. R., Smith H. 1974. The isolation and identification of choline and betaine as the two major components in anthers and wheat germ that stimulate *Fusarium graminearum* *in vitro*. Physiol. Plant Pathol. 4: 277 — 290.
- Strange R. N., Smith H. 1971. A fungal growth stimulant in anthers which predisposes wheat to attack by *Fusarium graminearum*. Physiol. Plant Pathol. 1: 141 — 150.
- Van Ginkel M., Gilchrist L. 2002. How to make intelligent crosses to accumulate Fusarium head blight resistance genes based on knowledge of the underlying resistance mechanisms. In: Ward R.W. i in. (ed.) Proc. of the 2002 National Fusarium Head Blight Forum, Erlanger, KY. 7–9 Dec. 2002. Michigan State University, East Lansing, MI, USA: 268 — 272.
- Wiśniewska H., Góral T., Ochodzki P., Walentyn-Góral D., Kwiatek M., Majka M., Grzeszczak I., Bełetr J., Banaszak Z., Pojmaj M., Kurlito D., Konieczny M., Budzianowski G., Cicha A., Paizert K., Woś H. 2014. Odporność rodów hodowlanych pszenżyta ozimego na fuzariozę kłosów. Biul. IHAR 271: 29 — 43.
- Wiśniewska H., Góral T., Ochodzki P., Walentyn-Góral D., Kwiatek M., Majka M., Grzeszczak I., Bełetr J., Banaszak Z., Pojmaj M., Kurlito D., Konieczny M., Budzianowski G., Cicha A., Paizert K., Woś H. 2015. Odporność rodów hodowlanych pszenżyta ozimego na infekcję kłosa grzybem *Fusarium culmorum*. Biul. IHAR 276: 39 — 55.

- Xue S., Li G., Jia H., Xu F., Lin F., Tang M., Wang Y., An X., Xu H., Zhang L., Kong Z., Ma Z. 2010. Fine mapping *Fhb4*, a major QTL conditioning resistance to *Fusarium* infection in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Theor. Appl. Genet. 121: 147 — 156.
- Xue S., Xu F., Tang M., Zhou Y., Li G., An X., Lin F., Xu H., Jia H., Zhang L., Kong Z., Ma Z. 2011. Precise mapping *Fhb5*, a major QTL conditioning resistance to *Fusarium* infection in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Theor. Appl. Genet. 123: 1055 — 63.

ZYGMUNT KACZMAREK ¹
HENRYK WOŚ ²
ELŻBIETA ADAMSKA ¹
TADEUSZ ADAMSKI ¹
ROMAN BILIŃSKI ³
GRZEGORZ BUDZIANOWSKI ²
ŁUKASZ MAŃKOWSKI ²
EWELINA MAJCHRZAK ²
JANINA WOŚ ²
LAURENCJA SZAŁA ⁴
TERESA CEGIELSKA-TARAS ⁴
RENATA TRZECIAK ¹

¹ Instytut Genetyki Roślin PAN, Poznań

² Hodowla Roślin Strzelce Grupa IHAR

³ Hodowla Roślin Smolice Grupa IHAR

⁴ Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB, Oddział w Poznaniu

Ocena linii rodzicielskich rzepaku ozimego na podstawie plonu mieszańców z niekompletnego układu krzyżowania*

Evaluation of parental lines on the basis of yield of hybrids obtained from incomplete crossing scheme

Praca zawiera propozycję procedury obliczeniowej umożliwiającej ocenę hodowlaną mieszańców i ich form rodzicielskich (linii męskosterylnych (linii MS) i restorerów) na podstawie plonu mieszańców otrzymanych w wyniku niekompletnego schematu krzyżowania linia × tester w serii doświadczeń jednopowtórzeniowych z wzorcami. Proponowane podejście jest rozszerzeniem metody przedstawianej w pracy Wosia i in. (2010) dotyczącej oceny zdolności kombinacyjnej form rodzicielskich rzepaku ozimego na podstawie analizy mieszańców otrzymanych w wyniku kompletnego schematu krzyżowania linia × tester. Metodologia analizy prezentowana w wyżej cytowanej pracy jest oparta na ogólnej teorii analizowania wyników serii doświadczeń przeprowadzonych z tymi samymi genotypami w układzie bloków niekompletnych, podanej przez Kaczmarka (1986). Dla zilustrowania stosowanego w pracy podejścia została wykonana analiza

* Praca została wykonana w ramach grantu MRiRW z. 47

Praca przedstawiona na konferencji IHAR — PIB, Zakopane, 3 lutego 2015 roku

statystyczna danych pochodzących z serii czterech doświadczeń jednopowtórzeniowych z 96 mieszańcami rzepaku ozimego replikowanymi jeden raz i dwoma wzorcami replikowanymi wielokrotnie. Dla przeprowadzenia analizy wariancji, wyznaczenia i testowania istotności ocen efektów głównych mieszańców, linii męskosterylnych i restorerów oraz ich interakcji ze środowiskiem wykorzystano programy komputerowe EKSPLAN (Krajewski i in., 2003) i SERGEN (Caliński i in., 1998).

Słowa kluczowe: niekompletny schemat krzyżowania, rzepak ozimy, seria doświadczeń jednopowtórzeniowych, zdolność kombinacyjna

The paper contains a proposal of calculation procedure to enable an assessment of breeding hybrids and their parental forms (male-sterile lines (MS lines) and restorers) on the basis of the analysis of these hybrids, obtained from incomplete crossing scheme and observed in series of unreplicated experiments with standards. The proposed approach is a generalization of the method presented in the paper of Woś et al. (2010) on the evaluation of combining ability effects of parental lines on the basis of the analysis of hybrids obtained from a complete crossing scheme line $\times$ tester. The methodology presented in the above cited paper is based on the general theory for the analysis of series of experiments with the same genotypes conducted in incomplete block design, given by Kaczmarek (1986). To illustrate the approach used in the paper a statistical analysis of the data from series of winter oilseed rape experiments with 96 unreplicated hybrids and 2 replicated standards was performed. Analysis of variance and evaluation of the main effects of hybrids, male-sterile lines and testers and their interaction with environments was carried out using the computer programs EKSPLAN (Krajewski et al., 2003) and SERGEN (Caliński et al., 1998).

Key words: incomplete crossing scheme, winter oilseed rape, series of unreplicated experiments, combining ability

WSTĘP

Przy tworzeniu nowych kreacji genotypowych podstawowy problem stanowi ocena i wybór najlepszych genotypów do dalszych etapów ich ulepszania. Zakładane w tym celu doświadczenia jednopowtórzeniowe z dużą liczbą mieszańców i jednym, dwoma bądź trzema wzorcami, często prowadzone w kilku lokalizacjach, dają szansę uzyskania wiarygodnego rankingu najbardziej plennych mieszańców. Pierwszym etapem przebiegu procesu hodowli heterozyjnej jest wyprowadzenie linii wsobnych a następnie testowanie ich pod względem zdolności kombinacyjnych i wybór do dalszych etapów hodowli. Wybór ten wymaga wszechstronnego badania zmienności genetycznej cech ilościowych w tej populacji poprzez właściwą analizę genetyczno-hodowlaną mieszańców uzyskanych w wyniku krzyżowania form rodzicielskich. Metody genetyki ilościowej, wsparte odpowiednimi metodami statystyki matematycznej pozwalają dokonać nie tylko wyboru mieszańców odznaczających się dobrymi właściwościami obserwowanych cech ale także pozwalają ocenić zdolność kombinacyjną ich form rodzicielskich, zwłaszcza, gdy krzyżowanie przebiegało zgodnie z odpowiednim schematem takim jak układ dialleliczny, linia $\times$ tester czy top-cross. W pracy proponowane są metody analizy statystycznej wyników serii doświadczeń jednopowtórzeniowych prowadzonych w kilku miejscowościach z tym samym zestawem mieszańców i wzorców rzepaku ozimego. Oprócz oceny plonowania mieszańców dokonywane jest także, na podstawie ich obserwacji, badanie zdolności kombinacyjnych ich form rodzicielskich poprzez ocenę i testowanie istotności efektów głównych oraz efektów interakcji tych form ze środowiskiem

(z miejscowościami, w których prowadzone były doświadczenia). Analiza interakcji genotypowo-środowiskowej przeprowadzana dla uzyskania wielu informacji hodowlanych zawsze wzbudzała na świecie, ale również w Polsce duże zainteresowanie nie tylko ze strony statystyków ale także genetyków i hodowców. W szeregu prac, między innymi prac Calińskiego i in. (1980, 1983), Mądrego i Rajfury (2003), Mądrego i in. (2006), Iwańskiej i in. (2008), Mądrego i in. (2010), Bujaka i Tratwala (2011), Mądrego i Iwańskiej (2011 a, b) podejmowane były próby rozwijania różnych metod umożliwiających uzyskiwanie informacji dotyczących parametrów genetyczno-hodowlanych badanych genotypów w aspekcie ich interakcji ze środowiskiem. W pracy Wosia i in. (2010) przedstawiono propozycję wykorzystania plonu mieszańców obserwowanych w serii doświadczeń jednopowtórzeniowych z wzorcami do oceny i testowania istotności efektów głównych i interakcyjnych mieszańców linia $\times$ tester rzepaku ozimego, a także oceny i testowania efektów ogólnej zdolności kombinacyjnej (GCA) form rodzicielskich ze szczególnym uwzględnieniem badania interakcji efektów GCA ze środowiskiem. W praktyce hodowlanej mieszańce uzyskiwane w wyniku krzyżowania l linii MS z t restorerami nie wypełniają całkowicie tablicy linia $\times$ tester, czyli ich liczba jest mniejsza od lt . Taki schemat krzyżowania będzie w dalszej części pracy nazywany niekompletnym schematem krzyżowania linia $\times$ tester. W pracy Kaczmarka i Krajewskiego (1996) przedstawiono metodykę oceny form rodzicielskich na podstawie niekompletnych systemów krzyżowania dla doświadczeń pojedynczych. W niniejszej pracy pokazano w jaki sposób można dokonać oceny zdolności kombinacyjnej linii rodzicielskich rzepaku ozimego na podstawie plonu ich mieszańców uzyskanych w wyniku niekompletnego krzyżowania linia $\times$ tester i obserwowanych w serii doświadczeń jednopowtórzeniowych z wzorcami. Wyznaczono oceny efektów głównych linii MS i restorerów i przeprowadzono testowanie ich istotności, a także testowanie istotności interakcji tych efektów z miejscowościami. Oceny efektów głównych form rodzicielskich będą w dalszej części pracy interpretowane jako oceny ich zdolności kombinacyjnych (GCA). Dla pełniejszej interpretacji interakcji badanych mieszańców i linii rodzicielskich z miejscowościami zostały wykonane analizy regresji liniowej. Ilustracją wyników tych analiz są wykresy równań regresji efektów interakcji wybranych mieszańców, linii MS i restorerów względem środowiska (średniej z miejscowości).

MATERIAŁ I METODY

Materiał doświadczalny

Materiał do badań obejmował 96 mieszańców F_1 rzepaku ozimego uzyskanych w wyniku krzyżowania 21 linii męskosterylnych (linii MS) z 10 restorerami (tab. 1). Mieszańce oraz odmiany wzorcowe (Visby i Chagall) były badane w serii doświadczeń jednopowtórzeniowych z wzorcami prowadzonych w czterech miejscowościach (stacjach hodowli roślin, Borowo (BOH), Kończewice (KOH), Małyszyn (MAH), Strzelce (STH)). Każde z doświadczeń obejmowało 6 pasów (bloków niekompletnych) obejmujących 18 poletek o powierzchni 12 m². Na poletkach każdego z nich (na pierwszym i ostatnim) rozmieszczono w sposób regularny wzorzec systematyczny Visby oraz rozlosowano 16

mieszkańców i wzorec losowy Chagall. Obserwowaną cechą u mieszkańców był plon z poletka (kg/poletko). Dane okazały się niekompletne, ponieważ w jednym z doświadczeń nie było obserwacji z dwóch poletek. Brakujące obserwacje zostały uzupełnione metodą opisaną w pracy Calińskiego i in. (1992), wykorzystywaną również w programie SERGEN (Caliński i in., 1998).

Tabela 1

Niekompletny schemat krzyżowania Linia MS × Restorer (21B × 10R)
Incomplete crossing scheme MS line × Restorer (21B × 10R)

Linia MS MS line	Restorer Restorer										Liczba mieszkańców Number of hybrids
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	
B1	x	x	x	x	x		x	x			7
B2	x	x	x	x	x		x	x	x		8
B3	x	x	x	x	x			x			6
B4		x			x						2
B5	x	x		x	x	x	x	x	x	x	9
B6			x	x	x			x			4
B7	x	x	x	x	x			x	x		7
B8	x	x	x	x	x	x	x	x	x		9
B9	x	x	x	x	x			x		x	7
B10		x		x		x	x		x	x	6
B11	x	x	x	x	x	x	x	x			8
B12				x							1
B13	x				x	x		x			4
B14		x						x			2
B15	x	x					x	x		x	5
B16				x				x			2
B17	x									x	2
B18	x					x					2
B19				x							1
B20		x	x								2
B21			x				x				2
Liczba mieszkańców Number of hybrids	12	13	10	13	11	6	8	13	5	5	96

Metody statystyczne

Do analizy poszczególnych doświadczeń jednopowtórzeniowych z wzorcami, przeprowadzonych w 4 miejscowościach, wykorzystano metodę opartą na ogólnej teorii analizy doświadczeń o blokach niekompletnych (Ceranka i Chudzik, 1977). Podstawowe analizy statystyczne przedstawionej wyżej serii doświadczeń jednopowtórzeniowych z wzorcami przeprowadzono, zgodnie z teorią podaną przez Kaczmarka (1986) dotyczącą analizy doświadczeń zakładanych w układzie bloków niekompletnych. Zastosowanie do doświadczeń jednopowtórzeniowych z wzorcami ogólnej teorii analizy doświadczeń prowadzonych w układach o blokach niekompletnych było możliwe, ponieważ spełniony został warunek, aby w pasach doświadczenia (blokach niekompletnych) oprócz mieszkańców replikowanych jeden raz występowały wzorce replikowane wielokrotnie. Przeprowadzono analizę wariancji i dokonano testowania hipotez dotyczących braku

różnic między miejscowościami, braku różnic między mieszańcami oraz braku interakcji mieszańce $\times$ miejscowości. W analizie szczegółowej przeprowadzono indywidualną charakterystykę poszczególnych mieszańców. Wyliczono w pierwszym rzędzie oceny efektów głównych mieszańców, podano odpowiadające im wartości statystyki F oraz wartości statystyki F dla oceny interakcji poszczególnych mieszańców z miejscowościami. Podjęto także próbę wyjaśniania interakcji mieszańców z miejscowościami poprzez badanie regresyjnej zależności tej interakcji od przeciętnego plonowania wszystkich mieszańców występujących w miejscowościach. Wyliczono w tym celu współczynniki regresji oraz współczynniki determinacji. Zbadano istotność współczynników regresji i na tej podstawie uzyskano możliwość przeprowadzenia wnioskowania o zachowaniu się mieszańców w poszczególnych miejscowościach. Mieszańce odznaczające się istotnymi i dodatnimi ocenami współczynników regresji charakteryzują się plonowaniem intensywnym w tym sensie, że plonują względnie dobrze w miejscowościach, w których przeciętne plony mieszańców są wyższe, a względnie gorzej tam gdzie przeciętne plony są niższe. Istotne i ujemne wartości współczynników regresji mieszańców względem średniej z miejscowości wskazują na ich ekstensywny charakter wyrażający się lepszym plonowaniem w miejscowościach o niższych plonach a słabszym w miejscowościach o średnich plonach wyższych. Obliczenia wykonano za pomocą programów komputerowych ESKPLAN (Krajewski i in., 2003) i SERGEN (Caliński i in., 1998). Program SERGEN został także częściowo wykorzystany do badania ocen zdolności kombinacyjnych plonowania linii MS i restorerów, jak również badania struktury ich interakcji ze środowiskiem. W wyniku jego zastosowania wyznaczono oceny i przeprowadzono testowanie istotności średnich efektów głównych linii MS i restorerów oraz przeprowadzono testowanie hipotez o braku interakcji tych efektów z miejscowościami. Dla pełniejszej interpretacji interakcji badanych mieszańców i linii rodzicielskich z miejscowościami zostały wykonane analizy regresji liniowej. Ilustracją wyników tych analiz są wykresy równań regresji efektów interakcji.

WYNIKI

Ocena zdolności plonowania mieszańców

Przeprowadzona w pierwszej kolejności analiza wariancji dla 96 mieszańców rzepaku ozimego obserwowanych w serii czterech doświadczeń jednopowtórzeniowych z wzorcami pozwoliła uzyskać dla każdego doświadczenia oprócz tak zwanych „średnich poprawionych” dla tych mieszańców ze względu na układ bloków niekompletnych, również rezultaty testowania hipotez ogólnych dotyczących braku różnic między miejscowościami, między mieszańcami i hipotezy o braku interakcji mieszańce $\times$ miejscowości. Wszystkie testowane hipotezy zostały odrzucone co najmniej na poziomie istotności 0,05. Odrzucenie hipotezy ogólnej o braku różnic między miejscowościami wskazuje na istotne różnice między średnimi środowisk. Średnie plony w poszczególnych miejscowościach, uporządkowane od najniższego do najwyższego, są następujące: MAH (5,205), KOH (5,616), BOH (5,845) i STH (6,093). Odrzucenie hipotez ogólnych dotyczących oceny mieszańców i ich interakcji ze środowiskiem upoważnia

do przeprowadzenia testowania hipotez szczegółowych dotyczących poszczególnych mieszańców. W tabeli 2 podane są oceny i wyniki testowania efektów głównych mieszańców o najwyższych plonach. Spośród wyróżnionych w tej tabeli mieszańców na szczególną uwagę zasługują te, które okazały się w niewielkim stopniu wrażliwe na różne warunki środowiskowe występujące w miejscowościach, a więc mogą być uznane jako mieszańce stabilne plonujące podobnie we wszystkich miejscowościach. Do tej grupy zaliczyć można przede wszystkim mieszańce: B2 × R5, B5 × R7, B8 × R3, B10 × R2, B10 × R7, B11 × R3 i B11 × R8.

Tabela 2

Wyniki testowania hipotez dotyczących oceny wybranych mieszańców rzepaku ozimego i ich interakcji ze środowiskiem

The results of testing the hypotheses concerning evaluation of the chosen hybrids of winter oilseed rape and their interaction with environments

Mieszańce Hybrids	Średnia Mean kg/pol	Ocena efektu głównego Estimate of main effect	Statystyka F dla F- statistic for		Współczynnik Coefficient of	
			efektu głów. main effect	interakcji interaction	regresji regression	determinacji (%) determination
B2 × R5	6,497	0,757	16,85**	0,93	0,967	96,88
B2 × R8	7,116	1,376	18,25**	2,62*	0,993	33,54
B3 × R3	6,494	0,754	5,64*	2,54*	1,372	65,89
B4 × R2	6,524	0,784	4,00	3,88**	-1,180	31,87
B5 × R5	6,677	0,937	7,76*	2,85*	-1,474	67,72
B5 × R6	6,647	0,907	10,21**	2,20	0,912	36,40
B5 × R7	6,431	0,691	9,77*	1,23	0,555	22,22
B5 × R8	6,844	1,104	15,14**	2,03	1,490	97,27
B8 × R3	6,314	0,574	10,16**	0,82	0,118	1,52
B9 × R2	6,681	0,941	5,07	4,41**	0,537	5,82
R10 × R2	6,242	0,502	9,44*	0,67	0,798	84,21
R10 × R7	6,331	0,591	6,81*	1,29	0,614	25,96
B11 × R3	6,384	0,644	7,55*	1,39	0,208	2,79
B11 × R8	6,264	0,524	11,17**	0,62	0,750	80,58
B21 × R7	6,330	0,590	2,03	4,68**	1,826	68,61
Stand. Chagall	6,143	0,403	6,30*	5,26**	0,197	5,32

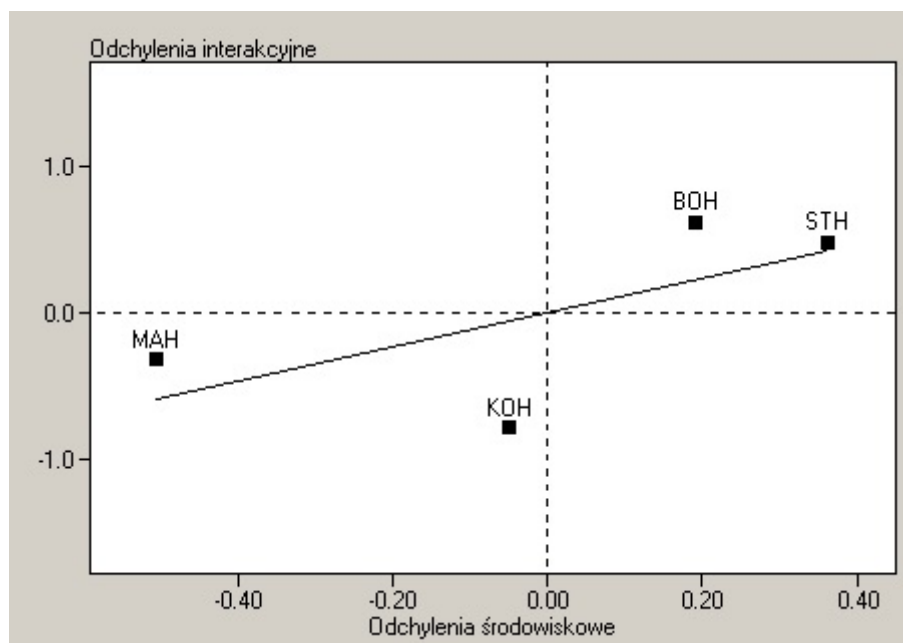
* Istotność na poziomie $p = 0,10$

* Significance at the level 0.10

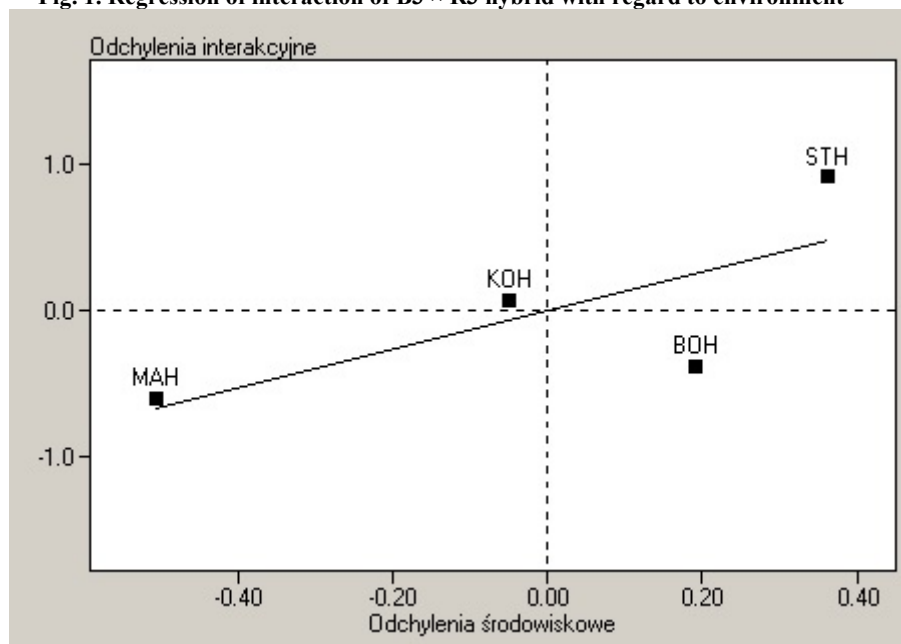
** Istotność na poziomie $p = 0,05$

** Significance at the level 0.05

Cenne mogą być także mieszańce niestabilne o wysokiej i istotnej interakcji z miejscowościami, którą to interakcję można wyjaśnić za pomocą regresji ich efektów interakcyjnych względem tych miejscowości. Są to przede wszystkim mieszańce B3 × R3 i B21 × R7 o dodatnich współczynnikach regresji (wynoszących odpowiednio 1,372 i 1,826) i wysokim współczynnikiem determinacji (wynoszącym 65,89%, i 68,61%). Dodatnie współczynniki regresji tych mieszańców względem średnich plonów w miejscowościach (rys. 1, 2) wskazują na intensywny charakter ich interakcji z tymi miejscowościami.

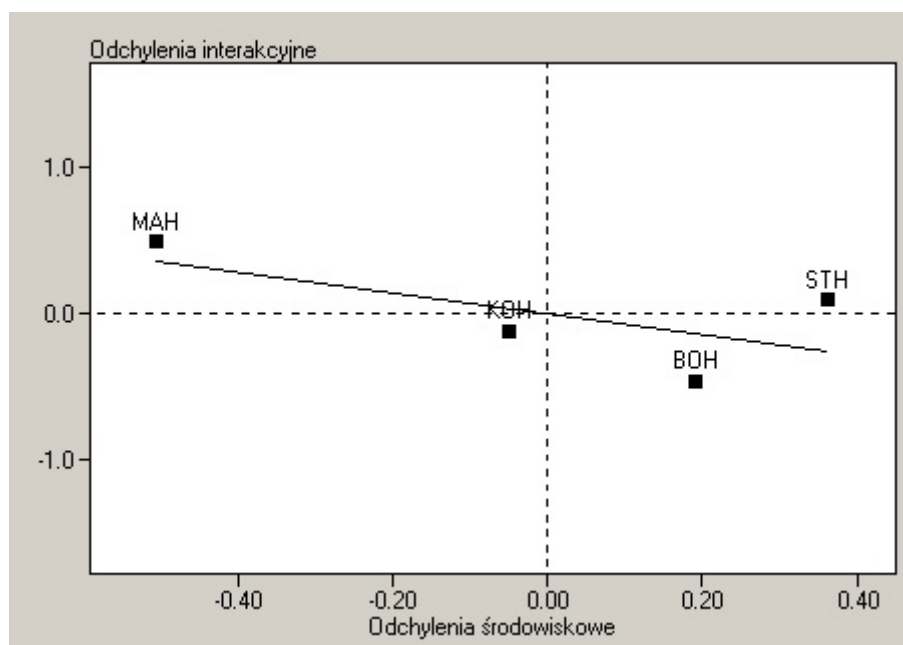


Rys. 1. Regresja efektów interakcyjnych mieszańca B3 × R3 względem środowiska
Fig. 1. Regression of interaction of B3 × R3 hybrid with regard to environment



Rys. 2. Regresja efektów interakcyjnych mieszańca B21 × R7 względem środowiska
Fig. 2. Regression of interaction of B21 × R7 hybrid with regard to environment

Oznacza to, że mieszańce te szczególnie dobrze plonują w miejscowościach o przeciętnie bardziej korzystnych warunkach glebowo-klimatycznych. Zgoła odmienną wrażliwością na warunki środowiskowe odznacza się mieszańiec B5 × R5 o ujemnym współczynniku Regresji i współczynniku determinacji wynoszącym 67,72%). Może on być uznany jako mieszańiec ekstensywny, plonujący szczególnie dobrze w miejscowościach średnio mniej sprzyjających uzyskiwaniu wysokich plonów (rys. 3).



Rys. 3. Regresja efektów interakcyjnych mieszańca B5 × R5 względem środowiska
Fig. 3. Regression of interaction of B5 × R5 hybrid with regard to environment

Warto zauważyć, że wśród wymienionych w tabeli 2 mieszańców, plon jedynie dwóch (B8 × R3) i B2 × R8) wynoszący odpowiednio 6,314 i 7,116) okazał się istotnie wyższy od średniego plonu wzorca „lepszego”, czyli plonu odmiany Chagall wynoszącego 6,143.

Ocena zdolności kombinacyjnej (efektów głównych) linii MS i restorerów na podstawie plonu mieszańców otrzymanych w wyniku niekompletnego schematu krzyżowania linia × tester

W tabeli 1 dokonano zestawienia wykonanych krzyżowań 21 linii męskosterylnych z 10 restorerami. Podano także w niej liczby mieszańców uzyskanych przez poszczególne linie MS oraz liczby mieszańców otrzymanych przez restorery. Obserwacje plonu mieszańców danej linii MS mogą być wykorzystane do oceny jej efektu głównego, czyli oceny ogólnej zdolności kombinacyjnej tej linii. Oceny efektów zdolności kombinacyjnej wszystkich linii matecznych podane są w tabeli 3. Podane są także wartości statystyki F dla efektów głównych linii z zaznaczeniem ich istotności oraz wartości statystyki F dla interakcji efektów głównych linii z miejscowościami. Wśród linii MS o wysokich

dotadnich i istotnych wartościach efektów głównych wyróżnić można przede wszystkim linie B2, B5, B10, i B14. Mimo, iż oceny dwu ostatnich są wyraźnie niższe od dwu pierwszych linii to dzięki ich niewielkiej interakcji ze środowiskiem są one również istotne. Natomiast linia B21 odznaczająca się najwyższą oceną efektów głównych spośród wszystkich linii MS, z uwagi na jej istotną interakcję z miejscowościami nie została uznana jako linia posiadająca istotną ocenę efektu głównego. Dodatni współczynnik regresji posiadają także linie B2 i B5 o najwyższych średnich efektach zdolności kombinacyjnej. Oceny efektów głównych tych linii są wyższe w miejscowościach STH i BOH, czyli w środowiskach bardziej sprzyjających uzyskiwaniu wysokich plonów.

Tabela 3

Testowanie zdolności kombinacyjnej (efektu głównego) linii MS i ich interakcji ze środowiskami
Testing the combining ability (main effect) of MS lines and their interaction with environments

Linia MS MS line	Ocena efektu głównego Estimate of main effect	Statystyka F F- statistic for		Współczynnik Coefficient of	
		efektu głównego main effect	interakcji interaction	regresji regression	determinacji (%) determination (%)
B1	-0,188	12,26**	0,22	-0,221	60,30
B2	0,422	9,84*	1,55	0,468	43,14
B3	-0,079	4,95	0,08	-0,130	47,64
B4	-0,127	0,39	0,95	-0,454	17,97
B5	0,471	25,40**	0,82	0,342	47,69
B6	0,151	1,92	0,49	-0,012	0,05
B7	-0,089	2,44	0,25	-0,270	79,78
B8	0,004	0,00	0,68	-0,082	3,30
B9	-0,095	0,42	1,57	-0,695	78,59
B10	0,274	9,40*	0,50	0,371	61,16
B11	0,107	1,54	0,64	-0,311	45,80
B12	0,007	0,00	0,30	-0,688	65,87
B13	-0,132	4,95	0,16	0,219	48,73
B14	0,180	6,13*	0,11	0,034	0,77
B15	-0,233	4,93	0,60	-0,152	7,49
B16	0,010	0,00	0,89	1,004**	92,70*
B17	-0,508	10,03*	0,59	-0,720	71,55
B18	-0,184	0,74	1,06	0,529	21,69
B19	-0,507	6,28 *	0,48	-0,990*	85,04
B20	-0,190	2,35	0,36	0,353	28,87
B21	0,521	3,04	2,18*	1,381	75,78

* Istotność na poziomie $p = 0,10$

* Significance at the level 0.10

** Istotność na poziomie $p = 0,05$

** Significance at the level 0.05

Średnie oceny efektów głównych restorerów wyznaczone na podstawie plonu mieszańców każdego z nich (liczba obserwacji dla restorerów, poza czterema (R9, R10, R6 i R7) była wysoka i wynosiła od 10 do 13) zostały podane w tabeli 4, natomiast oceny efektów głównych i proste regresji efektów interakcyjnych restorerów względem miejscowości przedstawiono na rysunku 4.

Tabela 4

Testowanie zdolności kombinacyjnej (efektu głównego) restorerów i ich interakcji ze środowiskami
Testing the combining ability (main effect) of restorers and their interaction with environments

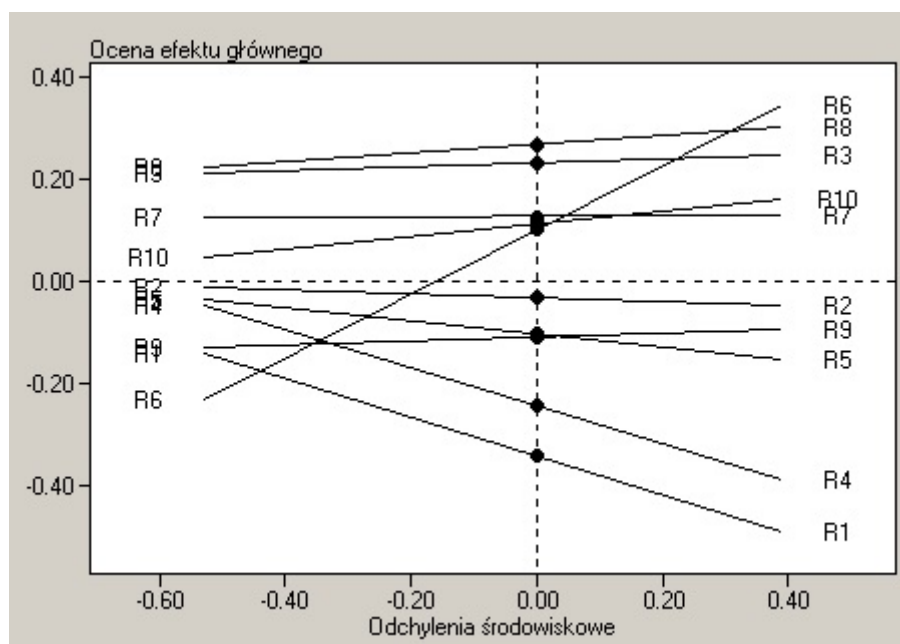
Restorer Restorer	Ocena efektu głównego Estimate of main effect	Statystyka F F- statistic for		Współczynnik Coefficient of	
		efektu głównego main effect	interakcji interaction	regresji regression	determinacji (%) determination (%)
R1	-0,341	6,22**	2,68**	-0,390	32,22
R2	-0,038	0,31	0,69	-0,051	2,25
R3	0,237	9,15*	0,67	0,052	1,72
R4	-0,261	9,78*	0,90	-0,374	79,91
R5	-0,112	11,51**	0,14	-0,124	55,82
R6	0,095	0,64	0,97	0,574**	92,58
R7	0,122	3,80	0,39	0,006	0,04
R8	0,255	22,78**	0,43	0,072	7,23
R9	-0,119	0,57	1,48	0,061	0,60
R10	0,116	0,55	1,56	0,081	1,08

* Istotność na poziomie $p = 0,10$

* Significance at the level 0.10

** Istotność na poziomie $p = 0,05$

** Significance at the level 0.05

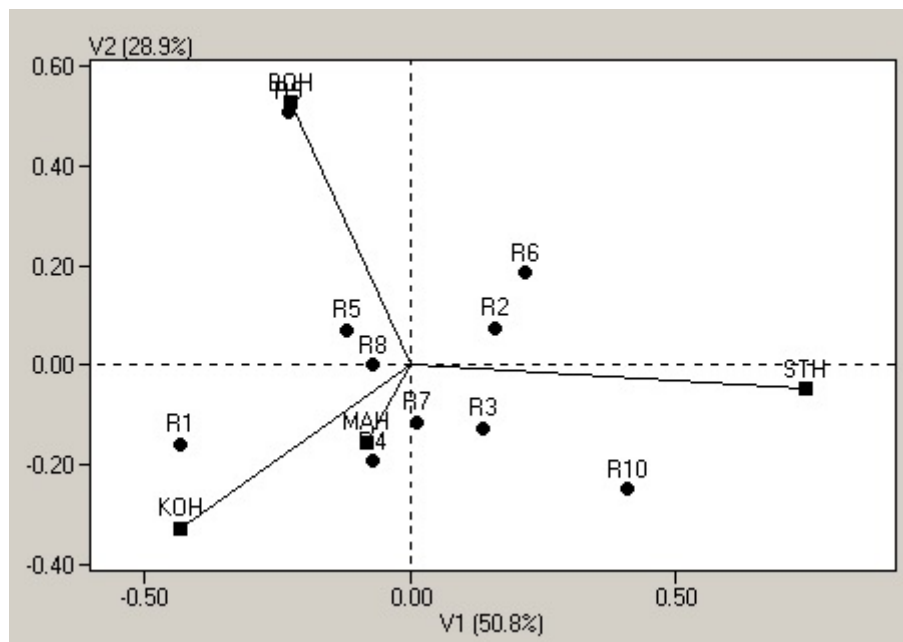


Rys. 4. Regresja efektów interakcji zdolności kombinacyjnych restorerów względem środowiska
Fig. 4. Regression of interaction effects of restorers combining ability with regard to environment

Zwracają uwagę przede wszystkim restorery R3 i R8 o istotnych efektach zdolności kombinacyjnej i niskiej nieistotnej interakcji ze środowiskiem. Dodatni efekt główny posiadają także restorery R7 i R10. Restorer R6 o dodatniej średniej ocenie efektu

głównego i wysokim dodatnim współczynnikiem regresji wskazuje w jakich lokalizacjach jego mieszańce uzyskały najwyższe plony.

Badanie struktury interakcji restorerów z miejscowościami może być dodatkowo zaprezentowane poprzez skonfrontowanie graficznego przedstawienia miejscowości z graficznym przedstawieniem restorerów, dokonane za pomocą biplotu (rys. 5).



Rys. 5. Prezentacja środowisk i efektów zdolności kombinacyjnych restorerów w układzie składowych głównych

Fig. 5. Simultaneous presentation of environments and combining ability effects of restorers in the principal component space

Rzutuując punkty reprezentujące restorery na półproste wyznaczone przez wektory reprezentujące środowiska można dla każdego z tych ostatnich znaleźć restorery wykazujące najwyższą z nimi interakcję dodatnią. Dotyczy to w szczególności środowisk STH, BOH i KOH, które mają największy udział w interakcji restorery $\times$ środowiska. Ze środowiskiem STH o najwyższej interakcji GE koresponduje wyraźnie restorer R10, a także wyróżnione wcześniej restorery R6 i R3 oraz restorer R2. Ze środowiskiem BOH koresponduje najbardziej restorer R9 i w mniejszym stopniu restorery R5 i R8. Natomiast ze środowiskiem KOH koresponduje wyraźnie restorer R1.

DYSKUSJA I PODSUMOWANIE

Wyniki obliczeń serii doświadczeń jednopowtórzeniowych z mieszańcami i wzorcami rzepaku ozimego oparte na ogólnej teorii układów o blokach niekompletnych i przeprowadzone za pomocą programu komputerowego SERGEN mogą dostarczyć

wielu informacji, dotyczących zarówno mieszańców jak i ich form rodzicielskich, czyli linii męskosterylnych i restorerów. Pozwalają w szczególności wyróżnić linie mateczne MS, których ocena efektów zdolności kombinacyjnej była dodatnia i istotna, co wskazuje na predyspozycje tych linii w uzyskiwaniu mieszańców o wyższej plenności. Równie ważne jest wyodrębnienie restorerów, których mieszańce otrzymane w wyniku skrzyżowania z liniami MS odznaczały się wysokim plonem i dużą stabilnością. Można więc z pewnym przekonaniem mieć nadzieję, że rezultaty analiz statystycznych dotyczące oceny zdolności kombinacyjnych form rodzicielskich, otrzymane, na podstawie oceny mieszańców uzyskanych w wyniku niekompletnego schematu krzyżowania linia $\times$ tester, mogą być pomocne w dalszych pracach hodowlanych.

LITERATURA

- Bujak H., Tratwal G. 2011. Ocena stabilności plonowania odmian pszenicy ozimej na podstawie doświadczeń porejestrowych w Polsce. Biul. IHAR 260/261: 69 — 80.
- Caliński T., Czajka S., Kaczmarek Z. 1980. Analiza jednorocznej serii ortogonalnej doświadczeń odmianowych ze szczególnym uwzględnieniem interakcji odmianowo-środowiskowej. I. Analiza ogólna. Biul. Oceny Odmian 12: 67 — 81.
- Caliński T., Czajka S., Kaczmarek Z. 1983. Analiza jednorocznej serii ortogonalnej doświadczeń odmianowych ze szczególnym uwzględnieniem interakcji odmianowo-środowiskowej. I. Analiza szczegółowa. Biul. Oceny Odmian 12: 67 — 81.
- Caliński T., Czajka S., Denis J. B., Kaczmarek Z. 1992. EM and ALS algorithms applied to estimation of missing in series of variety trials. Biul. Oceny Odmian 24 — 25: 7 — 31.
- Caliński T., Czajka S., Kaczmarek Z., Krajewski P., Siatkowski I. 1998. Statistical methodology and usage of the program SERGEN (Version 3 for Windows 95) — Analysis of series of plant genetic and breeding experiments. IGR PAN, Poznań: 1 — 42.
- Ceranka B., Chudzik H. 1977. Doświadczenia jednopowtórzeniowe z wzorcem. VII Colloquium Metodologiczne z Agrobiometrii. PAN Warszawa: 318 — 331.
- Iwańska M., Mądry W., Drzazga T., Rajfura A. 2008. Zastosowanie miar statystycznych do oceny stopnia szerokiej adaptacji odmian pszenicy ozimej na podstawie serii doświadczeń przedrejestrowych. Biul. IHAR 250: 67 — 86.
- Kaczmarek Z. 1986. Analiza doświadczeń wielokrotnych zakładanych w blokach niekompletnych. Roczniki AR w Poznaniu, Rozprawy Naukowe, zesz. 185.
- Kaczmarek Z., Krajewski P. 1996. Multivariate evaluation of parental forms on the basis of incomplete crossing systems. J. Genet. Breed. 50: 74 — 81.
- Krajewski P., Kaczmarek Z., Czajka S. 2006. Plonowanie i analiza statystyczna doświadczeń hodowlanych. EKSPPLAN, IGR PAN, Poznań.
- Mądry W., Rajfura A. 2003. Analiza statystyczna miar stabilności na podstawie danych w klasyfikacji genotypy $\times$ środowiska. Część I. Model mieszany Scheffego-Calińskiego i modle regresji bocznej. Coll. Biom. 33: 181 — 206.
- Mądry W., Talbot M., Ukalski K., Drzazga T., Iwańska M. 2006. Podstawy teoretyczne znaczenia efektów genotypowych i interakcyjnych w hodowli roślin na przykładzie pszenicy ozimej. Biul. IHAR 240/241: 13 — 21.
- Mądry W., Mańkowski D. R., Kaczmarek Z., Krajewski P., Studnicki M. 2010. Metody statystyczne oparte na modelach liniowych w zastosowaniach do doświadczalnictwa, genetyki i hodowli roślin. Monografie i Rozprawy Naukowe IHAR 34/2010: 13 — 163.
- Mądry W., Iwańska M. 2011 a. Ilościowe miary szerokiej adaptacji odmian ich zastosowanie w doświadczeniach wstępnych z pszenicą ozimą. Biul. IHAR 260: 81 — 95.
- Mądry W., Iwańska M. 2011 b. Przydatność metod oraz miar statystycznych do oceny stabilności i adaptacji odmian: przegląd literatury. Biul. IHAR 260: 193 — 218.

Woś H., Adamska E., Kaczmarek Z. 2010. Metody statystyczne dla oceny mieszańców i ich linii rodzicielskich na podstawie serii doświadczeń jednopowtórzeniowych z wzorcami. Rośliny Oleiste — Oilseed Crops XXXI: 243 — 256.

JANUSZ ROGACKI

Hodowla Roślin Smolice Sp. z o.o. Grupa IHAR — PIB

Ocena wartości hodowlanej wybranych linii wsobnych kukurydzy (*Zea mays* L.)*

Assessment of breeding value of selected inbred lines of maize (*Zea mays* L.)

Celem pracy była ocena wartości hodowlanej 10 linii wsobnych o ziarnie zęboksztalnym (dent) i 7 linii o ziarnie szklistym (flint) kukurydzy na podstawie plonowania 70 mieszańców eksperymentalnych powstałych w wyniku czynnikowego układu krzyżowania „dent × flint”. Materiał badawczy stanowiły linie wykorzystywane w programie hodowlanym przed 40. laty i obecnie. Poza linią F₂, którą wyhodowano w INRA we Francji, pozostałe linie zostały wyhodowane w Smolicach. Przeprowadzono dwie oddzielne serie doświadczeń porównawczych: dla 70 mieszańców eksperymentalnych oraz dla 17 rodzicielskich linii wsobnych w dwóch sezonach wegetacyjnych 2005 i 2006 oraz trzech miejscowościach. Wykazano, że elitarne linie sprzed 40. lat okazały się nieprzydatne do bezpośredniego wykorzystania w obecnie prowadzonym programie hodowli mieszańcowej kukurydzy. Wartości *per se* linii nie są wystarczające do prognozowania wartości cech ilościowych ich potomstwa mieszańcowego. Najwyższą ocenę wartości hodowlanej, mierzoną ogólną zdolnością kombinacyjną, plennością samej linii i jej wczesnością *per se*, uzyskała linia o ziarnie szklistym S61328. Uzyskany postęp genetyczny elitarnych linii wsobnych tworzących formuły mieszańców rejestrowanych przez Smolice w latach 1971–2006 wyniósł 59,4 kg/rok.

Słowa kluczowe: heterozja, linie wsobne, plon mieszańców, postęp hodowlany, *Zea mays* L.

The main objective of the present study was to evaluate the breeding value of 17 (10 dent and 7 flint) inbred lines of maize based on yield performance of 70 hybrids produced according to North Carolina II design “dent × flint”. Material consisted of lines used in a breeding program 40 years ago and nowadays. Except the line F₂, which have been developed in the INRA in France, other lines have been bred in Smolice. Two separate series of comparative trials were carried out: for 70 experimental hybrids and the 17 parental inbred lines in two growing seasons (2005; 2006), and three locations. It has been shown that 40-year-old elite lines have proved to be unsuitable for direct use in the currently run maize breeding program. The values *per se* of inbred lines are not sufficient to predict the value of quantitative traits of their hybrid offspring. The flint line S61328 obtained the highest score of breeding value, measured by general combining ability, grain yield of the line itself and its earliness *per se*. The breeding progress of elite inbred lines used in formulas of Smolice’s hybrid varieties registered between 1971–2006 has been estimated on 59.4 kg/year.

* Przedstawiony artykuł jest skróconą wersją mojej rozprawy doktorskiej pod tym samym tytułem (promotor prof. dr hab. Józef Adamczyk), obronionej przed Radą Naukową IHAR 15. grudnia 2008 r w Radzikowie.

Redaktor prowadzący: Henryk J. Czembor

Key words: breeding progress, heterosis, hybrids yield, inbred lines, *Zea mays* L.

WSTĘP

Kukurydza uprawna (*Zea mays* L.) jest jedną z najwcześniej udomowionych roślin przez człowieka (Matsuoka i in., 2002). Z biegiem lat kukurydza dokonała „podboju” pól uprawnych całego Świata, stając się obok ryżu i pszenicy najważniejszym gospodarczo gatunkiem zbóż.

Na wartość hodowlaną linii wsobnych kukurydzy wpływa wiele czynników. Ocenę wartości hodowlanej linii rodzicielskich uzyskuje się przede wszystkim na podstawie potomstwa, czyli mieszańców F₁. Jednak dobry wynik wartości gospodarczej uzyskanych mieszańców to nie jedyny wyznacznik wartości hodowlanej linii wsobnych, aczkolwiek najważniejszy dla konsumenta, czyli rolnika uprawiającego odmiany mieszańcowe kukurydzy.

Drugi wyznacznik ważny dla zarządu firmy to dochodowość prowadzonej działalności hodowlano-nasiennej. Linie mateczne są źródłem nasion odmian mieszańcowych, których produkcja zależnie od sukcesu komercyjnego odmiany odbywa się na dziesiątkach, setkach lub tysiącach hektarów. Wysokość plonu matecznych linii wsobnych, jego jakość oraz tolerancja na stresy środowiskowe decydują o wynikach finansowych całego procesu hodowli mieszańców liniowych.

Trzeci punkt widzenia — hodowcy (autora), który decyduje o dalszych losach wyprowadzonych linii wsobnych jest nakierowany na przyszłość. Równolegle z sukcesem określonej linii jako składnika rodzicielskiego odmiany mieszańcowej o dużym udziale w repartycji, rozpoczynają się prace hodowlane zmierzające do wytworzenia nowych, ulepszonych linii kolejnej generacji.

Hodowla roślin w ogóle, a linii wsobnych i tworzonych z nich odmian mieszańcowych w szczególności, jest procesem ciągłym, wykorzystującym efekty prac wielu poprzednich pokoleń hodowców (Adameczyk i in., 2003; Królikowski i in., 1994). Dotyczy to zarówno przekazanego materiału genetycznego jak i metod hodowli. W ciągu ostatnich dziesięcioleci dokonał się olbrzymi postęp w obydwu tych dziedzinach. Dlatego kolejnym aspektem uwzględnionym w pracy było porównanie linii wsobnych, będących w użyciu na przełomie lat 60. i 70. XX wieku oraz linii wykorzystywanych aktualnie w smolickiej hodowli. Materiał badawczy poddano analizie genotypowo-środowiskowej oraz genetycznej w celu sprawdzenia, czy trendy zachodzące w hodowlach kukurydzy z krajów zachodnich korespondują ze zmianami obserwowanymi w smoliczym programie hodowlanym.

Celem pracy była ocena wartości hodowlanej wybranych linii wsobnych kukurydzy wykorzystywanych w programie hodowli odmian mieszańcowych w Smolicach przed 40. laty i obecnie. Podjęto również próbę oceny uzyskanego postępu hodowlanego i odpowiedzi na pytanie o przydatność najstarszych linii wsobnych w obecnie realizowanym programie hodowlanym.

MATERIAŁ I METODY

Materiał badawczy

Materiał badawczy do analizy serii doświadczeń wielokrotnych stanowiło 10 linii wsobnych kukurydzy o ziarnie zęboksztalnym (dent), 7 linii o ziarnie szklistym (flint) — (tab. 1), oraz 70 mieszańców eksperymentalnych powstałych z przekrzyżowania linii zęboksztalnych ze szklistymi. Poza linią F₂, którą wyhodowano w INRA we Francji, pozostałe linie zostały wyhodowane w Smolicach.

Tabela 1

Typ ziarna, przynależność do grupy pochodzeniowej oraz rok wyhodowania linii wsobnych
Grain type, heterotic group and the year of development of inbred lines

L.p. No.	Linia wsobna Inbred line	Typ ziarna Grain type	Grupa pochodzeniowa Heterotic group	Rok wyhodowania linii ¹ Year of development	Przykłady odmian zawierających linię wsobną The example of varieties that include inbred line
1	S72	Dent	nieznana (miesz. FUNK 72-75)	1965	IHAR 280, IHAR 262, Smolicki TC278, Tandem
2	S245	Dent	Idt ² , SSS ³	1988	Avia, Tenet, Wiarus, San, Glejt, Baca, Junak, Bułat
3	S41796	Dent	Idt	1996	Blask
4	S68911	Dent	Idt, SSS	2001	Smok
5	S63322-3	Dent	SSS, (Idt)	2001	Kozak
6	S63322-1	Dent	SSS, (Idt)	2002	
7	S67816	Dent	SSS, (Idt)	2001	
8	S63775	Dent	Idt, SSS, 354	2003	
9	S63963	Dent	354, SSS, (Idt)	2003	
10	S72846A-2	Dent	SSS, (Idt)	2004	
11	F ₂	Flint	F ₂ (populacja Lacaune)	1955	Tandem, Ruten, Deka, Melba
12	S14	Flint	nieznana (popul. Wielkopolska)	1964	IHAR 262
13	S41324A-2	Flint	F ₂ , EP1	1995	Fido, Wiarus, Prosna, San, Cedro, Bzura, Reduta
14	S61328	Flint	F ₂ , EP1	2001	Opoka, Smok, Kozak, Tur, Bielik, SMH 220, Bejm
15	S66191	Flint	F ₂ , EP1	2002	
16	S64673	Flint	F ₂ , EP1	2003	
17	S56601-2	Flint	F ₂ , CM7, EP1, Lancaster	2003	

¹ — Za rok wyhodowania linii przyjęto ten, w którym weszła ona pierwszy raz do formuły odmiany mieszańcowej badanej w doświadczeniach wstępnych, zwykle po 8-10 pokoleniach chowu wsobnego / Year of the development of inbred line is the year, in which the line entered the preliminary trials in the formula of experimental hybrid, usually after 8-10 years of self-pollination

² — Idt = Iowa Dent

³ — SSS = Stiff Stalk Synthetic

Wśród testowanych 70 mieszańców eksperymentalnych, znalazły się 3 odmiany mieszańcowe wpisane do Krajowego Rejestru:

— Blask nr 17 (S41796*S41324A-2) — liczba FAO 240 – 250, zarejestrowana w 2002 r.

— Smok nr 25 (S68911*S61328) — liczba FAO – 230, zarejestrowana w 2006 r.

— Kozak nr 32 (S63322-3*S61328) — liczba FAO – 250, zarejestrowana w 2006 r.

Metody badań

Przeprowadzono dwie oddzielne serie doświadczeń porównawczych: dla 70 mieszańców eksperymentalnych oraz dla 17 rodzicielskich linii wsobnych w dwóch sezonach wegetacyjnych 2005 i 2006 w następujących miejscowościach:

- Dłóń, woj. wielkopolskie, powiat rawicki, gmina Miejska Górka,
- Kobierzyce, woj. dolnośląskie, powiat wrocławski, gmina Kobierzyce,
- Łagiewniki, woj. wielkopolskie, powiat krotoszyński, gmina Kobylin.

Doświadczenia polowe założono metodą bloków kompletnych w trzech powtórzeniach na poletkach dwurzędkowych o powierzchni 5,0 m². Uzyskano stałą dla wszystkich obiektów obsadę w Dłoni i Łagiewnikach wynoszącą 8,0 roślin/m², a w Kobierzycach 7,2 rośliny/m². Obserwacje i pomiary wykonane w okresie wegetacji dla doświadczeń z mieszańcami i liniami rodzicielskimi, wchodziły w skład standardowych obserwacji dla doświadczeń ziarnowych kukurydzy.

Spójny układ miejscowości i lat umożliwił analizę statystyczną dla cech, korzystając z metodyki i programu statystycznego SERGEN 3 opracowanego w Instytucie Genetyki Roślin PAN w Poznaniu (Caliński i in., 1998). Dodatkowo korzystano z programu do planowania i analizy statystycznej doświadczeń hodowlanych EKSPLAN wersja 2 (Krajewski i in., 2006).

Przeprowadzono wieloczynnikową analizę wariancji oraz oceny efektu głównego dla plonu ziarna przy 15% zawartości wody (t/ha) oraz zawartości suchej masy w ziarnie w czasie zbioru (%).

WYNIKI

Doświadczenia z mieszańcami

W tabeli 2 przedstawiono wartości średnie analizowanych cech dla 28 spośród 70 mieszańców o istotnych odchyleniach od średniej ogólnej dla plonu ziarna wynoszącej 11,58 t/ha. Najwyższy plon — 13,60 t/ha uzyskał obiekt nr 32 (odmiana mieszańcowa Kozak) a najniższy — 8,64 t/ha, obiekt nr 1 (mieszaniec eksperymentalny S72*F₂).

Tabela 2

Wartości średnie analizowanych cech dla odmian mieszańcowych oraz mieszańców eksperymentalnych o istotnych odchyleniach od średniej ogólnej dla plonu ziarna
Mean values of analyzed traits for maize hybrids that have statistically significant effects for grain yield

Nr ob. No of entry.	Mieszaniec Hybrid	Plon ziarna (t/ha) Yield grain (t/ha)	Zaw. suchej masy w ziarnie (%) Dry matter content (%)
1	2	3	4
32	S63322-3*S61328 (KOZAK)	13,60	70,35
39	S63322*S61328	13,40	72,89
33	S63322-3*S66191	13,28	68,43
11	S245*S61328	13,05	71,94
25	S68911*S61328 (SMOK)	12,90	73,88
31	S63322-3*S41324A-2	12,87	72,25
12	S245*S66191	12,51	70,47
53	S63775*S61328	12,46	71,81

c. d. Tabela 2

1	2	3	4
17	S41796*S41324A-2 (BLASK)	12,34	71,46
10	S245*S41324A-2	12,21	72,63
13	S245*S64673	12,04	71,68
43	S67816*F2	11,07	71,74
44	S67816*S14	11,04	72,01
29	S63322-3*F2	10,84	70,97
65	S72846A-2*S14	10,72	70,89
36	S63322*F2	10,61	73,54
8	S245*F2	10,44	71,02
30	S63322-3*S14	10,43	70,52
58	S63963*S14	10,40	73,21
15	S41796*F2	10,33	72,95
7	S72*S56601-2	10,23	69,47
4	S72*S61328	10,21	71,86
50	S63775*F2	10,11	70,69
51	S63775*S14	10,03	71,06
64	S72846A-2*F2	9,71	74,55
6	S72*S64673	9,61	70,30
2	S72*S14	9,19	71,10
1	S72*F2	8,64	72,40
Średnia — Mean		11,58	71,49
NIR — LSD		0,96	1,45
NIR% — LSD%		8,30%	2,03%

Tabela 3

Średnie kwadraty zmienności zdolności kombinacyjnej linii dla plonu ziarna i zawartości suchej masy w ziarnie

Mean squares of combining ability of inbred lines for grain yield and dry matter content in grain

Źródło zmienności Source of variation		Liczba stopni swobody Degrees of freedom	Średni kwadrat — Mean square	
			plon ziarna grain yield	zawartość suchej masy w ziarnie dry matter content
Lata (T) — Years		1	169,79	0,01
Miejscowości (P) — Locations		2	27,77	407,66
Środowiska (E) — Environments		2	60,97**	33,26**
GCA — Linie materiałowe	Ogólna zdolność kombinacyjna (GCA) General combining ability (GCA)	9	2,25**	3,83**
	Interakcja GCA × środowiska GCA × environment interaction	18	0,11**	0,15**
GCA — Linie rodzicielskie	Ogólna zdolność kombinacyjna (GCA) General combining ability (GCA)	6	4,71**	6,27**
	Interakcja GCA × środowiska GCA × environment interaction	12	0,15**	0,32**
SCA	Swoista zdolność kombinacyjna (SCA) Specific combining ability (SCA)	54	0,89**	4,25**
	Interakcja SCA × środowiska SCA × environment interaction	108	0,37**	0,45**
Błąd — Error		828	0,15	0,13

*, ** — Istotność na poziomie $\alpha = 0,05$ lub $\alpha = 0,01$, odpowiednio

*, ** — Significant at the level $\alpha = 0.05$ or $\alpha = 0.01$, respectively

Seria doświadczeń z mieszańcami dostarczyła danych empirycznych do wyliczenia efektów zdolności kombinacyjnej linii rodzicielskich. W tabeli 3 przedstawiono średnie kwadraty z łącznej analizy wariancji zdolności kombinacyjnej linii dla plonu ziarna i zawartości suchej masy w ziarnie. Wartości statystyki F wykazały istotnie różne od zera efekty ogólnej zdolności kombinacyjnej dla linii matecznych i ojcowskich jak i swoistej zdolności kombinacyjnej dla obydwu omawianych cech.

Analiza interakcji środowiskowych zdolności kombinacyjnej linii rodzicielskich dla plonu ziarna pozwoliła stwierdzić, że ogólna zdolność kombinacyjna dla linii matecznych i ojcowskich wykazała istotną interakcję ze środowiskami na poziomie 0,01. Swoista zdolność kombinacyjna wykazała istotną interakcję ze środowiskiem na poziomie 0,01.

Ze szczegółowej analizy ogólnej zdolności kombinacyjnej dla plonu ziarna (tab. 4) widać wyraźnie, że najstarsze linie biorące udział w doświadczeniu (S72, F₂ i S14) wykazały największe ujemne wartości efektu głównego (obliczonego jako średnia mieszańców F₁ powstałych ze skrzyżowania tej linii z innymi). Statystycznie istotne na poziomie $\alpha = 0,05$ oceny efektu głównego dla linii matecznych, oprócz wspomnianej S72, uzyskały jeszcze linie S245, S68911 i S63322-3, dla których były to wartości dodatnie.

Tabela 4

Testowanie efektów ogólnej zdolności kombinacyjnej (GCA) linii wsobnych i jej interakcji ze środowiskami dla plonu ziarna i zawartości suchej masy w ziarnie
Effects of general combining ability (GCA) of inbred lines and their interaction with environments for grain yield and dry matter content

Linie: Lines:	Plon ziarna Grain yield			Zawartość suchej masy w ziarnie Dry matter content		
	ocena efektu głównego main effect estimation	stat. F dla efektu głównego stat. F for main effect	stat. F dla interakcji stat. F for interaction	ocena efektu głównego main effect estimation	stat. F dla efektu głównego stat. F for main effect	stat. F dla interakcji stat. F for interaction
1.♀ S72	-1,67	84,82*	10,28**	-0,22	4,33	3,88*
2.♀ S245	0,33	22,98*	1,46	-0,13	0,30	18,95**
3.♀ S41796	0,15	9,75	0,71	-0,20	26,03*	0,54
4.♀ S68911	0,28	55,64*	0,45	1,56	112,21**	7,69**
5.♀ S63322-3	0,44	70,03*	0,87	-1,14	864,76**	0,53
6.♀ S63322	0,36	6,16	6,75**	1,11	135,73**	3,19*
7.♀ S67816	0,22	1,88	8,27**	0,22	4,36	3,89*
8.♀ S63775	-0,11	12,83	0,31	-0,55	3,38	31,44**
9.♀ S63963	0,02	0,02	7,25**	-0,09	1,15	2,37
10.♀ S72846A-2	-0,03	0,02	15,45**	-0,57	20,33*	5,66**
11.♂ F2	-1,30	399,92**	1,99	0,89	36,68*	11,48**
12.♂ S14	-1,03	1203,55**	0,41	0,41	5,08	17,44**
13.♂ S41324A-2	0,42	7,87	10,50**	1,27	81,67*	10,49**
14.♂ S61328	1,00	753,48**	0,63	0,24	3,85	7,80**
15.♂ S66191	0,89	7,41	50,40**	-1,63	29,17*	48,26**
16.♂ S64673	0,06	0,53	2,80	-0,22	0,66	38,56**
17.♂ S56601-2	-0,04	0,16	4,78**	-0,96	13,24	36,89**
Wartość krytyczna $\alpha = 0,05$ Critical value at $\alpha = 0.05$		18,51	3,01		18,51	3,01
Wartość krytyczna $\alpha = 0,01$ Critical value at $\alpha = 0.01$		98,50	4,63		98,50	4,63

Wśród linii ojcowskich istotnymi odchyleniami, i to na poziomie $\alpha = 0,01$, charakteryzowały się 2 stare linie F₂ i S14 (wartości ujemne) oraz S61328 (najwyższa wartość dodatnia). Efekty GCA 8 linii wykazały istotną, silną interakcję ze środowiskiem na poziomie istotności $\alpha = 0,01$. Były to linie: S72, S63322, S67816, S63963, S72846A-2, S41324A-2, S66191 i S56601-2. Dla pozostałych linii nie wykazano statystycznie istotnej interakcji środowiskowej dla ogólnej zdolności kombinacyjnej.

Rozpatrując ogólną zdolność kombinacyjną linii dla zawartości suchej masy w ziarnie widać, że w przeciwieństwie do plonu ziarna, różnice między liniami starymi i obecnie używanymi nie są duże. Spośród 17 linii, 8 uzyskało istotne, co najmniej na poziomie $\alpha = 0,05$, oceny efektu głównego dla GCA (tab. 4). Linie S68911, S41324A-2, S63322 i F2 uzyskały dodatnią ocenę efektu głównego, a S66191, S63322-3, S72846A-2 i S41796 – ocenę ujemną. Na uwagę zasługują siostrzane linie S63322 i S63322-3, których wartości GCA wyniosły odpowiednio 1,11 oraz -1,14. Zdecydowana większość linii wykazała istotną, co najmniej na poziomie $\alpha = 0,05$, interakcję ze środowiskiem dla tej cechy. Wyjątek stanowiły 3 linie: S41796, S63322-3 i S63963.

Testowanie efektów głównych swoistej zdolności kombinacyjnej dla plonu ziarna wykazało, że tylko 6 spośród 70 badanych mieszańców uzyskało efekty główne różne od zera na poziomie istotności co najmniej 0,05. Cztery z nich: 35, 4, 45 i 30 uzyskało ocenę ujemną efektu głównego a dwa: 62 i 32 ocenę dodatnią. Żaden z nich nie wykazał istotnej interakcji, wskazując na stabilność tego efektu genetycznego w poszczególnych środowiskach.

Testowanie efektów głównych swoistej zdolności kombinacyjnej dla zawartości suchej masy w ziarnie wykazało, że 19 mieszańców uzyskało efekty główne różne od zera na poziomie istotności co najmniej 0,05. Efekty główne SCA 8 mieszańców: 64, 5, 58, 38, 48, 31, 13 i 49, uzyskały ocenę dodatnią a 11 pozostałych – ocenę ujemną. Testowanie interakcji SCA ze środowiskiem wykazało, że 25 mieszańców wykazało istotną interakcję. W grupie mieszańców o istotnych efektach głównych dla SCA znalazł się tylko jeden obiekt – nr 69. Dla pozostałych 18 kombinacji krzyżówkowych nie wykazano istotnej interakcji swoistej zdolności kombinacyjnej ze środowiskiem dla zawartości suchej masy w ziarnie, wskazując na stabilność tego efektu genetycznego w poszczególnych środowiskach.

Doświadczenia z liniami rodzicielskimi mieszańców

W tabeli 5 przedstawiono wyniki dla plonu ziarna, z której wynika, że 9 linii wsobnych uzyskało istotne odchylenia od średniej ogólnej wynoszącej 5,07 t/ha. Wśród nich, 6 linii: S63322, S63775, S61328, S63322-3, S67816 oraz S245 uzyskało efekty dodatnie, a 3 linie: S72846A-2, F2 i S14 – efekty ujemne. 13 linii cechowało się istotną interakcją ze środowiskami, natomiast 4 linie: S245, S63322-3, S67816 i S14 wykazały się stabilnością plonowania w testowanych środowiskach.

Z analizy szczegółowej dla zawartości suchej masy w ziarnie wynika, że 9 linii wsobnych uzyskało istotne odchylenia od średniej ogólnej wynoszącej 71,10 % (tab. 5). Wśród nich 3 linie: S61328, S41324A-2 i S64673 – uzyskały efekt dodatni dla efektu głównego, a 6 pozostałych: S63322-3, S41796, S72846A-2, S67816, S245 i S63775 uzyskały efekt ujemny. Z wyjątkiem 4 linii: S61328, S41324A-2, S63775 i S63322-3, które

nie wykazały istotnej interakcji ze środowiskami, pozostałe charakteryzowały się znacznym wpływem warunków glebowo-klimatycznych na zawartość suchej masy w ziarnie podczas zbioru.

Tabela 5

Ocena efektów głównych linii wsobnych oraz testowanie interakcji genotypowo-środowiskowej dla plonu ziarna i zawartości suchej masy w ziarnie
Main effects estimation of inbred lines and their interactions with environments for grain yield and dry matter content

Linie Lines	Plon ziarna Grain yield				Zawartość suchej masy w ziarnie Dry matter content			
	wartość ef. głównego (t/ha) value of main effect (t/ha)	ocena efektu głównego main effect estimation	statystyka F dla efektu głównego statistic F for main effect	stat. F dla interakcji ze środowisk. stat. F for interaction with environmen ts	wartość ef. głównego (%) value of main effect (%)	ocena efektu głównego main effect estimation	statystyka F dla efektu głównego statistic F for main effect	stat. F dla interakcji ze środowisk. stat. F for interaction with environmen ts
1.♀ S72	5,45	0,39	0,45	30,47**	71,49	0,39	1,51	4,59*
2.♀ S245	5,55	0,48	46,52*	0,46	68,26	-2,84	25,36*	14,66**
3.♀ S41796	5,47	0,41	3,29	4,60*	65,62	-5,48	47,89*	29,00**
4.♀ S68911	5,82	0,75	5,94	8,66**	70,48	-0,62	4,07	4,30*
5.♀ S63322-3	5,84	0,77	105,02**	0,52	64,35	-6,75	743,08**	2,83
6.♀ S63322	6,76	1,69	32,06*	8,21**	70,62	-0,48	0,16	69,29**
7.♀ S67816	5,77	0,70	65,29*	0,70	67,77	-3,33	29,52*	17,40**
8.♀ S63775	6,54	1,47	23,57*	8,44**	69,18	-1,92	73,82*	2,32
9.♀ S63963	4,21	-0,86	5,88	11,54**	68,61	-2,49	10,03	28,59**
10.♀ S72846A-2	1,11	-3,96	80,33*	18,03**	66,97	-4,12	164,30**	4,79**
11.♂ F ₂	3,38	-1,69	59,12*	4,47*	73,75	2,65	7,69	42,18**
12.♂ S14	4,27	-0,80	42,92*	1,36	74,89	3,79	9,72	68,29**
13.♂ S41324A-2	5,37	0,30	1,09	7,58**	77,51	6,41	834,74**	2,27
14.♂ S61328	6,29	1,23	23,75*	5,83**	78,23	7,13	3722,12**	0,63
15.♂ S66191	4,09	-0,98	2,71	32,87**	73,23	2,13	8,04	26,13**
16.♂ S64673	4,43	-0,64	10,48	3,56*	74,97	3,87	19,42*	35,64**
17.♂ S56601-2	5,82	0,75	15,22	3,40*	72,77	1,67	11,22	11,52**
Wartość krytyczna 0,05 Critical value at $\alpha = 0.05$			18,51	3,04			18,51	3,04
Wartość krytyczna 0,01 Critical value at $\alpha = 0.01$			98,50	4,72			98,50	4,72

Analiza efektów heterozji

Tabela 6 przedstawia efekty heterozji mieszańców względem średniej wartości rodziców dla plonu ziarna a także procentową wartość heterozji w plonie mieszańca. Heterozja *per se*, rozumiana jako różnica plonu mieszańca i średniej obojga rodziców była znaczna i zawierała się w przedziale od 4,22 t/ha (ob. 1) do 10,02 t/ha (ob. 68). Heterozja procentowa, rozumiana jako stosunek heterozji *per se* do średniego plonu obojga rodziców zawierała się w przedziale od 73,8% (ob. 4) do 386,1% (ob. 68). Z kolei procentowa wartość heterozji w plonie mieszańca jest stosunkiem heterozji *per se* do plonu mieszańca pokazując, jaka część jego plonu jest wynikiem heterozji.

Tabela 6

Efekty heterozji mieszańców względem średniej wartości rodziców dla plonu ziarna
Comparison of hybrids heterosis and mean grain yield of parental inbred lines

♀ \ ♂		F ₂	S14	S41324A-2	S61328	S66191	S64673	S56601-2
S72	a ¹	4,42	4,86	5,41	5,87	4,77	4,94	5,64
	b ²	4,22	4,33	5,17	4,34	6,20	4,67	4,59
	c ³	95,7%	88,9%	95,5%	73,8%	130,0%	94,4%	81,5%
	d ⁴	48,9%	47,1%	48,9%	42,5%	56,5%	48,6%	44,9%
S245	a	4,46	4,91	5,46	5,92	4,82	4,99	5,68
	b	5,98	5,92	6,75	7,13	7,69	7,05	6,60
	c	133,8%	120,4%	123,6%	120,3%	159,6%	141,2%	116,0%
	d	57,2%	54,6%	55,3%	54,6%	61,5%	58,5%	53,7%
S41796	a	4,43	4,87	5,42	5,88	4,78	4,95	5,65
	b	5,90	6,09	6,92	6,54	7,50	6,50	6,69
	c	133,4%	124,9%	127,7%	111,1%	156,9%	131,2%	118,6%
	d	57,2%	55,5%	56,1%	52,6%	61,1%	56,7%	54,3%
S68911	a	4,60	5,04	5,59	6,05	4,95	5,12	5,82
	b	5,94	6,36	6,63	6,85	7,89	6,79	5,44
	c	129,3%	126,0%	118,6%	113,1%	159,4%	132,5%	93,6%
	d	56,4%	55,8%	54,2%	53,1%	61,4%	57,0%	48,3%
S63322-3	a	4,61	5,06	5,60	6,07	4,96	5,14	5,83
	b	6,23	5,37	7,27	7,53	8,32	6,74	5,44
	c	135,2%	106,3%	129,7%	124,2%	167,6%	131,3%	93,4%
	d	57,5%	51,5%	56,5%	55,4%	62,6%	56,8%	48,3%
S63322	a	5,07	5,52	6,06	6,53	5,42	5,60	6,29
	b	5,54	5,06	6,54	6,87	7,54	6,47	5,14
	c	109,4%	91,8%	107,8%	105,3%	139,0%	115,5%	81,8%
	d	52,2%	47,9%	51,9%	51,3%	58,2%	53,6%	45,0%
S67816	a	4,58	5,02	5,57	6,03	4,93	5,10	5,80
	b	6,50	6,02	6,08	6,76	7,15	7,07	6,06
	c	142,0%	119,8%	109,2%	112,0%	145,1%	138,5%	104,5%
	d	58,7%	54,5%	52,2%	52,8%	59,2%	58,1%	51,1%
S63775	a	4,96	5,41	5,95	6,42	5,31	5,48	6,18
	b	5,15	4,62	5,81	6,05	7,52	6,18	5,28
	c	104,0%	85,6%	97,6%	94,2%	141,6%	112,6%	85,5%
	d	51,0%	46,1%	49,4%	48,5%	58,6%	53,0%	46,1%
S63963	a	3,79	4,24	4,79	5,25	4,15	4,32	5,01
	b	6,75	6,16	6,99	6,81	8,22	7,90	6,85
	c	177,8%	145,1%	146,0%	129,6%	198,2%	182,8%	136,5%
	d	64,0%	59,2%	59,3%	56,5%	66,5%	64,6%	57,7%
S72846A-2	a	2,24	2,69	3,24	3,70	2,60	2,77	3,46
	b	7,47	8,03	8,77	9,27	10,02	8,64	7,99
	c	333,2%	298,5%	271,1%	250,6%	386,1%	312,1%	230,8%
	d	76,9%	74,9%	73,1%	71,5%	79,4%	75,7%	69,8%

¹ a — Średnia arytmetyczna plonu ziarna obojga rodziców (t/ha) — Mean grain yield of both parental inbreds (t/ha)

² b — Heterozja *per se* wyrażona jako różnica plonu mieszańca i średniego plonu obojga rodziców (t/ha) — Heterosis *per se* expressed as the difference between the yield of hybrid and mean yield of both parents (t/ha)

³ c — Heterozja procentowa, wyrażona jako stosunek heterozji *per se* do średniego plonu obojga rodziców — Percent of heterosis, expressed as the ratio of heterosis *per se* and mean yield of both parents

⁴ d — Procentowa wartość heterozji w plonie mieszańca — Percent of heterosis expressed in hybrid yield

Procentowa wartość heterozji w plonie mieszańców eksperymentalnych wyniosła od 42,5% do 79,4%. Najniższą heterozję wykazały mieszańce z linią S72, następnie

z liniami S63775, S63322 oraz S56601-2. Natomiast najwyższą heterozję wykazały mieszańce z linią S72846A-2, której wartości przekraczające 200, a nawet 300% daleko odbiegały od pozostałych mieszańców o wysokiej heterozji, zwłaszcza mających w swojej formule linie S66191 i S63963.

Zupełnie inaczej wyglądają wartości heterozji dla zawartości suchej masy w ziarnie w momencie zbioru. W obydwu seriach doświadczeń uzyskano zbliżoną średnią ogólną tej cechy wynoszącą 71,49% dla mieszańców i 71,10% dla linii rodzicielskich. Tylko 28 spośród 70 badanych mieszańców wykazało dodatni efekt heterozji, akumulując w ziarnie więcej suchej masy niż średnia rodziców. Zwyżka ta była nieznaczna i wynosiła maksymalnie 4,19% suchej masy w przypadku mieszańca nr 64. Zdecydowanie częściej, bo w 41 przypadkach, mieszańce akumulowały mniej suchej masy w ziarnie niż średnia rodziców. Na przykład wszystkie mieszańce z liniami matecznymi S72 i S63775 oraz z liniami ojcowskimi S61328 i S66191 wykazały brak heterozji dla tej cechy.

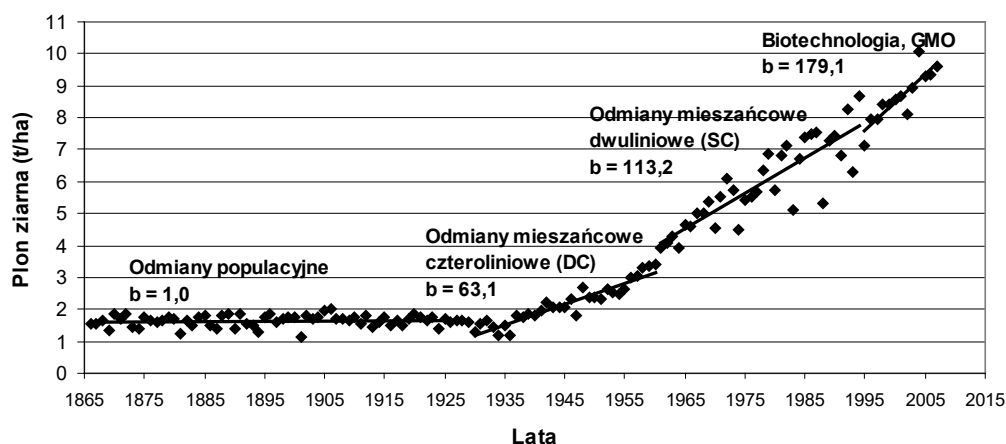
DYSKUSJA

W krajowym rejestrze od lat nie ma zarejestrowanych odmian populacyjnych kukurydzy. Zwycięstwo technologii mieszańcowej w tym gatunku wydaje się bezdyskusyjne z wielu powodów (Hunter, 1999).

Młodzi adepci hodowli twórczej mogą co najwyżej poczytać o odmianach populacyjnych w literaturze, chyba że za swoisty typ takiej odmiany uzna się rosnące tu i ówdzie w Polsce plantacje rozszczepiającego się pokolenia F₂ wysiewane przez rolników z nasion własnych. W konfrontacji z takim widokiem, szczególnego znaczenia nabiera jedna z głównych zalet odmian mieszańcowych — wyrównanie roślin, zwłaszcza w sytuacji mechanizacji zbioru (Goldman, 1999). Inne zalety sprzyjające przechodzeniu na hodowlę mieszańcową to wg wspomnianego autora łatwość kastrowania roślin kukurydzy oraz tolerancja na stresy biotyczne i abiotyczne mieszańców. Podstawową przyczyną pozostaje oczywiście zwyżka plonu, jaką cechują się odmiany mieszańcowe w stosunku do odmian populacyjnych (rys. 1).

Jak pisze Duvick (1999): „Odmiany populacyjne są kolekcją poszczególnych roślin mieszańcowych, z których każda wykazuje heterozję i inne cechy składające się na plon w większym lub mniejszym stopniu. Plonem odmiany populacyjnej jest średnia z plonu wszystkich tworzących ją mieszańcowych kombinacji. Najwyżej plonująca kombinacja z takiej odmiany z definicji będzie przewyższać plonem średnią z wszystkich roślin mieszańcowych ją tworzących.

Celem hodowli mieszańcowej jest identyfikacja a następnie wierne rozmnażanie wyróżniających się genotypów mieszańcowych. Praktycznie cała komercyjna hodowla mieszańcowa oparta jest na krzyżowaniu linii wsobnych. Linie plonują nisko, ale ich mieszańcowe potomstwo odznacza się wysoką heterozją w stosunku do plonu i innych cech, jak szybkość osiągnięcia dojrzałości i wysokość roślin. Mieszańce kukurydzy przeważnie plonują od dwóch do trzech razy więcej aniżeli linie rodzicielskie.”



Wartości "b" (regresje) wskazują średnie przyrosty plonów w $\text{kg ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$; dane z USDA za Troyer'em (2006) – uzupełnione

Rys. 1. Średnie plony ziarna kukurydzy w USA oraz rodzaje uprawianych odmian od zakończenia wojny secesyjnej do 2007

Values "b" (regressions) shows mean gains of yield ($\text{kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$); data from USDA -Troyer (2006) – supplemented
Fig. 1. Average grain yield in the USA and types of cultivated varieties since the end of American Civil War till 2007

W omawianym doświadczeniu stosunek plonu mieszańca do średniej linii rodzicielskich zawierał się w szerszym przedziale i wynosił dla mieszańców eksperymentalnych od 1,74 do 4,85. Stosunek średniej ogólnej doświadczenia z mieszańcami (11,58 t/ha) do średniej doświadczenia z liniami wsobnymi (5,07 t/ha), wyniósł 2,28.

Bardzo wysoki efekt heterozji dla danego mieszańca może wskazywać na niski plon linii rodzicielskich. Linia S72846A-2 będąca komponentem matecznym mieszańca nr 68 o najwyższym efekcie heterozji, osiągnęła w doświadczeniu najniższy plon *per se*, wynoszący zaledwie 1,11 t/ha. Jest to wartość oznaczająca problemy z samorozmnożeniem linii. Niski efekt heterozji przeciwnie, może wskazywać na dobre plonowanie linii rodzicielskich i tym samym mniejszy udział heterozji w całkowitym plonie osiąganym przez mieszańca. Zaobserwowano wyraźnie niższe efekty heterozji dla mieszańców z najwyżżej plonującymi liniami matecznymi S63322 i S63775, czy linią ojcowską S61328. Kolejnym powodem niskiego efektu heterozji może być po prostu niski plon mieszańca, zwłaszcza jeżeli plon komponentów rodzicielskich pozostaje na przyzwoitym poziomie. Dobrym przykładem są tutaj mieszańce z linią mateczną S72 czy S56601-2 wśród linii ojcowskich.

W przypadku trzech zarejestrowanych odmian biorących udział w doświadczeniu, procentowy udział heterozji w plonie mieszańca wynosił: 56,1% dla odmiany Blask; 53,1% dla odmiany Smok i 55,4% dla odmiany Kozak. W świetle badań przeprowadzonych na odmianach mieszańcowych kukurydzy, w ciągu ostatnich lat stosunek ten nie uległ istotnym zmianom, wskazując na stały udział heterozji w plonie najważniejszych odmian

mieszańcowych swojej epoki, wynoszący od 50 do 65% (Duvick, 1999). Stale zwiększający się plon odmian mieszańcowych odbywa się głównie w wyniku ustawicznej poprawy plonowania linii rodzicielskich, czyli poprzez nie-heterozyjny składnik plonu mieszańca. Troyer (2006) analizując te same dane dochodzi do wniosku, że procentowy udział heterozji w odmianach mieszańcowych zmniejsza się nieznacznie w ciągu ostatnich lat (~2% na dekadę), ponieważ procentowa zwyczajka plonu w liniach rodzicielskich zachodzi szybciej niż w mieszańcach.

Zawartość suchej masy w ziarnie w momencie zbioru linii *per se* wyraźnie różnicują obiekty na dwie grupy: linie mateczne o ziarnie zębokształtnym oraz linie ojcowskie o ziarnie szklistym. Zawartość suchej masy dla linii zębokształtnych była wyraźnie niższa i zawierała się w przedziale od 64,35% do 71,4%, natomiast linii szklistych od 72,77% do 77,51%. Takie dobieranie komponentów rodzicielskich w odmianach mieszańcowych kukurydzy, gdzie donorem wczesności jest linia o ziarnie szklistym, stanowi powszechnie stosowaną praktykę w naszej strefie klimatycznej (Adamczyk, 2005). Tylko 28 mieszańców spośród 70 wykazało się nieznaczną heterozją, akumulując maksymalnie 6,0% więcej suchej masy w stosunku do średniej rodziców. Tak małe odchylenia wartości mieszańców F_1 od średniej arytmetycznej swoich rodziców, wynoszące w analizowanym doświadczeniu od -4% do 6%, wskazują na odmienny sposób dziedziczenia tej cechy niż plonu ziarna. Kuriata i in. (2003), badał 8 linii wsobnych kukurydzy w układzie półdialelicznym i zastosował stosunek GCA do SCA dla wykazania sposobu dziedziczenia zawartości suchej masy w ziarnie. Obliczony stosunek wyniósł 12,10, co wskazuje na przewagę addytywnego działania genów warunkujących tę cechę.

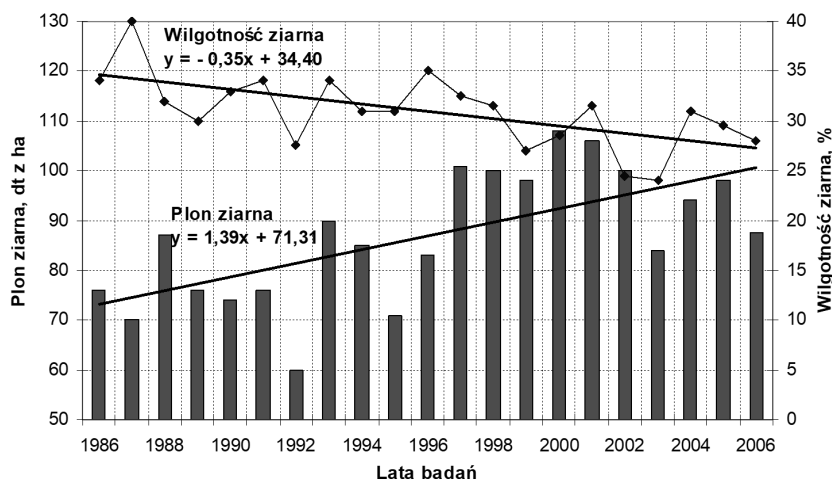
Zmniejszający się w ciągu ostatnich lat udział heterozji w plonie odmian mieszańcowych w wyniku szybszego podnoszenia plonu linii rodzicielskich może skłonić do wysnucia wniosku, że najwyżej plonujące linie *per se* dadzą najlepiej plonujące mieszańce. Jak mylące może być to przekonanie, widać wyraźnie, gdy porównamy plon ziarna samych linii rodzicielskich z plonem osiągniętym przez ich potomstwo mieszańcowe. Dla przykładu linia mateczna S72 wyhodowana w latach 60. ubiegłego wieku uzyskała plon ziarna *per se* na przyzwoitym poziomie 5,45 t/ha (0,39 efektu głównego), natomiast mieszańce z tą linią plonowały najgorzej spośród wszystkich badanych, uzyskując wartość ogólnej zdolności kombinacyjnej na poziomie -1,67. Z kolei jedna z najnowszych linii ojcowskich S66191 uzyskała niski plon ziarna *per se* 4,09 t/ha (-0,98 efektu głównego), natomiast mieszańce z tą linią uzyskały jedne z najwyższych plonów w doświadczeniu, uzyskując wartość GCA na poziomie 0,89. To rozchodzenie się wartości *per se* linii oraz ich ogólnej zdolności kombinacyjnej nie było jednak powszechne w badanym materiale. Dla 10 linii wsobnych wartości *per se* oraz GCA są zbieżne, co zdaje się potwierdzać obserwacje pierwszych hodowców kukurydzy mieszańcowej (Richey, 1946) „wydaje się, że nie ma pełnych danych wykazujących ujemną relację pomiędzy liniami rodzicielskimi a ich mieszańcami. Przeciwnie, wyżej plonujące linie mają stałą tendencję do tworzenia wyżej plonujących mieszańców.”

Próby skorelowania plonu linii wsobnych *per se* z ich ogólną zdolnością kombinacyjną podejmował między innymi Sprague (1964), ale korelacje ciągle nie były wystarczająco wysokie, by gwarantować wybór właściwych linii wsobnych na podstawie ich plonu *per*

se (Duvick, 1999). Jest to zbieżna opinia z Troyer'em (2006), który pisze: „Pomimo użycia potencjalnie użytecznych baz danych i procedur statystycznych do przewidywania wyników mieszańców pojedynczych, hodowcy kukurydzy muszą wykonać tysiące krzyżówek, by znaleźć wśród nich kilka lepszych odmian mieszańcowych.”

Nie zmienia to faktu, że najplenniejsze kombinacje mieszańcowe w rozpatrywanym doświadczeniu tworzą linie mateczne S63322-3 oraz jej linia siostrzana S63322 i ojcowska S61328, które uzyskały odpowiednio czwarty plon *per se* (5,84 t/ha), pierwszy (6,76 t/ha) oraz trzeci (6,28 t/ha) wśród 17 badanych linii wsobnych. Potwierdza to opinię hodowców, że lepsze linie wsobne tworzą lepsze mieszańce (Troyer, 2006). W uzyskaniu najwyższych plonów w doświadczeniu obydwu mieszańcom niewątpliwie pomogły dodatnie efekty swoistej zdolności kombinacyjnej. Nie addytywne działanie genów, w tym epistaza, może odpowiadać za 3–4% wykazywanej heterozji, co często decyduje o „być lub nie być” odmiany mieszańcowej (Troyer, 2000).

Spójny układ miejscowości i lat umożliwił zbadanie interakcji genotypowo-środowiskowej dla przeprowadzonej serii doświadczeń z mieszańcami i liniami wsobnymi. Najważniejszą kwestią z punktu widzenia rolnika jest w niej ocena stabilności plonowania poszczególnych odmian mieszańcowych. Odmiany nie mogą uzyskiwać takich samych plonów w różnych miejscowościach i kolejnych latach, gdyż warunki glebowe i atmosferyczne (a zwłaszcza letnie susze) powodują w naszym klimacie bardzo duże różnice w plonach kukurydzy w poszczególnych sezonach (rys. 2, Heimann i in., 2007).



Wartości "y" (regresje) wskazują średnie przyrosty plonów w $\text{dt ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$ (Heimann i in., 2007)

Rys. 2. Kukurydza — użytkowanie na ziarno. Plon i wilgotność ziarna w badaniach COBORU w ostatnim 20-leciu

Values "y" (regressions) shows mean gains of yield ($\text{dt ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$); (Heimann i in., 2007)

Fig. 2. Maize — grown for grain. Grain yield and dry matter content at the official COBORU trials in the last 20 years

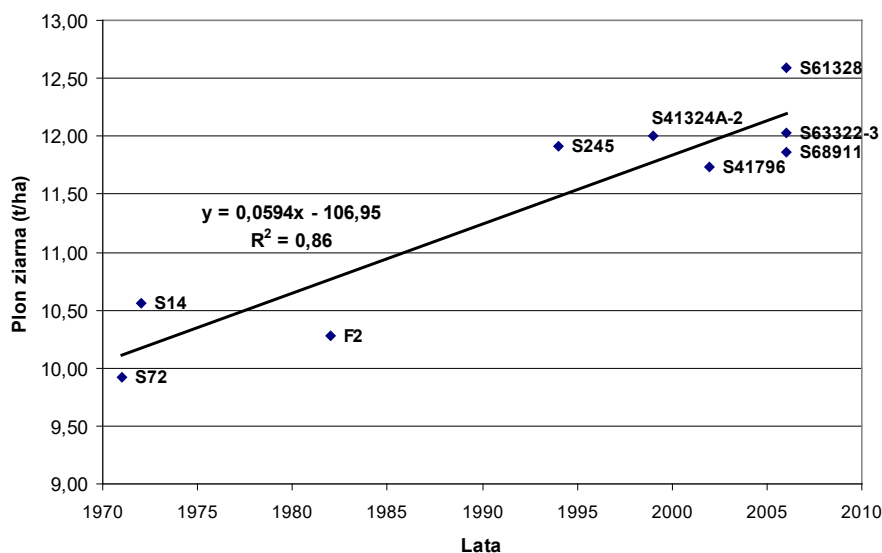
Ważna jest pozycja odmiany w relacji do plonowania innych, testowanych razem w różnych miejscowościach i/lub latach o zróżnicowanych średnich plonach środowiskowych (Eberhart i Russell, 1966, 1969). Badanie regresyjnej zależności plonu mieszańca od

średnich środowiskowych umożliwia określenie go jako stabilnego, intensywnego lub ekstensywnego w całym spektrum badanych środowisk. Rolnicy najbardziej cenią sobie odmiany stabilne lub lekko ekstensywne (Troyer, 2000). W omawianej serii doświadczeń z mieszancami, odchylenia 6 analizowanych środowisk od średniej ogólnej wynoszącej 11,58 t/ha nie były znaczne, co znacznie utrudniało badanie interakcji genotypowo-środowiskowej. Wyliczone efekty GCA linii rodzicielskich wykazały, że 9 linii nie uzyskało istotnej interakcji ze środowiskiem dla plonu ziarna (tab. 4). Oznacza to, że mieszance zawierające w swojej formule wspomniane linie wykazują się stabilnością plonowania w poszczególnych środowiskach. Z kolei w doświadczeniu porównawczym samych linii wsobnych, przy średniej ogólnej dla plonu ziarna wynoszącej 5,07 t/ha, odchylenia środowiskowe były nieznacznie większe. Warunki glebowo-klimatyczne występujące w poszczególnych środowiskach miały duży wpływ na plonowanie linii. Zwłaszcza susza w sezonie 2006, która spowodowała największą obniżkę plonów w miejscowościach Dłóń oraz Łagiewniki, wykazała niejednakową reakcję linii wsobnych na ten stresowy czynnik abiotyczny. Większość linii cechowała się istotną interakcją ze środowiskami. Wyjątkiem od tej reguły okazały się 4 linie, których najmniejsza statystyka F dla interakcji genotypowo-środowiskowej oznaczała stabilność w plonowaniu (tab. 5). Trzy z nich, S245, S63322-3 oraz S14, nie wykazały dla plonu ziarna istotnej interakcji zarówno dla swojego efektu GCA jak i *per se*. Ponieważ ilość linii wsobnych jest wielokrotnie mniejsza od potencjalnych krzyżówek mieszancowych, selekcja na stabilność plonowania już na poziomie linii *per se* może okazać się wydajniejszą metodą (Janick, 1999).

W pracy wykorzystano tylko niektóre z linii wsobnych wchodzących w skład formuł pierwszych smolicznych mieszanców liniowych kukurydzy. Umożliwiło to jednak zastosowanie czynnika układu krzyżowań (North Carolina II Design) i wyliczenie zdolności kombinacyjnej dla linii wsobnych, które odegrały istotną rolę w ostatnim 40. leciu programu hodowlanego w Smolicach. Ogólna zdolność kombinacyjna jest bardzo ważna, gdyż wynika z łącznych, addytywnych efektów genetycznych, które pomagają liniom uzyskiwać dobre wyniki w wielu testowanych środowiskach (Troyer, 2000). Wyniki efektów ogólnej zdolności kombinacyjnej dla plonu ziarna wskazują jednoznacznie, że najstarsze linie biorące udział w doświadczeniu tworzyły najgorzej plonujące mieszance. Efekty główne GCA dla poszczególnych linii wyniosły: -1,67 (85,6 %) dla S72, -1,30 (88,8 %) dla F₂, oraz -1,03 (91,1 %) dla S14. Ocena zawartości suchej masy w ziarnie nie wykazała ewidentnej przewagi linii obecnie używanych nad starszymi. Należy jednak nadmienić, że w przypadku każdego gatunku poddawanego ocenie wartości gospodarczej w procesie rejestracji odmiany, cecha ta ma znaczenie tylko w relacji do plonu — sama wysoka zawartość suchej masy w ziarnie nie zapewni mieszańcowi wpisu do krajowego rejestru odmian. Ma to natomiast znaczenie w przypadku, gdy mieszańcom o podobnym poziomie plonowania towarzyszy znacząca różnica w zawartości suchej masy w ziarnie. Mieszance nr 32 i 39 o najwyższym plonie w doświadczeniu uzyskały odpowiednio 13,6 t/ha i 13,4 t/ha, natomiast różniły się istotnie w zawartości suchej masy, uzyskując odpowiednio 70,35% i 72,89% (tab. 2). Liniami matecznymi obydwu mieszanców są odpowiednio S63322-3 i S63322, których drogi w procesie wyprowadzania linii wsobnych

rozeszły się dopiero po czwartym zapyleniu wsobnym. Dalsze prowadzenie chowu wsobnego pozwoliło na uzyskanie linii S63322, łączącej w sobie wysoki plon (zbliżony do S63322-3), ale o znacznie wyższej zawartości suchej masy w swoim potomstwie mieszańcowym, stanowiąc rzadki przypadek złamania silnej korelacji ujemnej między tymi cechami ilościowymi.

Na rysunku 3 przedstawiono ogólną zdolność kombinacyjną (GCA) dla plonu ziarna (t/ha) elitarnych linii wsobnych biorących udział w doświadczeniu. Miejsce osadzenia nazwy linii na osi czasu zostało uwarunkowane datą rejestracji pierwszej odmiany mieszańcowej z daną linią w swojej formule. Dla przykładu, linia S72 weszła w skład formuły 4-liniowego mieszańca IHAR 280 ($S27 \times S42 / S72 \times S48$) zarejestrowanego w 1971 r., a odmiana Kozak ($S63322-3 \times S61328$), mająca w formule 2 linie obecnie używane w programie, została wpisana do Krajowego Rejestru w 2006 r. Dane empiryczne wszystkich obiektów pochodziły z tej samej serii doświadczeń, dlatego regresja dla średnich plonów mieszańców z tymi liniami względem lat pozwoliła ustalić rzeczywisty postęp hodowlany dokonany w ciągu ostatnich 35 lat. Wyniósł on w smolicim programie hodowli kukurydzy 59,4 kg/rok.



Rys. 3. Regresja ogólnej zdolności kombinacyjnej (GCA) plonu ziarna linii elitarnych względem lat rejestracji odmian mieszańcowych z daną linią

Fig. 3. Regression of general combining ability (GCA) for grain yield of elite inbred lines to years of hybrid registration with these lines

Regresyjna zależność plonu odmian w badaniach rejestrowych COBORU (rys. 2) za ostatnie 21 lat wykazała przyrosty plonów rzędu 139 kg/rok (Heimann i in., 2007). Jest to wynik ulepszania zarówno praktyk rolniczych jak i genetycznych właściwości odmian zgłaszanych od badań rejestrowych w Polsce. Jeżeli przyjąć, że postęp hodowlany ma

średnio 50% udział we wzroście plonów nowych odmian (Duvick, 2005), wyliczony w doświadczeniu roczny przyrost plonu wynoszący 59,4 kg znajduje się bardzo blisko tej wartości.

Analiza efektów ogólnej zdolności kombinacyjnej ma jeszcze jedno fundamentalne zastosowanie. Doświadczenia hodowców pokazały bowiem, że linie rodzicielskie, które wypadają najlepiej w mieszańcach, są jednocześnie najlepszymi rodzicami nowych krzyżówek hodowlanych do wyprowadzania linii kolejnych cykli (Smith i in., 1999).

Analizując rysunek 3, trudno nie zgodzić się z Forrestem Troyer'em (2000), który uważa, że przy wyborze rodziców do nowych krzyżówek hodowlanych trzeba dobierać najlepsze z możliwych linii w danym czasie: „Z uwagi na ciągle dokonujący się postęp hodowlany, dobre linie wsobne mają wartość czasową jak odsetki od kapitału – straty czasu nie da się odrobić”.

WNIOSKI

1. Elitarne linie sprzed 40. lat okazały się nieprzydatne do bezpośredniego wykorzystania w obecnie prowadzonym programie hodowli mieszańcowej kukurydzy.
2. Nawet wysoka zawartość suchej masy w ziarnie w przypadku mieszańców z liniami F₂ i S14 nie rekompensuje różnicy dzielącej te linie z liniami używanymi obecnie pod względem zdolności kombinacyjnej.
3. W obecnie prowadzonej hodowli linii wsobnych właściwym podejściem wydaje się być zwiększenie ilości segregujących potomstw we wczesnych pokoleniach chowu wsobnego w celu uchwycenia korzystnych rekombinantów (np. S63322 ↔ S63322-3).
4. Wartości *per se* linii nie są wystarczające do prognozowania wartości cech ilościowych ich potomstwa mieszańcowego.
5. Do zaawansowanych doświadczeń polowych powinny trafiać tylko linie o zadowalającej ocenie *per se* ze względu na ekonomiczny aspekt produkcji nasiennej.
6. Najwyższą ocenę wartości hodowlanej, mierzoną ogólną zdolnością kombinacyjną, plennością samej linii i jej wczesnością *per se*, uzyskała linia o ziarnie szklistym S61328. Z uwagi na ilość odmian mieszańcowych zarejestrowanych i zgłoszonych do badań rejestrowych z tą linią, można określić ją mianem linii elitarniej.
7. Uzyskany postęp genetyczny elitarnych linii wsobnych tworzących formuły mieszańców rejestrowanych przez Smolice w latach 1971–2006 wyniósł 59,4 kg/rok.

LITERATURA

- Adamczyk J., Cygert H., Czajczyński J. 2003. 50 lat hodowli kukurydzy mieszańcowej w Polsce — dorobek i perspektywy. Biul. IHAR 230: 423 — 431.
- Adamczyk J. 2005. Genetyczne podstawy hodowli kukurydzy (*Zea mays* L.). W: Górny A. G. (red.) Zarys genetyki zbóż. Tom 2. Pszenżyto, kukurydza i owies. wyd. IGR PAN Poznań: 279 — 310.
- Caliński T., Czajka S., Kaczmarek Z., Krajewski P., Siatkowski I. 1998. Metodyka statystyczna i obsługa programu SERGEN przeznaczonego do analizy serii doświadczeń odmianowych i genetyczno-hodowlanych. Podręcznik użytkownika programu SERGEN 3. Poznań 1998.

- Duvick D. N. 1999. Heterosis: Feeding people and protecting natural resources. In: The genetics and exploitation of heterosis in crops. Coors J. G., Pandey S. (ed.) Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin: 19 — 29.
- Duvick D. N. 2005. The contribution of breeding to yield advances in maize (*Zea mays* L.). *Advances in Agronomy* 86: 83 — 145.
- Eberhart S. A., Russell W. A. 1966. Stability parameters in comparing varieties. *Crop Sci.* 6: 36 — 40.
- Eberhart S. A., Russell W. A. 1969. Yield and stability for a 10 line diallel of single cross and double cross maize hybrids. *Crop Sci.* 9: 357 — 361.
- Goldman I. L. 1999. Inbreeding and outbreeding in the development of a modern heterosis concept. w: The genetics and exploitation of heterosis in crops. Coors J. G., Pandey S. (red.) Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin: 7 — 18.
- Heimann H., Janiak W., Siódmiak J. 2007. Kukurydza. W: Lista opisowa odmian. Rośliny rolnicze 2007, Słupia Wielka, 2007: 110 — 139.
- Hunter R. B. 1999. Heterosis for the development and promotion of the seed industry. In: The genetics and exploitation of heterosis in crops. Coors J. G., Pandey S. (ed.) Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin: 305 — 311.
- Janick J. 1999. Exploitation of heterosis: uniformity and stability. In: The genetics and exploitation of heterosis in crops. Coors J. G., Pandey S. (ed.) Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin: 319 — 333.
- Krajewski P., Kaczmarek Z., Czajka S. 2006. Podręcznik użytkownika programu EKSPLAN wersja 2. Instytut Genetyki Roślin PAN w Poznaniu. Poznań 2006.
- Królikowski Z., Adamczyk J., Kurczych Z. 1994. Czterdzieści lat hodowli kukurydzy w Polsce — dorobek i perspektywy. *Biul. IHAR* 191: 11 — 23.
- Kuriata R., Kadłubiec W., Adamczyk J., Cygert H. 2003. Analiza dialleliczna mieszańców pojedynczych kukurydzy. *Biul. IHAR* 230: 417 — 422.
- Matsuoka, Y., Vigouroux Y., Goodman M. M., Sanchez J.G., Buckler G. E., Doebley J. 2002. A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 99: 6080 — 6084.
- Richey F. D. 1946. Hybrid vigor and corn breeding. *J. Am. Soc. Agron.* 38: 833 — 841.
- Smith O.S., Hoard K., Shaw F., Shaw R. 1999. Prediction of Single-Cross Performance. w: The genetics and exploitation of heterosis in crops. Coors J. G., Pandey S. (ed.) Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin: 277 — 285.
- Sprague G. F. 1964. Early testing and recurrent selection. In: Gowen J. W. (ed.) *Heterosis*. Hafner Publ. Company, New York: 400 — 417.
- Troyer A. F. 2000. Temperate Corn — background, behavior, and breeding. In: *Specialty Corns*, Second edition. Hallauer A. R. (ed.). CRC Press LLC.: 393 — 466.
- Troyer A. F. 2006. Adaptedness and heterosis in corn and mule hybrids. *Crop Sci.* 46: 528 — 543.

GRAŻYNA MAŃKOWSKA¹
ALEKSANDRA LUWAŃSKA¹
KAROLINA WIELGUS¹
JAN BOCIANOWSKI²

¹ Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich w Poznaniu

² Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Ocena zawartości kannabinoidów wybranych odmian konopi *Cannabis sativa* L.*

Evaluation of cannabinoid content in selected varieties of *Cannabis sativa* L.

W pracy oceniono zawartości kannabinoidów w odmianach konopi *Cannabis sativa* L., które zostały udostępnione z zasobów Banku Genów Instytutu Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich w Poznaniu. Doświadczenie z konopiami przeprowadzono w 2014 roku w Zakładzie Doświadczalnym Pętkowo (woj. wielkopolskie). Po zebraniu materiału roślinnego wykonano analizę zawartości Δ^9 -tetrahydrokannabinolu (THC) oraz zawartości kannabidiolu (CBD) w sześciu odmianach konopi pochodzenia europejskiego i azjatyckiego. Dla tych parametrów obliczono współczynnik korelacji i przeprowadzono analizę wariancji posługując się programem STATISTICA 12. Wyniki badań wykazały istotne zróżnicowanie w zawartościach THC i CBD oraz zależność pomiędzy badanymi zawartościami kannabinoidów w odmianach konopi.

Słowa kluczowe: kannabidiol, odmiany konopi, tetrahydrokannabinol

The study rated the cannabinoid content in hemp varieties of *Cannabis sativa* L. that have been obtained from Gene Bank of Institute of Natural Fibres and Medicinal Plants in Poznań. The experiment with hemp was conducted in 2014 at the Experimental Farm in Pętkowo (Wielkopolska Region). After collecting the plant material analysis of the content of Δ^9 -tetrahydrocannabinol (THC) and cannabidiol (CBD) was performed in the six varieties of hemp of European and Asian origins. For these parameters correlation coefficients were calculated and analysis of variance was performed using the software STATISTICA 12. The results showed significant differences in the contents of THC and CBD, and the relationship between the two cannabinoid contents in the hemp varieties.

Key words: cannabidiol, varieties of hemp, tetrahydrocannabinol

* Prezentowana praca uzyskała wsparcie finansowe z Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (umowa nr INNOMED/I/11/NCBR/2014) ze środków Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka w ramach Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

Praca przedstawiona na konferencji IHAR — PIB, Zakopane, 3 lutego 2015 roku

Redaktor prowadzący: Barbara Zagdańska

WSTĘP

Zainteresowanie konopiami, od czasu kiedy ich uprawa ponownie stała się legalna, utrzymuje się na wysokim poziomie praktycznie na całym świecie. Tradycyjne zastosowania konopi koncentrują się na wykorzystaniu włókna do produkcji wyrobów technicznych, takich jak artykuły powroźnicze, brezenty i inne zastosowania techniczne. W ostatnich latach wzrasta jednak zainteresowanie przydatnością konopi do celów medycznych. Z surowca konopnego wyizolowano do tej pory ponad 61 różnych związków zwanych kannabinoidami. Dotychczas przebadano zaledwie kilka z nich pod względem właściwości farmakologicznych, m.in. Δ 9-tetrahydrokannabinol (THC) i kannabidiol (CBD). Lekarze i farmaceuci odwołują się do korzystania z leczniczych właściwości konopi i wysuwają hipotezę o szerokim terapeutycznym oddziaływaniu pochodnych tejże rośliny na organizm człowieka. Syntetyzowane głównie w żeńskich kwiatostanach kannabinoidy wykazują szereg aktywności w kierunku działania przeciwbólowego, przeciwwymiotnego i neuroprotektynowego. Tkaczyk, Florek i Piekoszewski (2012) zwracają uwagę na stosowanie produktów z konopi przy łagodzeniu zaburzeń autoimmunologicznych — stwardnieniu rozsianym, reumatoidalnym zapaleniu stawów i nieswoistym zapaleniu jelit. Istotną rolę przypisują kannabinoidom również w hamowaniu rozprzestrzeniania się komórek nowotworowych.

Z uwagi na mnóstwo form o zróżnicowanych biologicznych i morfologicznych cechach (Bialousowa, 1958; Bosca, 1997) i łatwej adaptacji do warunków środowiska konopi rozróżnia się szereg odmian botanicznych i typów użytkowych, częściowo uzależnionych od lokalizacji geograficznej. Według tych kryteriów rozróżnia się odmiany typu północnego i południowego oraz formy pośrednie. Konopie typu północnego to rośliny niższe od form południowych, o mniejszej zawartości substancji narkotycznych i zawartości włókna, wyższym plonie nasion oraz wyższej zawartości tłuszczu (Mańkowska i in., 2010).

Barierą w zastosowaniu konopi, które bez względu na warunki środowiskowe mogą być uprawiane bez ograniczeń geograficznych od równika aż po koło podbiegunowe, jest możliwość narkotycznego wykorzystania niektórych odmian. Potencjał narkotyczny konopi wynika z obecności Δ 9-tetrahydrokannabinolu (THC) (Mackie i in., 2007). Zachodzi więc konieczność rozgraniczenia odmian zawierających wysoki poziom Δ 9-tetrahydrokannabinolu (THC) od odmian zawierających wysoki poziom jego izomeru o potencjale medycznym kannabidiolu (CBD).

Konopie można podzielić na trzy typy fenotypowe: fenotyp I (typ narkotyczny), w którym zawartość Δ 9-tetrahydrokannabinolu (THC) wynosi $> 0,5\%$ a kannabidiolu (CBD) $< 0,5\%$; fenotyp II (typ pośredni), w którym głównym składnikiem jest CBD, ale THC jest również obecny w różnych stężeniach oraz fenotyp III (typ włóknisty) z niską zawartością THC. Głównym składnikiem typu włóknistego są na ogół kannabinoidy nie mające działania psychoaktywnego (De Backer i in., 2009; Galal i in., 2009). Jednak stężenia poszczególnych składników w konopiach są zmienne, zależą nie tylko od cech genetycznych tej rośliny, warunków klimatycznych, lecz również od sposobu prowadzenia uprawy (Mechoulam i Hanus, 2013). Zawartość Δ 9-tetrahydrokannabinolu (THC) w

zależności od czynników środowiskowych (temperatura, naświetlenie) i genetycznych może się wahać od 0,001% do 5%, a nawet do 10%. Również w poszczególnych częściach rośliny występują znaczne różnice zawartości THC: liście i wiechy zawierają ok. 1%, kwiatostan ok. 3%, a żywica ok. 5% Δ^9 -tetrahydrokannabinolu (THC).

Obecnie badania genetyczne zmierzają w kierunku wyhodowania takich odmian konopi, w których proces biosyntezy będzie przebiegał w kierunku CBD. Kryterium to wprowadzono, biorąc za podstawę cykl przemian kannabinoli, jakie zachodzą w roślinie. Jak wiadomo, w młodych roślinach występuje wysokie stężenie CBD, natomiast zawartość THC jest niewielka. Dopiero w okresie dojrzewania konopi następuje wzrost poziomu THC w roślinie. Dłuższe przechowywanie i suszenie roślin powoduje rozkład Δ^9 -tetrahydrokannabinolu (THC) do kannabinolu (CBN), w wyniku którego następuje spadek stężenia THC a wzrost CBN (Rymanowski, 2014).

Celem pracy było określenie zawartości Δ^9 -tetrahydrokannabinolu (THC) i kannabinolu (CBD) w odmianach konopi zgromadzonych w Banku Genów IWNiRZ i przyporządkowanie ich do grupy konopi włóknistych (przemysłowych) bądź do konopi narkotycznych. Badania, na podstawie, których można odróżnić konopie narkotyczne od włóknistych (przemysłowych) znajdują wykorzystanie w pracach hodowlanych zmierzających do otrzymania odmian konopi o obniżonej zawartości THC i podwyższonej zawartości CBD.

MATERIAŁ I METODY

Materiał badawczy stanowiły odmiany zgromadzone w Banku Genów Instytutu Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich w Poznaniu. Kolekcja konopi obejmuje około 150 jedno i dwupiennych odmian pochodzących z różnych rejonów świata. W 2014 roku w Zakładzie Doświadczalnym IWNiRZ Pętkowo (woj. wielkopolskie) w warunkach polowych założono doświadczenie porównawcze. Obiektami oceny były odmiany konopi włóknistych jedno- i dwupiennych. Oceniono trzy odmiany rosyjskie: K-542, K-573, K-195, dwie odmiany ukraińskie: Zolotonoską 11, Juso 31 oraz jedną odmianę chińską He Bei Da Bai Pi.

W celu założenia doświadczenia jesienią wykonano orkę głęboką oraz przeprowadzono w okresie wiosennym zespół uprawek przedsiewnych, zapewniających konopiom optymalny rozwój. Nasiona wysiano siewnikiem samobieżnym po 300 nasion z każdej odmiany na poletkach o powierzchni 2,25 m² w trzech powtórzeniach. Warunki pogodowe w czasie wegetacji sprzyjały rozwojowi roślin. Suma opadów w okresie wegetacji konopi (od kwietnia do września) w 2014 roku wyniosła 342,4 mm, co stanowi 118,9% wielolecia. Nie stosowano nawożenia mineralnego i herbicydów.

Natomiast nawożenie organiczne zastosowano wiosną 2013 roku w postaci obornika w ilości 30 t·ha⁻¹. Zabiegi pielęgnacyjne w czasie wegetacji ograniczały się najczęściej do jednokrotnego motyczenia z pieleniem. Z uwagi na dwupienność, obcopylność i wiatropylność konopi założono izolatory przed kwitnieniem roślin. Natomiast w przypadku rozmnażania form jednopiennych w okresie kwitnienia usuwano osobniki męskie. W okresie kwitnienia pobrano próbki kwiatostanów w celu oznaczenia zawartości

substancji halucynogennych. Analizy wykonano zgodnie z metodyką unijną zawartą w Załączniku nr XIII do rozporządzenia Komisji (WE) nr 2860/2000) w Laboratorium Zakładu Badań i Przetwórstwa Nasion Lnu i Konopi IWNiRZ. W badaniach zastosowano chromatograf cieczowy firmy Perkin Elmer, detektor UV/VIS, kolumnę C-18 ODS-2 o długości 25 cm i średnicy 0,46 cm firmy Waters wypełnioną żel krzemionkowym o średnicy ziarna 5 µm. Do zobrazowania wyników stosowano integrator. Badania prowadzono w układzie odwróconych faz. Zastosowano fazę ruchomą, tzn. mieszaninę metanolu i 0,1% kwasu fosforowego (75:25). Podczas badań stosowano gradient linearny. Skład eluentu (metanol: 0,1% kwas fosforowy) zmieniał się odpowiednio od 75:25 do 90:10 w ciągu 25 minut, a następnie utrzymywał się na takim poziomie przez 10 minut. Warunki analizy: przepływ 1 ml/min; temperatura 35°C; detekcja UV/VIS, długość fali — 230 nm; czułość detektora 0,001 a.u.f.s; wielkość próbki 10. Analizę ilościową przeprowadzono metodą wzorca zewnętrznego. Końcowe stężenie kannabinoli odczytywano z krzywej wzorcowej, korzystając z opcji integratora. Przedstawiona metoda pozwala oznaczać kannabinole w różnym materiale (rośliny konopi, marihuana, haszysz). Ustalone parametry analizy umożliwiają identyfikację poszczególnych kannabinoli: kannabigerolu (CBG), kannabidiolu (CBD), Δ^9 -tetrahydrokannabinolu (THC), kannabinolu (CBN) na podstawie ich czasów retencji. Przy zastosowaniu metody kalibracji bezwzględnej oraz korzystając z opcji integratora dokonuje się oznaczeń ilościowych Δ^9 -tetrahydrokannabinolu (THC) w badanej próbce. Przedstawiona metoda umożliwia pełne rozróżnianie próbek, pochodzących z konopi włóknistych od próbek pochodzących z konopi narkotycznych.

Przeprowadzono analizę wariancji obserwowanych cech. Test Tukeya *post-hoc* (honestly significant difference — HSD) dla cech został obliczony. Współczynnik korelacji między THC i CBD obliczono na wartościach średnich dla odmian.

WYNIKI I DYSKUSJA

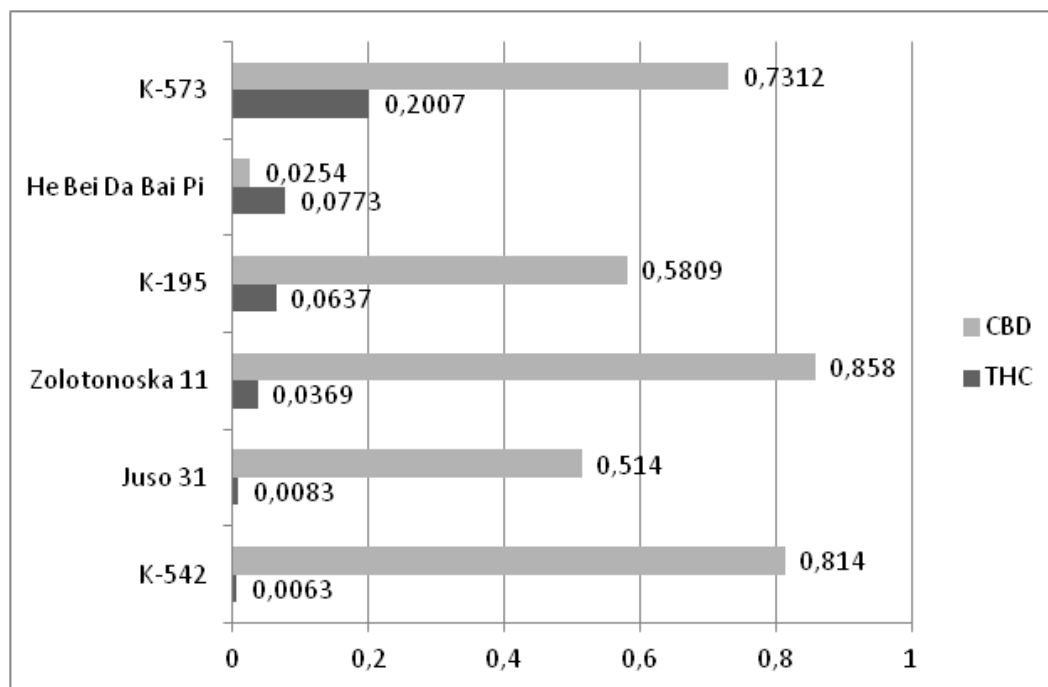
W niniejszej pracy wykazano zróżnicowanie zgromadzonych w odmianach konopi pod względem analizowanego Δ^9 -tetrahydrokannabinolu (THC) i kannabidiolu (CBD). Odmiany ukraińskie (Zolotonoska 11, Juso 31) posiadały wartości Δ^9 -tetrahydrokannabinolu (THC) w suchej masie ziela zbliżone do zawartości tego składnika w odmianach rosyjskich (K-542, K-195), natomiast jedna z odmian rosyjskich K-573 cechowała się zawartością THC powyżej 0,2%.

Jedną z cech różniących odmiany konopi jest zawartość kannabidiolu (CBD). Niski procent CBD zanotowano dla odmian: He Bei Da Bai Pi (0,03%), Zolotonoska 11 (0,18%), Juso 31 (0,04%). Potencjał do gromadzenia znacznej ilości CBD, powyżej 0,5%, stwierdzono dla odmian K-195 (0,54%), K-573 (0,72%) oraz K-542 (0,74%) (rys. 1).

Jednopienne odmiany ukraińskie Zolotonoska 11 i Juso 31 niezależnie od roku badań uzyskują najniższe zawartości substancji halucynogennych (0,004–0,01%) Δ^9 -tetrahydrokannabinolu (THC) (Grabowska i in., 2004).

Oceniane odmiany cechowały się istotną zmiennością w zawartości THC, co wynikało z uprawy konopi w polskich warunkach klimatycznych, i potwierdza to założone

doświadczenie. Stężenie $\Delta 9$ -tetrahydrokannabinolu (THC) może przekroczyć granicę 0,2% i roślina taka, mimo że jej profil nie odbiega zasadniczo od typu włóknistego ze względu na zawartość $\Delta 9$ -tetrahydrokannabinolu (THC) zostanie zakwalifikowana do typu narkotycznego. W związku z tym dąży się do wyhodowania konopi całkowicie bezpiecznych, o bardzo niskiej zawartości $\Delta 9$ -tetrahydrokannabinolu (THC).



Rys. 1. Średnie zawartości THC (%) i CBD (%) w badanych odmian konopi
 Fig. 1. The average THC contents of (%) and CBD (%) in the tested varieties of hemp

Szczególnie duży wpływ na poziom THC u tej samej odmiany ma szerokość geograficzna: im wyższy stopień szerokości geograficznej, tym zawartość THC niższa (Wielgus, 2010). Scheifele i in. (1999), Scheifele i Dragla (2000), Potter (2004), Lewis i in. (2005) stwierdzili, że zawartość THC zależy m.in. od zasobności gleby w składniki pokarmowe, szerokości geograficznej, wysokości nad poziomem morza oraz warunków pogodowych w czasie wegetacji. Zawartość $\Delta 9$ -tetrahydrokannabinolu (THC) w materiale roślinnym zależy od genetycznych właściwości rośliny, warunków jej wegetacji, sposobu zbierania, wieku rośliny, rodzaju gleby i klimatu. Dobierając odpowiednie warunki, można doprowadzić do wzrostu zawartości psychoaktywnego składnika (Rymanowski, 2014).

Wysokie stężenie CBD, przy sprzyjających warunkach uprawy, może spowodować, iż u rośliny typu włóknistego zostanie przekroczona bezpieczna granica dla $\Delta 9$ -tetrahydrokannabinolu (Jądrzak, 1999).

Konopie włókniste według prawa polskiego (Ustawa z dnia 29 lipca 2005 roku o przeciwdziałaniu narkomanii — Dz. U. nr 179, poz. 1485) i prawa unijnego, to konopie zawierające poniżej 0,2% Δ 9-tetrahydrokannabinolu (THC).

Składnik psychoaktywny Δ 9-tetrahydrokannabinol (THC) i izomer THC, czyli kannabidiol (CBD) powstają odpowiednio z kwasu tetrahydrokannabinolowego (THCA) i kwasu kannabidiolowego (CBDA), na drodze nieenzymatycznej dekarboksylacji, natomiast THCA i CBDA na drodze reakcji enzymatycznych, katalizowanych odpowiednio przez syntazę THCA oraz syntazę CBDA. Obydwa enzymy ulegają specyficznej ekspresji w zależności od fenotypu konopi: narkotycznego (bogatego w THCA) lub włóknistego (bogatego w CBDA) (Wielgus i in., 2010).

Odkrycie polimorfizmu wpływającego na poziom ekspresji genu kodującego syntazę THCA, a w konsekwencji na zawartość THC i CBD w roślinie, umożliwiło opracowanie sposobu określania potencjału konopi do przemian kannabinoidów (Kojoma i in., 2006). W badaniach Wielgus i in., (2010) uzyskali produkt reakcji amplifikacji genu syntazy THCA, charakterystyczny dla roślin o potencjale do gromadzenia podwyższonych ilości THC dla 24 odmian oraz jego brak dla 14 odmian o zastosowaniu typowo przemysłowym.

Dla oceny zawartości THC i CBD w 6 odmianach konopi włóknistych (przemysłowych) sprowadzonych z Rosji, Ukrainy i Chin przeprowadzono analizę wariancji, która wykazała, że istnieje istotna różnica w zawartości THC i CBD w badanych odmianach (tab. 1).

Tabela 1

Wyniki jednoczynnikowej (odmiany) analizy wariancji (ANOVA) dla THC i CBD
Results of one-way (cultivars) analysis of variance (ANOVA) for THC and CBD

Cecha — Trait		THC				CBD			
Źródło zmienności Source of variation	d.f.	S.S. Sum of squares	M.S. Mean square	F-statistic	p-value	S.S. Sum of squares	M.S. Mean square	F-statistic	p-value
Odmiana — Variety	5	0,078	0,016**	5,2	0,009	1,140	0,228*	3,57	0,033
Błąd — Residual	12	0,036	0,003			0,767	0,064		

d.f. — Liczba stopni swobody — Number of degrees of freedom; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$

Tabela 2

Test *post-hoc* Tukeya dla średnich zawartości THC (%) w badanych odmianach konopi
The Tukey's honestly significant difference for the average THC (%) content in the tested varieties of hemp

Odmiana Variety	K-542 M=0,063	He Bei Da Bai Pi M=0,077	K-573 M=0,201	K-195 M=0,637	Zolotonoska 11 M=0,037	Juso 31 M=0,008
K-542		0,138	0,001	0,224	0,506	0,965
He Bei Da Bai Pi	0,138		0,017	0,765	0,384	0,1489
K-573	0,0010	0,017		0,010	0,003	0,001
K-195	0,224	0,765	0,010		0,561	0,239
Zolotonoska 11	0,506	0,384	0,003	0,561		0,534
Juso 31	0,965	0,149	0,001	0,240	0,534	

Zaznaczone efekty są istotne z $p < 0,05$ — Marked effects are significant at $p < 0,05$

W celu dokładnego określenia różnic w zawartości THC w odmianach wykorzystano test *post-hoc* (NIR na poziomie istotności 0,05) (tab. 2). Stwierdzono, istotnie wyższą zawartość THC dla odmiany K-573. Stwierdzono, istotnie wyższą zawartość THC dla odmiany K-573.

Dla wyznaczenia różnic w zawartości CBD w odmianach wykorzystano test *post-hoc* (NIR na poziomie istotności 0,05) (tab. 3). Stwierdzono, istotnie wyższą zawartość CBD dla odmiany K-573. U pozostałych odmian nie obserwowano tej zależności.

Tabela 3

Test *post-hoc* Tukeya dla średnich zawartości CBD (%) w badanych odmianach konopi
The Tukey's honestly significant difference for the average CBD (%) content in the tested varieties of hemp

Odmiana Variety	K-542 M=0,814	He Bei Da Bai Pi M=0,025	K-573 M=0,732	K-195 M=0,581	Zolotonoska 11 M=0,572	Juso 31 M=0,514
K-542		0,002	0,698	0,281	0,263	0,172
He Bei Da Bai Pi	0,002		0,005	0,020	0,021	0,036
K-573	0,698	0,005		0,479	0,453	0,312
K-195	0,281	0,020	0,479		0,965	0,751
Zolotonoska 11	0,263	0,021	0,453	0,965		0,784
Juso 31	0,172	0,036	0,312	0,751	0,784	

Zaznaczone efekty są istotne z $p < 0,05$ — Marked effects are significant at $p < 0,05$

Określono także wpływ zawartości THC na zawartość CBD w badanych odmianach konopi, obliczając współczynnik korelacji. Analiza korelacji wykazała ujemną zależność pomiędzy zawartością THC i CBD ($r = -0,872$, $p = 0,023$).

Wyniki zawartości THC i CBD w omawianej pracy wskazują, że synteza THC i CBD jest cechą złożoną, ponieważ mają na nią wpływ czynniki genetyczne. Zgodnie z wiedzą autorów przedstawionej pracy, do tej pory w literaturze przedmiotu opublikowano niewiele innych prac traktujących o charakterystyce czynników genetycznych mających znaczenie w metabolizmie kannabinoidów różnych odmian konopi.

WNIOSKI

1. Odmiany konopi różniły się istotnie pod względem zawartości THC i CBD.
2. Badania wyodrębniły odmiany o podwyższonej zawartości THC i CBD i zaliczono je do typu włóknistego (przemysłowego).
3. Zawartość THC ma istotny wpływ na zawartość CBD w konopiach. Należy przypuszczać, że jest to ściśle związane z warunkami środowiska oraz cechami genetycznymi, co będzie stanowić przedmiot dalszych badań.
4. Uzyskane wyniki umożliwiły nie tylko pełniejszą charakterystykę odmian zgromadzonych w Banku Genów, lecz stanowią również cenną informację dla hodowców konopi na cele medyczne.

LITETATURA

- Białousowa J., Bartosik A., Kurhański M., Nagórski A., Tumalewicz B. 1958. Konopie, rośliny włókniste (Fibrous Plants). PWRiL, Warszawa: 193 — 323.
- Bosca I., Karus M. 1997. Der Hanfanbau. Heidelberg, C. F. Muller: 195.
- De Backer. B., Debrus B., Lebrun, P., Theunis L., Dubois N., Decock L., Verstraete A., Hubert P., Charlier C. 2009. Innovative development and validation of an HPLC/DAD method for the qualitative and quantitative of major cannabinoids in cannabis plant material. J. Chromatograf, B: Anal. Tech Biomed. Life Sci. 877: 4115 — 4124.

- Galal A. M., Slade D., Gul W., El-Alfy A. T., Ferreira D., El Sohly M. A. 2009. Naturally occurring and related synthetic cannabinoids and their potential therapeutic applications. *Recent Patents on CNS Drug Discovery* 4: 112 — 36.
- Grabowska L., Mańkowska G., Baraniecki P. 2004. Zasoby genowe *Cannabis sativa* L. w Instytucie Włókien Naturalnych w Poznaniu 497: 53 — 57.
- Jądrzak R., Biskupski M. 1999. Zastosowanie wysoko sprawnej chromatografii cieczowej (HPLC) w analizie kannabinoli, *Problemy Kryminalistyki* 224: 5 — 10.
- Kojoma M., Seki H., Yoshida S., Muranaka T. 2006. DNA polymorphisms in the tetrahydrocannabinolic acid (THCA) synthase gene in „drug-type” and „fibre-type” *Cannabis sativa* L. *Forensic Sci. Int.* 159: 132 — 140.
- Lewis R., Ward S., Johnson R., Burns D. T. 2005. Distribution of the principal cannabinoids within bars of compressed cannabis resin. *Anal. Chim. Acta* 538: 399 — 405.
- Mackie K. 2007. From active ingredients to the discovery of the targets: the cannabinoid receptors. *Chern. Biodivers.* 4: 1693 — 706.
- Mańkowska G., Strybe M., Chudy M., Luwańska A., Baraniecki P. 2010. Ocena cech użytkowych wybranych odmian konopi *Cannabis sativa* L. zgromadzonych w Instytucie Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich w 2008 roku. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 555: 529 — 536.
- Mechoulam R., Hanus L. 2013. Inne rodzaje kannabinoidów. [In:] *Marihuana i obłąd.* Castle D, Murray R M, D' Souza D C (red.), MediPage. Warszawa: 22 — 28.
- Rymanowski M. 2014. Konopie, przegląd zagadnień związanych z oznaczaniem sumarycznej zawartości delta-9-tetrahydrokannabinolu (D-9-THC) oraz kwasu delta-9-tetrahydrokannabinolowego (D-9-THCA-A) *Problemy Kryminalistyki* 285 (3): 1 — 22.
- Scheifele G., Dragla P. 2000. 1999. report on environment and latitude effect on THC levels of industrial hemp varieties grown in Ontario. Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs.
- Scheifele G., Hinz H., Davies K., Calder K-J., Bowman M., Guillemette L. 1999. 1998 Ontario studies in determining the genetic stability, environment and latitude effect on the levels of delta -9 THC for industrial hemp varieties. Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs.
- Szukalski B. 2005. Kannabinoidy. W: *Kompendium wiedzy o środkach uzależniających.* Wydawnictwo Instytutu Psychiatrii i Neurologii, Warszawa, 4: 5 — 15.
- Tkaczyk M., Florek E., Piekoszewski W. 2012. Marihuana i kannabinoidy jako leki. *Przegl. Lek.* 10: 1095 — 1097.
- Wielgus K., Przewoźna J., Mańkowska G., Grabowska L., Podralska M., Słomski R. 2010. Polimorfizm genu syntazy THCA w zasobach genowych konopi siewnych — *Cannabis sativa* L. zgromadzonych w Instytucie Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 555: 457 — 464.

ARTUR MAKAREWICZ

Katedra Agrotechnologii

Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach

Wybrane cechy jakości bulw ziemniaka nawożonego wsiewkami międzyplonowymi w integrowanym i ekologicznym systemie produkcji

Selected quality characteristics of potato tubers fertilized with undersown catch crops in the integrated and organic production systems

W pracy przedstawiono wyniki badań z lat 2008–2011 mające na celu określenie wpływu biomasy wsiewek międzyplonowych przyoranych jesienią i pozostawionych do wiosny w formie mulczu na skład chemiczny bulw ziemniaka uprawianego w integrowanym i ekologicznym systemie produkcji. W doświadczeniu badano dwa czynniki. 1. Nawożenie wsiewką międzyplonową: obiekt kontrolny (bez nawożenia wsiewką międzyplonową), obornik, koniczyna perska, koniczyna perska + życica westerwoldzka, życica westerwoldzka, koniczyna perska — mulcz, koniczyna perska + życica westerwoldzka — mulcz, życica westerwoldzka — mulcz. 2. System produkcji: integrowany i ekologiczny. Bezpośrednio po zastosowaniu nawożenia wsiewkami międzyplonowymi uprawiano ziemniaki jadalne. W bulwach ziemniaka oznaczono zawartość: suchej masy, skrobi, witaminy C oraz cukrów redukujących i sumy cukrów. Nawożenie biomasą wsiewek międzyplonowych zwiększało w bulwach ziemniaka zawartość suchej masy, skrobi i witaminy C, a zmniejszało zawartość cukrów redukujących i sumy cukrów. Nawożenie mieszanką koniczyny perskiej z życicą westerwoldzką zarówno przyoraną jesienią, jak i pozostawioną do wiosny w formie mulczu w integrowanym systemie produkcji zapewniło najkorzystniejszy skład chemiczny bulw ziemniaka.

Słowa kluczowe: ziemniak, nawożenie wsiewką międzyplonową, mulcz, skład chemiczny bulw, produkcja ekologiczna, produkcja integrowana

The work presents results of research conducted in 2008–2011 to determine the effect of biomass of undersown catch crops, either winter-incorporated or left as mulch on the soil surface for spring incorporation, on chemical composition of potato tubers grown in the integrated and organic production system. The following two factors were examined in the study: 1. manuring with undersown catch crops: control (no undersown catch crop), farmyard manure, Persian clover, Persian clover + Westerwolds ryegrass, Westerwolds ryegrass, Persian clover — mulch, Persian clover + Westerwolds ryegrass — mulch, Westerwolds ryegrass — mulch; 2. production system: integrated and organic.

Incorporated undersown catch crops were followed by table potato. The following contents were determined in potato tubers: dry matter, starch, vitamin C, reducing sugars and total sugars. Manuring with the biomass of undersown catch crops increased the potato tuber contents of dry matter, starch and vitamin C. By contrast, reducing sugars and total sugars declined. A mixture of Persian clover and Westerwolds ryegrass, whether winter or spring-incorporated, in the integrated production system contributed to the most favorable chemical composition of potato tubers.

Key words: potato, manuring with undersown catch crop, mulch, tuber chemical composition, ecological production, integrated production

WSTĘP

Ziemniak przeznaczony na cele jadalne powinien odznaczać się wysokim plonem bulw, o jak najwyższych parametrach jakościowych (Ceglarek i in., 1998; Boligłowa i Gleń, 2003). O jakości bulw decyduje ich skład chemiczny, który jest uwarunkowany genetycznie, a dodatkowo modyfikowany przez czynniki środowiskowe i agrotechnikę (Grześkiewicz i Trawczyński, 1997; Kołodziejczyk i in., 2007; Płaza i Ceglarek, 2009). Spośród czynników agrotechnicznych korzystny wpływ na skład chemiczny bulw ziemniaka wykazuje nawożenie organiczne. Podstawowym nawozem naturalnym stosowanym w uprawie ziemniaka jest obornik. Zmniejszająca się produkcja obornika oraz rozwój integrowanej i ekologicznej uprawy ziemniaka skłaniają do wysycenia płodozmianu międzyplonami. Cenne są tu wsiewki międzyplonowe, które można przyorąć jesienią lub pozostawić do wiosny w formie mulczu (Ceglarek i in., 1998; Płaza, 2004; Płaza i Ceglarek, 2009).

Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu biomasy wsiewek międzyplonowych przyoranych jesienią i pozostawionych do wiosny w formie mulczu na skład chemiczny bulw ziemniaka uprawianego w integrowanym i ekologicznym systemie produkcji.

MATERIAŁ I METODY

Badania polowe przeprowadzono w latach 2008–2011 w Rolniczej Stacji Doświadczalnej w Zawadach należącej do Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach. Badania prowadzono na glebie płowej wytworzonej z piasku gliniastego mocnego, o odczynie obojętnym, średniej zasobności w przyswajalny fosfor, potas i magnez, a zawartość próchnicy wynosiła 1,40%. Doświadczenie założono w układzie split-block, w trzech powtórzeniach. Badano dwa czynniki: 1. Nawożenie organiczne: obiekt kontrolny (bez nawożenia wsiewką międzyplonową), obornik ($30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$), koniczyna perska ($18 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), koniczyna perska + życica westerwoldzka ($9 + 10 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), życica westerwoldzka ($20 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), koniczyna perska — mulcz ($18 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), koniczyna perska + życica westerwoldzka — mulcz ($9 + 10 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), życica westerwoldzka — mulcz ($20 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$); 2. System produkcji: integrowany i ekologiczny.

Jesienią, na każdym poletku określono plon świeżej masy międzyplonów łącznie z ich masą korzeniową w warstwie gleby 0–30 cm. Średni plon z 3 lat w integrowanym systemie produkcji wynosił: koniczyny perskiej $28,1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, mieszanki koniczyny perskiej z życicą

westerwoldzką $34,9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ oraz życicy westerwoldzkiej $36,2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, a w ekologicznym systemie produkcji: koniczyny perskiej $23,9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, mieszanki koniczyny perskiej z życicą westerwoldzką $27,2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ oraz życicy westerwoldzkiej $28,3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Wsiewki międzyplonowe wsiewano w pszenżyto jare uprawiane na ziarno (I dekada kwietnia), które stanowiło przedplon ziemniaka jadalnego. Uprawiano ziemniak jadalny odmiany Zeus. Jest to odmiana średnio późna, dość odporna (7) na wirus Y ziemniaka, średnio odporna na wirus liściozwoju ziemniaka (5), odporna na zarazę ziemniaka (6). W integrowanym systemie produkcji, na powierzchni całego doświadczenia wczesną wiosną rozsiano nawozy mineralne, których ilość w przeliczeniu na 1 ha wynosiła: 90 kg N, 36,9 kg P i 99,6 kg K. Dawki nawozów dostosowano do zasobności gleby i wielkości przewidywanego plonu. Na poletkach zaoranych przed zimą, wiosną nawozy mineralne wymieszano z glebą kultywatorem zagregatowanym z broną. Natomiast na poletkach z mulczem stosowano bronę talerzową i kultywator. W ekologicznym systemie produkcji, na powierzchni całego doświadczenia zamiast nawożenia mineralnego, stosowano obornik w dawce $30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ pod pszenżyto jare uprawiane z wsiewkami międzyplonowymi. Ziemniaki wysadzano w III dekadzie kwietnia, a zbierano w II dekadzie września.

W ekologicznym systemie produkcji chwasty zwalczano mechanicznie. Od posadzenia do zwarcia rzędów, co 7 dni stosowano obsypnik z broną. Stonkę ziemniaczaną zwalczano preparatem Novodor ($2,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$), a zarazę ziemniaczaną fungicydem Miedzian 50 WP ($4 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$). Ziemniaki uprawiano w 3 roku od uprawy konwencjonalnej. Pasy pól ekologicznych pod ziemniak dla 3 serii doświadczenia wydzielono z uprawy konwencjonalnej w latach 2006–2008. Wówczas w zmianowaniu uprawiano owies, w którym już nie stosowano chemicznych środków ochrony roślin.

Podczas zbioru ziemniaka, z każdego poletka (o powierzchni 15 m^2) pobrano próby bulw do analiz chemicznych. Zawartość suchej masy oznaczono metodą suszarkowo-wagową, zawartość skrobi metodą Reimanna, zawartość witaminy C metodą Pijanowskiego oraz zawartość cukrów redukujących i sumy cukrów metodą Luffa-Schoorla. Każdą z badanych cech poddano analizie wariancji zgodnie ze schematem układu split-block. W przypadku istotnych źródeł zmienności dokonano szczegółowego porównania średnich testem Tukeya.

WYNIKI

Stwierdzono istotny wpływ badanych czynników doświadczenia i ich współdziałania na zawartość suchej masy w bulwach ziemniaka (tab. 1). Nawożenie biomasą wsiewek międzyplonowych powodowało przyrost zawartości suchej masy w bulwach ziemniaka. W ziemniakach nawożonych wsiewkami międzyplonowymi odnotowano istotny wzrost zawartości suchej masy (średnio o 2,0%) w porównaniu do obiektu kontrolnego. Zawartość suchej masy w bulwach ziemniaka nawożonego życicą westerwoldzką przyoraną jesienią oraz pozostawioną do wiosny w formie mulczu, kształtowała się na zbliżonym poziomie, jak w bulwach ziemniaka nawożonego obornikiem. Natomiast w bulwach ziemniaka nawożonego koniczyną perską oraz mieszanką koniczyny perskiej z życicą westerwoldzką,

niezależnie od formy ich stosowania, zawartość suchej masy w bulwach ziemniaka była istotnie większa niż na oborniku.

Tabela 1

Procentowa zawartość suchej masy w bulwach ziemniaka (lata 2009–2011)
Percentage of dry matter content in potato tubers (years 2009–2011)

Nawożenie wsiewką międzyplonową Manuring with undersown catch crop	System produkcji Production system		Średnie Means
	integrowany integrated	ekologiczny organic	
Obiekt kontrolny Control treatment	21,0	20,4	20,7
Obornik Farmyard manure	22,3	21,6	22,0
Koniczyna perska Persian clover	23,3	22,1	22,7
Koniczyna perska + życica westerwoldzka Persian clover + westerwolds ryegrass	23,4	22,5	23,0
Życica westerwoldzka Westerwolds ryegrass	22,1	21,3	21,7
Koniczyna perska-mulcz Persien clover-mulch	23,6	22,7	23,2
Koniczyna perska + życica westerwoldzka-mulcz Persian clover + westerwolds ryegrass-mulch	23,9	23,0	23,5
Życica westerwoldzka-mulcz Westerwolds ryegrass-mulch	22,7	21,9	22,3
Średnie Means	22,8	21,9	—
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}			
Nawożenie wsiewką międzyplonową — Manuring with undersown catch crop			0,4
System produkcji — Production system			0,2
Interakcja — Interaction			0,5

Kolejnym czynnikiem modyfikującym zawartość suchej masy w bulwach ziemniaka był system produkcji. W integrowanym systemie produkcji koncentracja suchej masy w bulwach ziemniaka była większa o 0,9% niż w bulwach ziemniaka z uprawy ekologicznej.

Z interakcji badanych czynników wynika, że największą zawartość suchej masy odnotowano w bulwach ziemniaka nawożonego mieszanką koniczyny perskiej z życicą westerwoldzką zarówno przyoraną jesienią, jak i pozostawioną do wiosny w formie mulczu oraz koniczyną perską w formie mulczu w integrowanym systemie produkcji, a najmniejszą w bulwach ziemniaka uprawianego na obiekcie kontrolnym w systemie ekologicznym.

Koncentracja skrobi w bulwach ziemniaka nawożonego biomasą wsiewek międzyplonowych była istotnie większa (średnio o 1,0%) od odnotowanej w bulwach zebranych z obiektu kontrolnego. Najwięcej skrobi zawierały ziemniaki na obiektach z mulczowaniem gleby oraz życicą westerwoldzką w siewie czystym. Na pozostałych obiektach nawożonych biomasą wsiewek międzyplonowych, z wyjątkiem koniczyny perskiej przyoranej jesienią koncentracja skrobi w bulwach ziemniaka nie różniła się istotnie od odnotowanej w ziemniakach nawożonych obornikiem.

System produkcji również istotnie modyfikował zawartość skrobi w bulwach ziemniaka. Ziemniak z uprawy integrowanej zawierał istotnie więcej skrobi (średnio o 0,5%) niż ekologicznego systemie produkcji (tab. 2).

Tabela 2

Procentowa zawartość skrobi w świeżej masie bulw ziemniaka (lata 2009–2011)
Percentage of starch content in potato tuber fresh matter (years 2009–2011)

Nawożenie wsiewką międzyplonową Manuring with undersown catch crop	System produkcji Production system		Średnie Means
	integrowany integrated	ekologiczny organic	
Obiekt kontrolny Control treatment	14,0	13,7	13,9
Obornik Farmyard manure	15,1	14,5	14,8
Koniczyna perska Persian clover	14,6	13,8	14,2
Koniczyna perska + życica westerwoldzka Persian clover + westerwolds ryegrass	15,3	14,9	15,1
Życica westerwoldzka Westerwolds ryegrass	15,0	14,5	14,8
Koniczyna perska-mulcz Persien clover-mulch	14,9	14,5	14,7
Koniczyna perska + życica westerwoldzka-mulcz Persian clover + westerwolds ryegrass-mulch	15,6	15,3	15,5
Życica westerwoldzka-mulcz Westerwolds ryegrass-mulch	15,4	15,0	15,2
Średnie Means	15,0	14,5	—
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}			
Nawożenie wsiewką międzyplonową — Manuring with undersown catch crop			0,3
System produkcji — Production system			0,2
Interakcja — Interaction			0,4

Ze współdziałania badanych czynników wynika, że w integrowanym systemie produkcji, największą zawartością skrobi wyróżniały się bulwy ziemniaka nawożonego mieszanką koniczyny perskiej z życią westerwoldzką przyoranej jesienią oraz tej samej mulczowanej i dodatkowo życicy westerwoldzkiej stosowanej w formie mulczu, zaś w ekologicznym systemie mieszanka koniczyny perskiej z życią westerwoldzką stosowaną w formie mulczu. Najmniejszą zawartość skrobi wykazano w bulwach ziemniaka uprawianego na obiekcie kontrolnym zarówno w integrowanym, jak i ekologicznym systemie produkcji.

Nawożenie biomasą wsiewek międzyplonowych stymulowało zawartość witaminy C w świeżej masie bulw ziemniaka (tab. 3). Największą jej koncentracją charakteryzowały się bulwy ziemniaka nawożone biomasą wsiewek międzyplonowych, z wyjątkiem życicy westerwoldzkiej przyoranej jesienią.

Integrowany system produkcji sprzyjał większej akumulacji witaminy C w bulwach ziemniaka.

Tabela 3

Zawartość witaminy C ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ św. masy) w bulwach ziemniaka (lata 2009–2011)
Vitamin C ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ f.m.) content in potato tubers (years 2009–2011)

Nawożenie wsiewką międzyplonową Manuring with undersown catch crop	System produkcji Production system		Średnie Means
	integrowany integrated	ekologiczny organic	
Obiekt kontrolny Control treatment	170,4	163,7	167,1
Obornik Farmyard manure	183,1	180,4	181,8
Koniczyna perska Persian clover	193,0	190,4	191,7
Koniczyna perska + życica westerwoldzka Persian clover + westerwolds ryegrass	188,2	184,7	186,5
Życica westerwoldzka Westerwolds ryegrass	183,2	179,0	181,1
Koniczyna perska-mulcz Persien clover-mulch	198,4	195,9	197,2
Koniczyna perska + życica westerwoldzka-mulcz Persian clover + westerwolds ryegrass-mulch	194,1	191,0	192,6
Życica westerwoldzka-mulcz Westerwolds ryegrass-mulch	187,2	182,9	185,1
Średnie Means	187,2	183,5	—
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}			
Nawożenie wsiewką międzyplonową — Manuring with undersown catch crop			2,6
System produkcji — Production system			1,9
Interakcja — Interaction			2,9

Wykazano interakcję badanych czynników, z której wynika, że największą zawartość witaminy C odnotowano w bulwach ziemniaka nawożonego koniczyną perską w formie mulczu w obu systemach produkcji, a najmniejszą w bulwach ziemniaka zebranego z obiektu kontrolnego w uprawie ekologicznej.

Nawożenie biomasą wsiewek międzyplonowych obniżało zawartość cukrów redukujących (średnio o 0,15%) w bulwach ziemniaka w porównaniu do obiektu kontrolnego (tab. 4). Na szczególne podkreślenie zasługuje tu nawożenie koniczyną perską zarówno przyoraną jesienią, jak i pozostawioną do wiosny w formie mulczu oraz mieszaną koniczyny perskiej z życicą westerwoldzką stosowaną w formie mulczu. Po zastosowaniu tych form nawożenia ziemniaki charakteryzowały się istotnie mniejszą zawartością cukrów redukujących niż ziemniaki nawożone obornikiem. Na pozostałych obiektach nawożonych biomasą wsiewek międzyplonowych zawartość cukrów redukujących w bulwach ziemniaka kształtowała się na zbliżonym poziomie, jak w ziemniakach nawożonych obornikiem.

Również system produkcji istotnie różnicował zawartość cukrów redukujących w bulwach ziemniaka. Na wszystkich porównywalnych obiektach ziemniak z uprawy ekologicznej charakteryzował się istotnie większą zawartością cukrów redukujących niż w integrowanym systemie produkcji.

Tabela 4

Procentowa zawartość cukrów redukujących w świeżej masie bulw ziemniaka (lata 2009–2011)
Percentage of reducing sugars content in potato tuber fresh matter (years 2009–2011)

Nawożenie wsiewką międzyplonową Manuring with undersown catch crop	System produkcji Production system		Średnie Means
	integrowany integrated	ekologiczny organic	
Obiekt kontrolny Control treatment	0,36	0,39	0,38
Obornik Farmyard manure	0,26	0,29	0,28
Koniczyna perska Persian clover	0,19	0,22	0,21
Koniczyna perska + życica westerwoldzka Persian clover + westerwolds ryegrass	0,24	0,25	0,25
Życica westerwoldzka Westerwolds ryegrass	0,26	0,29	0,28
Koniczyna perska-mulcz Persien clover-mulch	0,17	0,20	0,19
Koniczyna perska + życica westerwoldzka-mulcz Persian clover + westerwolds ryegrass-mulch	0,20	0,23	0,22
Życica westerwoldzka-mulcz Westerwolds ryegrass-mulch	0,23	0,26	0,25
Średnie Means	0,24	0,27	—
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}			
Nawożenie wsiewką międzyplonową — Manuring with undersown catch crop			0,03
System produkcji — Production system			0,02
Interakcja — Interaction			0,04

Ze współdziałania badanych czynników wynika, że najmniejszą zawartość cukrów redukujących odnotowano w bulwach ziemniaka nawożonego koniczyną perską zarówno przyoraną jesienią, jak i pozostawioną do wiosny w formie mulczu oraz mieszką koniczyny perskiej z życią westerwoldzką stosowaną w formie mulczu, a największą w bulwach ziemniaka zebranego z obiektu kontrolnego w obu systemach produkcji.

Nawożenie biomasa wsiewek międzyplonowych obniżało zawartość sumy cukrów (średnio o 0,14%) w porównaniu do obiektu kontrolnego (tab. 5). Istotnie mniejszy poziom sumy cukrów odnotowano w bulwach ziemniaka nawożonego mieszką koniczyny perskiej z życią westerwoldzką przyoraną jesienią i pozostawioną do wiosny w formie mulczu oraz życią westerwoldzką traktowaną jako mulcz. Zawartość sumy cukrów w bulwach ziemniaka nawożonego koniczyną perską zarówno przyoraną jesienią, jak i pozostawioną do wiosny w formie mulczu oraz życią westerwoldzką przyoraną jesienią nie różniła się istotnie od jej ilości odnotowanej w bulwach ziemniaka nawożonego obornikiem.

Podobnie, jak zawartość cukrów redukujących mniejszą koncentrację sumy cukrów odnotowano w bulwach ziemniaka uprawianego w integrowanym niż w ekologicznym systemie produkcji.

Tabela 5

Procentowa zawartość sumy cukrów w świeżej masie bulw ziemniaka (lata 2009–2011)
Percentage total sugars content in potato tuber fresh matter (years 2009–2011)

Nawożenie wsiewką międzyplonową Manuring with undersown catch crop	System produkcji Production system		Średnie Means
	integrowany integrated	ekologiczny organic	
Obiekt kontrolny Control treatment	0,67	0,70	0,69
Obornik Farmyard manure	0,56	0,59	0,58
Koniczyna perska Persian clover	0,57	0,60	0,59
Koniczyna perska + życica westerwoldzka Persian clover + westerwolds ryegrass	0,51	0,54	0,53
Życica westerwoldzka Westerwolds ryegrass	0,54	0,56	0,55
Koniczyna perska-mulcz Persian clover-mulch	0,55	0,57	0,56
Koniczyna perska + życica westerwoldzka-mulcz Persian clover + westerwolds ryegrass-mulch	0,49	0,52	0,51
Życica westerwoldzka-mulcz Westerwolds ryegrass-mulch	0,51	0,55	0,53
Średnie Means	0,55	0,58	—
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}			
Nawożenie wsiewką międzyplonową — Manuring with undersown catch crop			0,03
System produkcji — Production system			0,02
Interakcja — Interaction			0,05

Z interakcji badanych czynników wynika, że najmniejszą zawartość sumy cukrów odnotowano w bulwach ziemniaka nawożonego mieszanką koniczyny perskiej z życicą westerwoldzką zarówno przyoraną jesienią, jak i pozostawioną do wiosny w formie mulczu oraz życią westerwoldzką stosowaną w formie mulczu w integrowanym systemie produkcji, a także mieszanką koniczyny perskiej z życicą westerwoldzką stosowaną w formie mulczu w ekologicznym systemie produkcji, a największą w bulwach ziemniaka zebranego z obiektu kontrolnego w obu systemach produkcji.

DYSKUSJA

Nawożenie obornikiem i biomasą wsiewek międzyplonowych wpływa nie tylko na wielkość, ale i jakość plonu, a więc na ilość i wzajemny układ składników występujących w bulwach ziemniaka.

Badania Ceglarka i in. (1998), Leszczyńskiego (2002) oraz Boligłowy i Gleń (2003) dowodzą, że nawozy organiczne korzystnie oddziałują na zawartość suchej masy w bulwach ziemniaka. W badaniach własnych nawożenie biomasą wsiewek międzyplonowych stymulowało zawartość suchej masy w bulwach ziemniaka. Największą koncentracją suchej masy charakteryzowały się bulwy ziemniaka nawożonego koniczyną perską oraz mieszanką koniczyny perskiej z życicą westerwoldzką, niezależnie od formy ich stosowania. Płaza (2004) największą zawartość suchej masy odnotowała w bulwach

ziemniaka nawożonego wsiewką mieszanki koniczyny białej z życią wielokwiatową przyoraną jesienią. Nawożenie ziemniaka międzyplonem ścierniskowym w formie mulczu zwiększało koncentrację suchej masy w bulwach ziemniaka w porównaniu do tego międzyplonu przyoranego jesienią. W badaniach własnych stosowanie biomasy wsiewek międzyplonowych w formie mulczu również wpłynęło korzystnie na zawartość suchej masy w bulwach ziemniaka niż stosowanie ich w formie tradycyjnej. W badaniach Kołodziejczyka i in. (2007) zawartość suchej masy w bulwach ziemniaka nawożonego biomasą międzyplonu ścierniskowego z gorczycy białej i obornikiem nie różniła się istotnie.

W badaniach własnych, analogicznie jak u Sawickiej i Kusia (2002) większą zawartością suchej masy charakteryzowały się bulwy ziemniaka uprawianego w integrowanym niż w ekologicznym systemie produkcji. Odwrotną zależność wykazała Rembiałkowska (2002) porównując zawartość suchej masy w bulwach pochodzących z upraw ekologicznych i konwencjonalnych. Grandstedt i in. (1997) także w wieloletniej uprawie ekologicznej zanotowali większą zawartość suchej masy w bulwach ziemniaka.

Głównym składnikiem suchej masy bulw ziemniaka jest skrobia. Badania Grześkiewicza i Trawczyńskiego (1997), Ceglarka i Płazy (2000), Leszczyńskiego (2002) oraz Boligłowy i Gleń (2003) wskazują na zwiększenie zawartości skrobi po nawożeniu organicznym. W przeprowadzonym doświadczeniu najwięcej skrobi zawierały ziemniaki nawożone mieszanką koniczyny perskiej z życią westerwoldzką pozostawioną do wiosny w formie mulczu oraz życią westerwoldzką również pozostawioną do wiosny w formie mulczu. W badaniach Płazy i Ceglarka (2009) nawożenie ziemniaka biomasą międzyplonu ścierniskowego w formie mulczu zwiększało zawartość skrobi w bulwach ziemniaka w porównaniu do tego międzyplonu przyoranego jesienią. Natomiast Boligłowa i Gleń (2003), Dzienia i in. (2004) oraz Kołodziejczyk i in. (2007) nie stwierdzili istotnych różnic pomiędzy zawartością skrobi w ziemniakach nawożonych obornikiem, a gorczycą białą zarówno przyoraną jesienią, jak i pozostawioną do wiosny w formie mulczu. W badaniach własnych zawartość skrobi w bulwach ziemniaka nawożonego biomasą wsiewek międzyplonowych przyoranych jesienią, z wyjątkiem koniczyny perskiej, nie różniła się istotnie od zawartości skrobi odnotowanej w bulwach ziemniaka nawożonego obornikiem. Po zastosowaniu koniczyny perskiej przyoranej jesienią zawartość skrobi w bulwach ziemniaka była istotnie mniejsza niż na oborniku. Odmienny pogląd prezentuje Makaraviciute (2003) twierdząc, że nawożenie ziemniaka rośliną bobowatą działa lepiej na procentową zawartość skrobi niż nawożenie obornikiem.

W literaturze spotyka się wiele informacji wskazujących na mniejszą zawartość skrobi w bulwach ziemniaka pochodzącego z upraw ekologicznych (Grandstedt i in., 1997; Rembiałkowska, 2002). Jednak badania Zarzyńskiej i Goliszewskiego (2006) oraz Zarzyńskiej i Wroniak (2008) nie potwierdzają tych informacji. Natomiast w badaniach własnych odnotowano większą zawartość skrobi w bulwach ziemniaka uprawianego w integrowanym niż w ekologicznym systemie produkcji. Jest to zbieżne z wynikami badań Reust i in. (1999), Sawickiej i Kuś (2002), Redulla i in. (2005) oraz Smith (2007).

Kolejnym bardzo ważnym składnikiem z punktu widzenia żywieniowego jest zawarty w bulwach ziemniaka kwas askorbinowy, który wraz z kwasem dehydroaskorbinowym

stanowi witaminę C (Hamouz i in., 2005). Nawożenie organiczne stymuluje zawartość witaminy C w bulwach ziemniaka (Weber i Putz, 1999; Leszczyński, 2002; Hamouz i in., 2005, 2007). W badaniach własnych największą zawartością witaminy C charakteryzowały się bulwy ziemniaka nawożone biomasą wsiewki międzyplonowej, z wyjątkiem życicy westerwoldzkiej przyoranej jesienią. Badania Boligłowy i Gleń (2003) oraz Płazy i Ceglarka (2009) wykazały, że nawożenie ziemniaka biomasą międzyplonu ścierniskowego stosowanego w formie mulczu zwiększało zawartość witaminy C w bulwach ziemniaka w porównaniu do tego międzyplonu przyoranego jesienią. W przeprowadzonym doświadczeniu zawartość witaminy C w bulwach ziemniaka nawożonego biomasą wsiewek międzyplonowych w formie mulczu była również większa od odnotowanej w ziemniakach nawożonych biomasą wsiewek międzyplonowych przyoranych jesienią. Największą jej koncentrację odnotowano w bulwach ziemniaka nawożonego koniczyną perską w formie mulczu.

W badaniach Warman i Havard (1998) oraz Sawickiej i Kusia (2002) odnotowano wyższą koncentrację witaminy C w bulwach ziemniaka uprawianego w integrowanym niż w ekologicznym systemie produkcji. Jest to zbieżne z wynikami badań własnych. Odmienny pogląd prezentuje Zarzyńska i Wroniak (2008) twierdząc, że więcej witaminy C zawierają ziemniaki uprawiane w ekologicznym systemie produkcji. Jednak były to różnice nieudowodnione statystycznie.

W bulwach ziemniaka przeznaczonego do bezpośredniego spożycia dużą rolę odgrywają cukry ogółem, natomiast w produkcji chipsów i frytek cukry redukujące. Zawartość cukrów redukujących w ziemniaku przeznaczonym do bezpośredniej produkcji powinna wynosić do 0,5%, a sumy cukrów do 1% w świeżej masie bulw (Głuska, 2002; Zgórska i Frydecka-Mazurczyk, 2002). Według Leszczyńskiego (2002), Makaraviciute (2003) oraz Płazy (2004) nawozy organiczne obniżają koncentrację cukrów w bulwach ziemniaka. W badaniach własnych bulwy ziemniaka nawożonego koniczyną perską zarówno przyoraną jesienią, jak i pozostawioną do wiosny w formie mulczu oraz mieszkanką koniczyny perskiej z życicą westerwoldzką pozostawioną do wiosny w formie mulczu charakteryzowały się istotnie mniejszą zawartością cukrów redukujących niż ziemniaki nawożone obornikiem. Na pozostałych obiektach nawożonych wsiewkami międzyplonowymi zawartość cukrów redukujących w bulwach ziemniaka kształtowała się na zbliżonym poziomie, jak w ziemniakach nawożonych obornikiem. Natomiast Peskin i Singh (1999) wykazali wzrost zawartości cukrów w bulwach, przy zwiększonej ilości azotu w glebie.

Ziemniaki uprawiane w ekologicznym systemie produkcji charakteryzowały się istotnie wyższą zawartością cukrów niż ziemniaki uprawiane w integrowanym systemie produkcji. Natomiast badania Sawickiej i Kusia (2002) wykazały, iż zawartość cukrów redukujących w bulwach ziemniaka kształtowała się na podobnym poziomie w ekologicznym i integrowanym systemie produkcji.

WNIOSKI

1. Nawożenie biomasą wsiewek międzyplonowych zwiększyło w bulwach ziemniaka zawartość suchej masy, skrobi i witamin C, a zmniejszało zawartość cukrów redukujących i sumy cukrów.
2. Ziemniaki uprawiane w integrowanym systemie produkcji zawierały więcej suchej masy, skrobi i witaminy C, a mniej cukrów redukujących i sumy cukrów niż w bulwach uprawianych w ekologicznym systemie produkcji.
3. Nawożenie mieszkanką koniczyny perskiej z życicą westerwoldzką zarówno przyoraną jesienią, jak i pozostawioną do wiosny w formie mulczu w integrowanym systemie produkcji zapewniło najkorzystniejszy skład chemiczny bulw ziemniaka.

LITERATURA

- Boliłłowa E., Gleń K. 2003. Yielding and quality of potato tubers depending on the kind of organic fertilization and tillage method. *Elec. J. Pol. Agric. Univ. Top Agron.* 1,6, www.ejpau.media.pl.
- Ceglarek F., Płaza A., Buraczynska D., Jabłońska-Ceglarek R. 1998. Alternatywne nawożenie organiczne ziemniaka jadalnego w makroregionie środkowo-wschodnim. Cz. II. Wartość odżywcza i konsumpcyjna ziemniaka. *Rocz. Nauk Rol., Ser. A, T. 113, Z. 3-4*: 189 — 201.
- Ceglarek F., Płaza A. 2000. Wpływ nawożenia wsiewkami międzyplonowymi na jakość bulw ziemniaka jadalnego w rejonie Siedlec. *Biul. IHAR*, 213: 109 — 116.
- Dzienia S., Szarek P., Puzyński S. 2004. Plonowanie i jakość bulw ziemniaka w zależności od systemu uprawy roli i rodzaju nawożenia organicznego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 500: 235 — 241.
- Głuska A. 2002. Wpływ warunków glebowych i rozkładu opadów na plon i niektóre cechy jakości bulw jako ograniczenia w produkcji ekologicznej ziemniaka. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 489: 113 — 121.
- Grandstedt A., Kjellenberg L., Rožmilla P. 1997. Long-term field experiment in Sweden: Effects of organic and inorganic fertilizers on soil fertility and crop quality. *Agricultural Production and Nutrition. Proceeding of a Conference in Boston, MA, USA, 19-21.03.1997*: 79 — 90.
- Grzeškiewicz H., Trawczyński C. 1997. Poplony ścierniskowe jako nawóz organiczny w uprawie ziemniaków. *Biul. Inst. Ziemn.* 48: 73 — 82.
- Hamouz K., Lachman J., Dvořák P., Pivec V. 2005. The effect of ecological growing on the potatoes yield and quality. *Plant Soil Environ.*, 51: 397 — 402.
- Hamouz K., Lachman J., Dvořák P., Duškova O., Čížek M. 2007. Effect of conditions of locality, variety and fertilization on the content of ascorbic acid in potato tubers. *Plant Soil Environ.* 53: 252 — 257.
- Kołodziejczyk M., Szmigiel A., Kielbasa S. 2007. Plonowanie oraz skład chemiczny bulw ziemniaka w warunkach różnicowanego nawożenia. *Fragm. Agron.* 2 (94): 142 — 150.
- Leszczyński W. 2002. Zależność jakości ziemniaka od stosowania w uprawie nawozów i pestycydów. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 489: 47 — 64.
- Makaravice A. 2003. Effect of organic and mineral fertilizers on the yield and quality of different of potato varieties. *Agron. Res.* 1 (2): 197 — 209.
- Peshin A., Singh B. 1999. Biochemical composition of potato tubers as influenced by higher nitrogen application. *J. Indian Potato Assoc.* 26 (3-4): 145 — 147.
- Płaza A. 2004. Skład chemiczny bulw ziemniaka jadalnego w warunkach różnicowanego nawożenia organicznego. *Annales UMCS, Sec. E*, 59 (3): 1327 — 1334.
- Płaza A., Ceglarek F. 2009. Tuber quality of edible potato fertilized with catch crops and barley straw. *Annales UMCS, Sec. E, LXIV* (3): 79 — 91.
- Redulla C. A., Davenport J. R., Evans R. G., Hattendorf M. J., Alva A. K., Boydston R. A. 2005. Relating potato yield and quality to field scale variability in soil characteristics. *Amer. J. of Potato Res.* 79 (5): 317 — 323.

- Reust W., Neyroud J. A., Dutoid J. P. 1999. Potato fertilization in integrated farming system. 1th Triennial Conference of the EAPR. Sorrento, Italy, 02–07.05.1999: 259 — 260.
- Sawicka B., Kuś J. 2002. Zmienność składu chemicznego bulw ziemniaka w warunkach ekologicznego i integrowanego system produkcji. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 489: 273 — 282.
- Smith O. 2007. Potato quality. Amer. Jour. Potato Res. 28 (10): 732 — 737.
- Weber L., Putz B. 1999. Vitamin C content in potato. Proceeding 14th Triennial Conference of the European Association for Potato Research. Sorrento, Italy, 02–07.05.1999: 230 — 231.
- Warman P. R., Havard K. A. 1998. Yield, vitamin and mineral contents of organically and conventionally grown potatoes and seed corn. Agric. Ecos. Environ. 68 (3): 207 — 216.
- Zarzyńska K., Goliszewski W. 2006. Uprawa ziemniaka w systemie ekologicznym i integrowanym a jakość plonu bulw. Pam. Puł. 142: 617 — 626.
- Zarzyńska K., Wroniak J. 2008. Różnice w składzie chemicznym bulw ziemniaka uprawianego w systemie ekologicznym i integrowanym w zróżnicowanych warunkach klimatyczno-glebowych. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 530: 249 — 257.
- Zgórkosa K., Frydecka-Mazurczyk A. 2002. Rozmieszczenie suchej masy i sacharydów w różnych częściach bulw ziemniaka. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 489: 327 — 334.

MILENA PIETRASZKO ¹GRZEGORZ GRYŃ ²TERESA PASTUSZEWSKA ²WŁODZIMIERZ PRZEWODOWSKI ³AGNIESZKA PRZEWODOWSKA ³¹ IHAR — PIB Oddział w Jadwisinie, Szaniawskiego 15, 05-140 Jadwisin² IHAR — PIB Oddział w Bydgoszczy, Al. Powstańców Wielkopolskich 10, 85-090 Bydgoszcz³ IHAR — PIB Zakład Nasiennictwa i Ochrony Ziemiaka w Boninie, 76-009 Bonin

Podatność wybranych odmian ziemniaka na porażenie bakteriami *Clavibacter* *michiganensis* subsp. *sepedonicus* w zróżnicowanych warunkach glebowych

Susceptibility of potato cultivars to infection by bacteria *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus* in different soil conditions

Celem pracy była ocena podatności wybranych odmian ziemniaka, na sztuczną inokulację zawiesiną komórek *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus* (*Cms*) w zależności od warunków glebowych. Materiał badawczy stanowiły dwie odmiany średnio późne, skrobiowe: Bosman i Ikar. Bulwy inokulowane zawiesiną bakteryjną i nie inokulowane (kontrola negatywna), wysadzano do gleb na mikropoletkach, zbudowanych na bazie trzech profili glebowych zróżnicowanych pod względem składu granulometrycznego. Znacznie niższą liczbę zgromadzonych bulw potomnych oraz wyższy stopień porażenia przez *Cms* zarówno łodyg jak i bulw stwierdzono u odmiany Bosman. Liczba bulw potomnych wytworzonych przez rośliny inokulowane *Cms* była istotnie niższa niż liczba bulw potomnych wytworzonych z roślin wolnych od bakterii *Cms*. Udowodniono wpływ profilu glebowego na liczbę zgromadzonych bulw potomnych. Zaobserwowano tendencję szybszego tempa rozwoju roślin, dłuższego okresu wegetacji oraz wyższego plonu dla odmiany Ikar — o niższym porażeniu roślin i bulw przez *Cms*.

Słowa kluczowe: bakterioza pierścieniowa ziemniaka, *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus*, odmiana ziemniaka, podatność, inokulacja, gleba

The aim of the study was to assess the susceptibility of selected cultivars of potato, to artificial inoculation with the suspension of *Clavibacter michiganensis* subsp. *Sepedonicus* (*Cms*) depending on soil conditions. Medium late starch cultivars: Bosman and Ikar were used as the material. Tubers inoculated with bacterial suspension and non-inoculated tubers (negative control) were planted into soil

at microplots. Microplots were built on the basis of three different soil profiles in terms of grain size composition. A much lower number of progeny tubers and a higher level of *Cms* infection in stems and tubers were found in a cultivar Bosman. The number of progeny tubers of plants inoculated with *Cms* was significantly smaller than the number of progeny tubers of control plants. The influence of the soil profile on the number of progeny tubers was proven. There was a trend of faster growth of plants, longer growing period and higher yield for a cultivar Ikar — less susceptible to *Cms* infection.

Key words: bacterial ring rot, *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus*, cultivar of potato, susceptibility, inoculation, soil

WSTĘP

Podgatunek bakterii *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus* (*Cms*) (Spickermann et Kotthoff) Davies et al., jest organizmem kwarantannowym, wywołującym bakteriozę pierścieniową ziemniaka. Występowanie *Cms* na plantacjach powoduje znaczne straty gospodarcze. Bezpośrednie straty, które w Polsce występują sporadycznie, mogą być efektem wędnięcia części nadziemnej ziemniaka, a w efekcie redukcji plonów i gnicia bulw podczas przechowywania. Znaczne są natomiast straty pośrednie, które wynikają z konieczności respektowania przepisów fitosanitarnych, określonych w dyrektywach unijnych i krajowych rozporządzeniach, nakazujących utylizację zainfekowanych ziemniaków, kilkuletni zakaz ich uprawy oraz ograniczenia w eksporcie.

Bakterioza pierścieniowa ziemniaka jest chorobą trudną do rozpoznania i zwalczania, ze względu na zasiedlanie przez patogena systemu naczyniowego bulw, łodyg i liści, powolny rozwój objawów na roślinach lub występowanie całkowicie bezobjawowej (latentnej) postaci choroby (Dykstra, 1941, 1942; Slack, 1987).

Rozwój objawów oraz nasilenie porażenia bakteriozą pierścieniową zależy od wielkości i rodzaju inokulum bakteryjnego, odmiany ziemniaka i warunków środowiskowych (Bishop i Slack, 1987; Boer, McCann, 1990; Kawchuk i in., 1998; Nelson i Kozub, 1992; Pastuszewska, 2004; Sletten, 1985; Westra i Slack, 1994). Badania nad hodowlą odpornych na porażenie przez *Cms* odmian ziemniaka podjęto w Europie i Stanach Zjednoczonych. Nie wyhodowano odmian całkowicie odpornych na *Cms*, jedynie tolerancyjne, które nie zostały szerzej wykorzystane w uprawie. Bulwy tych odmian poddane sztucznej inokulacji ulegały tylko lekkiemu porażeniu o charakterze latentnym i stanowiły groźne źródło rozprzestrzeniania się bakterii (Manzer i McKenzie, 1988). O ile zjawisko zróżnicowanej odporności oraz różnej ekspresji objawów na różnych odmianach jest dobrze rozpoznane, to wpływ różnych czynników środowiska, w szczególności rodzaju gleby na nasilenie infekcji powodowanej przez *Cms* nie został jednoznacznie określony.

Praca stanowi opracowanie wyników trwających badań, której celem jest ocena podatności wybranych odmian ziemniaka, na sztuczną inokulację zawiesiną komórek *Cms* w zależności od warunków glebowych.

MATERIAŁ I METODA

Materiał badawczy pochodził z doświadczenia realizowanego w 2014 roku. Badania polowe prowadzono na izolowanych mikropoletkach doświadczalnych w IHAR — PIB

Oddział w Jadwisinie, natomiast badania diagnostyczne pod kątem porażenia materiału roślinnego przez *Cms* wykonywano w IHAR— PIB Oddział w Bydgoszczy.

Materiał badawczy stanowiły dwie odmiany średnio późne, skrobiowe, pochodzące z polskiej hodowli odmian ziemniaka: Bosman i Ikar. Sadzeniaki tych odmian inokulowano zawiesiną patogenicznego szczepu *Cms*, poprzez nakłucia bulw skalpelem zanurzonym w zawiesinie bakteryjnej. Nie inokulowane sadzeniaki stanowiły kontrolę negatywną. W badaniach wykorzystano szczep wzorcowy *Cms* — NCPPB 4053. Z czystej kultury bakterii przygotowano inokulum zawierające $2,5 \times 10^8$ jednostek tworzących kolonie w mililitrze buforu PB ($\text{jtk} \times \text{ml}^{-1}$).

Bulwy wysadzano do gleb na mikropoletkach, zbudowanych na bazie trzech profili glebowych zróżnicowanych pod względem składu granulometrycznego, w którym warstwę orną stanowiły: piasek gliniasty lekki pylasty na glinie lekkiej węglanowej od 120 cm (I), piasek gliniasty lekki całkowity (II) i glina lekka na glinie ciężkiej od 25 cm (III). Gleba wykorzystanych profili glebowych miała odczyn lekko kwaśny oraz bardzo wysoką zawartość fosforu, magnezu i potasu (tab. 1). Dokonywano pomiaru temperatury gleb na głębokości 10 cm i wilgotności na głębokości 20 cm. Na jednym profilu glebowym umieszczano trzy bulwy inokulowane *Cms* i trzy bulwy kontrolne danej odmiany.

Tabela 1

Warunki glebowe prowadzenia doświadczenia mikropoletkowego
Soil condition of the conducted microplot experiment

Skład granulometryczny profilu glebowego Type of soil profile	Piasek gliniasty lekki pylasty na glinie lekkiej węglanowej od 120 cm Light loamy sand over carbonate light clay of 120 cm (I)	Piasek gliniasty lekki całkowity Light loamy sand (II)	Glina lekka na glinie ciężkiej od 25 cm Light clay over heavy clay of 25 cm (III)
Średnia temperatura gleby w okresie V–IX (°C) Average of soil temperature during the V–IX (°C)	19,8	18,9	18,8
Średnia wilgotność gleby w okresie V–IX (%) Average of soil moisture during the V–IX (%)	3,2	9,7	7,3
pH	5,9	5,3	6,5
Zasobność Contents			
P ₂ O ₅	25,0	23,4	35,0
K ₂ O	20,5	24,0	47,0
Mg	7,4	5,8	19,8

W okresie wegetacji roślin prowadzono obserwacje wschodów, pełni kwitnienia i zasychania oraz różnic pomiędzy roślinami inokulowanymi *Cms* i roślinami kontrolnymi. W I dekadzie sierpnia przeprowadzono testy immunofluorescencyjne IFAS pozwalające na wykrycie i identyfikację bakterii *Cms* w próbach z łodyg. Wycinki łodyg z trzech roślin

jednej odmiany rosnących na każdym profilu glebowym stanowiły jedną próbę. Za pomocą skalpela cięto około 3 cm fragment łodygi na 0,5 cm odcinki.

Bulwy potomne z każdej rośliny zbierano oddzielnie, notowano ich wagę i liczbę, odrzucono bulwy zgniłe. Z pozostałych bulw każdej odmiany pobrano tkankę i wykonano testy IFAS w celu określenia zasiedlenia bulw przez sprawcę bakteriozy pierścieniowej ziemniaka. Za pomocą skalpela obierano skórkę z części przystolonowej i pobierano stożkowate wycinki z tkanki przewodzącej bulwy. Następnie wszystkie bulwy poddawano ocenie makroskopowej pod względem objawów porażenia przez *Cms*. Próbę z bulw ziemniaków zakażanych *Cms* stanowiły wycinki ze wszystkich bulw trzech roślin odmiany z jednego profilu glebowego.

Wycinki łodyg oraz bulw umieszczano w 30 ml plastikowych pojemnikach, zalewano buforem do maceracji PB 0,05M, pH 7,0 i wytrząsano na wytrząsarce przez 4 godz., przy obrotach 120 obr./min. Następnie zawieszinę wirowano w wirówce z chłodzeniem (4°C) 10 minut przy obrotach 10000 obr./min. Supernatant odrzucano, a osad zawieszano w buforze PB0,01M, pH 7,2. Dalsze postępowanie z próbami było zgodne z procedurą dla testu IFAS, określoną w Dyrektywie Komisji 2006/56/WE z dnia 12 czerwca 2006 r. w sprawie zwalczania bakteriozy pierścieniowej ziemniaka. W testach zastosowano poliklonalne przeciwciała firmy Loewe.

Na podstawie wyników testów IFAS określono stopień porażenia części nadziemnej roślin i bulw danej odmiany w skali 0–8, w której „0” oznaczało brak obecności komórek bakterii *Cms*, a „8” — średnio powyżej 500 komórek *Cms* w polu widzenia preparatu mikroskopowego (tab. 2). Na podstawie stopni porażenia obliczano indeks porażenia (IP) wg wzoru Townsenda i Heubergera, wyrażający się procentowym stosunkiem łodyg lub bulw, w których stwierdzono obecność komórek *Cms* do ogólnej liczby łodyg lub bulw

$$\text{mogących być maksymalnie porażonymi: } P = \left(\frac{\sum_{v=0}^i (n \times v)}{i \times N} \right) \times 100,$$

gdzie: P = ogólny stopień porażenia bulw

v = stopnie porażenia bulw od 0 do najwyższego (tab. powyżej)

i = najwyższy stopień porażenia

n = liczba bulw w poszczególnych stopniach porażenia

N = ogólna liczba badanych bulw

W analizie statystycznej posłużono się programem SAS Enterprisise Guide 4.0-modele liniowe ANOVA. Do weryfikacji istotności różnic (przy poziomie $\alpha = 0,05$) zastosowano test Tukeya.

Tabela 2

Skala porażenia bulw na podstawie liczebności komórek *Cms* obserwowanych w preparacie mikroskopowym
Scale of tubers infection on the basis of the number of *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus* cells observed in the microscopic slide

Stopnie porażenia The degree of infection	Liczba komórek <i>Cms</i> w preparacie The number of <i>Cms</i> cells in the microscopic slide
0	0
1	Sp
2	(0-1)+ (0-5) + (1-5)
3	5-10
4	50
5	100
6	200
7	500
8	>500

Sp — średnio 1 – 20 komórek *Cms* w okienku preparatu — average 1–20 *Cms* cells in window of microscopic slide

0–1 — komórek *Cms* w polu widzenia — *Cms* cells in field of vision

0–5 — komórek *Cms* w polu widzenia — *Cms* cells in field of vision

1–5 — komórek *Cms* w polu widzenia — *Cms* cells in field of vision

5–10 — komórek *Cms* w polu widzenia — *Cms* cells in field of vision

50 — komórek *Cms* w polu widzenia — *Cms* cells in field of vision

100 — komórek *Cms* w polu widzenia — *Cms* cells in field of vision

200 — komórek *Cms* w polu widzenia — *Cms* cells in field of vision

500 — komórek *Cms* w polu widzenia — *Cms* cells in field of vision

>500 — komórek *Cms* w polu widzenia — *Cms* cells in field of vision

WYNIKI I DYSKUSJA

Na podstawie obserwacji tempa rozwoju roślin w trakcie okresu wegetacji, stwierdzono, że badane odmiany różniły się jedynie pod względem czasu niezbędnego do uzyskania fazy pełni kwitnienia. Kwitnienie roślin ziemniaka odmiany Ikar odnotowano 6 dni wcześniej niż u odmiany Bosman. Nie stwierdzono istotnych różnic między roślinami inokulowanymi *Cms* i kontrolnymi, pod względem liczby dni od sadzenia do uzyskania fazy pełni wschodów, kwitnienia i zasychania roślin. Warunki glebowe również nie miały wpływu na tempo rozwoju roślin inokulowanych *Cms* i kontrolnych (tab. 3). Uzależniony od składu granulometrycznego gleby był natomiast termin zasychania roślin odmiany Bosman (tab. 4).

Na podstawie oceny uzyskanego plonu stwierdzono, że badane odmiany nie różniły istotnie pod względem masy bulw potomnych. Wykazano natomiast, wpływ profilu glebowego na plonowanie roślin odmiany Ikar (tab. 5). Udowodniono istotne statystycznie zróżnicowanie odmian pod względem liczby wytworzonych bulw. U odmiany Bosman odnotowano średnio około 20 bulw mniej niż u odmiany Ikar. Suma ogólna liczby bulw znacznie różniła się pomiędzy roślinami inokulowanymi *Cms* i roślinami kontrolnymi. Średnia liczba bulw dwóch badanych odmian wynosiła 35,0 — dla roślin zainfekowanych *Cms* i 43,2 — dla roślin kontrolnych. Podobną zależność uzyskano w analizie szczegółowej dla każdej z odmian, w przypadku roślin odmiany Bosman (tab. 6).

Tabela 3

Liczba dni od sadzenia do uzyskania fazy pełni wschodów, kwitnienia i zasychania roślin ziemniaka
The number of days from planting to the phases of full emergence, flowering and senescence
of potato plants

Odmiana Profil glebowy Cultivar Soil profile	Pełnia wschodów The full emergence						Pełnia kwitnienia The full flowering						Pełnia zasychania The senescence								
	<i>Cms</i>			kontrola negatywna negative control			średnio dla odm. on average for a cultivar	<i>Cms</i>			kontrola negatywna negative control			średnio dla odm. on average for a cultivar	<i>Cms</i>			kontrola negatywna negative control			średnio dla odm. on average for a cultivar
	I	II	III	I	II	III		I	II	III	I	II	III		I	II	III	I	II	III	
Bosman	27	22	33	27	27	33	28,2 a	64	64	64	64	64	64	64,0 a	90	90	109	90	90	109	96,3 a
	27,3 a*			29,0 a				64 a			64 a				96,3 a			96,3 a			
Ikar	27	22	27	33	22	27	26,3 a	57	57	64	57	51	64	58,3b	90	116	116	90	90	116	103,0 a
	25,3 a			27,3 a				59,3 a			57,3 a				107,3 a			98,7 a			
Średnio dla kombinacji On average for a combina- tion	26,3 a			28,2 a			x	61,7 a			60,7 a			x	101,8 a			97,5 a			x

* Średnie z tą samą literą nie różnią się istotnie — Means with the same letter are not significantly different

Tabela 4

Istotny wpływ rodzaju gleby na termin zasychania roślin odmiany Bosman
Significant influence the type of soil on the full senescence date in Bosman cultivar

Profil glebowy Soil profile	Pełnia zasychania* — odmiana Bosman The full senescence — Bosman cultivar
I	90,0 b**
II	90,0 b
III	109,0 a

* Liczba dni od sadzenia — The number of days from planting

** Średnie z tą samą literą nie różnią się istotnie — Mean with the same letter are not significantly different

Tabela 5

Zróznicowanie odmian i kombinacji (*Cms*-kontrola negatywna) pod względem masy bulw potomnych
Differentiation of cultivars and combinations (*Cms*-negative control) in terms of the weight of progeny tubers

Masa bulw trzech roślin (kg) — Weight of tubers of three plants					
odmiana cultivar	kombinacja combinations	profil glebowy — soil profile			średnio dla odmiany i kombinacji mean for cultivar and combination
		I	II	III	
Bosman	<i>Cms</i>	0,92	1,46	0,3	0,9 a*
	kontrola neg. — neg. control	4,42	2,08	1,62	2,7 a
Średnio dla profilu glebowego — Mean for soil profile		2,7 a	1,8 a	1,0 a	x
Ikar	<i>Cms</i>	3,1	3,14	2,36	2,9 a
	kontrola neg. — neg. control	2,84	3,46	2,58	3,0 a
Średnio dla profilu glebowego — Mean for soil profile		3,0 ab	3,3 a	2,5 b	x
Średnio dla kombinacji <i>Cms</i> — Mean for combination <i>Cms</i>					1,9 a
Średnio dla kontroli neg. — Mean for neg. control					2,8 a

* Średnie z tą samą literą nie różnią się istotnie — Means with the same letter are not significantly different

Tabela 6

Zróźnicowanie odmian i kombinacji (*Cms*-kontrola negatywna) pod względem liczby bulw potomnych
Differentiation of cultivars and combinations (*Cms*-negative control) in terms of the number of progeny tubers

Suma liczby bulw trzech roślin — Total number of tubers of three plants					
Odmiana Cultivar	kombinacja combinations	profil glebowy — soil profile			średnio dla odmiany i kombinacji mean for cultivar and combination
		I	II	III	
Bosman	<i>Cms</i>	29	23	11	21,0 a
	kontrola neg. — neg. control	36	41	36	37,7 b
Średnio dla profilu glebowego — Mean for soil profile		32,5 a	32,0 a	23,5 a	x
Ikar	<i>Cms</i>	57	47	43	49,0 a
	kontrola neg. — neg. control	49	50	47	48,7 a
Średnio dla profilu glebowego — Mean for soil profile		53,0 a	48,5 a	45,0 a	x
Średnio dla kombinacji <i>Cms</i> — Mean for combination <i>Cms</i>					35,0 a
Średnio dla kontroli neg. — Mean for neg. control					43,2 b

*Średnie z tą samą literą nie różnią się istotnie — Means with the same letter are not significantly different

Znacznie wyższy indeks porażenia przez *Cms* zarówno części nadziemnej jak i bulw, stwierdzono u odmiany Bosman (tab. 7). Zaobserwowano tendencję szybszego tempa rozwoju roślin, dłuższego okresu wegetacji oraz wyższego plonu o większej liczbie bulw u odmiany Ikar — o niższym indeksie porażenia pędów i bulw.

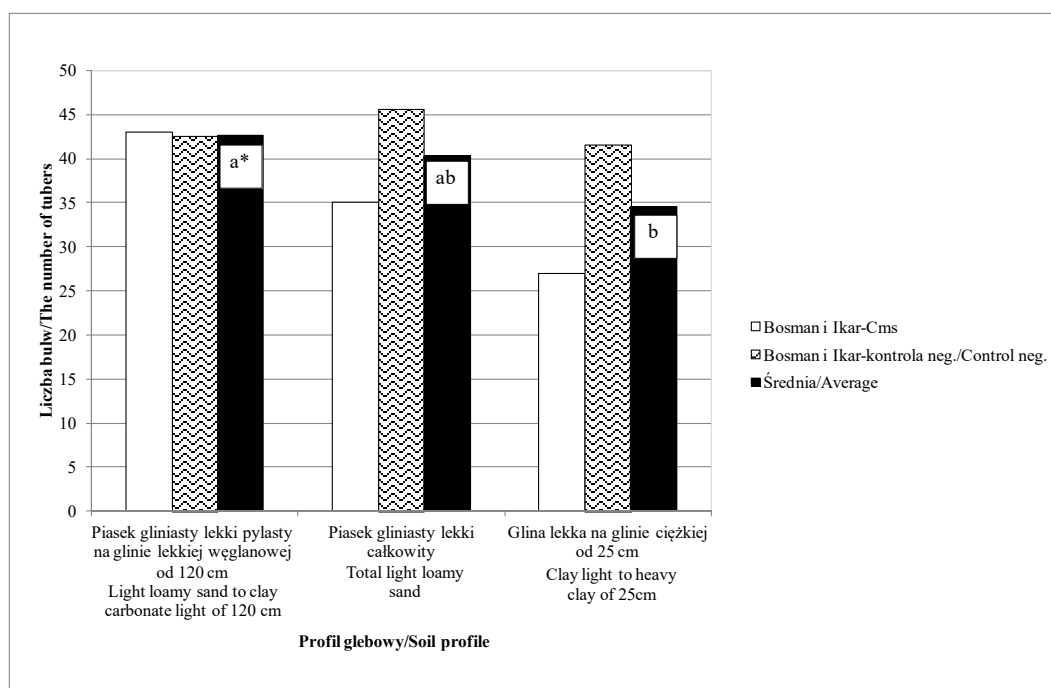
Tabela 7

Ocena preparatów IFAS wykonanych z łodyg roślin i bulw ziemniaka, łącznie dla profili glebowych
Evaluation of IFAS preparations prepared from plant stems and potato tubers jointly for soil profiles

Odmiana Cultivar	Indeks porażenia łodyg Index of stems infection (%)	Indeks porażenia bulw Index of tubers infection (%)
Bosman	87,5%	100%
Ikar	18,8%	70,8%

Uzyskane wyniki, są zgodne z prezentowanymi w literaturze. Z badań Pastuszewskiej i in. (2010) wynika, że bulwy różnych odmian, inokulowane w jednakowy sposób, tą samą zawiesiną bakterii, dają potomstwo o zróżnicowanym stopniu porażenia *Cms*. Prezentowane wyniki potwierdziły także rezultaty pracy Hukkanen i in. (2005), w której stwierdzono, że inokulacja sadzeniaków bakteriami *Cms* spowodowała redukcję plonu odmiany podatnej o 41–56% w porównaniu do kontroli. Stwierdzono także, że redukcja plonu była bardziej związana ze średnią liczbą bulw niż ich wagą. Na obniżenie plonu roślin inokulowanych *Cms* wynikającą z mniejszej liczby wytworzonych bulw, uwagę zwrócił również Sletten (1985). Ponadto Hukkanen i in. (2005) podają, że u odmiany bardziej odpornej na porażenie, mimo wykrycia znacznej liczby bakterii w łodygach i bulwach, nie obserwowano zmniejszenia plonu, podobnie jak w prezentowanych w pracy wynikach, dla odmiany Ikar.

Udowodniono wpływ zróżnicowanych profili glebowych na liczbę wytworzonych bulw potomnych. Istotnie najwięcej bulw odnotowano dla roślin ziemniaków rosnących na piasku gliniastym lekkim pylastym na glinie lekkiej węglanowej od 120 cm (profil I), natomiast najmniej na glinie lekkiej na glinie ciężkiej od 25 cm (profil III) (rys. 1).



* Średnie z tą samą literą nie różnią się istotnie — Mean with the same letter are not significantly different

Rys. 1. Łączna liczba bulw potomnych roślin ziemniaka inokulowanych *Cms* i kontrolnych w zależności od rodzaju gleby

Fig. 1. The total number of progeny tubers of potato plants inoculated with *Cms* and the control ones depending on the type of soil

Stwierdzono wpływ profilu glebowego na liczebność bulw potomnych wytworzonych przez rośliny inokulowane *Cms* i wolne od bakterii, na podstawie wyniku analizy wariancji mówiącego o istotność współdziałania: profil glebowy $\times$ kombinacja. Największa różnica w liczbie bulw wytworzonych przez rośliny inokulowane *Cms* i kontrolne wynosiła 14,5 i wystąpiła na III profilu glebowym. Najmniejsza różnica wynosiła średnio 1,5 bulwy i dotyczyła roślin uprawianych na I profilu glebowym (rys. 1). Gлина lekka była najbardziej niekorzystna pod względem plonowania roślin ale liczba stwierdzonych komórek *Cms* w łodygach i bulwach wytworzonych przez rośliny na niej rosnące, była taka sama lub wyższa w porównaniu do liczby komórek *Cms* w roślinach z pozostałych profili glebowych (tab. 8).

Wiele czynników wpływa na rozwój populacji bakterii *Cms*. Prezentowane w pracy wyniki są pierwszą w kraju próbą wykazania zależności pomiędzy rodzajem gleby a rozmnażaniem *Cms* na roślinach ziemniaka. Rozpoznanie i charakterystyka pojedynczych czynników mających na to wpływ jest bardzo trudna, a określenie współdziałania tych czynników wydaje się być praktycznie niemożliwe. Znane są ogólne zależności dotyczące wpływu temperatury i wilgotności na *Cms* (Logsdon, 1967; Maćkowiak-Sochacka i in., 2012; Waleron i in., 2010; Van der Wolf, 2005).

Tabela 8

Wyniki testów IFAS wykonanych z łodyg i bulw ziemniaka inokulowanych *Cms* pochodzących z poszczególnych profili glebowych
Test results of IFAS tests prepared from the stems and potato tubers inoculated with *Cms* from individual soil profiles

Odmiana / Profil glebowy Cultivar / Soil profile	Ocena preparatów IFAS prób z łodyg Evaluation of IFAS tests for stems			Ocena preparatów IFAS prób z bulw Evaluation of IFAS tests for tubers		
	piasek gliniasty lekki pylasty na glinie lekkiej węglanowej od 120 cm light loamy sand over carbonate light clay of 120 cm	piasek gliniasty lekki całkowity light loamy sand	głina lekka na glinie ciężkiej od 25 cm light clay over heavy clay of 25 cm	piasek gliniasty lekki pylasty na glinie lekkiej węglanowej od 120 cm light loamy sand over carbonate light clay of 120 cm	piasek gliniasty lekki całkowity light loamy sand	głina lekka na glinie ciężkiej od 25cm light clay over heavy clay of 25cm
Bosman	>500*	100	>500	>500	>500	>500
Ikar	brak danych	0	5-10	>500	5-10	200

* Liczba komórek *Cms* w preparacie — The number of *Cms* cells in the microscopic slide

Natomiast nie rozpoznany jest wystarczająco rozwój bakteriozy pierścieniowej ziemniaka w naturalnych, zróżnicowanych warunkach glebowych, z uwzględnieniem wielu czynników mających wpływ na to środowisko. Celowe i potrzebne jest zatem kontynuowanie badań nad reakcją ziemniaka na porażenie przez *Cms* w zmiennych warunkach środowiskowych.

PODSUMOWANIE

1. Znacznie niższą liczbę wytworzonych bulw potomnych oraz wyższy stopień porażenia przez *Cms* zarówno łodyg jak i bulw stwierdzono u odmiany Bosman.
2. Liczba bulw potomnych wytworzonych przez rośliny inokulowane *Cms* była istotnie niższa niż liczba bulw potomnych wytworzonych przez rośliny wolne od bakterii *Cms*.
3. Udowodniono wpływ profilu glebowego na liczbę wytworzonych bulw potomnych.
4. Zaobserwowano tendencję szybszego tempa rozwoju roślin, dłuższego okresu wegetacji oraz wyższego plonu o większej liczbie bulw u odmiany Ikar- tolerancyjnej na porażenie roślin i bulw przez *Cms*.

LITERATURA

- Bishop A. L., Slack S. A. 1987. Effect of cultivar, inoculum dose and strain of *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus* on symptom development in potatoes. *Phytopathology* 77: 1085 — 1089.
- De Boer S. H., McCann M. 1990. Detection of *Corynebacterium sepedonicum* in potato cultivars with different propensities to express ring rot symptoms. *Am. Potato J.* 57: 685 — 694.
- Hukkanen A., Karjalainen R., Nielsen S., van der Wolf J. M. 2005. Epidemiology of *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus* in potato under European conditions: population development and yield reduction. *Journal of Plant Diseases and protection* 112 (1): 88 — 97.
- Kawchuk L. M., Lynch D. R., Kozub G. A., Nelson G. A., Kulcsar F., Fujimoto D. K. 1998. Multi-year evaluation of *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus* disease symptoms in cultivated potato genotypes. *Am. J. Potato Res.* 75: 235 — 243.
- Logsdon C. E. 1967. Effect of soil temperature on potato ring rot. *Am. Potato J.* 44: 281 — 286.

- Maćkowiak Sochacka A., Kamasa J., Zwolińska A., Krawczyk K. 2012. Wpływ temperatury, wilgotności oraz pH otoczenia na przeżywalność bakterii *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus*. Prog. Plant Protection/Post. Ochr. Roślin 52 (4):1123 — 1126.
- Manzer F. E., McKenzie A. E. 1988. Cultivar response to bacterial ring rot infection in Maine. Am. Potato J. 65: 333 — 339.
- Nelson G. A., Kozub G. C. 1992. Ring rot symptom development on potato cultivars and lines in southern Alberta. Potato Res. 25: 133 — 142.
- Pastuszewska T., Junosza Kisielewska I., Grzech W., Brzozowski S. 2004. Rozwój bakteriozy pierścieniowej ziemniaka w rozmnożeniach wegetatywnych roślin. Biul. IHAR 233: 277 — 287.
- Pastuszewska T., Gryń G., Franke K. 2010. Podatność wybranych odmian ziemniaka na porażenie przez *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus*. Prog. Plant Protection/Post. Ochr. Roślin 50, 1: 245 — 248.
- Slack S. A. 1987. Biology and ecology of *Corynebacterium sepedonicum*. Am. Potato J. 64: 665 — 669.
- Sletten A. 1985. The effect of *Corynebacterium sepedonicum* on symptoms and yield of four potato cultivars. Potato Research 28: 27 — 33.
- Van der Wolf J.M., Elphinstone J.G., Stead D.E., Metzler M., Müller P., Hukkanen A., Karjalainen R. 2005. Epidemiology of *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus* in relation to control of bacterial ring rot. Plant Research International B. V., Wageningen: 3 — 21.
- Waleron M., Skrzypkowska M., Waleron K., Łojkowska E. 2010. Epidemiologia wybranych podgatunków bakterii *Clavibacter michiganensis* oraz metody ich identyfikacji i zwalczania. Post. Mikrobiol 49, 4: 269 — 284.
- Westra A. A. G., Slack S. A. 1994. Effect of interaction of inoculums dose, cultivar, and geographic location on the magnitude of bacterial ring rot symptom expression in potato . Phytopathology 84 (3): 228 — 235.

SPIS TREŚCI — CONTENTS

	Wspomnienie. Profesor dr hab. Maria Rakowska 1923—2015	3
Danuta Boros	Alkilorezorcynole ziarna zbóż — ich znaczenie w żywności i paszy Alkylresorcinols of cereal grains — their importance in food and feed	7
Anna Fraś Danuta Boros	Wpływ warunków środowiska na zmienność zawartości błonnika pokarmowego w ziarnie pszenicy ozimej Influence of environmental conditions on the variability of dietary fibre content in winter wheat grain	21
Tomasz Góral Dorota Walentyn-Góral Halina Wiśniewska	Odporność typu I i II pszenicy i pszenżyta na fuzariozę kłosów Fusarium head blight resistance of types I and II in wheat and triticale	33
Zygmunt Kaczmarek Henryk Woś Elżbieta Adamska Tadeusz Adamski Roman Biliński Grzegorz Budzianowski Łukasz Mańkowski Ewelina Majchrzak Janina Woś Laurencja Szała Teresa Cegielska-Taras Renata Trzeciak	Ocena linii rodzicielskich rzepaku ozimego na podstawie plonu mieszańców z niekompletnego układu krzyżowania Evaluation of parental lines on the basis of yield of hybrids obtained from incomplete crossing scheme	47
Janusz Rogacki	Ocena wartości hodowlanej wybranych linii wsobnych kukurydzy (<i>Zea mays</i> L.) Assessment of breeding value of selected inbred lines of maize (<i>Zea mays</i> L.)	61
Grażyna Mańkowska Aleksandra Luwańska Karolina Wielgus Jan Bocianowski	Ocena zawartości kannabinoidów wybranych odmian konopi <i>Cannabis sativa</i> L. Evaluation of cannabinoid content in selected varieties of <i>Cannabis sativa</i> L.	79
Artur Makarewicz	Wybrane cechy jakości bulw ziemniaka nawożonego wsiewkami międzyplonowymi w integrowanym i ekologicznym systemie produkcji Selected quality characteristics of potato tubers fertilized with undersown catch crops in the integrated and organic production systems	87
Milena Pietraszko Grzegorz Gryń Teresa Pastuszevska Włodzimierz Przewodowski Agnieszka Przewodowska	Podatność wybranych odmian ziemniaka na porażenie bakteriami <i>Clavibacter michiganensis</i> subsp. <i>sepedonicus</i> w zróżnicowanych warunkach glebowych Susceptibility of potato cultivars to infection by bacteria <i>Clavibacter michiganensis</i> subsp. <i>sepedonicus</i> in different soil conditions	99