



Trawy wieloletnie na cele energetyczne w Radzikowie

Fot. G. Wodzyńska-Łapińska

BIULETYN
INSTYTUTU HODOWLI
I AKLIMATYZACJI ROŚLIN
Nr 271/2014



Trawy wieloletnie na cele energetyczne w Radzikowie. *Fot. Wodzyńska-Łapińska*

RADZIKÓW 2014
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: CENTRUM POLIGRAFII Sp. z o.o.

TOMASZ GÓRAL**DOROTA WALENTYN-GÓRAL**

Pracownia Chorób Roślin

Zakład Fitopatologii

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy, Radzików

Odporność odmian i linii pszenicy jarej na fuzariozę kłosów powodowaną przez grzyb *Fusarium culmorum*

Resistance of spring wheat cultivars and lines to *Fusarium* head blight caused by *Fusarium culmorum*

Badano odporność na fuzariozę kłosów 25 odmian pszenicy jarej oraz 35 odmian i linii z kolekcji form odpornych Zakładu Fitopatologii IHAR — PIB. Badania prowadzono w latach 2010–2012 na polach doświadczalnych w Radzikowie. Kłosy pszenicy inokulowano izolatami *Fusarium culmorum*. Oceniano stopień porażenia kłosa (indeks fuzariozy kłosów). Odmiany wykazały średnią podatność na fuzariozę kłosów. Indeks fuzariozy kłosów wyniósł 28,1%, wystąpiło znaczne, istotne statystycznie, zróżnicowanie tej cechy. Zakres zmienności mieścił się w granicach 15,8–45,6%. Znalezione zarówno odmiany odporne na porażenie kłosa (Napola, Raweta, Torka, Histra, Pasteur), jak i odmiany o bardzo wysokiej podatności (Banti, Nawra, Griwa). Odmiany i linie z kolekcji były w większości wysoko odporne na fuzariozę kłosów. Indeks fuzariozy kłosów wyniósł 5,5%, zakres zmienności mieścił się w granicach: 0–26,9%. Bardzo wysoką odporność wykazały linie CJ 9306 i CJ 9311 oraz odmiana Sumai 3, u których nie obserwowano objawów choroby.

Słowa kluczowe: *Fusarium*, fuzarioza kłosów, odmiany, odporność, pszenica jara

Resistance to *Fusarium* head blight was studied in 25 spring wheat cultivars from the Polish National List and 35 cultivars/lines from the collection of the resistant forms of the Department of Plant Pathology. Experiments were conducted over years 2010–2012 in the experimental fields in Radzików, Poland. Heads of spring wheat were inoculated with *Fusarium culmorum*. Severity of the head infection (*Fusarium* head blight index) was evaluated. Spring wheat cultivars were on average moderately susceptible, however wide, statistically significant, variability of reaction occurred. *Fusarium* head blight index was 28.1%, at a range 15.8–45.6%. Resistant cultivars were found (Napola, Raweta, Torka, Histra, Pasteur), as well as some highly susceptible cultivars were observed (Banti, Nawra, Griwa). Cultivars and lines from the collection were in majority highly resistant to FHB. *Fusarium* head blight index was 5.5%, at a range 0–26.0%. Lines 'CJ 9306' i 'CJ 9311' and cultivar Sumai 3 were very highly resistant and showed no symptoms of disease.

Key words: cultivars, *Fusarium*, Fusarium head blight, resistance, spring wheat

WSTĘP

Fuzarioza kłosów zbóż jest chorobą powodowaną przez grzyby należące do rodzaju *Fusarium*. Występowanie tej choroby obserwowane jest na wszystkich zbożach uprawianych w naszej strefie klimatycznej (pszenica, pszenżyto, żyto, owies, jęczmień.). Największe znaczenie fuzarioza kłosów ma dla upraw pszenicy (Chełkowski, 1989; Chełkowski i in., 1987, 1988; Tomczak i in., 2002; Langevin i in., 2004). Wynika to z dużej podatności tego zboża, powszechności występowania patogena oraz ze znacznej powierzchni uprawy pszenicy. Ziarno pochodzące z porażonych kłosów może być skażone toksynami fuzaryjnymi. Grzyby powodujące fuzariozę kłosów wytwarzają liczne metabolity toksyczne zwane mikotoksynami. Do najważniejszych i najczęściej występujących w Polsce w ziarnie zbóż należą: deoksyniwalenol, niwalenol, zearalenon i moniliformina (Perkowski i in., 1990, 1997; Goliński i in., 1996; Bottalico i Perrone, 2002). Mikotoksyny fuzaryjne charakteryzują się różnym stopniem toksyczności dla ludzi i zwierząt. Oprócz ogólnego działania toksycznego mikotoksyny te mogą powodować zaburzenia rozrodu, a część z nich uznaje się za potencjalnie kancerogenne dla ludzi (Riley i in., 1993; D'Mello i in., 1999; IARC, 2003). Potwierdzone badania na temat szkodliwości mikotoksyn i powszechności ich występowania w ziarnie spowodowały, że w Unii Europejskiej wprowadzono limitu zawartości mikotoksyn w ziarnie zbóż i produktach z nich wytwarzanych (Zalecenia Komisji 2006/576/WE, 2006/583/WE oraz Rozporządzenie Komisji Nr 1881/2006).

Sposobem redukcji zawartości mikotoksyn fuzaryjnych może być zmniejszenie zagrożenia porażenia upraw zbóż przez fuzariozę kłosów poprzez stosowanie fungicydów. Niektóre fungicydy mogą być jednakże nieefektywne w zwalczaniu porażenia kłosów pszenicy przez *Fusarium*, a co najmniej w ograniczaniu skażenia ziarna przez mikotoksyny (Milus i Parsons, 1994; Mesterhazy i Bartok, 1996; Jones 2000; Simpson i in., 2001; Willyerd i in., 2012). Dlatego też, najbardziej skutecznym sposobem redukcji start powodowanych przez fuzariozę kłosów pszenicy jest uprawa odmian odpornych w połączeniu właściwą agrotechniką oraz z ochroną chemiczną, w przypadku dużego nasilenia choroby (Mesterhazy, 1995, 2002; Clark i in., 2009; Blandino i in., 2012; Willyerd i in., 2012). Odmiany o stabilnej odporności, charakteryzują się brakiem lub bardzo niską akumulacją DON-u w ziarnie (Mesterhazy i in., 1999; Bai i in., 2001).

Celem pracy było badanie odporności odmian pszenicy jarej znajdujących się w 2013r. w większości w rejestrze odmian COBORU oraz odporności odmian i linii mogących stanowić źródła odporności na fuzariozę kłosów. Informacja na ten temat jest bardzo ważna zarówno dla producentów zbóż (dobór odmian) jak i dla hodowców pszenicy (wykorzystanie odmian i linii odpornych w programach hodowlanych).

MATERIAŁ I METODY

Materiał badawczy stanowiło 25 odmian pszenicy jarej (tab. 1). Wzorcami odporności były odmiany: Frontana, Nobeokabozu oraz Sumai 3 (wariant Sumai #3) (tab. 2) (Góral 2005).

Tabela 1

Lista odmian pszenicy jarej badanych w doświadczeniach w latach 2010–2012
Spring wheat cultivars tested in field experiments in the years 2010–2012

Lp. No.	Odmiana Cultivar	Data wpisu Registration year	Data skreślenia Deregistration year	Udział w nasiennictwie (ha)* Share in seed production (ha)*
1	Banti	1994		10,0
2	Bombona	2005		337,1
3	Bryza		2013	27,6
4	Cytra	2004		0
5	Griwa	2001		111,3
6	Hewilla	2006		50,9
7	Histra		2010	0
8	Jasna		2010	0
9	Kandela	2010		189,8
10	Katoda	2008		180,5
11	Koksa	2000		28,0
12	Korynta	2002		6,0
13	Łagwa	2009		59,7
14	Monsun	2004		444,6
15	Napola		2008	0
16	Nawra	1999		186,7
17	Ostka Smolicka	2010		202,6
18	Parabola	2006		116,7
19	Pasteur		2011	0
20	Raweta	2005		64,5
21	Torka	1996		0
22	Trappe	2008		161,5
23	Waluta	2008		81,0
24	Zadra	2005		34,0
25	Żura	2002		45,6

* - dane COBORU z roku 2013

* - data from Research Centre for Cultivar Testing (COBORU) 2013

Badano również odporność 35 linii i odmian zgromadzonych w kolekcji odpornych form pszenicy jarej (tab. 2). Odmiany niemieckie pochodziły z listy rekomendowanych odmian. Ich odporność wynosiła 3 lub 4 wg skali niemieckiej (niższa wartość = wyższa odporność). Linie kanadyjskie pochodziły z badań na odporność pszenicy na fuzariozę kłosów (F. Eudes, Agr & Agri Food Canada). Odmiany oraz linie z CIMMYT (Meksyk) wybrano ze szkółki Scab Resistance Screening Nursery (SRSN) — szkółka odporności na fuzariozę kłosów utworzona i dystrybuowana przez CIMMYT (van Ginkel i in., 2000, 2002, 2003). Wybrane zostały linie o najwyższej odporności na fuzariozę kłosów oraz odporne na inne choroby (mączniak prawdziwy, rdza brunatna). Pod uwagę brano także adaptację linii do warunków klimatycznych środkowej Polski (Radzików k/Warszawy). Pozostałe odmiany uzyskano z USDA-ARS National Small Grains Collection, Aberdeen, Stany Zjednoczone oraz z MAFF Genebank, National Institute of Agrobiological Sciences,

Tsukuba, Japonia. Odmiana Sumai 3 wystąpiła w 3 wariantach: Sumai 3 (IGR) — uzyskana z IGR PAN w Poznaniu (H. Wiśniewska), pochodząca prawdopodobnie z programu badań nad fuzariozą kłosów w IFA Tulln w Austrii, oraz Sumai #3 i Sumai #3 AUT pochodzące ze szkółki SRSN CIMMYT. Warianty te były bardzo zbliżone morfologicznie, natomiast termin kwitnienia Sumai 3 (IGR) i Sumai #3 AUT był kilka dni późniejszy niż Sumai #3.

Tabela 2

Lista odmian i linii odpornych pszenicy jarej badanych w latach 2010–2012
Resistant spring wheat cultivars and lines tested in field experiments in the years 2010–2012

L.p. No.	Odmiana/linia Cultivar/line	Pochodzenie Origin	Rodowód Pedigree
1	Amaretto	Niemcy — Germany	Kadett/Weihenstephaner-Stamm
2	Fasan	Niemcy — Germany	P-2149.60/2*Kolibri
3	Melissos	Niemcy — Germany	HE-160.88/STRG-66.1.88
4	Thasos	Niemcy — Germany	Mironovskaya-808/Bastion/Minaret
5	Triso	Niemcy — Germany	Kadett/Weihenstephaner-Stamm
6	GS-0-EM0104	Kanada — Canada	Superb / CIMMYTII
7	GS-0-EM0109	Kanada — Canada	Superb / CIMMYTII
8	GS-0-EM0134 ^{1,3}	Kanada — Canada	Superb / CM82036
9	GS-0-EM0174 ^{1,3}	Kanada — Canada	Crystal / CM82036
10	GS-0-EM0241 ^{1,3}	Kanada — Canada	AC2000 / CM82036
11	GS-1-EM0040	Kanada — Canada	Superb*2 / CIMMYTII
12	GS-1-EM0135 ^{1,3}	Kanada — Canada	Crystal*2 / CM82036
13	GS-1-EM0168 ^{1,3}	Kanada — Canada	Superb*2 / CM82036
14	Frontana ³	Brazil — Brazil	Fronteira / Mentana
15	Gondo	CIMMYT	Golden-Valley/Azteca-67//Musala/3/Dodo/4/Bobwhite
16	Nobeokabo	Japonia — Japan	Odmiana lokalna
17	Saar	CIMMYT	Sonoita-F-81/Trap-1//Baviacora-M-92
18	Shanghai (CIMMYT 19) ¹	Chiny, CIMMYT (SRSN)	-
19	Shanghai 11thSRSN (CIMMYT 19) ¹	Chiny, CIMMYT (SRSN)	-
20	Sumai #3 ^{1,2}	Chiny, CIMMYT (SRSN)	Funo / Taiwanmai
21	Sumai #3 AUT ^{1,2}	Chiny, CIMMYT (SRSN)	Funo / Taiwanmai
22	Sumai 3 (IGR) ^{1,2}	Chiny, IGR PAN	Funo / Taiwanmai
23	CJ W14 ^{1,3}	Chiny	Jiang i in. 2007a,b
24	CJ 9306 ^{1,3}	Chiny	Jiang i in. 2007a,b
25	CJ 9311 ¹	Chiny	Jiang i in. 2001
26	Emb27/Klori	CIMMYT (SRSN)	-
27	Gondo/Cbrd	CIMMYT (SRSN)	-
28	Ias64/Aldan//Ures/3/Tnmu/4/Tnmu	CIMMYT (SRSN)	-
29	Mayoor//Tk Sn1081/Ae.squarrosa (222)/4/Cs/Le.Ra//Cs/3/Pvn/5/Prinia	CIMMYT (SRSN)	-
30	Ng8675/Cbrd (CIMMYT 4)	CIMMYT (SRSN)	-
31	Ng8675/Cbrd/Milan/3/Ng8675/Cbrd	CIMMYT (SRSN)	-
32	Sha4/Chil/4/Car422/Ana//Trap#1/3/Star	CIMMYT (SRSN)	-
33	Sha5/Weaver//80456/Yangmai 5	CIMMYT (SRSN)	-
34	Trap#1/Bow//Taigu Derivative	CIMMYT (SRSN)	-
35	Verde/7/Opata/6/68.111/Rgb-U//Ward/3/Fgo/4/Rabi/5/Ae.squarrosa	CIMMYT (SRSN)	-

Linie z genami (QTL): 1 – *Fhb1*; 2 – *Fhb2*; 3 – *Qfhs.ifa-5A*

Lines containing genes (QTL): 1 – *Fhb1*; 2 – *Fhb2*; 3 – *Qfhs.ifa-5A*

W tabeli 2 oznaczono genotypy, u których zidentyfikowano obecność genów (loci cech ilościowych — QTL) odporności na fuzariozę kłosów (Liu i Anderson, 2003; Chen i in.

2006; Mesterhazy, 2006; Yang i in., 2006; Yu i in., 2006; Buerstmayr i in., 2009; Yabwalo i in., 2011; F. Eudes — informacja ustna).

Badania prowadzono w latach 2010–2012 na polach doświadczalnych IHAR Radzików. Obiekty wysiano na poletkach o powierzchni 1 m² w trzech powtórzeniach oraz w kombinacji kontrolnej. Kłosa odmian pszenicy jarej inokulowano mieszaniną zarodników 3 izolatów *Fusarium culmorum*. Metodyka produkcji inokulum i charakterystyka izolatów została opisana w pracy Górala i in. (2013). Zastosowano metodę inokulacji przez opryskiwanie. Kłosa opryskiwane były zawiesiną zarodników o stężeniu 5×10^5 zarodników/ml w ilości około 100 ml zawiesiny na poletko. Inokulację przeprowadzono po zakwitnięciu 50% kłosów na poletku i powtarzano 3–4 dni później. Zabiegi wykonywano w godzinach wieczornych, kiedy spadała temperatura i wzrastała względna wilgotność powietrza. Ocenę porażenia odmian rozpoczęto po pojawieniu się pierwszych objawów choroby. Przeprowadzono dwie oceny w odstępach 10-dniowych. Nasilenie fuzariozy kłosów określano na podstawie liczby porażonych kłosek w kłosie, tylko w kłosach z objawami choroby (porażenie kłosa) oraz liczby kłosów porażonych na poletku (wystąpienie fuzariozy). Parametry te posłużyły do wyliczenia indeksu fuzariozy (IFK) określającego procent kłosek z objawami choroby we wszystkich kłosach na poletku.

Analiza statystyczna została wykonana za pomocą pakietu Microsoft® Excel 2010/XLSTAT®-Pro (Version 2013.4.07, Addinsoft, Inc., Brooklyn, NY, USA). Przeprowadzono analizę wariacji IFK dla odmian oraz odmian/linii odpornych oraz porównanie średnich testem Tukeya. Obliczono współczynniki korelacji IFK pomiędzy poszczególnymi latami badań. W celu zobrazowania reakcji odmian w ciągu 3 lat badań zastosowano analizę składowych głównych (PCA) na macierzy korelacji zmiennych (indeksy FK z poszczególnych lat). Wyznaczone zostały dwie składowe główne będące kombinacją indeksów FK wyjaśniające kolejno malejącą ilość łącznej wariancji zmiennych.

WYNIKI I DYSKUSJA

Średni indeks fuzariozy kłosów powodowanej przez *F. culmorum* dla odmian pszenicy jarej wynosił 28,1%. Zakres reakcji mieścił się w granicach 15,8–45,6% (bez wzorców odpornych). Różnice pomiędzy odmianami pszenicy pod względem tej cechy były istotne statystycznie (tab. 3, rys. 1). Odmiany wzorcowe były istotnie odporniejsze od pozostałych odmian.

W kolejnych latach badań wartości IFK były następujące: rok 2010 — 33,7 %, zakres reakcji 17,9–52,0%; rok 2011 — 20,7%, zakres reakcji 10,7 — 38,3%; rok 2012 — 29,9%, zakres reakcji 14,0 — 50,7%. Średnie nasilenie choroby w poszczególnych latach różniło się istotnie. Współczynniki korelacji indeksu fuzariozy kłosów w trzech latach badań były wysokie i istotne statystycznie (tab. 4). Wskazuje to na dobrą powtarzalność uzyskiwanych wyników i stabilność reakcji większości odmian.

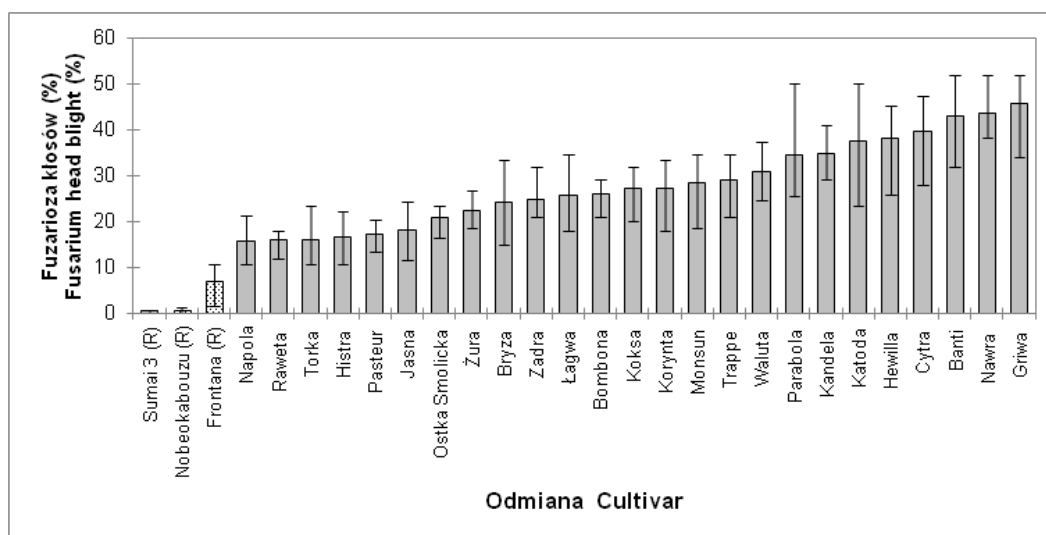
Średni indeks fuzariozy kłosów powodowanej przez *F. culmorum* dla odmian i linii odpornych pszenicy jarej wynosił 5,5%. Zakres reakcji mieścił się w granicach: 0–26,9%. Różnice pomiędzy odmianami/liniami pszenicy pod względem tej cechy były istotne

statystycznie (tab. 3, rys. 2). Odmiany Griwa i Saar były istotnie bardziej podatne od pozostałych odmian i linii. Odmiana Raweta nie różniła się istotnie od odmian niemieckich pod względem odporności na fuzariozę kłosów.

Tabela 3

Analiza wariancji indeksu fuzariozy kłosów dla 25 odmian i 3 wzorców odpornych (Frontana, Nobeokabozu, Sumai #3) oraz dla 35 odmian/linii odpornych i 2 odmian (Griwa, Raweta) pszenicy jarej
Analysis of variance for FHB index for 25 cultivars and 3 resistant standards (Frontana, Nobeokabozu, Sumai #3) and for 35 resistant cultivars/lines and 2 cultivars (Griwa, Raweta) of spring wheat

Odmiany — Cultivars					
Źródło Source	DF	suma kwadratów SS	średni kwadrat MS	F	Pr > F
Rok — Year	2	5815,919	2907,959	125,282	< 0,0001
Odmiana — Cultivar	27	34819,385	1289,607	55,559	< 0,0001
Rok × Odmiana Year × Cultivar	54	3655,859	67,701	2,917	< 0,0001
Błąd — Error	168	3899,500	23,211		
Odmiany/linie odporne — Resistant cultivars/lines					
Rok — Year	2	1326,177	663,088	55,610	< 0,0001
Odmiana — Cultivar	36	27403,752	761,215	63,840	< 0,0001
Rok × Odmiana Year × Cultivar	72	2563,053	35,598	2,985	< 0,0001
Błąd — Error	222	2647,086	11,924		



Rys. 1. Odporność odmian pszenicy jarej na fuzariozę kłosów (średnie z lat 2010–2012). R — wzorce odporne. Wąsy pokazują zakres reakcji odmian w 3 latach

Fig. 1. Resistance of spring wheat cultivars to Fusarium head blight (averages of the years 2010–2012). R — Resistant standards. Whiskers show reaction range of cultivars over three years

W kolejnych latach badań wartości IFK były następujące: rok 2010 — 4,0%, zakres reakcji 0–23,0%; rok 2011 — 4,1%, zakres reakcji 0–27,0%; rok 2012 — 8,2%, zakres

reakcji 0–30,7%. Średnie nasilenie choroby w roku 2012 było istotnie wyższe niż w pozostałych latach. Wynikało to przede wszystkim ze znacznie wyższego porażenia 8 linii w roku 2012 w porównaniu z latami poprzednimi (rys. 2). Współczynniki korelacji indeksu fuzariozy kłosów w trzech latach badań były wysokie i istotne statystycznie, chociaż niższe niż dla odmian (tab. 4).

Tabela 4

Współczynniki korelacji indeksów fuzariozy kłosów w latach 2010–2012 dla odmian oraz odmian/linii odpornych pszenicy jarej
Coefficients of correlation between FHB indexes in the years 2010–2012 for cultivars and resistant lines/cultivars of spring wheat

Odmiany — Cultivars			
Zmienne Variables	IFK (%) 2010 FHBi (%) 2010	IFK (%) 2011 FHBi (%) 2011	IFK (%) 2012 FHBi (%) 2012
IFK (%) 2010 FHBi (%) 2010		0,937	0,889
IFK (%) 2011 FHBi (%) 2011	0,937		0,895
IFK (%) 2012 FHBi (%) 2012	0,906	0,902	
Odmiany/ linie odporne — Resistant cultivars/ lines			
IFK (%) 2010 FHBi (%) 2010		0,760	0,827
IFK (%) 2011 FHBi (%) 2011	0,760		0,838
IFK (%) 2012 FHBi (%) 2012	0,827	0,838	

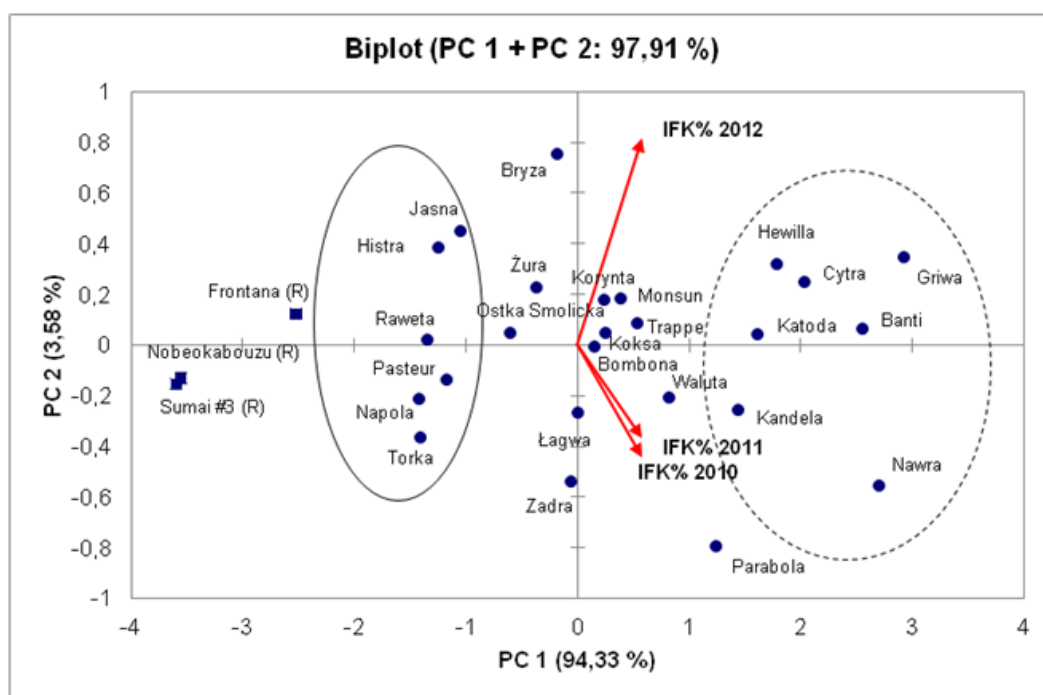
Współczynniki istotnie statystycznie dla $\alpha < 0,01$

Coefficients statistically significant at $P < 0.01$

Najbardziej podatne na fuzariozę kłosów były odmiany Griwa, Nawra oraz Banti (rys. 1). Najwyższą odporność wykazały odmiany: Napola, Raweta, Torka, Histra, Pasteur i Jasna. Spośród tych odmian najszerzy zakres reakcji wykazały Napola, Torka i Histra, najwęższy — Raweta oraz Pasteur. Duży zakres reakcji obserwowano też u odmian: Bryza, Łagwa, Korynta, Monsun, Parabola i Katoda. Mały zakres reakcji wykazały natomiast takie odmiany jak: Ostka Smolicka, Żura, Bombona, Kandela, Nawra. Spośród odmian odpornych w nasiennictwie w 2013 znaczenie miała jedynie Raweta (tab. 1, rys. 1). Pozostałe zostały skreślone z rejestru lub ich udział jest znikomy (Torka). Bardzo duży udział miała natomiast średnio odporna Ostka Smolicka. Największe znaczenie w 2013 r. miały natomiast średnio podatne odmiany Bombona i Monsun. Duży był także udział odmian podatnych takich jak Katoda, Nawra i Griwa.

Analiza składowych głównych wyróżniła dwie grupy odmian — odpornych (linia ciągła) i podatnych (linia przerywana) (rys. 2). Na wartość pierwszej składowej złożyły się w równym stopniu indeksy FK z trzech lat badań, natomiast wartość drugiej składowej była w 67% określana przez indeks FK w roku 2012. W grupie odmian odpornych stabilną reakcją charakteryzowała się odmiany Raweta i Pasteur, natomiast mniej stabilne były odmiany Jasna i Histra, które były silniej porażane w roku 2012. Podobnie niestabilną reakcję obserwowano u odmian Bryza, Parabola, Nawra. Odmiany Griwa, Banti, Cytra, Hewilla i Katoda były stabilnie podatne na fuzariozę kłosów we wszystkich latach badań. Odmiany Banti i Griwa były wysoko podatne również w badaniach prowadzonych w latach 2003–2004 (Góral, 2005). Porażenie odmian Torka i Napola było na poziomie odpornych genotypów, chociaż istotnie wyższe niż wysoko odpornych odmian Sumai 3, Ning 8343

lub Frontana. W pracy Wiśniewskiej i Kowalczyka (2005) badano odporność na uszkodzenie ziarniaków przez *F. culmorum*. W zestawie badanych odmian były jedynie 3 z niniejszej pracy: Banti, Jasna, i Torka. Najbardziej podatna na uszkodzenie ziarniaków była odmian Banti, Jasna była średnio odporna, natomiast Torka charakteryzowała się najniższym uszkodzeniem ziarniaków. Również w innych badaniach Torka wykazywała odporność zarówno na porażenie kłosa, uszkodzenie ziarniaków, jaki i akumulację mikotoksyn. (Suchowilska i Wiwart, 2006; Wiwart i in., 2009; Góral i in., 2012). W pracy Górala i in. (2012) badano również odmiany Cytra, Koksa i Nawra. Wykazały one zbliżony poziom odporności do obserwowanego w niniejszej pracy tzn. Nawra i Cytra — podatne, Koksa — średnio podatna.

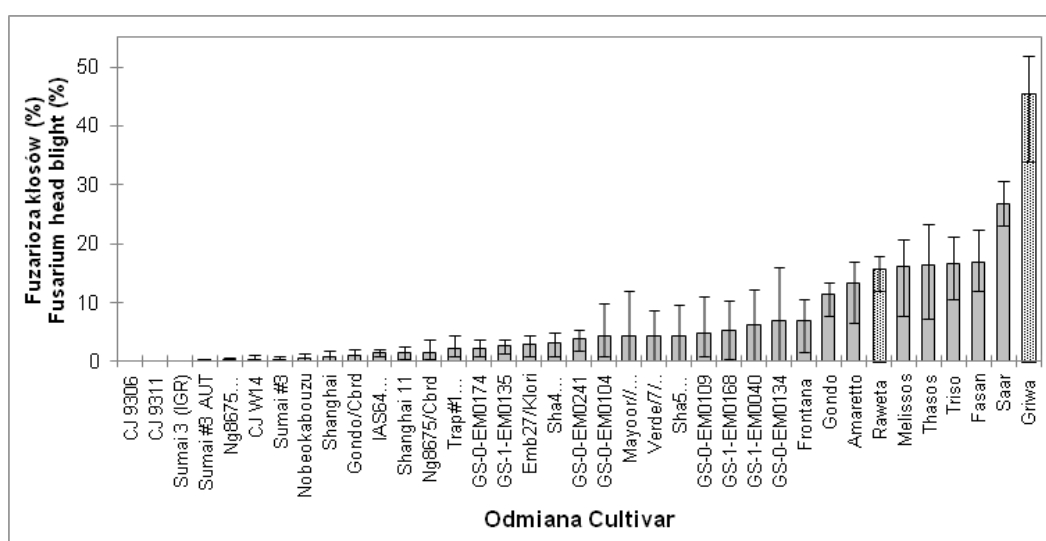


Rys. 2. Układ współrzędnych dwóch składowych głównych (PC) dla 28 odmian pszenicy jarej. Składowe wyjaśniają 97,91% zmienności indeksu fuzariozy kłosów w 3 latach doświadczeń. Wektory wskazują kierunek wzrostu wartości indeksu fuzariozy kłosów

Fig. 2. Biplot of the principal component analysis for 28 spring wheat cultivars. Two first components explained 97.91% of variability of FHB index in the years 2010–2012. Vectors point in the direction in which a FHB index is increasing

Większość badanych odmian i linii z kolekcji wykazała bardzo wysoki lub wysoki poziom odporności na fuzariozę kłosów (rys. 3). Na kłosach linii CJ 9306 i CJ 9311 oraz odmiany Sumai 3 (IGR) nie zaobserwowano objawów porażenia kłosów w żadnym z lat badań. Średnie indeksy fuzariozy kłosów wyniosły poniżej 1% dla odmian i linii: Sumai #3 AUT, Ng8675/Cbrd//Milan /3/ Ng8675/Cbrd, CJ W14, Sumai #3, Nobeokabouzu i

Shanghai. Linie CJ 9306, CJ 9311 oraz CJ W14 zostały wyhodowane w Chinach poprzez swobodne krzyżowanie wielu genotypów odpornych na fuzariozę kłosów oraz inne choroby, a także odmian o wysokiej wartości gospodarczej (Sumai 3, Ning 7840, Wangshuibai, Fanshanxiaomai, Wenzhouhongheshang, Emai 9, Zhen 7495, Nobeokabozu, Shinchunaga, Frontana, Jinzhou 1, itd.). (Jiang i in. 2006). Przepylenie odmian uzyskano wykorzystując dominujący gen męskiej sterility *Tal* (*Ms2*). Następnie prowadzono selekcję form odpornych stosując selekcję cykliczną. Uzyskane linie charakteryzowały się bardzo wysoką odpornością na fuzariozę kłosów oraz znacznie lepszymi cechami agronomicznymi w porównaniu do form rodzicielskich np. Sumai 3 czy Wangshuibai (Jiang i in., 2001, 2007 a, b; Buerstmayr i in., 2009). Wysokość linii CJ 9306 wynosiła 69 cm, linii CJ 9311 — 73 cm. Linia CJ W14 była wyższa, osiągając średnio 98 cm. Natomiast wysokość form rodzicielskich wyniosła dla wszystkich form Sumai 3 około 101 cm, dla Frontany — 106 cm, dla Nobeokabozu — 95 cm.



Rys. 3. Odporność odmian i linii pszenicy jarej z kolekcji form odpornych na fuzariozę kłosów (średnie z lat 2010-2012). Wąsy pokazują zakres reakcji odmian w 3 latach badań

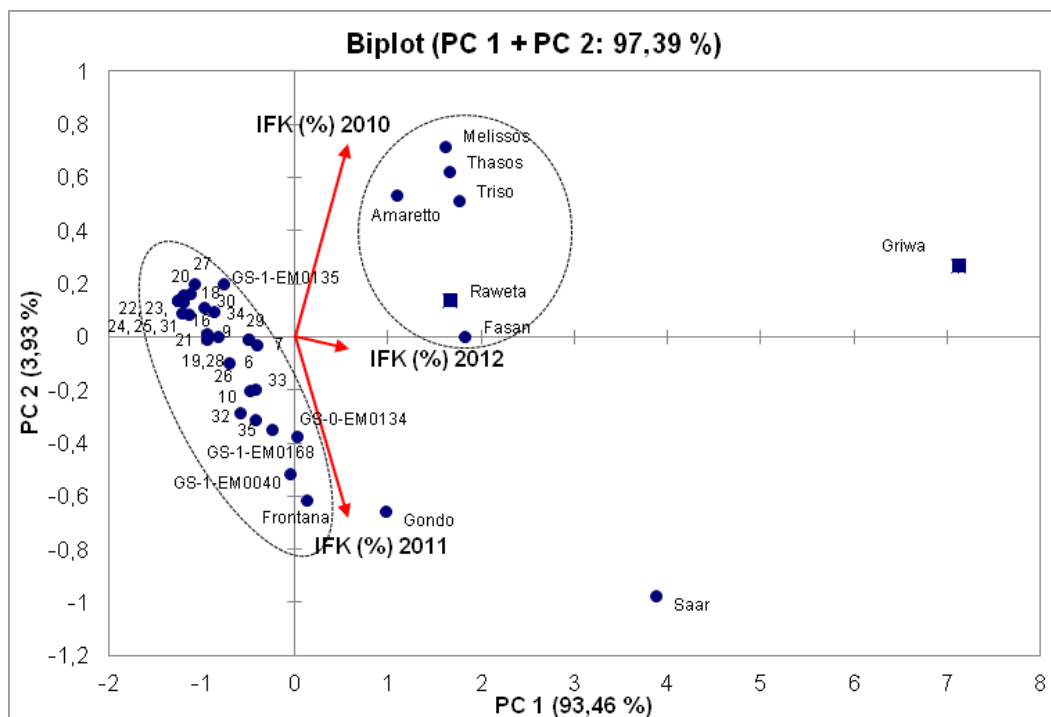
Fig. 3. Resistance of spring wheat cultivars and lines to Fusarium head blight (averages of the years 2010-2012). Whiskers show reaction range of lines over three years

Spośród linii pochodzących z CIMMYT bardzo wysoką odpornością charakteryzowało się 7 linii (31, 27, 28, 30, 34, 26 i 32 — tabela 1) (rys. 3). Trzy pozostałe linie wykazały wyższą podatność, szczególnie w doświadczeniu w roku 2012, jednakże były istotnie bardziej odporne od odmiany Raweta.

Linie pochodzące z Kanady wykazały bardzo wysoką (2 linie) lub wysoką odporność na fuzariozę kłosów. Obie linie o najwyższej odporności (GS-0-EM0174, GS-1-EM0135) uzyskano z krzyżówek z odporną linią CM82036 (tab. 2). Linia ta została wytworzona w CIMMYT w Meksyku z krzyżówki Sumai 3/Thornbird i jest wysoko odporna na fuzariozę

kłosów (Buerstmayr i in., 1996). Zidentyfikowano w niej obecność kilku genów (QTL) odporności na fuzariozę kłosów w tym *Fhb1* (Buerstmayr i in., 2002, 2003, 2009). Dwie kolejne linie (GS-0-EM0241, GS-0-EM0104) miały zbliżoną, wysoką odporność, jednakże pierwsza linia uzyskana z krzyżowania z CM82036 miała węższy zakres reakcji w poszczególnych latach badań (rys. 1). Pozostałe linie kanadyjskie miały zbliżoną odporność i uległy silniejszemu porażeniu w roku 2012 (IFK około 10%). Linie te pochodziły zarówno z krzyżówek z CM 82036, jak i CIMMYTII (średnio odporna linia z CIMMYT — F. Eudes inf. ustna). W dwóch z nich za pomocą markerów molekularnych zidentyfikowano obecność genu *Fhb1* (F. Eudes — inf. ustna), jednakże nie wykazały one stabilnej, wysokiej odporności (w porównaniu do np. GS-0-EM0174).

Analiza składowych głównych wyróżniła grupy odmian/linii o zbliżonej odporności na fuzariozę kłosów oraz na podstawie ich uszeregowania zgodnie z reakcją w poszczególnych latach badań (rys. 4).



Rys. 4. Układ współrzędnych dwóch składowych głównych (PC) dla 38 odmian/linii pszenicy jarej. Składowe wyjaśniają 97,39% zmienności indeksu fuzariozy kłosów w 3 latach doświadczeń. Wektory wskazują kierunek wzrostu wartości indeksu fuzariozy kłosów

Fig. 4. Biplot of the principal component analysis for 38 spring wheat lines/cultivars. Two first components explained 97.39% of variability of FHB index in the years 2010-2012. Vectors point in the direction in which a FHB index is increasing

Na wartość pierwszej składowej złożyły się w równym stopniu indeksy FK z trzech lat badań, natomiast wartość drugiej składowej była w równym stopniu określana przez

indeksy FK w latach 2010 i 2011. Największą grupę utworzyły linie o bardzo wysokiej i wysokiej odporności — od linii CJ 9306 (24) do odmiany Frontana (rys. 3. tab. 1). Dystans pomiędzy większością linii o stabilnej reakcji w ciągu 3 lat badań był niewielki. Linie, które były porażane w większym stopniu w jednym z lat (np. GS-1-EM0040), znajdowały się w większej odległości od wcześniej wymienionych. Wyraźną grupę tworzyły niemieckie odmiany odporne oraz Raweta. Należy zauważyć, że odmiana Raweta charakteryzowała się bardzo stabilną reakcją na inokulację *F. culmorum*.

Saar jest odmianą wyhodowaną w CIMMYT (Meksyk), charakteryzującą się wysoką odpornością częściową na mączniaka prawdziwego oraz rdzę brunatną (Lillemo i in., 2008). Odmiana ta nie wykazała wysokiej odporności na fuzariozę kłosów (rys. 3). Jej reakcja była jednakże zbliżona do reakcji średnio podatnych odmian polskich, takich jak np. Bombona, Koksa lub Korynta. Odmiana Saar może, więc wykorzystywana, jako, źródło odporności na mączniaka prawdziwego oraz rdzę brunatną, nie wnosząc przy tym podatności na fuzariozę kłosów.

WNIOSKI

1. Odmiany pszenicy jarej różniły się istotnie statystycznie pod względem podatności na fuzariozę kłosów powodowaną przez *Fusarium culmorum*.
2. Znaleziono grupę odmian o niskiej podatności na porażenie kłosa (Napola, Raweta, Torka, Histra, Pasteur).
3. Odmiany i linie z kolekcji Zakładu Fitopatologii IHAR — PIB wykazały w większości bardzo wysoką lub wysoką odporność na fuzariozę kłosów.

LITERATURA

- Bai G.-H., Plattner R., Desjardins A., Kolb F. 2001. Resistance to *Fusarium* head blight and deoxynivalenol accumulation in wheat. *Plant Breeding* 120: 1 — 6.
- Blandino, M., Haidukowski, M., Pascale, M., Plizzari, L., Scudellari, D., Reyneri, A., 2012. Integrated strategies for the control of *Fusarium* head blight and deoxynivalenol contamination in winter wheat. *Field Crops Res.* 133: 139 — 149.
- 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: 998 — 1003.
- Buerstmayr H., Lemmens M., Grausgruber H., Ruckebauer P. 1996. Scab resistance of international wheat germplasm. *Cereal Res. Commun* 24: 195 — 202.
- 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.
- Buerstmayr H., Steiner B., Hartl L., Griesser M., Angerer N., Lengauer D., Miedaner T., Schneider B., Lemmens M. 2003. Molecular mapping of QTLs for *Fusarium* head blight resistance in spring wheat. II. Resistance to fungal penetration and spread. *Theor. Appl. Genet.* 107: 503 — 508.
- Buerstmayr H., Ban T., Anderson J. A. 2009. QTL mapping and marker-assisted selection for *Fusarium* head blight resistance in wheat: a review. *Plant Breeding* 129: 1 — 26.
- Chelkowski J. 1989. Formation of mycotoxins produced by *Fusarium* in heads of wheat, triticale and rye. In: Chelkowski J. (ed) *Fusarium — Mycotoxins, Taxonomy and Pathogenicity* Elsevier, Amsterdam, The Netherlands : 63 — 84 pp.

- Chełkowski J., Visconti A., Perkowski J., Wakuliński W., Bottalico A. 1988. Mycotoxins and fungi accompanying wheat head fusariosis in Poland. *Mycotoxin Res., Fusarium Seminar*: 57 — 60.
- Chełkowski J., Wakuliński W., Popęda J. 1987. Fuzarioza kłosów w uprawach pszenicy i żyta w 1985 i 1986 roku. *Biul. IHAR* 164: 207 — 214.
- Chen J., Griffey C. A., Maroof M. A. S., Stromberg E. L., Biyashev R. M., Zhao W., Chappell M. R., Pridgen T. H., Dong Y., Zeng Z. 2006. Validation of two major quantitative trait loci for *Fusarium* head blight resistance in Chinese wheat line W14. *Plant Breeding* 125: 99 — 101.
- Clark B., Jorgensen L. N., Antichi D., Góral T., Gouache D., Hornok L., Jahn M., Lucas P., Rolland B., Schepers H. 2009. Strategies to control *Fusarium* ear blight and mycotoxin production in wheat. From Science to Field. Wheat Case Study — Guide Number 2. ENDURE [<http://www.edndure-network.eu>].
- D'Mello J. P. F., Palcinta C. M., Macdonald A. M. C. 1999. *Fusarium* mycotoxins: a review of global implications for animal health, welfare and productivity. *Anim. Feed Sci. Technol.* 80: 183 — 205.
- Goliński P., Perkowski J., Kostecki M., Grabarkiewicz-Szczęśna J., Chełkowski J. 1996. *Fusarium* species and *Fusarium* toxins in wheat in Poland — a comparison with neighbour countries. *Sydowia* 48: 12 — 22.
- Góral T. 2005. Źródła odporności pszenicy na fuzariozę kłosów powodowaną przez *Fusarium culmorum* (W. G. Smith) Sacc. *Biul. IHAR* 235: 115 — 132.
- Góral T., Ochodzki P., Bulińska-Radomska Z. 2012. Odporność na fuzariozę kłosów powodowaną przez *Fusarium culmorum* i zawartość mikotoksyn fuzaryjnych w ziarnie gatunków zbóż jarych przeznaczonych do upraw ekologicznych. *Biul. IHAR* 263: 43 — 54.
- Góral T., Wiśniewska H., Ochodzki P., Walentyn-Góral D., Kwiatek M. 2013. Reaction of winter triticale breeding lines to *Fusarium* head blight and accumulation of *Fusarium* metabolites in grain in two environments under drought conditions. *Cereal Research Communications* 41: 106 — 115.
- IARC (1993) IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic risks to Humans. Vol. 56. Some Naturally Occurring Substances: Food Items and Constituents, Heterocyclic Aromatic Amines and Mycotoxins. International Agency for Research on Cancer, Lyon, France.
- Jiang, G.-L., L. Siler, J. Lewis, Ward R. 2001. Greenhouse evaluation for resistance to *Fusarium* head blight in wheat. In: S. M. Canty Lewis J., Siler L., Ward R. (ed.) *Proceedings of the 2001 National Fusarium Head Blight Forum*. Erlanger, KY, 2001: 245 — 250.
- Jiang G. L., Huang D. C., Shen Q., Yang Z. L., Lu W. Z., Shi J. R., Zhu H., Chen Z. X., Ward R. 2006. Registration of wheat germplasms CJ W14 and CJ 9306 highly resistant to *Fusarium* head blight. *Crop Sci.* 46: 2326 — 2328.
- Jiang, G. L., J. R. Shi, R. W. Ward, 2007a: QTL analysis of resistance to *Fusarium* head blight in the novel wheat germplasm C. J. 9306. I. Resistance to fungal spread. *Theor. Appl. Genet.* 116: 3 — 13.
- Jiang G. L., Y. Dong J., Shi Ward R. W. 2007 b. QTL analysis of resistance to *Fusarium* head blight in the novel wheat germplasm CJ 9306. II. Resistance to deoxynivalenol accumulation and grain yield loss. *Theor. Appl. Genet.* 115: 1043 — 1052.
- Jones R. K. 2000. Assessment of *Fusarium* head blight of wheat and barley in response to fungicide treatment. *Plant Dis.* 84: 1021 — 1030.
- Langevin F., Eudes F., Comeau A. 2004. Effect of trichothecenes produced by *Fusarium graminearum* during *Fusarium* head blight development in six cereal species. *Eur. J. Plant Path.* 110: 735 — 746.
- Lillemo M., Asalf B., Singh R. P., Huerta-Espino J., Chen X. M., He Z. H., Bjørnstad Å. 2008. The adult plant rust resistance loci Lr34/Yr18 and Lr46/Yr29 are important determinants of partial resistance to powdery mildew in bread wheat line Saar. *Theor. Appl. Genet.* 116: 1155 — 1166.
- Liu S., Andreson J. A. 2003. Marker assisted selection of *Fusarium* head blight resistant wheat germplasm. *Crop Sci.* 43: 760 — 766.
- McKendry A. 2000. Broadening the genetic base for scab resistance through a CIMMYT/national scab initiative partnership. In: Ward R.W. et al. in. (ed.) *Proc. of the 2000 National Fusarium Head Blight Forum*, Erlanger, KY. 10–12 Dec. 2000. Michigan State University, East Lansing, MI, USA: 209 — 214.
- Mesterházy A., Bartok T. 1996. Control of *Fusarium* head blight of wheat by fungicides and its effect in the toxin contamination of the grains. *Pflanzenschutz Nachrichten Bayer* 49: 187 — 205.
- Mesterhazy A., Bartok T., Mirocha C. G., Komoroczy R. 1999. Nature of wheat resistance to *Fusarium* head blight and the role of deoxynivalenol for breeding. *Plant Breeding* 118: 97 — 110.

- Mesterhazy A. 1995. Types and components of resistance to *Fusarium* head blight of wheat. *Plant Breed.* 114: 377 — 386.
- Mesterhazy A. 2002. Theory and practice of the breeding for *Fusarium* head blight resistance in wheat. *J. Appl. Genet* 43A: 289 — 302.
- Mesterhazy A. 2006. Nobeoka Bozu, an unused resistance source and its utilization in improving resistance to FHB. In: Ban T., Lewis J. M., Phipps E. E. (ed). *The global Fusarium initiative for international collaboration – strategic planning workshop held at CIMMYT, El Batan, Mexico, 14–17 March 2006*: 28 — 29.
- Milus E. A., Parsons C. E. 1994. Evaluation of foliar fungicides for controlling *Fusarium* head blight of wheat. *Plant Dis.* 78: 697 — 699.
- Perkowski J., Plattner R. D., Goliński P., Vesonder R. F., Chełkowski J. 1990. Natural occurrence of deoxynivalenol, 3-Acetyl-deoxynivalenol, 15-Acetyl-deoxynivalenol, nivalenol, 4,7-dideoxynivalenol, and dearealone in Polish wheat. *Mycotoxin Research* 6: 7 — 12.
- Perkowski J., Stachowiak J., Kiecana I., Goliński P., Chełkowski J. 1997. Natural occurrence of *Fusarium* mycotoxins in Polish cereals. *Cereal Research Communications* 25: 379 — 380.
- Riley R. T., Norred W. P., Bacon C. W. 1993. Fungal toxins in food. Recent concerns. *Annu. Rev. Nutr.* 13: 167 — 189.
- Simpson D. R., Weston G. E., Turner J. A., Jennings P., Nicholson P. 2001. Differential control of head blight of wheat by fungicides and consequences for mycotoxin contamination of grain. *Eur. J. Plant. Path.* 107: 421 — 431.
- Suchowilska E., Wiwart M. 2006. Multivariate analysis of image descriptors of common wheat (*Triticum aestivum*) and spelt (*T. spelta*) grain infected by *Fusarium culmorum*. *Int. Agrophysics* 20: 345 — 351.
- Tomczak M., Wiśniewska H., Stępień Ł., Kostecki M., Chełkowski J., Goliński P. 2002. Deoxynivalenol, nivalenol and moniliformin occurrence in wheat samples with scab symptoms in Poland (1998–2000). *Eur. J. Plant Pathol.* 108 (7): 625 — 630.
- Van Ginkel M., Gilchrist L., Velazques C. 2000. New resistances in CIMMYT bread wheat germplasm In: Ward R.W. et al. in. (ed.). *Proc. of the 2000 National Fusarium Head Blight Forum, Erlanger, KY. 10-12 Dec. 2000. Michigan State University, East Lansing, MI, USA*: 297 — 302.
- 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. W: Ward R.W. et al. 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.
- Van Ginkel M., Gilchrist L., Capettini F., Kaz, M., Pfeiffer W., William M., Ban T., Lillemo M. 2003. International approach to breeding for *Fusarium* head blight resistance. In: *Proceedings of the 3rd Canadian Workshop on Fusarium Head Blight. 9–12 Dec. 2003, Winnipeg, MB*: 122.
- Willyerd, K. T., Li, C., Madden, L. V., Bradley, C. A., Bergstrom, G. C., Sweets, L. E., McMullen, M., Ransom, J. K., Grybauskas, A., Osborne, L., Wegulo, S. N., Hershtman, D. E., Wise, K., Bockus, W. W., Groth D., Dill-Mackey R., Milus E., Esker P. D., Waxman K. D., Adey E. A., Ebelhar S. E., Young B. G., Paul P. A. 2012. Efficacy and stability of integrating fungicide and cultivar resistance to manage *Fusarium* head blight and deoxynivalenol in wheat. *Plant Dis.* 96: 957 — 967.
- Wiśniewska H., Kowalczyk K. 2005. Resistance of cultivars and breeding lines of spring wheat to *Fusarium culmorum* and powdery mildew. *J. Appl. Genet.* 46: 35 — 40.
- Wiwart M., Kandler W., Perkowski J., Berthiller F., Preinerstorfer B., Suchowilska E., Buśko M., Laskowska M., Krska R. 2009. Concentrations of some metabolites produced by fungi of the genus *Fusarium* and selected elements in spring spelt grain. *Cereal Chem* 86: 52 — 60.
- Yang Z. P., Gilbert J., Procunier J. D. 2006. Genetic diversity of resistance genes controlling *Fusarium* head blight with simple sequence repeat markers in thirty - six wheat accessions from east Asian origin. *Euphytica* 148: 345 — 352.
- Yabwalo D. N., Mergoum M., Berzonsky W. A. 2011. Further characterization of the scab resistance of 'Frontana' spring wheat and the relationships between resistance mechanisms. *Plant Breed* 130: 521 — 525.

Yu J. B., Bai G. H., Cai S. B., Ban T. 2006. Marker assisted characterization of Asian wheat lines for resistance to *Fusarium* head blight. *Theor. Appl. Genet.* 113: 308 — 320.

Strony internetowe:

Zalecenie Komisji z dnia 17 sierpnia 2006 r. w sprawie obecności deoksyniwalenolu, zearalenonu, ochratoksyny A, T-2 i HT-2 oraz fumonizyn w produktach przeznaczonych do żywienia zwierząt (2006/576/WE) [<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:229:0007:0009:PL:PDF>].

Zalecenie Komisji z dnia 17 sierpnia 2006 r. w sprawie zapobiegania występowaniu i ograniczania występowania toksyn *Fusarium* w zbożach i produktach zbożowych (2006/583/WE), [<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:234:0035:0040:PL:PDF>].

Rozporządzenie Komisji (WE) Nr 1881/2006 z dnia 19 grudnia 2006 r. ustalające najwyższe dopuszczalne poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych [<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:364:0005:0024:PL:PDF>].

Centralny Ośrodek Badania Odmian Roślin Uprawnych. Rejestracja odmian, weryfikacja: 2013 — <http://www.coboru.pl/>.

IRENA KOLASIŃSKA

Zakład Genetyki i Hodowli Roślin

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy w Radzikowie

Identyfikacja donorów genów przywracających męską płodność u mieszańców żyta ze sterylizującą cytoplazmą Pampa

Identification of gene donors for male fertility restoration in rye hybrids with Pampa cytoplasm

W latach 2009–2013 prowadzono badania, których celem była identyfikacja nowych restorerów, efektywnie działających w systemie CMS-Pampa, wśród genotypów żyta o różnym pochodzeniu oraz porównanie ich zdolności przywracania płodności w dwóch warunkach uprawy 2013 roku. Materiał badań stanowiły linie wsobne żyta pokolenia S₂–S₄, pochodzące z polskich odmian (R-pol), tureckich populacji (R-tur) i wytworzonych populacji hodowlanych (R-pop) oraz męskosterylny mieszaniec pojedynczy, jako tester trudny do przywrócenia płodności (CMS-Tt). Wykonano krzyżowanie linii wsobnych o różnym pochodzeniu (R-pol, R-pop, R-tur) z męskosterylnym testerem trudnym do przywrócenia płodności (CMS-Tt). Męską płodność mieszańców testowych określano poprzez wizualną bonitację intensywności pylenia kłosów na poletkach obserwacyjnych i/lub ocenę męskiej sterylności/płodności pojedynczych roślin. Następnie wyznaczono indeksy restoracji według wzoru: $IR = \% \text{ roślin płodnych } (\% \text{ mf}) + 1/2\% \text{ roślin częściowo płodnych } (\% \text{ pmf})$. Badania wykazały bardzo niską frekwencję (średnio 3%) genotypów efektywnie przywracających płodność (IR ponad 70%) w cytoplazmie Pampa wśród linii wsobnych pochodzących z polskich populacji żyta. Znacznie większą zdolnością przywracania płodności i częstością (68%) efektywnych restorerów charakteryzowała się grupa linii wsobnych wyprowadzonych ze specjalnie wytworzonych populacji hodowlanych. Wysoką frekwencję efektywnych restorerów także stwierdzono w grupie genotypów wyprowadzonych z udziałem tureckich populacji miejscowych. Zidentyfikowano genotypy o różnym pochodzeniu, które w pełni przywróciły płodność pylników roślin mieszańców testowych ($\% \text{ mf} = 100$) w obu warunkach uprawy 2013 roku. Pełne i stabilne restorery mogą być wykorzystane w badaniach genetycznych systemu CMS-Pampa oraz w programie hodowli odmian mieszańcowych żyta.

Słowa kluczowe: cytoplazma Pampa, hodowla odmian mieszańcowych, identyfikacja restorerów, męska sterylność, przywracanie męskiej płodności, żyto

The objective of this study was to identify effective male fertility restorers among rye genotypes developed from Polish varieties, Turkish landrace populations and specially created breeding populations. Restoring ability of numerous inbred lines developed from these groups of rye populations

were studied in the years 2009–2013. Single plants of inbred lines were crossed to a hard-restoration tester (CMS-Tt) under isolation bags. The level of male fertility of test hybrids was assessed in plastic tunnels and/or in field by scoring visually pollen shedding of plant plots and/or anther dehiscence of single plants in a 1–9 scale. The restoration indices (RI) were calculated according to the formula: $RI = \% \text{ of male fertile (\% mf) plants} + 1/2\% \text{ of partially male fertile plants (\% pmf)}$. Low frequency (mean 3%) of effective restorers (RI above 70%) was found among the inbred lines derived from Polish varieties. Majority of inbred lines of this group were only partial restorers. In contrast, the inbred lines developed from specially created breeding populations were highly effective in restoration of male fertility of their test hybrids (68%). Moreover, inbred lines derived from the Turkish landrace populations proved to be very effective restorers. Frequency of effective restorers among genotypes assessed in 2009 and 2010 was 48.3% and 82.3%, respectively. Several genotypes with different origins were able to restore completely pollen fertility of their test hybrids cultivated in plastic tunnels and in field conditions ($IR = 100\%$; $\% \text{ mf} = 100$). Introduction of these restoring gene donors into the father pool should result in improved male fertility in Pampa-based rye hybrids. Utilization of identified restoring gene donors in breeding programme of rye hybrids was discussed.

Key words: hybrid breeding, male sterility, Pampa cytoplasm, restorer identification, restoration of male fertility, rye

WSTĘP

Żyto ozime jest i pozostanie ważną gospodarczo rośliną zbożową w Polsce, ponieważ charakteryzuje się szeregiem korzystnych cech agronomicznych i możliwością różnorodnego wykorzystania ziarna oraz dobrym przystosowaniem do warunków glebowo-klimatycznych. W ostatnich latach wzrasta wykorzystanie ziarna żyta dla celów konsumpcyjnych, przemysłowych i bioenergetycznych. Ziarno żyta i produkty z niego wytworzone ze względu na właściwości prozdrowotne będą odgrywać ważną rolę w żywieniu ludności. Obecnie w Krajowym Rejestrze znajduje się 15 odmian mieszańcowych, które stanowią 40,5% wszystkich 37 odmian żyta ozimego (COBORU, 2013). Niestety tylko trzy z nich to odmiany krajowe: Stach, Gradan, Tur. Odmiany mieszańcowe budzą duże zainteresowanie hodowców i producentów ze względu na swoje niewątpliwe zalety, szczególnie dużą plenność i wyrównanie. W niektórych latach najlepsze odmiany mieszańcowe osiągają plon ziarna ponad 20% wyższy w porównaniu z wzorcowymi odmianami populacyjnymi (COBORU, 2013). Wyniki Porejestrów Doświadczeń Odmianowych i Rolniczych (PDOiR) prowadzonych w latach 2010–2012 wykazały, że odmiany mieszańcowe plonowały średnio o 18% lepiej niż odmiany populacyjne. Dodatkowym powodem zainteresowania hodowlą heterozyjną żyta jest aspekt ekonomiczny. Uprawa odmian mieszańcowych wiąże się z koniecznością corocznej wymiany materiału siewnego. Stąd odmiany mieszańcowe muszą być corocznie odtwarzane z komponentów rodzicielskich, będących w dyspozycji hodowcy, co stwarza możliwość pełnej ochrony jego interesów. Wszystkie odmiany mieszańcowe żyta, będące w Krajowym Rejestrze, zostały wytworzone z udziałem systemu męska sterylność — przywracanie płodności typu Pampa (CMS-Pampa) (Geiger i Schnell, 1970). Męska sterylność tego typu jest łatwa do zachowania, ponieważ genotypy dopełniające męską sterylność (non-restorer) często występują w populacjach żyta oraz stabilna w szerokim zakresie warunków uprawy w Europie (Geiger i in., 1995). Znaczne problemy stwarza natomiast pełne przywrócenie męskiej płodności odmianie mieszańcowej z cytoplazmą

Pampa. Wszystkie uprawiane odmiany mieszańcowe żyta wykazują niższy poziom męskiej płodności niż tradycyjne odmiany populacyjne (Stracke i in., 2003; Kolasińska, 2013, dane niepublikowane). Niepełna płodność tego typu odmian i związana z tym obniżona produkcja pyłku (Geiger i in., 1995), sprzyjają zakażeniu roślin zarodnikami sporyszu (*Claviceps purpurea* (Fr.) Tul.), szczególnie w warunkach zimnej i deszczowej pogody w okresie kwitnienia, co prowadzi do zanieczyszczenia ziarna żyta przetrwalnikami zawierającymi toksyczne alkaloidy (Geiger i Bausbck, 1979). Wymagania dotyczące niskiej zawartości przetrwalników sporyszu w handlowych partiach ziarna konsumpcyjnego i paszowego mogą prowadzić do wysokich kosztów czyszczenia ziarna. Niektóre firmy nasienne stosują 10% domieszkę ziarna odmiany populacyjnej do mieszańca handlowego, aby zapobiec ewentualnym negatywnym skutkom niewystarczającego pylenia roślin odmian mieszańcowych (Miedaner i in., 2005).

Głównym problemem w hodowli odmian mieszańcowych żyta prowadzonej z wykorzystaniem systemu CMS-Pampa jest zwiększenie poziomu męskiej płodności roślin mieszańcowych. Problem ten może być rozwiązany poprzez wyhodowanie komponentów ojcowskich (restorerów) efektywnie przywracających płodność pylników roślin mieszańców. Jest to jednak zadanie bardzo trudne, gdyż restorery muszą jednocześnie charakteryzować się wysoką zdolnością kombinacyjną i tworzyć z dostępnymi komponentami matecznymi mieszańce przewyższające odmiany wzorcowe poziomem plonowania i innych cech agronomicznych. Poprawienie tej cechy można osiągnąć poprzez znalezienie nowych donorów genów efektywnie przywracających płodność w cytoplazmie Pampa i wykorzystanie ich w programach hodowli komponentów ojcowskich. Genotypy przywracające męską płodność występują rzadko (od 1 do 5%) w europejskich populacjach żyta (Geiger i Morgenstern, 1975; Geiger i in., 1995). Ponadto ekspresja sterylności/płodności pylników w dużym stopniu zależy od warunków środowiska (Geiger i Miedaner, 1996) oraz od interakcji genotypu restorera z genotypem linii matecznej (Kolasińska, 2009). Dodatkowym utrudnieniem jest złożone genetyczne uwarunkowanie tej cechy u genotypów europejskiego pochodzenia, zakładające działanie dwóch (Madej, 1976), trzech (Scoles i Evans, 1979), a nawet czterech (Ruebenbauer i in., 1984) par genów. Intensywne poszukiwanie restorerów w egzotycznych źródłach plazmy zarodkowej pochodzących z Południowej Ameryki i Bliskiego Wschodu zaowocowało dodatkowymi źródłami genów przywracających płodność, tj. irańska prymitywna populacja Iran IX i argentyńska odmiana miejscowa Pico Gentario (Geiger i Miedaner, 1996). Badania nad przydatnością linii wyprowadzonych z tych egzotycznych populacji wykazały, że charakteryzują się one istotnie większą zdolnością przywracania płodności, wyższą środowiskową stabilnością, mniejszą zależnością od genotypu matecznego w porównaniu z obecnie używanymi europejskimi liniami (Geiger i Miedaner, 1996; Miedaner i in., 2005). Jednak wszystkie linie dotychczas wyprowadzone z tych egzotycznych populacji wykazują bardzo słabą wartość cech rolniczych (obniżoną liczbę i masę ziaren, podatność na wyleganie). Okazało się, że główne geny przywracania płodności (*Rfp1* i *Rfp2*) z Iran IX i Pico Gentario są silnie sprzężone z genami warunkującymi niekorzystne cechy rolnicze, a szczególnie wysokość roślin (Miedaner i in., 2000; Kociuba i Stojałowski, 2009). Wcześniejsze badania prowadzone w IHAR — PIB (Kolasińska, dane

niepublikowane) wykazały, że miejscowe populacje żyta pochodzące z Turcji charakteryzują się większą niż polskie populacje zdolnością przywracania męskiej płodności u mieszańców z cytoplazmą Pampa. Efektem prac nad wprowadzeniem genów restorujących z tureckich populacji do linii wsobnych wyprowadzonych z polskich populacji było uzyskanie linii wsobnych efektywnie przywracających męską płodność (Kolasińska, 2011).

Celem badań było zidentyfikowanie nowych restorerów, efektywnie działających w cytoplazmie Pampa, wśród genotypów żyta o różnym pochodzeniu oraz określenie ich zdolności przywracania męskiej płodności w 2013 roku.

MATERIAŁ I METODY

Materiał badań stanowiły następujące grupy genotypów żyta:

- linie wsobne pokolenia S_2 (grupa 1) pochodzące z polskich odmian i rodów (R-pol),
- linie wsobne pokolenia S_2 (grupa 2) wyprowadzone z populacji hodowlanych wytworzonych w wyniku krzyżowania różnych linii częściowo przywracających płodność (R-pop),
- linie wsobne pokolenia S_4 (grupa 3) wyprowadzone z udziałem tureckich populacji miejscowych (R-tur),
- linie restorery pokolenia S_3 – S_4 zidentyfikowane w w/w trzech grupach genotypów na podstawie wyników wstępnej oceny przywracania płodności,
- męskosterylny mieszaniec pojedynczy, jako CMS-tester trudny do przywrócenia płodności (CMS-Tt),
- mieszańce testowe wytworzone poprzez krzyżowanie CMS-Tt z liniami wsobnymi o różnym pochodzeniu: R-pol, R-pop, R-tur.

Linie wsobne żyta wytworzono w wyniku samozapyłania pojedynczych roślin wybranych odmian lub wytworzonych populacji hodowlanych przy użyciu izolatorów z tofianu. Linie wsobne grupy (R-tur) wyprowadzono poprzez samozapyłanie pojedynczych roślin mieszańców wstecznych uzyskanych w wyniku krzyżowania linii wsobnej o dobrej wartości hodowlanej z tureckimi populacjami miejscowymi. W następnym etapie programu przeprowadzono ocenę linii S_1 pod względem kilku cech agronomicznych na poletkach obserwacyjnych. Na podstawie uzyskanych wyników do dalszych badań wybrano około 10% najbardziej wartościowych genotypów.

Zdolność przywracania płodności wszystkich grup genotypów żyta określono poprzez krzyżowanie ich z tym samym męskosterylnym testerem trudnym do przywrócenia płodności (CMS-Tt) i ocenę męskiej płodności mieszańców testowych. Krzyżowanie linii wsobnych z męskosterylnym testerem wykonano ręcznie używając kilku pojedynczych roślin każdej linii. Nasiona wytworzonych mieszańców testowych wysiano na poletkach obserwacyjnych. Przeprowadzono wstępną ocenę zdolności przywracania płodności poprzez wizualną bonitację w skali 1–9° intensywności pylenia kłosów roślin mieszańców testowych na poletkach obserwacyjnych (Geiger i Morgenstern, 1975).

Poszukiwanie donorów genów restorujących, czyli genotypów o pełnej zdolności przywracania płodności, prowadzono wśród wartościowych linii wsobnych uznanych za restorery na podstawie wcześniejszych badań. W tym celu wykonano krzyżowanie testowe wstępnie wybranych genotypów z CMS-Tt w warunkach izolacji: kamery, kabiny, ściany izolacyjne oraz ocenę męskiej płodności potomstwa w tunelach foliowych i w polu. Przeprowadzono szczegółowe oznaczanie sterylności/płodności pojedynczych roślin mieszańców testowych metodą wizualnej bonitacji pylników w skali 1–9° (Morgenstern, 1983), przy czym 1 oznacza pylniki silnie zdegenerowane, puste i niepękające, a 9 pylniki normalnej wielkości, pękające i obficie pyłące. Rośliny oznaczone 1, 2, 3 sklasyfikowano jako męskosterylne [ms], rośliny 4, 5, 6 jako częściowo płodne [pmf], a rośliny 7, 8, 9 jako płodne [mf]. Ocenę prowadzono w pełni kwitnienia roślin na kilku kłosach 30–60 roślin każdego mieszańca. Następnie obliczono procentowy udział roślin o różnym stopniu męskiej płodności oraz wyznaczono indeksy restoracji według wzoru: $IR = \% mf + 1/2\% pmf$.

WYNIKI

W latach 2009–2013 przeprowadzono wstępną ocenę zdolności przywracania płodności ogółem 1978 linii wsobnych pokolenia S₂ (grupa 1), pochodzących z polskich odmian i rodów żyta (tab. 1).

Tabela 1

Frekwencja genotypów (%) o różnej zdolności przywracania płodności wśród linii wsobnych wyprowadzonych z polskich odmian i populacji hodowlanych w latach 2009–2013
Frequency of genotypes with various restoring ability among inbred lines developed from Polish varieties and breeding populations in 2009–2013

Rok Year	Liczba genotypów Number of genotypes	Pylenie w skali bonitacyjnej 1–9 Pollen shedding in 1–9 scale				
		1–3	>3–4	>4–5	>5–6	>6
2009	495	12,1	28,2	30,0	24,5	5,2
2010	614	10,6	47,9	31,1	8,3	2,1
2011	341	18,2	51,8	23,5	5,3	1,2
2013	528	8,5	26,5	30,0	32,0	3,0
Razem — Total	1978	12,4	38,6	28,7	17,5	2,9
Średnio — Average						
2012*	355	8,2	16,0	22,0	33,5	20,3

* — Populacja hodowlana o zwiększonej częstotliwości genów restorujących; Breeding population with higher frequency of restoring genes

Stwierdzono, że przeważająca większość spośród nich w niewielkim stopniu przywróciła męską płodność mieszańców testowych. Stopień pylenia większości mieszańców testowych mieścił się w granicach ponad 3 do 5. Mieszańce takie stanowiły od 56,5% (2013 rok) do 79% (2010 rok) ogólnej liczby ocenianych obiektów. Udział mieszańców wykazujących pylenie roślin ponad 5 stopni był zróżnicowany i wynosił od 6,5% w 2011 roku do 35% w 2013 roku. Wśród badanych linii wsobnych niewielka była frekwencja genotypów, których mieszańce miały płodność pylników ponad 6 stopni. Takie linie efektywnie przywracające płodność mieszańców stanowiły od 1,2% (2011 rok) do 5,2%

(2009 rok). W 2012 roku testowano zdolność przywracania płodności 355 linii wsobnych (grupa 2), wyprowadzonych z populacji hodowlanych wytworzonych w wyniku krzyżowania różnych linii częściowo restorujących (R-pop). Wśród linii tej grupy zidentyfikowano znacznie wyższą liczbę genotypów przywracających płodność niż wśród linii wsobnych grupy 1. I tak frekwencja genotypów, których mieszańce miały płodność ponad 5 i ponad 6 stopni wynosiła odpowiednio 53,8% i 20,3%.

W okresie 2009–2013 prowadzono także poszukiwanie genotypów całkowicie przywracających płodność pylników roślin mieszańców testowych, które mogłyby stanowić donory genów restorujących w programie hodowli komponentów ojcowskich. Poszukiwanie takich genotypów prowadzono głównie wśród linii, które znacząco przywróciły płodność mieszańców testowych we wcześniejszych badaniach. W tym celu przeprowadzono szczegółową ocenę sterility/płodności pylników pojedynczych roślin mieszańców testowych uzyskanych poprzez krzyżowanie ogółem 400 linii z CMS-Tt (tab. 2).

Tabela 2

Frekwencja restorerów wśród genotypów pochodzących z polskich odmian i populacji hodowlanych w warunkach polowych w latach 2009–2013
Frequency of restorers among inbred lines developed from Polish varieties and breeding populations in 2009–2013

Rok Year	Liczba genotypów** Number of genotypes	Udział (%) restorerów Frequency (%) of restorers		
		IR >70	IR >90	IR = 100%
2009	94	9,6	0	0
2010	85	10,5	2,4	0
2011	71	11,8	4,2	1,4
2012	73	17,5	9,6	2,7
2013*	77	68,8	48,1	13,0

* — Populacja hodowlana o zwiększonej częstości genów restorujących; Breeding population with higher frequency of restoring genes

** — Oceniono 20–40 roślin każdego genotypu; 20–40 plants of each genotype were screened

Stwierdzono, że frekwencja genotypów efektywnie i w pełni przywracających płodność była zróżnicowana w poszczególnych grupach testowanych linii. Genotypy o indeksie restoracji ponad 70% stanowiły od 9,6% do 68,8%, odpowiednio w latach 2009 i 2013. Frekwencja genotypów o IR ponad 90% wynosiła od 0 do 48,1% w poszczególnych grupach obiektów. W efekcie badań wyodrębniono genotypy całkowicie przywracające płodność mieszańców testowych, czyli genotypy o indeksie restoracji wynoszącym 100%. Te pełne restorery płodności były nieliczne w grupach genotypów, pochodzących z polskich odmian, ocenianych w 2011 i 2012 roku. Najwyższą frekwencją pełnych restorerów (IR = 100%) wynoszącą 13%, wyróżniła się grupa genotypów wyprowadzonych z populacji hodowlanych. Ponadto prawie połowa (48%) linii tej grupy wykazała indeks restoracji ponad 90%, a większość (68,8%) miała indeks restoracji ponad 70%. W latach 2009–2010 przeprowadzono także ocenę zdolności przywracania płodności ogółem 239 linii wsobnych pokolenia S₄ wyprowadzonych z udziałem tureckich populacji miejscowych (tab. 3). W tej grupie linii wsobnych zidentyfikowano znacznie więcej

restorerów niż wśród linii wyprowadzonych z polskich populacji żyta. Genotypy o indeksie restoracji ponad 70% stanowiły 48,3% i 82,3%, odpowiednio w latach 2009 i 2010. Zidentyfikowano także znaczącą liczbę pełnych restorerów płodności (IR = 100%), które stanowiły 30% i 50% linii testowanych, odpowiednio w 2009 i 2010. W kolejnych latach przeprowadzono ocenę cech rolniczych 114 linii wyróżniających się zdolnością przywracania płodności. W efekcie tych badań wybrano 4 pełne restorery, pochodzące z różnych odmian miejscowych, charakteryzujące się zadawalającym poziomem cech rolniczych. Wśród tych restorerów wyróżnia się linia LTR 28 wykazująca pełną i stabilną zdolność restoracji oraz zadawalający poziom cech rolniczych.

Tabela 3

Frekwencja restorerów wśród genotypów wyprowadzonych z udziałem miejscowych populacji tureckich w latach 2009–2012
Frequency of restorers among inbred lines developed from Turkish populations in 2009–2012

Rok Year	Liczba genotypów Number of genotypes	Udział (%) restorerów Frequency (%) of restorers	
		IR >70	IR = 100%
2009	109	48,3	30,0
2010	130	82,3	50,0
2011	114	ocena wartości <i>per se</i> assessment of the <i>per se</i> value	wybrano 8 linii 8 lines were chosen
2012	8	ponowna ocena zdolności restoracji i wartości <i>per se</i> re-assessment of restoring ability and the <i>per se</i> value	wybrano 4 linie 4 lines were chosen

W wyniku przeprowadzonych badań zgromadzono wartościowe restorery płodności o różnym pochodzeniu, które można wykorzystywać w programie hodowli odmian mieszańcowych żyta. W 2013 roku przeprowadzono porównanie ich zdolności przywracania płodności poprzez ocenę sterility/płodności pylników ich mieszańców testowych w polu (tab. 4) i w tunelach foliowych (tab. 5). Spośród linii wsobnych wyprowadzonych z polskich populacji żyta w warunkach polowych zidentyfikowano 12 genotypów efektywnie przywracających płodność (63,2%). Linie te miały indeks restoracji ponad 70%, a trzy z nich nawet ponad 90%. Jednak ocena sterility/płodności pylników roślin mieszańców rosnących w tunelu foliowym potwierdziła wysoką zdolność restoracji tylko jednego genotypu (IR = 77,6%). Indeks restoracji pozostałych genotypów mieścił się w granicach 18,8–67,1%. Wszystkie cztery linie wyprowadzone z udziałem tureckich odmian okazały się efektywnymi restorerami (IR ponad 70%) w warunkach polowych. Jedna linia LTR 28 wyróżniła się pełną i stabilną zdolnością restoracji, gdyż jej potomstwo zawierało 100% płodnych roślin w obu warunkach uprawy. Pozostałe trzy restorery trochę słabiej przywróciły płodność mieszańców w tunelu foliowym niż w polu. Przeważająca większość genotypów wyprowadzonych z wytworzonych populacji hodowlanych (grupa 2) charakteryzowała się wysoką zdolnością przywracania płodności w obu warunkach uprawy. Indeks restoracji wynoszący ponad 70% stwierdzono w polu u prawie wszystkich genotypów (94,9%), a w tunelu foliowym u 87,2% genotypów tej grupy. Ponadto genotypy o IR ponad 90% stanowiły około 65% wszystkich linii testowanych w obu warunkach uprawy. Pełnymi i stabilnymi restorerami okazało się 10 genotypów tej grupy (25,6%),

gdyż wszystkie rośliny ich mieszańców testowych były całkowicie płodne (%mf = 100) w obu warunkach uprawy.

Tabela 4

Liczba i procentowy udział restorerów w poszczególnych grupach genotypów w warunkach polowych 2013 roku

Number and frequency of restorers among genotype groups in field in 2013

Pochodzenie genotypów Origin of genotypes	Liczba ogółem Total number	Indeks restoracji (%) — Restorer index (%)					
		ponad 70 — above 70		ponad 90 — above 90		100	
		liczba number	%	liczba number	%	liczba number	%
Polskie odmiany Polish varieties	19	12	63,2	3	15,8	0	0
Populacje hodowlane Breeding populations	39	37	94,9	25	64,1	10	25,6
Tureckie populacje Turkish populations	4	4	100,0	3	75,0	1	25,0
Razem — Total Średnio — Average	62	53	85,5	31	50,0	11	17,7

Tabela 5

Liczba i częstość występowania restorerów w poszczególnych grupach genotypów w tunelach foliowych 2013 roku

Number and frequency of restorers among genotype groups in plastic tunnels in 2013

Pochodzenie genotypów Origin of genotypes	Liczba ogółem Total number	Indeks restoracji (%) — Restorer index (%)					
		ponad 70 — above 70		ponad 90 — above 90		100	
		liczba number	%	liczba number	%	liczba number	%
Polskie odmiany Polish varieties	19	1	5,3	0	0,0	0	0
Populacje hodowlane Breeding populations	39	34	87,2	26	66,7	10	25,6
Tureckie populacje Turkish populations	4	2	50,0	1	25,0	1	25,0
Razem — Total Średnio — Average	62	37	59,7	27	43,5	11	17,7

Badania wykazały, że w tunelach foliowych wystąpiły mniej korzystne warunki niż w polu do wykształcenia się płodnych ziaren pyłku z powodu zbyt wysokiej temperatury (około 35°C) panującej w niektóre dni okresu poprzedzającego kwitnienie. Większość genotypów grupy 1 i 3 charakteryzowała się wyższą zdolnością przywracania płodności w warunkach polowych niż w tunelach (tab. 4, tab. 5). W warunkach polowych indeks restoracji i udział roślin płodnych były średnio o 12,1% i 17,5% wyższe niż w tunelach. Największe różnice poziomu przywrócenia płodności wystąpiły w grupie genotypów pochodzących z polskich populacji żyta. Indeks restoracji i udział roślin płodnych były średnio o 28,1% i 41,1% wyższe w polu niż w tunelach. W warunkach polowych indeks restoracji ponad 70% stwierdzono u 63,2% genotypów, a w tunelu tylko u jednego z nich (5,3%). Genotypy wyprowadzone z udziałem tureckich odmian także wykazały wyższą

zdolność restoracji w polu niż w tunelu foliowym. U tej grupy genotypów indeks restoracji i udział roślin płodnych były średnio wyższe w polu niż w tunelach odpowiednio o 21% i 35,7%. W warunkach polowych wszystkie cztery genotypy miały indeks restoracji powyżej 70%. W tunelu foliowym natomiast tylko dwa z nich wykazały zbliżoną efektywność działania. Większość linii wyprowadzonych z populacji hodowlanych (grupa 2) charakteryzowała się wysoką i stabilną zdolnością przywracania płodności w obu warunkach uprawy. Indeks restoracji i udział roślin płodnych miały zbliżone wartości w polu i w tunelach (różnica 3–4%). Genotypy o IR ponad 70% stanowiły 94,9 i 87,2%, odpowiednio w polu i w tunelach. Warunki tuneli foliowych nie wpłynęły niekorzystnie na działanie genotypów prawie całkowicie (IR>90%) i całkowicie (IR = 100%) przywracających płodność pylników roślin mieszańców testowych. Na uwagę zasługuje 10 genotypów tej grupy (25,6%), które całkowicie przywróciły płodność wszystkim roślinom mieszańców testowych (%mf = 100) w obu warunkach uprawy.

DYSKUSJA WYNIKÓW

Przeprowadzone badania potwierdzają dotychczasowe stwierdzenia o niskiej frekwencji genotypów efektywnie przywracających płodność w europejskich populacjach żyta (Geiger i Morgenstern, 1975; Geiger i in., 1995). Badania te jednocześnie wskazują na możliwość znalezienia lub wytworzenia innych źródeł genów restorujących. Okazało się, że rolę tę mogą spełniać odmiany miejscowe żyta z Turcji, które mogą być lepszym źródłem genów *Rf* niż egzotyczne populacje z Argentyny i Bliskiego Wschodu (Geiger i Miedaner, 1996; Miedaner i in., 2005). W efekcie przedstawionych badań wybrano 4 efektywne restorery, pochodzące z różnych tureckich odmian miejscowych, charakteryzujące się zadawalającym poziomem cech rolniczych. Na uwagę zasługuje szczególnie linia LTR 28 wykazująca pełną i stabilną zdolność restoracji oraz zadawalający poziom cech agronomicznych. Natomiast wszystkie linie dotychczas wyprowadzone z egzotycznych populacji wykazują bardzo słabą wartość cech rolniczych, a szczególnie obniżoną liczbę i masę ziaren oraz podatność na wyleganie. Okazało się, że główne geny przywracania płodności (*Rfp1* i *Rfp2*) z Iran IX i Pico Gentario są silnie sprzężone z genami warunkującymi niekorzystne cechy rolnicze, a szczególnie wysokość roślin (Miedaner i in., 2000; Kociuba i Stojałowski, 2009). To sprzężenie wyraźnie utrudnia przeniesienie tych genów restorujących do puli genowej komponenta ojcowskiego, ponieważ wymaga znacznego zwiększenia wielkości populacji krzyżowań wstecznych, potrzebnej do selekcji na przywrócenie płodności i cechy rolnicze (Miedaner i in., 2005). Badania wykazały, że efektywne restorery z powodzeniem można wytworzyć w programie hodowlanym dzięki kumulacji różnych genów przywracających płodność w wyniku krzyżowania zróżnicowanych, wartościowych genotypów oraz zastosowania skutecznej metody ich identyfikacji. Potwierdzeniem tej tezy są genotypy wyprowadzone z populacji hodowlanych (grupa 2), uzyskanych w wyniku krzyżowania różnych linii przywracających płodność. Te populacje hodowlane okazały się cennym źródłem wartościowych restorerów płodności, gdyż większość (69%) wyprowadzonych z nich linii wsobnych miała indeks restoracji ponad 70%. Ponadto prawie połowa linii (48%) wykazała indeks restoracji ponad

90%, a 10 linii (13%) wytworzyło mieszańce, których wszystkie rośliny były całkowicie płodne (IR = 100%). W wyniku przeprowadzonych badań zgromadzono wartościowe restorery płodności o różnym pochodzeniu, które można wykorzystywać w programie hodowli odmian mieszańcowych żyta. Ponadto zidentyfikowano 11 genotypów całkowicie przywracających płodność pylników roślin mieszańców testowych w tunelach foliowych i w polu. Najwięcej (10) takich pełnych i stabilnych restorerów (IR = 100%, % mf = 100) wyodrębniono spośród genotypów wyprowadzonych z populacji hodowlanych o zwiększonej częstości genów restorujących. Dodatkowo jeden taki genotyp o zadawalającym poziomie cech agronomicznych (LTR 28) zidentyfikowano wśród linii uzyskanych z udziałem tureckich populacji. Takie genotypy o pełnej i stabilnej zdolności przywracania płodności oraz dobrej wartości *per se* mogą stanowić donory genów restorujących w programie hodowli komponentów ojcowskich mieszańców żyta.

Przeprowadzone badania wykazały, że uprawa w tunelach foliowych była mniej korzystna dla ekspresji płodności pylników niż uprawa w polu. Rośliny większości mieszańców testowych charakteryzowały się niższą płodnością pylników w warunkach tuneli foliowych niż w warunkach polowych. Różnice te były znaczące szczególnie u mieszańców z częściowo przywróconą płodnością, a takie mieszańce przeważały wśród wytworzonych z udziałem polskich populacji. We wcześniejszych badaniach natomiast stwierdzono, że wyższym poziomem płodności charakteryzowały się mieszańce uprawiane w tunelach niż w polu (Kolasińska, 2009). Te sprzeczne wnioski są wynikiem różnych warunków, a szczególnie temperatury, panujących w tunelach foliowych w 2009 roku i w 2013 roku. W okresie pomiędzy kłoszeniem a kwitnieniem roślin w 2013 roku często obserwowano znacznie wyższą temperaturę powietrza (około 35°C) w porównaniu z analogicznym okresem w 2009 roku. Niektórzy autorzy, jak Scoles i Evans (1979) obserwowali lepsze przywrócenie płodności w temperaturze 20/15°C i 25/20°C niż 15/10°C. Sage (1976) także stwierdził, że temperatura 20°C sprzyjała ekspresji genów restorujących, ale zbyt wysoka temperatura obniżała poziom przywrócenia płodności. Przeprowadzone badania wykazały ścisły związek pomiędzy płodnością mieszańców uprawianych w polu i w tunelach. Korelacja pomiędzy płodnością pylników w polu i w tunelach była wysoka i istotna na poziomie $\alpha = 0,01$. Współczynniki korelacji dla procentowego udziału roślin płodnych i dla indeksu restoracji wynosiły odpowiednio 0,84** i 0,87**. We wcześniejszych badaniach (Kolasińska, 2009) także stwierdzono istotną wysoką korelację pomiędzy płodnością mierzoną indeksem restoracji w warunkach pola i tuneli ($r = 0,92^{**}$). Istnienie ścisłego związku pomiędzy wynikami płodności pylników w tych dwóch warunkach uprawy pozwala na zwiększenie zakresu i efektywności prac w tej dziedzinie.

WNIOSKI

1. Stwierdzono bardzo niską frekwencję (średnio 3%) efektywnych restorerów płodności w cytoplazmie Pampa wśród linii wsobnych pochodzących z polskich populacji żyta.
2. Wysoką frekwencję restorerów (68%) stwierdzono natomiast w grupie genotypów wyprowadzonych z wytworzonych populacji hodowlanych o zwiększonej częstości genów restorujących.
3. Wśród linii wyprowadzonych z udziałem tureckich populacji stwierdzono znacznie wyższą frekwencję genotypów efektywnie przywracających płodność niż wśród linii pochodzących z polskich populacji i wyodrębniono cztery restorery o zadawalającym poziomie cech agronomicznych.
4. Zidentyfikowano genotypy o różnym pochodzeniu, które w pełni przywróciły płodność pylników roślin mieszańców testowych (% mf = 100) w obu warunkach uprawy.
5. Stwierdzono występowanie istotnej wysokiej korelacji pomiędzy wynikami oceny płodności pylników mieszańców testowych w tunelach foliowych i w polu, co pozwala na znaczne zwiększenie zakresu i efektywności prac w tej dziedzinie.
6. Pełne i stabilne restorery mogą być wykorzystane w badaniach genetycznych systemu CMS-Pampa oraz w programie hodowli odmian mieszańcowych żyta.

LITERATURA

- COBORU. 2013. Syntezy wyników doświadczeń rejestrowych. Zboża ozime 2012, zeszyt 108: 112 — 130.
- Geiger H. H., Bausback G. A. 1979. Untersuchungen über die Eignungspollensterilen Roggens zur parasitischen Mutterkornherzeugung. Z. Pflanzenzüchtg. 83, 2: 163 — 175.
- Geiger H. H., Miedaner T. 1996. Genetic basis and phenotypic stability of male-fertility restoration in rye. Vortr. Pflanzenzüchtg. 35: 27 — 38.
- Geiger H. H., Morgenstern K. 1975. Angewandt-genetische Studien zur cytoplasmatischen Pollensterilität bei Winterroggen. Theor. Appl. Genet. 46: 269 — 276.
- Geiger H. H., Schnell F. W. 1970. Cytoplasmic male sterility in rye (*Secale cereale* L.). Crop Sci. 10: 590 — 593.
- Geiger H. H., Yuan Y., Miedaner T., Wilde P. 1995. Environmental sensitivity of cytoplasmic-genic male sterility (CMS) in *Secale cereale* L. In: Genetic Mechanisms for Hybrid Breeding. Kück U. and G. Wricke (eds). Adv. Plant Breed. 18: 7 — 17, Paul Parey Sci. Publ., Berlin, Hamburg.
- Kociuba M., Stojalowski S. 2009. Efektywność markerów molekularnych SCAR z chromosomu 4RL w selekcji genotypów męskopłodnych oraz ich związek z wybranymi cechami morfologicznymi żyta (*Secale cereale* L.). Biul. IHAR 252: 139 — 149.
- Kolańska I. 2009. Genetyczno-hodowlane aspekty wykorzystania systemu CMS-Pampa w hodowli heterozyjnej żyta. Monografie i Rozprawy Naukowe nr 31, IHAR Radzików.
- Kolańska I. 2011. Identyfikacja genotypów przywracających płodność mieszańców z cytoplazmą Pampa wśród linii wsobnych żyta o różnym pochodzeniu. Biul. IHAR 260/261: 241 — 249.
- Madej L. 1976. Charakterystyka genetyczna trzech źródeł męskiej jałowości żyta (*Secale cereale* L.). Hod. Rośl. Aklim. Nasien. 20: 157 — 174.
- Miedaner T., Glass C., Dreyer F., Wilde P., Wortmann H., Geiger H. H. 2000. Mapping of genes for male-fertility restoration in 'Pampa' CMS winter rye (*Secale cereale* L.). Theor. Appl. Genet. 101: 1226 — 1233.
- Miedaner T., Wilde P., Wortmann H. 2005. Combining ability of non-adapted sources for male-fertility restoration in Pampa CMS of hybrid rye. Plant Breed. 124: 39 — 43.

- Morgenstern K. 1983. Ausprägung der cytoplasmatisch-genischen Pollensterilität (CMS) bei Roggen in Abhängigkeit von Plasmotyp und Genotyp. Dissertation, Univ. Hohenheim, Stuttgart.
- PDOiR 2013. Wyniki Porejestranych Doświadczeń Odmianowych, Zboża 2010-2012: 33 — 42.
- Ruebenbauer T., Kubara-Szpunar Ł., Pajak K. 1984. Testing of a hypothesis concerning interaction of genes with mutated cytoplasm controlling male sterility of the „Pampa” type in rye (*Secale cereale* L.). Genet. Pol. 25, 1: 1 — 16.
- Sage G. C. M. 1976. Nucleo-cytoplasmic relationships in wheat. Adv. Agron. 28: 267 — 300.
- Scoles G. J., Evans L. E. 1979. The genetics of fertility restoration in cytoplasmic male sterile rye. Can. J. Gen. Cytol. 21, 3: 417 — 422.
- Stracke S., Schilling A. G., Forster J., Weiss C., Glass C., Miedaner T., Geiger H. H. 2003. Development of PCR-based markers linked to dominant genes for male-fertility restoration in Pampa CMS of rye (*Secale cereale* L.) Theor. Appl. Genet. 106, 7: 1184 — 1190.

HALINA WIŚNIEWSKA ¹
TOMASZ GÓRAL ²
PIOTR OCHODZKI ²
DOROTA WALENTYN-GÓRAL ²
MICHAŁ KWIATEK ¹
MACIEJ MAJKA ¹
IGA GRZESZCZAK ²
JOLANTA BELTER ¹
ZOFIA BANASZAK ³
MIROSLAW POJMAJ ³
DANUTA KURLETO ³
MARCIN KONIECZNY ³
GRZEGORZ BUDZIANOWSKI ⁴
ALICJA CICHA ⁴
KAZIMIER PAIZERT ⁴
HENRYK WOŚ ⁴

¹ Instytut Genetyki Roślin PAN, Poznań

² Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin PIB, Radzików

³ Danko Hodowla Roślin Sp. z o.o., Choryń

⁴ Hodowla Roślin Strzelce Sp. z o.o. Grupa IHAR, Strzelce

Odporność rodów hodowlanych pszenżyta ozimego na fuzariozę kłosów*

Resistance of winter triticale breeding lines to *Fusarium* head blight

Przedmiotem badań było 35 genotypów pszenżyta ozimego o zróżnicowanym podłożu genetycznym oraz dwie odmiany, które analizowano pod względem odporności na fuzariozę kłosów powodowaną przez *Fusarium culmorum* oraz akumulacji toksyn fuzaryjnych w ziarnie. Genotypy pszenżyta zostały wysiane na poletkach doświadczalnych w dwóch lokalizacjach: Cerekwica i Radzików. Kłosa poszczególnych genotypów były inokulowane mieszaniną trzech szczepów *Fusarium culmorum*. Określono indeks fuzariozy kłosów (IFK) oraz procent uszkodzonych ziarniaków (FDK). Ziarniaki były analizowane pod względem zawartości trichotecen z grupy B (deoksyniwalenol [DON] i pochodne, niwalenol) oraz zearalenonu. Indeks fuzariozy kłosów w obu lokalizacjach był zbliżony, średnio w Cerekwicy 7,8% a w Radzikowie 10,2%, jednakże średnie IKF różniły się statystycznie

* Praca finansowana w ramach projektu Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Decyzja: HOR hn – 801 — 11/13

istotnie. Procent ziarniaków uszkodzonych przez *Fusarium* był wyższy w Cerekwicy niż Radzikowie, odpowiednio średnio 43,0% i 28,7%. Stwierdzono wysokie stężenie toksyn w ziarniakach badanych genotypów pszenżyta. Zawartość DON w dwóch lokalizacjach wahała się od 1,528 do 7,613 mg/kg — średnio 3,994 mg/kg. Stwierdzono również wysokie stężenie niwalenolu od 1,673 do 19,735 mg/kg — średnio 7,213 mg/kg. Wykazano istotną statystycznie korelację pomiędzy sumą trichotecen i FDK ($r = 0,706$) oraz sumą trichotecen a redukcją masy ziarna z kłosa ($r = 0,407$). Zawartość niwalenolu i zearalenonu również istotnie korelowała z FDK ($r = 0,697$ i $r = 0,339$). Analiza k-średnich pozwoliła na wyróżnienie trzech grup genotypów pszenżyta. Grupa pierwsza — obejmująca 15 genotypów charakteryzowała się średnim IFK oraz niskim uszkodzeniem ziarniaków i niską zawartością toksyn fuzaryjnych. Redukcja plonu ziarna oraz MTZ była na średnim poziomie, natomiast najniższa w tej grupie była redukcja liczby ziarniaków w kłosie. Grupa druga zawierająca 11 genotypów, charakteryzowała się najniższym średnim porażeniem kłosa, czemu towarzyszyło wyższe niż w grupie pierwszej uszkodzenie ziarniaków. Wyższa też była w tej grupie zawartość toksyn w ziarnie. Redukcja plonu i liczby ziarniaków nie różniła się wyraźnie od tej dla grupy pierwszej. Niższa była natomiast redukcja MTZ. W grupie trzeciej obejmującej 11 genotypów znalazły się genotypy o najwyższej podatności na porażenie kłosa, uszkodzenie ziarniaków i akumulację toksyn. W grupie tej najwyższe były też redukcje komponentów plonu.

Słowa kluczowe: *Fusarium culmorum*, odporność, plon, pszenżyto, toksyny fuzaryjne

Resistance to *Fusarium* head blight of 35 winter triticale lines and two cultivars was evaluated. Triticale was sown in field experiments in two locations. Triticale heads were inoculated with three *Fusarium culmorum* isolates. FHB index was scored and after the harvest percentage of *Fusarium* damaged kernels (FDK) was assessed. Grain was analysed for a content of trichothecenes B (deoxynivalenol [DON] and derivatives, nivalenol) and zearalenone. The average FHB indexes were similar in both locations and amounted to 7.8 in Radzików, and 10.2% in Cerekwica, however they differed statistically significantly. Percentage of *Fusarium* damaged kernels was higher in Cerekwica (43.0%) than in Radzików (28.7%). An average content of DON in two localizations ranged from 1.528 to 7.613 mg/kg, with mean: 3.994 mg/kg. The content of nivalenol in the grain was also high and amounted from 1.673 to 19.735 mg/kg, with mean: 7.213 mg/kg. A statistically significant correlation between the sum of the trichothecenes and FDK ($r = 0.706$) and the sum trichothecenes and of reduction of grain yield per head ($r = 0.407$) was found. Concentration of toxins nivalenol and zearalenone also correlated with FDK ($r = 0.697$ and $r = 0.339$, respectively). Analysis of k-means created three clusters of triticale genotypes. Cluster one consisting of 15 genotypes had a medium FHB index, low kernel damage and low content of *Fusarium* toxins. Reduction of grain yield and TKW was at an average level, while the reduction of the kernel number per head was the lowest in this group. Second cluster of 11 genotypes, was characterised by the lowest average head infection, and accompanied by higher FDK than in the first cluster. Toxins content in the grain was also higher in this cluster. Reduction of yield and kernel number was not different from that for the first cluster. The reduction of the TKW was lower. In the third cluster there were 11 genotypes of the highest susceptibility to head infection, kernel damage and toxin accumulation. In this group, reductions of yield components were also the highest.

Key words: *Fusarium culmorum*, *Fusarium* toxins, resistance, triticale, yield

WSTĘP

Fuzarioza kłosów jest chorobą powodowaną przez grzyby rodzaju *Fusarium* (głównie *F. culmorum* i *F. graminearum*), która może prowadzić do obniżenia plonu ziarna. Poważniejszym problemem związanym z fuzariozą kłosów jest skażenie ziarna mikotoksynami takimi jak deoksyniwalenol (DON), niwalenol (NIV) i zearalenon (ZEA). Skażenie to może występować nawet wtedy, gdy nie obserwuje się spadków plonu. Toksyny fuzaryjne mogą być silnie lub chronicznie toksyczne, zarówno dla ludzi jak i dla

zwierząt, zależnie od rodzaju toksyn oraz ich zawartości w spożywanej żywności lub paszy. Choroby powodowane przez toksyny fuzaryjne określane są ogólnie, jako mikotoksykozy.

Największe szkody fuzarioza kłosów powoduje w uprawach pszenicy zwyczajnej i pszenicy twardej, która w porównaniu z innymi zbożami jest najbardziej podatna na tę chorobę. Mniejszą podatnością na porażenie kłosa (wiech) charakteryzują się kolejno pszenżyto, żyto, jęczmień i owies (Miedaner i in. 2001, 2004; Langevin i in., 2004; Góral 2007). W związku z tym pszenżyto było uważane za zboże w mniejszym stopniu zagrożone skażeniem mikotoksynami niż pszenica (Góral i in., 2002; Comeau i in., 2008) jednakże liczne nowe odmiany pszenżyta okazują się podatne na fuzariozę kłosów na poziomie zbliżonym do pszenicy (Góral i Ochodzki, 2006). Ostatnio pojawiają się doniesienia, że w ziarnie pszenżyta akumulowana może być ilość mikotoksyn zbliżona lub nawet wyższa od tej notowanej u pszenicy, pomimo mniejszego nasilenia objawów fuzariozy na kłosach i ziarniakach. Informacje takie prezentowane były na konferencji „8th International Triticale Symposium”, która odbyła się w Belgii w dniach 10–14 czerwca 2013 roku (Harpinder Randhawa, informacja ustna). Podobne wyniki dotyczące kanadyjskich genotypów pszenżyta prezentowano wcześniej na konferencji „3rd International Fusarium Head Blight Symposium” w roku 2008 (Comeau i in., 2008). Brak jak dotąd wyjaśnienia tego zjawiska. Badacze kanadyjscy sugerują, że zwiększona akumulacja toksyn fuzaryjnych wynika z większej podatności okrywy owocowo-nasiennej pszenżyta na uszkodzenie przez *Fusarium* (Veitch i in., 2008; Harpinder Randhawa, informacja ustna). Przyczyną podatności części puli genetycznej pszenżyta (głównie jarego) może być to, że formy pierwotne zostały uzyskane z krzyżowań żyta z pszenicą twardą, która wykazuje bardzo dużą podatność na fuzariozę kłosów. W mniejszym stopniu dotyczy to polskiej populacji pszenżyta ozimego, które otrzymywano z krzyżowań żyta z pszenicą zwyczajną.

Dodatkowo pszenżyto, jako całkowicie syntetyczny rodzaj (*X Triticosecale* Wittmack) zagrożone jest zawężeniem bazy genetycznej odmian, jeżeli nie prowadzi się krzyżowań z gatunkami macierzystymi, co może to prowadzić do spadku odporności tego zboża na patogeny, w tym *Fusarium* spp. Najbardziej skutecznym sposobem redukcji strat powodowanych przez fuzariozę kłosów zbóż może być uprawa odmian odpornych, które, charakteryzują się brakiem lub bardzo niską akumulacją DON-u w ziarnie (Mesterhazy i in., 1999; Bai i in., 2001). Uprawa takich odmian w połączeniu z właściwą agrotechniką pozwoli również na ograniczenie stosowania fungicydów (Mesterhazy, 1995, 2002; Willyerd i in., 2012).

Celem badań było wstępne zidentyfikowanie genotypów pszenżyta o zróżnicowanym podłożu genetycznym o zwiększonej odporności na fuzariozę kłosów powodowaną przez grzyby rodzaju *Fusarium* spp. i niskiej akumulacji mikotoksyn fuzaryjnych w ziarnie. Genotypy te mogą stanowić bazę genetycznych źródeł odporności. Baza ta może być wykorzystywana do badań nad genetyką odporności pszenżyta na fuzariozę kłosów lub wprowadzania odporności do nowych odmian pszenżyta.

MATERIAŁ I METODY

Materiał roślinny

Badania obejmowały rody pszenżyta ozimego o zróżnicowanym podłożu genetycznym, pochodzące z różnych kombinacji krzyżowań. Rody te pochodziły z programów hodowlanych pszenżyta ozimego realizowanych w dwóch firmach hodowlanych: Hodowla Roślin Strzelce oraz Danko Hodowla Roślin. Przebadano odporność 58 rodów na fuzariozę kłosów (wyniki nieprzedstawione). Do szczegółowych analiz wybrano 31 rodów pszenżyta wykazujących niskie porażenie kłosa, cztery rody wykazujące najwyższe porażenie kłosa (S) oraz odmiany Borwo i Fredo.

Doświadczenia polowe

Doświadczenia polowe zostały założone w 2012 roku w układzie losowych bloków w dwóch lokalizacjach położonych w różnych rejonach Polski: w Instytucie Genetyki Roślin PAN w Poznaniu (pole w Cerekwicy) oraz w IHAR — PIB w Radzikowie. Dwie lokalizacje pozwoliły na większe zróżnicowanie warunków klimatycznych (rozkład temperatury i opadów) wpływających w istotny sposób na stopień porażenia i wytypowanie form o podwyższonej odporności na fuzariozę kłosów. Rody pszenżyta ozimego wysiano na poletkach o powierzchni 1 m² w 3 powtórzeniach. Gęstość siewu wynosiła około 300 ziarniaków na m². Termin siewu: Cerekwica — 24 września, Radzików — 2 października. Nawożenie mineralne w kg czystego składnika na hektar przedstawiało się następująco: N — 80 kg/ha, P — 70 kg/ha, K — 105 kg/ha.

Przygotowanie inokulum

Do produkcji inokulum wybrano trzy izolaty *Fusarium culmorum* tworzące deoksynivalenol (KF846 — chemotyp DON), niwalenol (KF350 — chemotyp NIV) i zearalenon (ZFR 112 — chemotyp DON). Izolaty należące do chemotypu DON pochodziły z Radzikowa i zostały wyizolowane z kłosów pszenicy (Wiśniewska i Kowalczyk, 2005; Ochodzki i Góral, 2006). Izolat o chemotypie NIV pochodził z Holandii (oznaczony, jako IPO348) i został wyizolowany z kłosa pszenicy (Snijders i Perkowski, 1990).

Szczepy *F. culmorum* inkubowano oddzielnie przez 5 tygodni w kolbach Erlenmayera o pojemności 300 ml na sterylnych ziarniakach pszenicy, przy odpowiedniej wilgotności ziarna. Zastosowano 50 g ziarna, do którego dodawano 15 ml destylowanej wody i następnie autoklawowano dwukrotnie przez 30 minut w odstępach 24 h. Ziarno zostało zaszczipione krążkami pożywki PDA przerośniętej grzybnią *F. culmorum*. Użyto po 3 krążki na kolbę. Kolby wstrząsano codziennie, aby nie dopuścić do zbrylenia ziarna. Po 5–6 tygodniach na ziarniakach inokulowanych szczepami *F. culmorum* powstawały liczne sporodochia wypełnione zarodnikami. Tak wytworzone zarodniki były odpowiednim materiałem do wykorzystania do inokulacji.

Zarodniki wyplukiwano sterylną wodą z kolb zawierających na ziarniakach sporodochia, cedzono przez gazę i określano ich gęstość za pomocą hematokrytu. Następnie zawiesiny uzyskane z poszczególnych izolatów rozcieńczano wodą sterylną do gęstości około 100 000 zarodników w 1 mililitrze. Do inokulacji stosowano mieszaninę zawiesin trzech izolatów w równych proporcjach.

Inokulacja oraz ocena porażenia kłosów i ziarniaków

W obu lokalizacjach inokulację wykonano metodą opryskiwania. Przed inokulacją do zawiesiny zarodników dodawano 5 kropli/litr środka powierzchniowo czynnego Tween 20 (Sigma-Aldrich). Stosowano około 100 ml zawiesiny na 1 m². Każdy genotyp był inokulowany oddzielnie w pełni kwitnienia. Na polu doświadczalnym IGR PAN w Cerekwicy w celu uzyskania wysokiej wilgotności powietrza sprzyjającej infekcji kłosów, zastosowano po inokulacji przez kolejne trzy dni mikrozaszace, utrzymujące wysoką wilgotność powietrza. W drugiej lokalizacji w Radzikowie doświadczenie prowadzono bez mikrozaszacy, jednak pole doświadczalne umiejscowione jest w pobliżu rzeki i obszar ten charakteryzuje się dużą wilgotnością względną powietrza.

Inokulacja metodą opryskiwania wykazuje podobieństwo do naturalnych warunków infekcji kłosa przez *Fusarium* spp. (Buerstmayr i in., 2003). Metoda ta umożliwia określenie łącznej odporności na infekcję (Typ I) i odporności na rozprzestrzenianie się patogena wzdłuż osadki kłosowej (Typ II). Obserwacje porażenia kłosa przeprowadzono 3-krotnie: po 12, 14 i 16 dniach od inokulacji. Z uzyskanych danych obliczono indeks fuzariozy kłosów według wzoru:

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

Przeprowadzono zbiór 30 dojrzałych inokulowanych kłosów z poletek i wymłócono ręcznie. Spowodowane to było faktem, że silnie porażone ziarniaki są bardzo lekkie, często przyklejone do plew i w czasie mechanicznego młócenia mogą zostać usunięte razem z plewami. Wymłócone ziarno z 30 inokulowanych kłosów z każdego genotypu (3 powtórzeń) dzielono na frakcje: FDK (ziarniaki z wyraźnymi objawami fuzariozy) i HLK (ziarniaki wyglądające zdrowo). Określono % liczby ziarniaków z wyraźnymi objawami fuzariozy (% liczby FDK).

Następnie oznaczono parametry struktury plonu (redukcje: masy ziarna z kłosa, liczby ziarniaków w kłosie, masy tysiąca ziarniaków — MTZ).

Analizy toksyn fuzaryjnych

Stężenie toksyn fuzaryjnych (DON, NIV i ZEA) oznaczono dla każdego genotypu w zmieszanych frakcjach ziarna (FDK+HLK).

Zawartość trichotecen z grupy B w ziarnie (DON, pochodne acetylowe DON-3-AcDON, 15-AcDON, NIV) była analizowana przy wykorzystaniu techniki chromatografii gazowej. Mikotoksyny ekstrahowano z 5 g zmielonego ziarna za pomocą 25 ml wodnego roztworu acetonitrylu (acetonitryl:woda 84:16) wytrząsając na wytrząsarce przez 24 h. Próbkę odwirowano (3000 obr. × min⁻¹, 5 min.), a ekstrakt oczyszczono na kolumnie Trich 227+ (RomerLabs). Do 4 ml oczyszczonego ekstraktu dodano 1 µg wzorca wewnętrznego (chloraloza) i odparowano do sucha w strumieniu powietrza. Mikotoksyny przeprowadzono w pochodne trimetylosilylowe za pomocą mieszaniny silylującej Sylon BTZ (BSA+TMCS+TMSI, 3:2:3, Supelco). Po rozpuszczeniu zderywatyzowanej próby w izooktanie nadmiar odczynnika silylującego rozłożono i usunięto za pomocą wody. Warstwę organiczną przeniesiono do fiolki autosamplera i poddano analizie chromatograficznej przy użyciu chromatografu SRI 8610C, wyposażonego w kolumnę BGB-5MS, o długości 30 m i średnicy wewnętrznej 0,25 mm. Gazem nośnym był wodór. Elucję prowadzono w gradiencie temperatury od 170°C do 310°C, wzrost z prędkością

5°C×min⁻¹. Detekcję mikotoksyn prowadzono za pomocą detektora wychwyty elektronów (ECD). Identyfikacji poszczególnych związków dokonano przez porównanie czasów retencji czystych wzorców mikotoksyn: DON, 3AcDON, 15AcDON, NIV (Sigma-Aldrich). Stężenie mikotoksyn określono na podstawie krzywej kalibracji, z zastosowaniem chloralozy, jako wzorca wewnętrznego.

Zawartość zearalenonu (ZEA) oznaczano za pomocą ilościowego testu immunoenzymatycznego AgraQuant® ZON (Romer Labs) zgodnie z procedurą podaną przez producenta

Obliczenia statystyczne

Analiza statystyczna została wykonana za pomocą pakietu Microsoft® Excel 2010/XLSTAT®-Pro (Version 2013.4.07, Addinsoft, Inc., Brooklyn, NY, USA). Przeprowadzono analizę wariancji IFK oraz FDK oraz porównanie średnich testem Tukeya (XLSTAT: ANOVA). Obliczono współczynniki korelacji IFK, FDK, redukcji komponentów plonu oraz zawartości poszczególnych mikotoksyn (XLSTAT: Correlation tests). W celu zgrupowania rodów na podstawie różnych typów odporności w dwóch lokalizacjach zastosowano metodę k-średnich (XLSTAT: k-means clustering). Wyniki analizy zostały zobrazowane za pomocą analizy dyskryminacyjnej (XLSTAT: Discriminant analysis).

WYNIKI I DYSKUSJA

Warunki pogodowe w obu lokalizacjach były zróżnicowane (tab. 1). W Cerekwicy opady były wyższe o 7,6 mm w czerwcu w okresie kwitnienia pszenżyta i w lipcu (o 21,6 mm), w okresie dojrzewania ziarna. Temperatura powietrza była zbliżona w obu lokalizacjach; w czerwcu stosunkowo niska, około 18°C, a w lipcu około 20°C (tab. 1).

Tabela 1

Warunki meteorologiczne (suma opadów, średnia temperatura, wilgotność względna powietrza) podczas trwania doświadczenia w Cerekwicy i Radzikowie
Weather conditions (precipitation, mean temperature, relative humidity) in experimental sites in Cerekwica and Radzików

Lokalizacja Location	Suma opadów (mm) Precipitation		Średnia temperatura (°C) Average temperature		Wilgotność względna (%) Relative humidity	
	czerwiec June	lipiec July	czerwiec June	lipiec July	czerwiec June	lipiec July
Cerekwica	121,4	45,0	18,1	20,1	b.d.	b.d.
Radzików	113,8	23,4	18,7	20,0	75,4	69,6

W tych warunkach pogodowych porażenie kłosa było na niskim poziomie, jednakże różnica średnich indeksów FK w obu lokalizacjach była istotna statystycznie. W Cerekwicy porażenie kłosa, wyrażone, jako IFK (%) — pierwszy komponent odporności nie było wysokie (średnio 7,8%), lecz zróżnicowane i kształtowało się w granicach od 4,8% (MAH 33113-1) do 24,7% (MAH 34068-5). Porażenie kłosa wynoszące do 10% IFK obserwowano u 31 genotypów. U 4 genotypów odnotowano indeks fuzariozy kłosów (IFK) wynoszący od 10% do 20%. Jedynie u 2 genotypów stwierdzono porażenie

kłosa powyżej 20%. W Radzikowie porażenie kłosa — IFK (%) było podobne (średnio 10,2%) i kształtowało się w granicach od 3,0% (DC 04294/04/1) do 24,5% (DAST 15/11). Porażenie kłosa do 10% IFK obserwowano u 22 genotypów. U 10 genotypów indeks fuzariozy kłosów (IFK) wynosił od 10% do 20%. Natomiast u 5 genotypów stwierdzono porażenie kłosa powyżej 20%. Średnie porażenie kłosa (IFK) genotypów pszenżyta z obu lokalizacji wyniosło 9,0% (tab. 2).

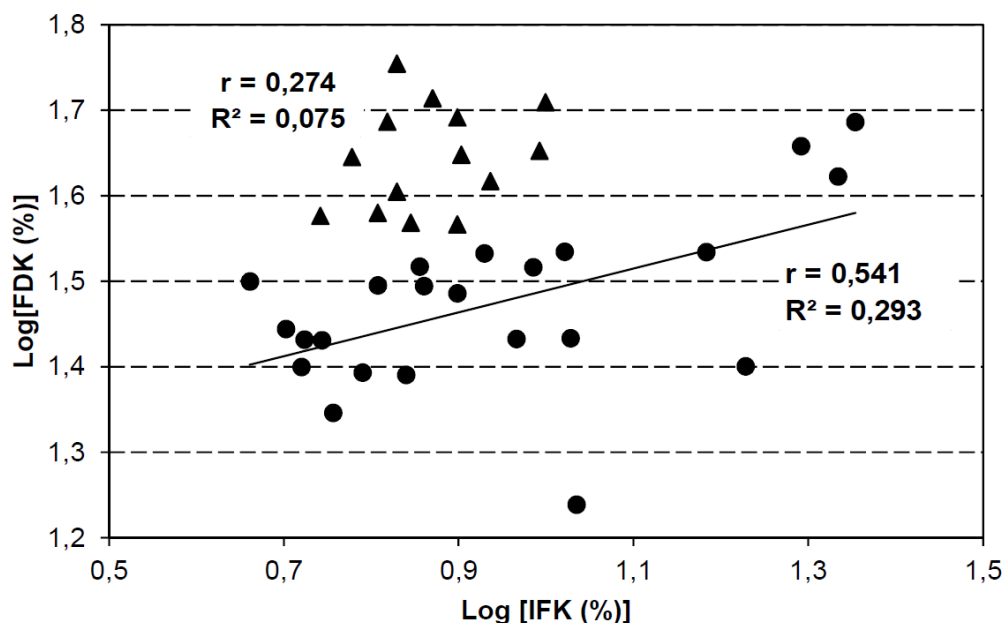
Tabela 2

Indeks fuzariozy kłosów (IFK), uszkodzenie ziarniaków (FDK) oraz redukcje komponentów plonu u genotypów pszenżyta ozimego. Średnie z lokalizacji Cerekwica i Radzików
Fusarium head blight index (FHBi), *Fusarium* damaged kernels (FDK) and reduction of grain yield components in winter triticale genotypes. Means from Cerekwica and Radzików

L.p. No.	Genotyp Line	IFK (%) FHBi	FDK (%)	Redukcja MZK (%) Yield reduction (%)	Redukcja LZK (%) Kernel number reduction	Redukcja MTZ (%) TKW reduction
1	DC 04294/04/1	4,6	31,6	60,0	49,6	16,3
2	DS, 9	5,0	27,8	50,7	39,9	17,1
3	MAH 33113-1	5,3	25,1	55,3	38,4	27,2
4	DS 1238	5,3	27,0	46,6	36,3	12,8
5	MAH 33405-1	5,5	37,7	51,8	41,7	12,4
6	DL 446/08	5,5	27,0	48,5	26,6	25,1
7	BOH 1062-2	5,7	22,2	60,2	41,3	29,3
8	DC 04294/04/2	6,0	44,2	58,8	52,0	18,3
9	LD 121/08	6,2	24,7	49,6	29,8	26,1
10	MAH 34359-1	6,4	31,3	56,3	34,1	29,8
11	BOH534-4	6,4	38,0	61,7	42,7	31,8
12	MAH 33881-1/3	6,6	48,6	58,3	48,4	14,7
13	BOHD 1186-1	6,8	40,3	65,6	47,7	29,7
14	DD 436/07	6,8	56,8	64,2	50,1	26,9
15	MAH 33881-7	6,9	24,6	49,3	28,3	27,5
16	BOH 2472-1	7,0	37,0	65,7	56,6	20,4
17	BOHD 1049-1	7,2	32,9	63,7	44,8	34,2
18	DC 03326/06/2	7,3	31,2	48,2	34,8	14,8
19	BOH835-4	7,4	51,8	63,9	46,7	32,2
20	DANKO 8	7,9	30,6	62,8	45,8	31,8
21	DC 06080-56	7,9	36,9	56,5	43,5	21,5
22	Borwo	7,9	49,2	57,9	35,7	33,9
23	BOH 1351-1	8,0	44,5	61,1	56,4	24,1
24	BOHD 1352-2	8,5	34,1	51,9	31,9	29,9
25	DL 593/07	8,6	41,4	55,0	43,9	17,9
26	MAH 33881-14	9,3	27,1	58,0	39,9	29,2
27	DAST 27/10	9,7	32,8	53,1	34,5	27,4
28	DANKO 7	9,8	44,9	58,2	39,9	24,1
29	MAH 33097-1	10,0	51,2	66,1	41,6	36,9
30	DANKO 4	10,5	34,2	42,1	26,3	24,4
31	MAH 32459-1	10,7	27,1	60,8	44,7	26,9
32	DANKO 2	10,8	17,3	6,1	27,4	21,4
33	LM 21/11 (S)	15,3	34,2	54,5	29,7	31,4
34	Fredro	16,9	25,1	55,7	39,7	23,4
35	DAST 15/11 (S)	19,6	45,5	46,3	18,4	34,2
36	BOH 1273-1 (S)	21,6	41,9	68,3	54,8	28,0
37	MAH 34068-5 (S)	22,6	48,5	61,5	42,5	30,5
Średnia — Mean		9,0	35,8	56,6	40,2	25,5
NIR _{0,05} Tukeya — Tukey's LSD _{0,05}		3,9	18,3	16,5	22,4	-

MZK — masa ziarna z kłosa, LZK — liczba ziarniaków w kłosie, MTZ — masa tysiąca ziarniaków

Yield — grain yield per head, kernel number — kernel number per head, TKW — 1000 kernel weight



Rys. 1. Zależność pomiędzy porażeniem kłosa przez *F. culmorum* (IFK) a stopniem uszkodzenia ziarniaków (FDK) dla 23 genotypów pszenżyta ozimego (kółka) ($r = 0,541$). Pozostałe 13 genotypów (kwadraty) wykazało silne uszkodzenie ziarniaków pomimo niskiego lub średniego porażenia kłosa
 Fig. 1. Relationships between *Fusarium* head blight index (%) and *Fusarium* damaged kernels of 23 winter triticales genotypes (circles) ($r = 0.541$). The other 13 genotypes (squares) demonstrated high kernel damage despite of the low or moderate head infection

Porażenie kłosa poniżej średniej wykazało dwie trzecie genotypów (25). Cztery genotypy oraz odmiana Fredro charakteryzowały się porażeniem kłosów (IFK) powyżej 15%. Mimo niewielkiego porażenia kłosów w obu lokalizacjach drugi komponent związany z odpornością — procent ziarniaków z wyraźnymi objawami fuzariozy (FDK) w badanych lokalizacjach był bardziej zróżnicowany. W Cerekwicy stwierdzono średnio 43,0% ziarniaków posiadających objawy porażenia (FDK), w zakresie od 16,2% u genotypu DANKO 2 do 77,6% u genotypu DD 436/07. U 10 genotypów procent ziarniaków z wyraźnymi objawami uszkodzenia (FDK) określono poniżej 30%. W Radzikowie średnia dla FDK wyniosła 28,7%. Zakres zmienności cechy był mniejszy i mieścił się w granicach od 18,5% (DANKO 2) do 37,3% (DC 06080-56). Średnie porażenia ziarna (FDK) dla obu lokalizacji wynosiło 35,8%. Zakres zmienności od 17,3 do 56,8% (tab. 2).

Współczynnik korelacji obliczony dla średnich z dwóch lokalizacji (Cerekwica i Radzików) pomiędzy indeksem porażenia kłosa (IFK) i liczbą ziarniaków z objawami fuzariozy (FDK) był nieistotny (tab. 4). W przypadku pszenżyta obserwuje się często bardzo niską korelację pomiędzy nasileniem porażenia kłosa a uszkodzeniem ziarniaków i akumulacją toksyn (Miedaner i in., 2004). W przypadku pszenicy współczynniki te są

przeważnie wyższe, przy znacznej zmienności w zależności od badanego materiału (Tamburic-Ilincic i in., 2011).

Tabela 3

Akumulacja trichotecen z grupy B (DON i pochodne, NIV) oraz zearalenonu (ZEA) w ziarniakach genotypów pszenżyta ozimego inokulowanego zawiesiną trzech szczepów *F. culmorum*
Concentrations of type B trichothecenes (DON and acetyl derivatives, NIV) and zearalenone (ZEA) in grain of winter triticale genotypes inoculated with mixture of three strains of *F. culmorum*

L.p. No.	Genotyp Line	DON (mg/kg)	3AcDON (mg/kg)	15AcDON (mg/kg)	NIV (mg/kg)	Suma trichotecen (mg/kg) Total trichothecenes	ZEA (µg/kg)
2	DS. 9	1,523	0,025	0,038	2,160	3,745	29
4	DS 1238	4,578	0,088	0,125	1,673	6,463	126
26	MAH 33881-14	2,224	0,050	0,025	4,436	6,735	55
3	MAH 33113-1	2,093	0,050	0,038	4,840	7,020	18
34	Fredro	3,194	0,038	0,125	4,295	7,651	117
31	MAH 32459-1	4,200	0,113	0,050	3,608	7,970	120
17	BOHD 1049-1	2,178	0,038	0,088	5,735	8,038	32
32	DANKO 2	4,486	0,063	0,050	3,534	8,133	0
15	MAH 33881-7	1,966	0,038	0,050	6,376	8,430	42
24	BOHD 1352-2	3,088	0,075	0,138	5,168	8,468	59
33	LM 21/11 (S)	4,286	0,100	0,125	4,299	8,810	102
1	DC 04294/04/1	4,263	0,175	0,088	4,290	8,815	333
18	DC 03326/06/2	4,054	0,063	0,113	4,655	8,884	103
7	BOH 1062-2	3,184	0,075	0,250	5,585	9,094	30
30	DANKO 4	4,966	0,100	0,038	4,028	9,131	23
27	DAST 27/10	4,304	0,063	0,150	4,784	9,300	136
11	BOH534-4	1,931	0,050	0,038	7,325	9,344	79
20	DANKO 8	4,555	0,125	0,063	4,610	9,353	49
25	DL 593/07	3,916	0,088	0,138	5,533	9,674	106
6	DL 446/08	5,196	0,163	0,163	4,835	10,356	112
37	MAH 34068-5 (S)	2,794	0,100	0,088	7,488	10,469	359
9	LD 121/08	5,005	0,063	0,088	5,539	10,694	135
36	BOH 1273-1 (S)	2,101	0,050	0,038	8,996	11,185	104
8	DC 04294/04/2	5,693	0,150	0,238	5,668	11,748	229
16	BOH 2472-1	2,341	0,050	0,050	9,938	12,379	58
10	MAH 34359-1	3,504	0,125	0,038	8,874	12,540	36
35	DAST 15/11 (S)	6,041	0,125	0,125	6,253	12,544	182
21	DC 06080-56	5,584	0,138	0,100	7,791	13,613	186
14	DD 436/07	5,085	0,113	0,113	8,634	13,944	393
12	MAH 33881-1/3	3,935	0,138	0,050	10,136	14,259	118
23	BOH 1351-1	2,268	0,088	0,100	12,399	14,854	20
5	MAH 33405-1	3,590	0,075	0,125	11,798	15,588	219
28	DANKO 7	6,314	0,200	0,125	9,835	16,474	110
13	BOHD 1186-1	6,844	0,225	0,075	11,080	18,224	45
29	MAH 33097-1	4,660	0,138	0,213	15,543	20,553	144
22	Borwo	7,200	0,213	0,200	15,424	23,036	150
19	BOH835-4	4,650	0,100	0,200	19,735	24,685	237
Średnia — Mean		3,994	0,099	0,104	7,213	11,411	119

Genotypy uszeregowane wg sumarycznej zawartości trichotecen z grupy B w ziarnie. Numery genotypów jak w tabeli 2
 Lines ranked by total concentration of type B trichothecenes in grain. Line numbers correspond to those given in table 2

Powodem tych zależności, jak zasugerowali kanadyjscy badacze, jest fakt, że ziarno pszenżyta w porównaniu do ziarna pszenicy jest bardziej podatne na uszkodzenie przez grzyby z rodzaju *Fusarium* (Comeau i in., 2008; Langevin i in., 2009; Harpinder Randhawa,

informacja ustna). Tym bardziej, że ziarno pszenżyta jest delikatniejsze, w szczególności jego okrywa owocowo-nasienna i w związku z tym łatwiej ulega zasiedleniu. Podobne wyniki otrzymała prowadząc badania ziarniaków polskich odmian pszenżyta Packa i in. (2008), a wyniki potwierdzające większe porażenie ziarniaków pszenżyta niż pszenicy przez gatunki *Fusarium* uzyskali także inni badacze (Góral, 2007, 2009; Miedaner i in., 2004).

Dokładniejsza analiza regresji liniowej FDK wobec IFK wykazała, że pewna grupa genotypów charakteryzowała się wysokim uszkodzeniem ziarniaków pomimo niskiego lub średniego porażenia kłosa (rys. 1). Bez uwzględnienia tych genotypów współczynnik korelacji IFK z FDK był istotny i wynosił $r = 0,541$.

Ziarno z 37 badanych genotypów pszenżyta ozimego poddanych badaniom w dwóch lokalizacjach (Cerekwica i Radzików), analizowano pod względem zawartości toksyn fuzaryjnych: niwalenolu (NIV) i deoksyniwalenolu (DON) i zearalenonu (ZEA).

Mimo niewielkiego porażenia kłosów w roku 2013 stwierdzono wysokie stężenie toksyn w ziarniakach badanych genotypów pszenżyta (tab. 3). Zawartość DON wahała się od 1,528 mg/kg (DS.9) do 7,613 mg/kg (Borwo) — średnio 3,994 mg/kg. Stwierdzono również wysokie stężenie niwalenolu (NIV), które kształtowało się w zakresie od 1,673 mg/kg (DS.9) do 19,735 mg/kg (BOH 835-4) — średnio 7,213 mg/kg (tab. 3).

Tabela 4

Korelacje pomiędzy porażeniem kłosa (IFK) i ziarna (FDK), redukcją parametrów struktury plonu oraz ilością akumulowanych w ziarnie trichotecen z grupy B (DON i pochodne, NIV) oraz zearalenonu (ZEA)
Correlations between FHB index (FHBi), FDK, reduction of yield parameters, and concentrations of type B trichothecenes (DON and acetyl derivatives, NIV) and zearalenone (ZEA) in grain

	IFK FHBi (%)	FDK (%)	RMZK Yield red. (%)	RLZK Kernel no. red. (%)	RMTZ TKW red. (%)	DON (mg/kg)	3Ac DON (mg/kg)	15Ac DON (mg/kg)	NIV (mg/kg)	Σtricho- tecen Trichothe- cenes (mg/kg)
FDK	0,206									
RMZK Yield red.	0,051	0,476								
RLZK Kernel no. red.	-0,208	0,368	0,815							
RMTZ TKW red.	0,404	0,138	0,347	-0,183						
DON	0,039	0,272	-0,152	-0,240	-0,004					
3AcDON	-0,028	0,479	0,154	0,028	0,070	0,822				
15AcDON	-0,023	0,311	0,035	-0,033	0,015	0,546	0,414			
NIV	0,074	0,697	0,560	0,339	0,322	0,177	0,377	0,247		
Σtrich. Trichothec.	0,068	0,706	0,407	0,210	0,236	0,546	0,651	0,441	0,910	
ZEA	0,076	0,601	0,270	0,218	-0,075	0,314	0,365	0,443	0,269	0,353

Wyróżnione współczynniki istotne statystycznie na poziomie $\alpha < 0,05$; Coefficients in bold are significant at $P < 0.05$

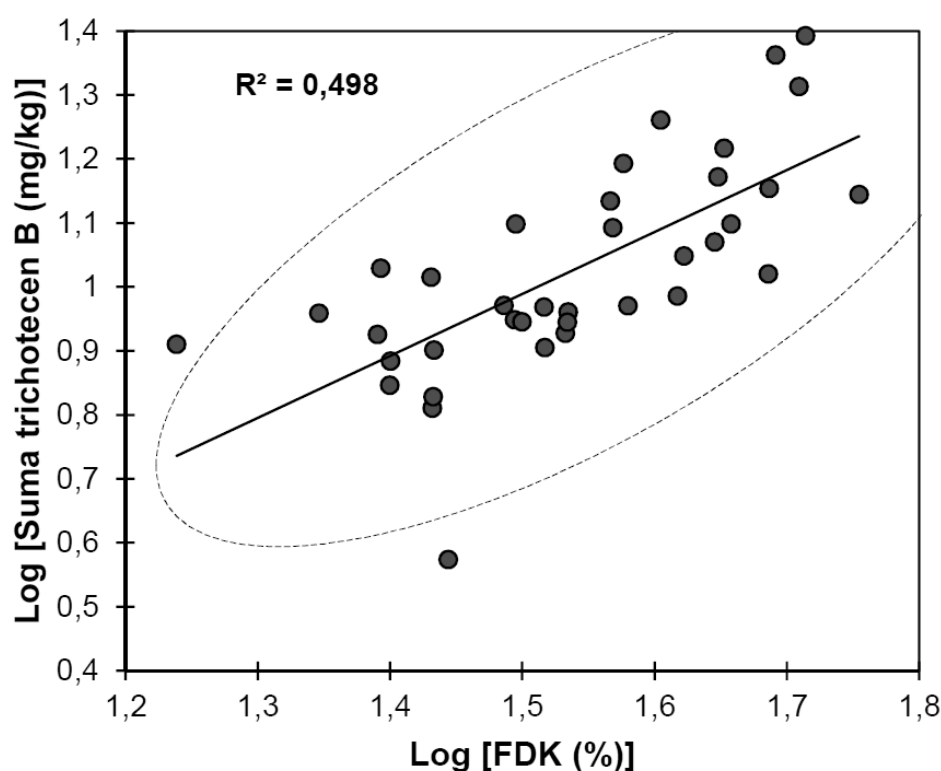
Zmienne transformowane logarytmicznie; Variables log-transformed

MZK — masa ziarna z kłosa, LZK — liczba ziarniaków w kłosie, MTZ — masa tysiąca ziarniaków

Yield — grain yield per head, kernel number — kernel number per head, TKW — 1000 kernel weight

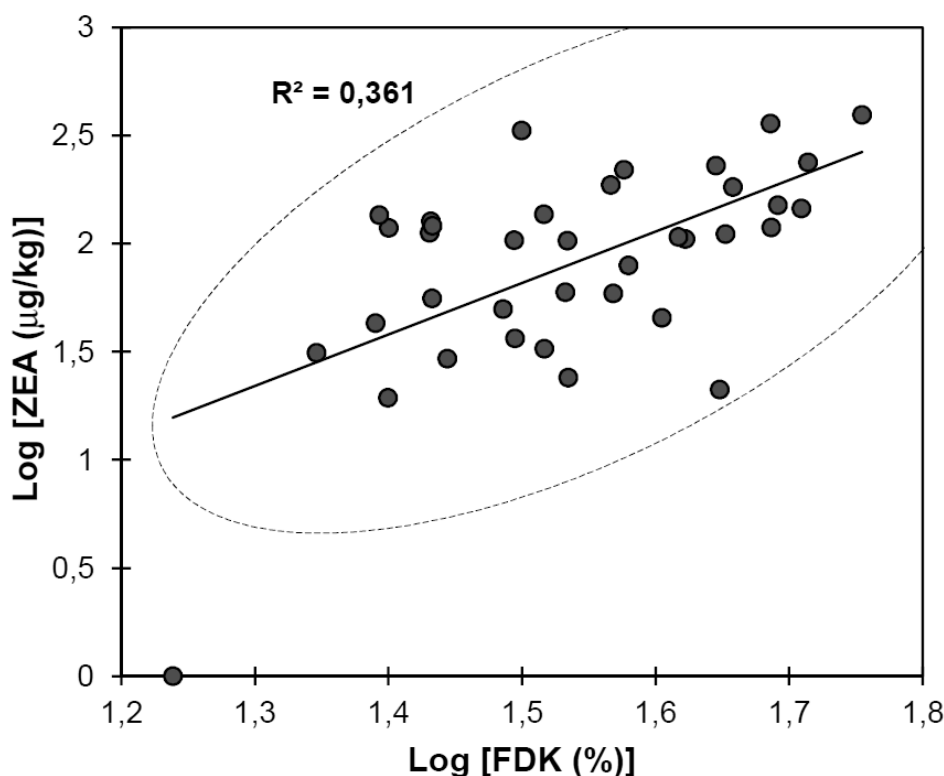
Stężenie pochodnych acetylowych DON (3AcDON, 15AcDON) w ziarnie było niskie i wyniosło średnio odpowiednio 0,099 mg/kg oraz 0,104 mg/kg. Pochodne DON stanowiły średnio 5% zawartości DON. Wartość ta była wyższa dla dwóch rodów o niskim stężeniu DON w ziarnie: BOH 1351-1 (8,3%) i BOH 1062-2 (10,2%). Obecności ZEA nie stwierdzono w ziarnie jednego rodu — DANKO 2 (tab. 3). W ziarnie pozostałych rodów stężenie ZEA kształtowało się w granicach od 18 µg/kg (MAH 33113-1) do 393 µg/kg (DD 436/07) — średnio 119 µg/kg.

Stwierdzono istotną statystycznie korelację pomiędzy sumą trichotecen i FDK ($r = 0,706$) oraz sumą trichotecen a redukcją masy ziarna z kłosa ($r = 0,407$). Zawartość niwalenolu i zearalenonu również istotnie korelowała z %FDK (procentem porażenia ziarna) $r = 0,697$ i $r = 0,339$ (tab. 4, rys. 2). Podobne korelacje pomiędzy porażeniem ziarna (FDK) a kumulacją DON w ziarniakach 29 polskich odmian pszenżyta uzyskali Góral i Ochodзки (2006).



Rys. 2. Zależność pomiędzy stopniem uszkodzenia ziarniaków (FDK) a zawartością trichotecen z grupy B (DON, pochodne DON, NIV) w ziarnie 37 genotypów pszenżyta ozimego
Fig. 2. Relationships between *Fusarium* damaged kernels and concentration of B group trichothecenes (DON, derivatives of DON, NIV) in kernels of 37 winter triticale lines

Autorzy niniejszej pracy realizowali równoległe doświadczenie infekcyjne z pszenicą ozimą (dane niepublikowane). W doświadczeniu tym uzyskano istotne współczynniki korelacji IFK z FDK ($r = 0,753$) oraz IFK z sumą trichotecen ($r = 0,401$) i ZEA ($r = 0,688$). Uszkodzenie ziarniaków pszenicy (FDK) korelowało istotnie z zawartościami powyższych toksyn fuzaryjnych, jednakże współczynniki korelacji były zbliżone do tych uzyskanych dla pszenżyta (odpowiednio $r = 0,401$ i $r = 0,572$).



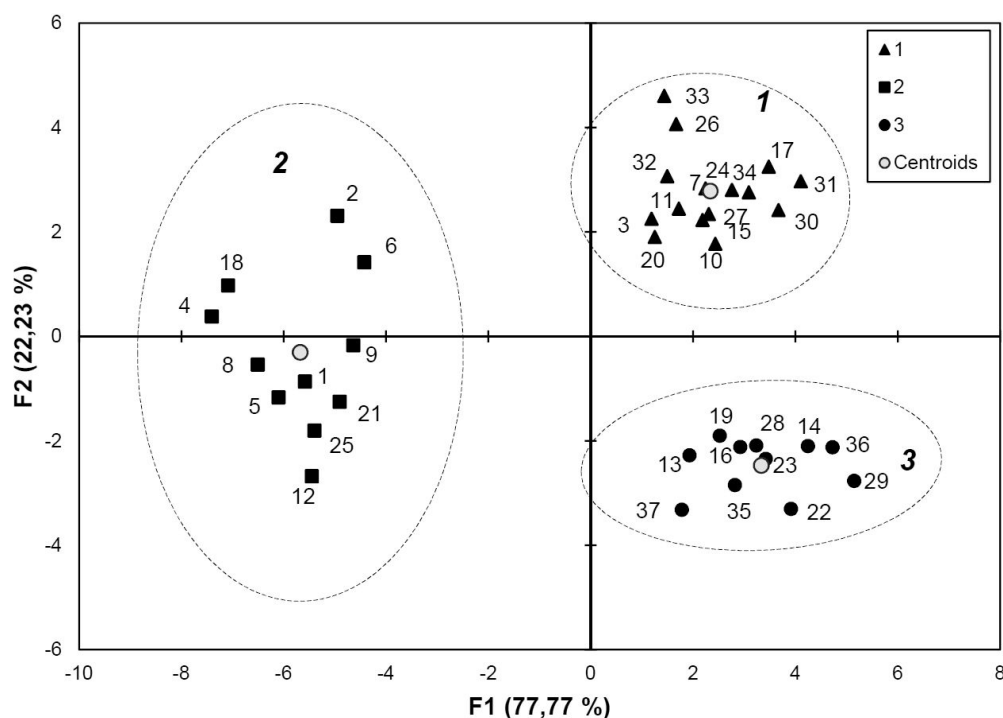
Rys. 3. Zależność pomiędzy stopniem uszkodzenia ziarniaków (FDK) a zawartością zearalenonu w ziarnie 37 genotypów pszenżyta ozimego

Fig. 3. Relationships between *Fusarium* damaged kernels and concentration of zearalenone in kernels of 37 winter triticale lines

Ze względu na złożoność problemu odporności na fuzariozę kłosów oraz różne jednostki miar poszczególnych cech, uzyskane wyniki poddano statystycznej analizie k-średnich. Genotypy zostały pogrupowane na podstawie odporności na porażenia kłosa, uszkodzenie ziarniaków, sumarycznej zawartości trichotecen z grupy B i zearalenonu oraz redukcji komponentów plonu w obu lokalizacjach.

Analiza k-średnich pozwoliła na wyróżnienie trzech grup genotypów pszenżyta (rys. 4). Grupa pierwsza (1) charakteryzowała się średnim porażeniem kłosa oraz niskim

uszkodzeniem ziarniaków i niską zawartością toksyn fuzaryjnych (rys. 4, tab. 5). Redukcja plonu ziarna oraz MTZ była na średnim poziomie, natomiast najniższa w tej grupie była redukcja liczby ziarniaków z kłosa. Grupa druga (2) charakteryzowała się najniższym średnim porażeniem kłosa, czemu towarzyszyło wyższe niż w grupie 1 uszkodzenie ziarniaków. Wyższa też była w tej grupie zawartość toksyn w ziarnie. Redukcja plonu i liczby ziarniaków nie różniła się wyraźnie od tej dla grupy 1. Niższa była natomiast redukcja MTZ. W grupie trzeciej (3) znalazły się genotypy o najwyższej podatności na porażenie kłosa, uszkodzenie ziarniaków i akumulację toksyn. W grupie tej najwyższe były też redukcje komponentów plonu.



Rys. 4. Grupowanie genotypów pszenżyta na podstawie analizy k-średnich przeprowadzonej dla zmiennych: IFK, FDK, suma DON (DON + pochodne), NIV, ZEA, oraz redukcje MZK, LZK i MTZ; z obu lokalizacji. Numery genotypów odpowiadają podanym w tabelach

Fig. 4. Clustering of triticale lines based on *k-means* analysis for FHBi, FDK, sum of DON (DON + derivatives), NIV, ZEA, and reductions of yield components in both experimental locations. Line numbers correspond to those given in tables

Przedstawione wstępne badania odporności pszenżyta na fuzariozę kłosów pokazują, że jest możliwe wyselekcjonowanie genotypów stabilnie odpornych na fuzariozę kłosów, wymaga to jednak prowadzenia dalszych doświadczeń w różnych środowiskach (lata, lokalizacje) oraz badanie wielu cech pszenżyta związanych z odpornością. Pozwoli na

wyjaśnienie tendencji pszenżyta do akumulowania znacznej ilości mikotoksyn w ziarniakach przy niewielkim porażeniu kłosa i ziarna.

Tabela 5

Średnie dla grup genotypów przedstawionych na wykresie 4
Means of groups of triticale lines presented in the Figure 4

Grupa Cluster	Liczba genotypów Number of lines	IFK FHBi (%)	FDK (%)	DON (mg/kg)	NIV (mg/kg)	ZEA (μg/kg)	RMZK Yield red. (%)	RLZK Kernel no. red. (%)	RMTZ TKW red. (%)
1	15	9,5	29,1	3,501	5,166	60	55,4	36,6	28,4
2	11	6,2	34,4	4,524	5,825	154	53,1	40,6	17,9
3	11	10,9	46,5	4,820	11,393	164	61,7	44,6	29,2
Suma — Sum Średnia — Mean	38	9,0	35,8	4,197	7,213	119	56,6	40,2	25,5

WNIOSKI

1. Badane genotypy pszenżyta różniły się istotnie pod względem odporności na porażenie kłosa i uszkodzenie ziarniaków przez *Fusarium culmorum*.
2. Stwierdzono wysokie stężenie toksyn fuzaryjnych (trichoteceny z grupy B, zearalenon) w ziarnie badanych genotypów pszenżyta.
3. Indeks fuzariozy kłosów nie korelował istotnie z liczbą uszkodzonych ziarniaków oraz stężeniami toksyn fuzaryjnych w ziarnie.
4. Stwierdzono istotną statystycznie korelację pomiędzy liczbą ziarniaków uszkodzonych przez *Fusarium* a sumarycznym stężeniem trichotecen z grupy B i stężeniem zearalenonu w ziarnie.
5. Zidentyfikowano genotypy o niskim porażeniu kłosa i uszkodzeniu ziarniaków oraz o niskiej akumulacji toksyn fuzaryjnych w ziarnie.

LITERATURA

- Bai G. H., Plattner R., Desjardines A., Kolb F. 2001. Resistance to *Fusarium* head blight and deoxynivalenol accumulation in wheat. *Plant Breed.* 120: 1 — 6.
- Buerstmayr H., Steiner B., Hartl L., Griesser M., Angerer N., Lengauer D., Miedaner T., Schneider B., Lemmens M. 2003. Molecular mapping of QTLs for *Fusarium* head blight resistance in spring wheat. II. Resistance to fungal penetration and spread. *Theor. Appl. Genet.* 107: 503 — 508.
- Comeau A., Langevin F., Savard M. E., Gilbert J., Dion Y., Rioux S., Martin S.A., Haber S., Voldeng H., Fedak G., Somers D., Eudes F. 2008. Improving *Fusarium* head blight resistance in bread wheat and triticale for Canadian needs. *Cereal Res. Commun.* 36 (6): 91 — 92.
- Góral T., Busko M., Cichy H., Jackowiak H., Perkowski J. 2002. Resistance of winter triticale lines and cultivars to *Fusarium* head blight and deoxynivalenol accumulation in kernels. *J. Appl. Genet.* 43A: 237 — 248.
- Góral T. 2007. Ocena odporności rodów pszenicy i pszenżyta na fuzariozę kłosów, pleśń śniegową i rdzę brunatną w Radzikowie w 2006 roku. *Komunikat. Biul. IHAR* 246: 31 — 44.
- Góral T. 2009. Odporność odmian pszenżyta ozimego na fuzariozę kłosów powodowaną przez grzyb *Fusarium culmorum*. *Biul. IHAR* 254: 41 — 50.

- 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., Kwiatek M. 2013. Reaction of winter triticale breeding lines to *Fusarium* head blight and accumulation of *Fusarium* metabolites in grain in two environments under drought conditions. Cereal Res. Commun. 4 (1): 106 — 115.
- Langevin F., Eudes F., Comeau A. 2004. Effect of trichothecenes produced by *Fusarium graminearum* during *Fusarium* head blight development in six cereal species. Eur. J. Plant Path. 110: 735 — 746.
- 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 triticale breeding. Proceedings of the 6th Canadian Workshop on *Fusarium* Head Blight, November 1–4, Ottawa, Canada: 66.
- Mesterhazy A. 1995. Types and components of resistance to *Fusarium* head blight of wheat. Plant Breed. 114: 377 — 386.
- Mesterhazy A., Bartok T., Mirocha C.G., Komoroczy R. 1999. Nature of wheat resistance to *Fusarium* head blight and the role of deoxynivalenol for breeding. Plant Breed. 118: 97 — 110.
- Mesterhazy A. 2002. Relationship between growth and mycotoxin production by *Fusarium* species, biocides and environment. Europ. J. Plant Pathol. 1008 (7): 685 — 690.
- Miedaner T., Heinrich N., Schneider B., Oettler G., Rohde S., Rabenstein F. 2004. Estimation of deoxynivalenol (DON) content by symptom rating and exoantigen content for resistance selection in wheat and triticale. Euphytica 139:129 — 132.
- Miedaner T., Reinbrecht C., Lauber U., Schollenberger M., Geiger H.H. 2001. Effects of genotype and genotype x environment interaction on deoxynivalenol accumulation and resistance to *Fusarium* head blight in rye, triticale, and wheat. Plant Breed. 120:97 — 105.
- Packa D., Jackowiak H., Góral T., Wiwart M., Perkowski J. 2008. Scanning electron microscopy of *Fusarium*-infected kernels of winter triticale (x *Triticosecale* Wittmack). Seed Sci. Biotech. 2: 27 — 31.
- Stępień Ł., Popiel D., Koczyk G., Chelkowski J. 2008. Wheat-infecting *Fusarium* species in Poland — their chemotypes and frequencies revealed by PCR assay J. Appl. Genet. 49: 433 — 441.
- Tamburic-Ilincic, L., Falk D. E., Schaafsma A. 2011. *Fusarium* ratings in Ontario Winter Wheat Performance Trial (OWWPT) using an index that combines *Fusarium* head blight symptoms and deoxynivalenol levels. Czech J. Genet. Plant Breed. 47: S115 — S122.
- Veitch R. S., Caldwell C. D., Martin R. A., Lada R., Salmon D., Anderson, D. M., MacDonald D. 2008. Susceptibility of winter and spring triticales to *Fusarium* head blight and deoxynivalenol accumulation. Can. J. Plant Sci. 88: 783 — 788.
- Willyerd K. T., Li, C., Madden, L. V., Bradley, C. A., Bergstrom, G. C., Sweets, L. E., McMullen, M., Ransom, J. K., Grybauskas, A., Osborne, L., Wegulo, S. N., Hershman, D. E., Wise, K., Bockus, W. W., Groth, D., Dill-Macky, R., Milus, E., Esker, P. D., Waxman, K. D., Adey, E. A., Ebelhar, S. E., Young, B. G., and Paul, P. A. 2012. Efficacy and stability of integrating fungicide and cultivar resistance to manage *Fusarium* head blight and deoxynivalenol in wheat. Plant Dis. 96: 957 — 967.

CEZARY TRAWCZYŃSKI**ANNA WIERZBICKA**

Zakład Agronomii Ziemiaka

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB, Oddział Jadwisin

Pobranie i wykorzystanie azotu z nawozów mineralnych przez odmiany ziemniaka o różnej wczesności

The uptake and utilization by potato cultivars with different earliness of nitrogen from mineral fertilizers

Celem badań polowych przeprowadzonych w latach 2010–2012 w Instytucie Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Oddział w Jadwisinie było określenie plonowania oraz pobrania i wykorzystania azotu z nawozów mineralnych przez bulwy odmian ziemniaków wczesnych i późniejszych w zróżnicowanych warunkach pogodowych i nawożenia azotem. Badania przeprowadzono na glebie lekkiej, nawożonej organicznie słomą i międzyplonem gorczycy białej. W doświadczeniach stosowano 5 poziomów nawożenia azotem: 0, 50, 100, 150 i 200 kg N·ha⁻¹ oraz stały poziom fosforu 17,5 kg P·ha⁻¹ i potasu 108,0 kg K·ha⁻¹. Pobranie azotu z plonem bulw i wykorzystanie azotu z nawozów mineralnych zależało od poziomu nawożenia tym składnikiem i warunków klimatycznych podczas okresów wegetacji. Wykorzystanie azotu malało od około 50 do 35% dla odmian wczesnych, a w przypadku odmian późniejszych od około 55 do 36% wraz ze wzrostem dawki azotu mineralnego od 50 do 200 kg N·ha⁻¹. Stwierdzono istotne zróżnicowanie pobrania i wykorzystania azotu między badanymi grupami odmian. Wyższymi wartościami pobrania i wykorzystania azotu charakteryzowały się odmiany późniejsze niż wczesne. Większe wykorzystanie azotu stwierdzono w latach sprzyjających kumulacji plonu bulw, niż w latach z dużymi wahaniami opadów i temperatury powietrza w okresie wegetacji roślin ziemniaka.

Słowa kluczowe: nawożenie azotem, plon bulw, pobranie azotu, wykorzystanie azotu, ziemniak

The aim of field experiment conducted in the years 2010–2012 in Plant Breeding and Acclimatization Institute, Department at Jadwisin, was to assess yielding, uptake and utilization of nitrogen from mineral fertilizers by tubers of early and later potato cultivars in different weather conditions. The investigation was carried out on the light soil fertilized organically with straw and aftercrop of white mustard. In these experiments 5 levels of nitrogen fertilization were applied: 0, 50, 100, 150 and 200 kg N·ha⁻¹ with the constant level of phosphorus 17.5 kg P·ha⁻¹ and potassium 108.0 kg K·ha⁻¹. Climatic conditions during growing periods and the level of nitrogen fertilization were main factors that influenced uptake of nitrogen with tubers yield and utilization of nitrogen from fertilizers.

The utilization of nitrogen decreased from about 50 to 35% for early cultivars, but in the case of later cultivars from about 55 to 36% with increasing N rates from 50 to 200 kg N·ha⁻¹. Significant differences of nitrogen uptake and utilization were found between cultivars groups. The later cultivars showed higher uptake and utilization of nitrogen than early cultivars. In the years favourable for cumulation of tuber yield, a higher nitrogen utilization was observed than in years with big fluctuations of rains and air temperatures in vegetation period of potato plants.

Key words: nitrogen fertilization, nitrogen uptake, nitrogen utilization, potato, yield of tubers

WSTĘP

Nawożenie azotem jest jednym z podstawowych zabiegów agrotechnicznych umożliwiającym wysokie wykorzystanie potencjału plonowania ziemniaka (Chotkowski, 2012). Rośliny ziemniaka reagują zwyżkami plonu bulw pod wpływem nawożenia azotem, lecz wraz ze wzrostem dawek N zmniejsza się w różnym stopniu wykorzystanie tego składnika z zastosowanych nawozów. Zróżnicowanie w wykorzystaniu azotu przez rośliny ziemniaka, oprócz wielkości dawki składnika wynikać może również z przebiegu warunków pogodowych w okresie wegetacji roślin, a w głównej mierze ilości opadów oraz właściwości odmian (Mazurczyk i in., 2005; Wierzbicka, Trawczyński, 2011). W porównaniu do innych gatunków roślin uprawy polowej ziemniak charakteryzuje się mniejszym od 20 do 30% wykorzystaniem tego składnika z zastosowanych nawozów, co wskazuje, że część zastosowanego azotu mineralnego może być niewykorzystana i ulegać w różnej formie stratom do atmosfery czy wód gruntowych (Fotyma, 1997; Fotyma, Fotyma, 2006; Fotyma, 2009; Fotyma i in., 2010). Obecnie dążenie do ochrony środowiska przed zanieczyszczeniami przemysłowymi wymusza również zwracanie szczególnej uwagi na oddziaływanie czynnika nawozowego w rolnictwie i podejmowanie określonych działań w tym kierunku (Fotyma i in., 1999). Stąd celem badań była ocena plonowania, pobrania i wykorzystania azotu z zastosowanych nawozów przez odmiany ziemniaka o różnej wczesności uprawiane w zróżnicowanych warunkach pogodowych i nawożenia mineralnego azotem.

MATERIAŁ I METODY

Ścisłe doświadczenia polowe przeprowadzono w Instytucie Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB Oddział w Jadwisinie w latach 2010–2012. Na podstawie wielkości plonu bulw i zawartości azotu ogólnego w bulwach określono pobranie, a następnie wykorzystanie azotu z zastosowanych nawozów w odniesieniu do dwóch grup wczesności odmian ziemniaka. Doświadczenia zakładano w układzie losowanych bloków w trzech powtórzeniach. Wielkość poletka wynosiła 14,85 m². Czynnikiem 1-rzędu stanowiły warunki pogodowe okresów wegetacji w latach 2010, 2011, 2012, czynnikiem 2-rzędu były dawki azotu — 0, 50, 100, 150, 200 kg·ha⁻¹, a 3-rzędu grupy wczesności odmian-wczesne, późniejsze. Do grupy wczesnych należało 14 odmian, a do grupy późniejszych 20 odmian (tab. 1).

Badania przeprowadzono na glebie lekkiej, o składzie mechanicznym piasku glinianego lekkiego. Gleba w poszczególnych latach badań miała kwaśny odczyn, wysoką

zasobność w przyswajalny fosfor, średnią w potas, średnią do wysokiej w magnez oraz niską zawartość N-mineralnego (tab. 2). Przedplonem dla ziemniaków była pszenica ozima.

Tabela 1

Wykaz badanych odmian ziemniaka w latach 2010–2012
List of investigated potato cultivars in the years 2010–2012

Grupa wczesności Earliness	Odmiana Cultivar
Wczesne (bardzo wczesne, wczesne) Early (very early, early)	Altesse, Arielle, Aruba, Bellarossa, Berber, Cyprian, Etola, Eugenia, Flaming, Gwiazda, Hubal, Justa, Michalina, Viviana
Późniejsze (średnio wczesne, średnio późne, późne) Later (middle early, middle late, late)	Almera, Ametyst, Benek, Bosman, Bursztyn, Etiuda, Finezja, Gawin, Gustaw, Jutrzenka, Legenda, Promyk, Sagitta, Sekwana, Soplica, Stasia, Tetyda, Wiarus, Zagłoba, Zenia

Tabela 2

Zawartość N-mineralnego ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), P, K, Mg ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) oraz odczyn gleby
Content of N-mineral ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), P, K, Mg ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) and soil reaction

Rok Year	N-mineralny N-mineral	pHKCl	Zawartość w glebie Content in the soil		
			P	K	Mg
2010	50	5,0	74	120	42
2011	50	5,1	66	98	33
2012	45	5,4	85	107	71

Warunki pogodowe w okresie wegetacji oceniono na podstawie sumy opadów i średniej temperatury powietrza (tab. 3). Analizowane lata zaliczały się do mokrych (sumy miesięcznych opadów za cały okres wegetacji, czyli od kwietnia do września włącznie, w każdym roku badań były większe od średniej z wielolecia) i chłodnych (średnia miesięczna temperatura powietrza za cały okres wegetacji była mniejsza od średniej z wielolecia), ale rozkłady zarówno opadów, jak i temperatury powietrza w poszczególnych miesiącach były zróżnicowane. Rok 2010 był bardzo wilgotny w początkowym okresie wzrostu roślin ziemniaka, czerwiec suchy, a w kolejnych miesiącach wegetacji opady były powyżej średniej z wielolecia. Ponadto w miesiącach lipiec i sierpień było ciepło (temperatura powietrza utrzymywała się powyżej średniej z wielolecia). Najbardziej zmienny pod względem opadów był rok 2011. W początkowym okresie wzrostu i rozwoju roślin ziemniaka było sucho i umiarkowanie ciepło (maj, czerwiec), w okresie gromadzenia plonu bulw wystąpiły obfite opady deszczu i było zimno (lipiec), a następnie do końca wegetacji roślin ziemniaka utrzymywał się okres posuchy (sierpień, wrzesień). Natomiast w roku 2012 w okresie wzrostu i rozwoju roślin ziemniaka oraz gromadzenia plonu bulw (czerwiec, lipiec, sierpień) zanotowano dostateczną ilość opadów (powyżej średniej z wielolecia) oraz było umiarkowanie chłodno (temperatury powietrza poniżej średniej z wielolecia).

Nawożenie organiczne stanowiła pocięta i przyorywana po żniwach słoma pszenna w ilości około $5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ z dodatkiem 1 kg N na 100 kg słomy oraz jesienią zielona masa międzyplonu ścierniskowego z gorczycy białej w ilości $15\text{--}20 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Nawożenie mineralne fosforem (superfosfat wzbogacony — $17,4\% \text{ P}$) i potasem (sól potasowa — $49,8\% \text{ K}$) w oparciu o zasobność gleby w przyswajalne formy tych składników stosowano jesienią przed wykonaniem orki przedzimowej w dawce $17,5 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$ (wysoka zasobność) i $108 \text{ kg K} \cdot \text{ha}^{-1}$ (średnia zasobność). Nawożenie mineralne azotem (saletra amonowa — $34\% \text{ N}$) stosowano wiosną bezpośrednio przed sadzeniem bulw (na obiektach z dawkami 50 i $100 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$) oraz uzupełniającą ilość (na obiektach z dawkami 150 i $200 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$) bezpośrednio przed wschodami roślin ziemniaka, przed ostatnim obredlaniem.

Tabela 3

Opady i temperatury powietrza okresów wegetacji w latach 2010–2012
Rainfalls and air temperatures of the vegetation periods in the years 2010–2012

Rok Year	Miesiąc Month						
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV–IX
Suma opadów (mm) — Sum of rainfalls (mm)							
1967–2012	36,0	55,0	76,0	79,0	60,0	48,0	354,0
2010	9,7	166,8	64,0	96,7	105,3	71,3	513,8
Odchylenie — Deviation	-26,3	+111,8	-12,0	+17,7	+45,3	+23,3	+159,8
2011	26,8	33,1	44,8	278,1	57,1	18,5	458,4
Odchylenie — Deviation	-9,2	-21,9	-31,2	+199,1	-2,9	-29,5	+104,4
2012	54,3	52,4	96,6	92,2	87,2	26,9	409,6
Odchylenie — Deviation	+18,3	-2,6	+20,6	+13,2	+27,2	-21,1	+55,6
Średnia temperatura powietrza (°C) — Mean of air temperature (°C)							
1967–2012	7,8	13,6	16,5	18,4	17,7	13,1	14,5
2010	8,1	12,4	16,5	20,0	18,2	11,1	14,4
Odchylenie — Deviation	+0,3	-1,2	0,0	+1,6	+0,5	-2,0	-0,1
2011	9,7	13,2	17,5	17,0	15,3	13,7	14,4
Odchylenie — Deviation	+1,9	-0,4	+1,0	-1,4	-2,4	+0,6	-0,1
2012	7,9	13,9	15,6	15,2	17,4	12,8	13,8
Odchylenie — Deviation	+0,1	+0,3	-0,9	-3,2	-0,3	-0,3	-0,7

Bulwy ziemniaka sadzano ręcznie w III dekadzie kwietnia w rozstawie $75 \times 33 \text{ cm}$, a zbierano w III dekadzie września. Liczba roślin na poletku do zbioru wynosiła 30. Podczas zbioru określono plon bulw z każdego poletka oraz pobierano 5-kilogramowe próby, w których oznaczono zawartość suchej masy (105°C) i azotu ogólnego metodą Kjeldahla z wykorzystaniem automatycznego destylatora Kjeltec 2200 firmy Foss.

Wykorzystanie azotu z zastosowanych nawozów mineralnych (W_N) obliczono według poniższego wzoru: $W_N = (P_N - P_0) / N \times 100\%$,

gdzie:

W_N — współczynnik wykorzystania azotu (%),

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

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

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

Wyniki doświadczeń opracowano posługując się programem statystycznym SAS Enterprise Guide. Analizę porównania średnich przeprowadzono z wykorzystaniem testu zakresu studentyzowanego Tukeya.

WYNIKI I DYSKUSJA

W przeprowadzonych badaniach wykazano istotny wpływ wszystkich analizowanych czynników na plon bulw, zawartość azotu ogólnego w bulwach, pobranie azotu z plonem bulw i wykorzystanie azotu z zastosowanych nawozów. Największy plon suchej masy bulw, zarówno w grupie odmian wczesnych jak i późniejszych, uzyskano w 2012 roku (odpowiednio $10,79 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ i $13,32 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ suchej masy bulw), w którym zanotowano dostateczną ilość opadów i korzystny ich rozkład w okresie od czerwca do sierpnia włącznie. Z kolei najmniejszy plon bulw stwierdzono w roku 2010 charakteryzującym się nadmiarem opadów w początkowym okresie wzrostu i rozwoju roślin ziemniaka, suszą w okresie zawiązywania bulw i nadmiarem opadów od lipca do zbioru. W miarę wzrostu poziomu nawożenia azotem obserwowano wzrost plonu. W przypadku odmian wczesnych w roku 2012 stwierdzono stopniowy przyrost wielkości plonu suchej masy bulw do dawki $200 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, a w pozostałych dwóch latach do dawki $100 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Natomiast w stosunku do odmian z grupy późniejszych w roku 2010 zanotowano wzrost plonu bulw do dawki $200 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, w roku 2012 największy plon bulw uzyskano po zastosowaniu dawki $150 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, a w roku 2011 do dawki $100 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Średnio w latach, zarówno w odniesieniu do odmian wczesnych jak i późniejszych, udowodniony przyrost plonu suchej masy bulw stwierdzono do dawki $100 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. W zakresie dawek od 100 do $200 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ przyrost plonu bulw był nieistotny, a u odmian z grupy późniejszych stwierdzono niewielkie obniżenie plonu bulw pod wpływem dawki $200 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ w porównaniu do dawki $150 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Wykazano również, że średnio dla wszystkich lat badań i w odniesieniu do zróżnicowanego nawożenia azotem plon bulw odmian wczesnych był istotnie mniejszy (o ponad 30%) w stosunku do uzyskanego przez odmiany późniejsze (tab. 4). Uzyskane wyniki potwierdzają badania innych autorów odnośnie zróżnicowanej reakcji plonu bulw ziemniaka na nawożenie azotem oraz istotny wpływ warunków pogodowych w latach badań (Jabłoński, 2004, 2006; Kostiw i Jabłoński, 2013; Trawczyński, 2004, 2007, 2008; Trawczyński, Wierzbicka, 2011).

Warunki pogodowe w latach badań odmiennie kształtowały zawartość azotu w bulwach niż wielkość uzyskanego plonu bulw. Największą zawartość azotu w bulwach odmian wczesnych i późniejszych uzyskano w roku 2010 (odpowiednio 1,48 i 1,27%), natomiast najmniejszą w grupie odmian wczesnych w roku 2011, a w grupie odmian późniejszych w roku 2012 (odpowiednio 1,24% i 1,14%). Podobnie Lis i Wierzejska-Bujakowska (2000) w latach sprzyjających wysokiej kumulacji plonu bulw stwierdziły mniejszą zawartość azotu ogólnego w bulwach, niż w latach niekorzystnych dla plonowania ziemniaka. We wszystkich latach badań, wraz ze wzrostem dawki azotu do $200 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ następował stopniowy, udowodniony przyrost zawartości azotu w bulwach, co było potwierdzeniem dotychczasowych badań (Lis i Wierzejska-Bujakowska, 2000; Trawczyński, 2010). Średnio w latach, w miarę wzrostu dawki azotu od 0 do $200 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ zawartość azotu w

suchej masy bulw wzrastała u odmian wczesnych od 1,11 do 1,52%, a w przypadku odmian późniejszych od 1,07 do 1,38% i były to różnice udowodnione na korzyść odmian wczesnych (tab. 4).

Tabela 4

Wpływ nawożenia azotem na plon suchej masy bulw, zawartość oraz pobranie azotu z plonem bulw odmian o różnej wczesności
The effect of nitrogen fertilization on the tuber dry matter yield, content and uptake of nitrogen with yield of cultivars with different earliness

Grupa wczesności Earliness	Lata Years	Dawka N kg·ha ⁻¹ Dose of N kg·ha ⁻¹					Średnia Mean
		0	50	100	150	200	
Plon suchej masy bulw (t·ha ⁻¹) — Yield of tuber dry matter (t·ha ⁻¹)							
Wczesne — Early	2010	3,95	5,70	6,63	6,31	6,29	5,78
	2011	6,18	6,97	8,06	7,78	7,71	7,34
	2012	7,91	9,63	11,11	12,20	13,08	10,79
Średnia — Mean		6,01	7,43	8,60	8,76	9,03	7,97
Późniejsze — Later	2010	6,30	8,81	9,30	9,60	9,70	8,74
	2011	7,62	9,69	11,04	10,97	10,45	9,95
	2012	10,27	12,59	14,50	14,83	14,40	13,32
Średnia — Mean		8,06	10,36	11,61	11,80	11,52	10,67
Zawartość azotu w suchej masie bulw (%) — Nitrogen content in tubers dry matter (%)							
Wczesne — Early	2010	1,31	1,33	1,47	1,62	1,65	1,48
	2011	0,94	1,14	1,28	1,36	1,47	1,24
	2012	1,08	1,20	1,30	1,37	1,43	1,28
Średnia — Mean		1,11	1,22	1,35	1,45	1,52	1,33
Późniejsze — Later	2010	1,17	1,14	1,26	1,37	1,43	1,27
	2011	1,02	1,07	1,20	1,33	1,40	1,20
	2012	1,01	1,06	1,12	1,22	1,30	1,14
Średnia — Mean		1,07	1,09	1,19	1,31	1,38	1,21
Pobranie azotu z plonem bulw (kg N·ha ⁻¹) — Nitrogen uptake with the yield of tubers (kg N·ha ⁻¹)							
Wczesne — Early	2010	51,7	75,8	97,5	102,2	103,8	86,2
	2011	58,1	79,5	103,2	105,8	113,3	92,0
	2012	85,4	115,6	144,4	167,1	187,0	139,9
Średnia — Mean		65,1	90,3	115,0	125,1	134,7	106,0
Późniejsze — Later	2010	73,7	100,4	117,2	131,5	138,7	112,3
	2011	77,7	103,7	132,5	145,9	146,3	121,2
	2012	103,7	133,5	162,4	180,9	187,2	153,5
Średnia — Mean		85,1	112,5	137,4	152,8	157,4	129,0

Plon suchej masy bulw; NIR_{0,05} dla lat — 0,95t; NIR_{0,05} dla dawek N — 0,57t; NIR_{0,05} dla wczesności — 0,26t

Yield of tuber dry matter; LSD_{0,05} for years — 0.95t; LSD_{0,05} for doses of N — 0.57t; LSD_{0,05} for earliness — 0.26t

Zawartość azotu w bulwach; NIR_{0,05} dla lat — 0,04%; NIR_{0,05} dla dawek N — 0,03%; NIR_{0,05} dla wczesności — 0,01%

Nitrogen content in tubers; LSD_{0,05} for years — 0.04%; LSD_{0,05} for doses of N — 0.03%; LSD_{0,05} for earliness — 0.01%

Pobranie azotu z plonem; NIR_{0,05} dla lat — 10,1kg; NIR_{0,05} dla dawek N — 5,9kg; NIR_{0,05} dla wczesności — 2,8kg

Nitrogen uptake with yield; LSD_{0,05} for years — 10.1kg; LSD_{0,05} for doses of N — 5.9kg; LSD_{0,05} for earliness — 2.8kg

W odniesieniu do analizowanych czynników wykazano, że o ilości pobranego przez bulwy azotu decydował głównie uzyskany plon bulw. Zbieżność pobrania azotu przez bulwy z uzyskanym plonem suchej masy dotyczyła zarówno czynnika pogodowego w latach badań, poziomu nawożenia azotem i analizowanych grup wczesności. Chociaż w pewnym stopniu zbieżna była zawartość azotu w bulwach z pobraniem tego składnika w odniesieniu do poziomu nawożenia azotem, gdyż ich wartości wzrastały istotnie w miarę

podwyższania dawki azotu. Reakcja pobrania azotu przez bulwy w stosunku do poziomu nawożenia azotem wykazała jednak zmniejszającą się efektywność pobrania w miarę wzrastających dawek azotu, co wynikało głównie z braku istotnego wzrostu wielkości plonu suchej masy przy dawkach powyżej 100 kg N·ha⁻¹. W zakresie zróżnicowanego nawożenia mineralnego azotem od 0 do 200 kg N·ha⁻¹ pobranie azotu z plonem bulw w grupie odmian wczesnych wyniosło od 65,1 do 134,7 kg N·ha⁻¹, a w grupie odmian późniejszych było istotnie większe i wahało się od 85,1 do 157,4 kg N·ha⁻¹ (tab. 4).

Wraz ze zmniejszeniem efektywności pobrania azotu przez bulwy i wzrostem poziomu nawożenia azotem od 0 do 200 kg N·ha⁻¹ malało wykorzystanie azotu wniesionego w nawozach mineralnych. Współczynnik wykorzystania azotu, średnio w latach wahał się od 50,4% przy dawce 50 kg N·ha⁻¹ do 34,8% po zastosowaniu dawki 200 kg N·ha⁻¹ dla odmian wczesnych oraz istotnie większy był w przypadku odmian późniejszych i wynosił od 54,9% po zastosowaniu dawki 50 kg N·ha⁻¹ do 36,2% przy poziomie nawożenia 200 kg N·ha⁻¹ (tab. 5).

Tabela 5

Wpływ nawożenia azotem na wykorzystanie tego składnika z nawozów przez odmiany ziemniaka o różnej wczesności (%)
The effect of nitrogen fertilization on the utilization of this component from fertilizers by potato cultivars with different earliness (%)

Grupa wczesności Earliness	Lata Years	Dawka N kg·ha ⁻¹ Dose of N kg·ha ⁻¹				Średnia Mean
		50	100	150	200	
Wczesne — Early	2010	48,1	45,7	33,7	26,0	38,4
	2011	42,7	45,1	31,8	27,6	36,8
	2012	60,3	59,0	54,5	50,8	56,1
Średnia — Mean		50,4	49,9	40,0	34,8	43,8
Późniejsze — Later	2010	53,4	43,5	38,5	32,5	42,0
	2011	51,9	54,8	45,5	34,3	46,6
	2012	59,5	58,7	51,5	41,7	52,8
Średnia — Mean		54,9	52,3	45,2	36,2	47,1

Wykorzystanie azotu; NIR_{0,05} dla lat — 3,5%; NIR_{0,05} dla dawek N — 2,6%; NIR_{0,05} dla wczesności — 1,7%
 Nitrogen utilization; LSD_{0,05} for years — 3.5%; LSD_{0,05} for doses of N — 2.6%; LSD_{0,05} for earliness — 1.7%

Największe wykorzystanie azotu z nawozów (powyżej 50%) stwierdzono w roku 2012 charakteryzującym się dostateczną ilością opadów i umiarkowanie niską temperaturą powietrza w okresie intensywnego wzrostu i rozwoju roślin ziemniaka oraz kumulacji plonu bulw, czyli sprzyjającym plonowaniu ziemniaka. Istotnie mniejsze, szczególnie w przypadku grupy odmian wczesnych, wykorzystanie azotu z nawozów uzyskano w latach 2010 i 2011, z wysokimi amplitudami wahań temperatury powietrza i opadów w okresie wzrostu i rozwoju roślin ziemniaka, odbijających się niekorzystnie na potencjale plonotwórczym bulw. Zbieżność w odniesieniu do stopnia wykorzystania azotu z nawozów oraz jego zmniejszanie się wraz ze wzrostem dawek N, a także duży wpływ pogody w latach badań wykazali między innymi: Greenwood i Draycott (1988), Fotyma (1997), Lis i Wierzejska-Bujakowska (2000), Mackenzie i Taureau (2001). W literaturze podaje się również dane dotyczące wykorzystania zastosowanego azotu w nawiązaniu do długości

okresu wegetacji odmian argumentując to różnicowaniem składu chemicznego poszczególnych organów, dystrybucją azotu w obrębie rośliny czy rozwojem systemu korzeniowego (Vos i Marshall, 1993; Zebarth, 2004). W prezentowanej pracy wykazano zróżnicowane wykorzystanie azotu w zależności od wczesności odmian. Dłuższy okres wegetacji odmian późniejszych wpłynął na wzrost współczynnika wykorzystania azotu z zastosowanych nawozów mineralnych.

Ocena komponentów wariacyjnej wykazała, że czynnikowi związanemu z warunkami pogodowymi w okresie wegetacji przypisać można 63,9% zmienności całkowitej uzyskanego plonu bulw, a nawozowemu, związanemu z wielkością dawki azotu i genetycznemu, różnicującemu długość wegetacji odmian około 16–17% (tab. 6). Wysoki udział warunków wegetacji w kumulacji plonu bulw oraz zdecydowanie mniejszy dla cech genetycznych odmian stwierdziła Sawicka i in. (2011). Zawartość azotu w bulwach zależała głównie od wielkości zastosowanej dawki azotu. Z kolei pobranie azotu z plonem bulw zależało zarówno od czynnika pogodowego w latach badań jak i poziomu nawożenia azotem, którym można przypisać ponad 40% udziału w zmienności całkowitej. Z uwagi na dominujący wpływ wielkości zastosowanej dawki azotu na zawartość azotu w bulwach, jak i pobranie azotu z plonem, o wykorzystaniu azotu z zastosowanych nawozów decydował głównie poziom nawożenia azotem (66,7% w zmienności całkowitej). Istotny był również wpływ czynnika pogodowego na wskaźnik wykorzystania azotu (24,3%), a zdecydowanie mniejszy związany z grupą wczesności odmian (tab. 6). Podobny wpływ dawek azotu i warunków klimatycznych w latach badań na pobranie oraz wykorzystanie azotu wykazano we wcześniejszych badaniach własnych (Wierzbicka i Trawczyński, 2011). Mazurczyk i in. (2005) stwierdzili, że ponad 40% całkowitej zmienności w wykorzystaniu azotu stanowiły warunki klimatyczne okresów wegetacji, a około 14% nawożenie azotem.

Tabela 6

Wyniki analizy wariancji dla plonu bulw, zawartości azotu, pobrania tego składnika i wykorzystania z nawozów

Results of variance analysis of tubers yield, content of nitrogen, uptake of this component and its utilization from fertilizers

Badane parametry Tested parameters	Istotność wpływu Significance of the influence						Udział w wariancji całkowitej (%) Share in total variance (%)					
	1	2	3	1x2	1x3	2x3	1	2	3	1x2	1x3	2x3
Plon — Yield	xx	x	x	x	-	-	63,9	16,2	17,2	1,3	0,8	0,6
Azot — Nitrogen	x	xx	x	x	x	x	17,1	61,0	13,4	2,7	4,5	1,3
Pobranie — Uptake	xx	xx	x	x	-	-	46,8	42,1	7,9	2,4	0,5	0,3
Wykorzystanie — Utilization	xx	xx	x	x	x	-	24,3	66,7	1,9	5,0	1,3	0,8

1 — Lata — Years; 2 — Dawki azotu — Doses of N; 3 — Wczesność — Earliness

Istotny przy $p = 0,05$ - x; $p = 0,01$ - xx — Significant at $p = 0,05$ - x; $p = 0,01$ - xx

Wiedza na temat zróżnicowania czynników wpływających na potencjał plonotwórczy oraz kształtujących pobranie z plonu i wykorzystanie azotu skutkować może bezpośrednio mniejszymi ilościami tego składnika pozostającymi w środowisku glebowym po zbiorze bulw ziemniaka. Po zakończeniu wegetacji ziemniaka zawartość azotu mineralnego w glebie może ulec znacznemu wzrostowi w porównaniu do stanu z okresu przed

rozpoczęciem ich wegetacji, co należy wiązać z niepełnym wykorzystaniem przez rośliny azotu z zastosowanych nawozów mineralnych oraz mineralizacji materii organicznej z nawozów naturalnych czy organicznych zachodzącej po zbiorze bulw (Łabętowicz, 1995; Fotyma i in., 1999; Lis i in., 2002). Müller i Gorlitz (1990) sugerują, aby podejmować odpowiednie kroki zmierzające do obniżenia N-mineralnego w glebie poprzez wysiew międzyplonów lub uprawę roślin ozimych. Stwarza to szansę wykorzystania z gleby części azotu mineralnego, pozostającego po zbiorze bulw przez młode rozwijające się rośliny międzyplonowe lub ozime (Fotyma, 2000).

WNIOSKI

1. Pobranie azotu z plonem bulw zależało głównie od wielkości zebranego plonu ziemniaka.
2. Pobranie azotu z plonem bulw wahało się od około 65 do 135 kg N·ha⁻¹ w grupie odmian wczesnych i od około 85 do 157 kg N·ha⁻¹ dla odmian późniejszych w zależności od stosowanej dawki N.
3. Wykorzystanie azotu z zastosowanych nawozów w grupie odmian wczesnych malało od 50,4 do 34,8% wraz ze wzrostem poziomu nawożenia azotem od 50 do 200 kg N·ha⁻¹, natomiast w grupie odmian późniejszych było istotnie większe i wahało się od 54,9 do 36,2%.
4. Największe wykorzystanie azotu z nawozów stwierdzono w roku sprzyjającym plonowaniu ziemniaka, odznaczającym się dostateczną ilością opadów i umiarkowanie niską temperaturą powietrza w okresie od czerwca do sierpnia włącznie.
5. Stwierdzono, że największy wpływ na wielkość plonu bulw miały warunki pogodowe (63,9% w zmienności całkowitej), na zawartość azotu w bulwach poziom nawożenia azotem (61,0% w zmienności całkowitej), na pobranie azotu z plonem bulw czynniki, pogodowy i nawozowy (odpowiednio 46,8 i 42,1%), a wykorzystanie azotu z nawozów mineralnych w największym stopniu kształtowała dawka azotu (około 67%).

LITERATURA

- Chotkowski J. 2012. Produkcja i rynek ziemniaka. Wyd. Wieś Jutra, Warszawa: 340 ss.
- Fotyma E. 1997. Efektywność nawożenia azotem podstawowych roślin uprawy polowej. *Fragm. Agronom.* 1 (53): 46 — 66.
- Fotyma M., Fotyma E., Stuczyński T. 1999. Wykorzystanie wyników analiz chemicznych w doradztwie nawozowym i ochronie środowiska. *Nawozy i Nawożenie* 1: 44 — 58.
- Fotyma E. 2000. Zasady nawożenia azotem z wykorzystaniem testów glebowych i roślinnych. *Nawozy i Nawożenie* 3a: 17 — 37.
- Fotyma E., Fotyma M. 2006. Normatywy zawartości azotu mineralnego w glebie i stężeń azotanów w roztworze glebowym gleb gruntów ornych w Polsce. *Nawozy i Nawożenie* 1: 44 — 56.
- Fotyma M. 2009. Monitoring of N_{min} content in soil of Poland. *Nawozy i Nawożenie* 37: 108 — 128.
- Fotyma M., Kęsik K., Pietruch Cz. 2010. Azot mineralny w glebach jako wskaźnik potrzeb nawozowych roślin i stanu czystości wód glebowo-gruntowych. *Nawozy i Nawożenie* 38: 5 — 83.

- Greenwood D. J., Draycott A. 1988. Recovery of fertilizer-N by diverse vegetable crops in processes and models. In: Nitrogen efficiency in agricultural soils. Jenkinson D. S., Smith K. A. (eds), Elsevier Applied Sciences, London: 46 — 61.
- Jabłoński K. 2004. Wpływ nawożenia azotowego na plon i jakość nowych odmian ziemniaka jadalnego uprawianych na glebach średnio zwięzłych. Biul. IHAR 232: 157 — 165.
- Jabłoński K. 2006. Wpływ poziomu nawożenia azotem na plon i zawartość skrobi oraz na jakość nowych odmian ziemniaka. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. z. 512: 193 — 200.
- Kostiwn M., Jabłoński K. 2013. Wpływ nawożenia azotem na plon i jakość bulw odmian jadalnych ziemniaka uprawianych na glebie średniej. Biul. IHAR 267: 97 — 106.
- Lis B., Wierzejska-Bujakowska A. 2000. Wykorzystanie azotu przez jadalne odmiany ziemniaka a ich plonowanie. Biul. IHAR 213: 87 — 98.
- Lis B., Mazurczyk W., Trawczyński C., Wierzbicka A. 2002. Czynniki ograniczające wykorzystanie azotu przez rośliny ziemniaka a zagrożenie środowiska. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 489: 165 — 174.
- Łabętowicz J. 1995. Skład chemiczny roztworu glebowego w zróżnicowanych warunkach nawożenia. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 421a: 245 — 251.
- Mackenzie G. H., Taureau J. 2001. Recommendation systems for nitrogen — a review. Nawozy i Nawożenie 4 (9): 5 — 51.
- Mazurczyk W., Wierzbicka A., Wroniak J. 2005. Wykorzystanie azotu z nawozów mineralnych przez odmiany wczesne ziemniaka. *Fragm. Agronom.* 1: 512 — 520.
- Müller S., Górlitz H. 1990. Wykorzystanie metody Nmin. w NRD. *Fragm. Agronom.* 1: 23 — 35.
- Sawicka B., Michałek W., Pszczółkowski P. 2011. Uwarunkowania potencjału plonowania średnio późnych i późnych odmian ziemniaka w warunkach środkowo – wschodniej Polski. Biul. IHAR 259: 219 — 228.
- Trawczyński C. 2004. Zależność między dawką azotu a plonem odmian ziemniaka. Biul. IHAR 232: 131 — 140.
- Trawczyński C. 2007. Reakcja kilku nowych odmian ziemniaka na nawożenie azotem. Biul. IHAR 246: 73 — 81.
- Trawczyński C. 2008. Reakcja nowych odmian ziemniaka na nawożenie azotem. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 530: 187 — 196.
- Trawczyński C. 2010. Wykorzystanie azotu z nawozów przez odmiany ziemniaka o zróżnicowanych wymaganiach w stosunku do tego składnika. Biul. IHAR 256: 133 — 140.
- Trawczyński C., Wierzbicka A. 2011. Reakcja nowych odmian ziemniaka na nawożenie azotem. Biul. IHAR 259: 193 — 201.
- Vos J., Marshall B. 1993. Nitrogen and potato production: strategies to reduce nitrate leaching. 12th Trienn. Conf. of EAPR Paris 1993: 101 — 110.
- Wierzbicka A., Trawczyński C. 2011. Czynniki wpływające na pobranie i wykorzystanie azotu przez jadalne i skrobiowe odmiany ziemniaka. Biul. IHAR 259: 203 — 210.
- Zebarth B. J. 2004. Nitrogen use efficiency characteristics of commercial potato cultivars. *Can. J. Plant Sci.* 84: 589 — 598.

JERZY OSOWSKIInstytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy
Zakład Nasiennictwa i Ochrony Ziemiaka w Boninie

Skuteczność działania wybranych substancji aktywnych w ograniczaniu alternariozy ziemniaka

The effectiveness of selected active ingredients against potato early blight

Sucha i brunatna plamistość liści określane potocznie nazwą alternarioza ziemniaka stanowią zespół chorób, których znaczenie jako groźnych sprawców plamistości liści wzrasta w ostatnich latach. Doświadczenia polowe oceniające skuteczność 6 fungicydów: Altima 500 SC (fluazinam), Dithane NeoTec 75 WG (mankozeb), Unikat 75WG (mankozeb+zoksamid), Tanos 50 WG (cymoksanil + famoksat), Ridomil Gold MZ 68 WG (metalaksyl-M+mankozeb) oraz Infinito 687,5 SC (propamokarb-HCL+ fluopicolid) przeprowadzono w Boninie w latach 2009–2011. Wszystkie badane w doświadczeniu fungicydy istotnie ograniczyły rozwój alternariozy ziemniaka w porównaniu do obiektu kontrolnego. Przeprowadzone badania potwierdziły także pogląd o korzystnym wpływie ochrony chemicznej na możliwość gromadzenia plonu bulw potomnych. Doświadczenia polowe przeprowadzone w Boninie wykazały, że dzięki ochronie chemicznej (opóźnienie krytycznego momentu zniszczenia naci) można uzyskać wyższe o 27% plony bulw potomnych, w porównaniu z obiektem kontrolnym.

Słowa kluczowe: *Alternaria alternata*, *Alternaria solani*, alternarioza, ochrona chemiczna, substancje czynne

Dry and brown leaf spots commonly known as early blight disease of potato, are in fact a group of diseases with an increasing role in recent years. Field experiments estimating the effectiveness of fungicides Altima 500 SC (fluazinam), Dithane M-45 80 WP (mancozeb), Unikat 75WG (mancozeb+zoxamide), Tanos 50 WG (cymoxanil + famoxadone), Ridomil Gold MZ 68 WG (metalaxyl-M+mancozeb) and Infinito 687.5 SC (propamocarb-HCL+ fluopicolide) against potato early blight were carried out in Bonin in the years 2009–2011. The results showed that all tested fungicides significantly reduced the development of potato early blight compared to the unprotected control. The study also confirmed the hypothesis that chemical protection has the beneficial effects on tuber yield. Field experiments conducted in Bonin, showed that due to the chemical protection (delay of the critical moment of haulm destruction), the tuber yield can be higher by 27% when compared to control.

Key words: *Alternaria alternata*, *Alternaria solani*, active ingredients, early blight, chemical protection

WSTĘP

Grzyby z rodzaju *Alternaria* — *A. solani* i *A. alternata* należące do workowców są sprawcami chorób liści, łodyg i sporadycznie bulw, które potocznie są nazywane alternariozą ziemniaka i stanowią duży problem w uprawie roślin z rodziny *Solanaceae* (Weber, 2011). Powszechność i termin występowania objawów na roślinach ziemniaka oraz wielkość zniszczeń, jakie powodują sprawiają, że poszukiwanie sposobów ograniczenia strat związanych z rozwojem patogenów staje się ważnym wyzwaniem dla fitopatologów, hodowców oraz firm fitofarmaceutycznych.

Stosowanie ochrony chemicznej pomimo wysokich nakładów (przekraczających 10% kosztów poniesionych na produkcję) jest ważnym elementem integrowanej ochrony roślin (Gent, Schwartz, 2003). Jednak w ostatnich latach obserwowano zmienną skuteczność działania substancji czynnych fungicydów zarejestrowanych do zwalczania alternariozy ziemniaka (Osowski, 2004; Kapsa 2009; Osowski, 2012). Stąd też celem doświadczeń polowych było sprawdzenie skuteczności wybranych substancji czynnych w ograniczaniu rozwoju alternariozy ziemniaka w okresie wegetacji. Kryterium wyboru substancji aktywnych stanowiła powszechność stosowania fungicydów zawierających badane substancje aktywne w ochronie plantacji ziemniaka.

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenia przeprowadzono w Boninie (woj. zachodniopomorskie) w latach 2009–2011 na roślinach bardzo wczesnej odmiany jadalnej Bard, badając sześć wariantów ochrony chemicznej w porównaniu z kontrolą (tab. 1).

Tabela 1

Warianty doświadczenia badane w latach 2009–2011
The variants of experiments tested in 2009–2011

Substancja aktywna Active ingredient	Nazwa handlowa Commercial name	Dawka fungicydu na ha Fungicide dose per ha
Kontrola Control	—	—
Fluazynam Fluazinam	Altima 500 SC	0,4 l
Mankozeb Mancozeb	Dithane Neo Tec 75 WG	2,0 kg
Zoksamid + mankozeb Zoxamide + mancozeb	Unikat 75 WG	2,0 kg
Cymoksanil + famoksat Cymoxanil + famoxadone	Tanos 50 WG	0,7 kg
Metalaksyl-M + mankozeb Metalaxyl-M + mancozeb	Ridomil Gold MZ 67,8 WG	2,5 kg
Propamokarb-HCl + fluopikolid Propamokarb-HCl + fluopicolide	Infinito 687,5 SC	1,2 l

Ocenę skuteczności działania wybranych fungicydów prowadzono w 4 powtórzeniach na poletkach o wielkości 100 roślin każde. Ziemniaki wysadzano każdego roku w 3. dekadzie kwietnia na glebie lekkiej (podgrupa granulometryczna II glina piaszczysta). W trakcie wegetacji prowadzono chemiczne zwalczanie chwastów (2 zabiegi — pierwszy po uformowaniu redlin herbicyd Plateen 41,5 WG w dawce $2,0 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, drugi przed zwieraniem roślin w rzędach preparatem Titus 25 WG w dawce $60 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$) oraz zwalczanie stonki ziemniaka (jednorazowy zabieg insektycydem Actara 25 WG w dawce $80 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$). Zabiegi zwalczania chwastów i stonki wykonano opryskiwaczem polowym zawieszanym stosując dawkę wody $400 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ przy zastosowaniu rozpylaczy płaskostrumieniowych XR 11003 firmy TeeJet. Ochronę chemiczną przed zarazą ziemniaka prowadzono każdego roku stosując fungicyd Ranman TwinPack 400 SC w dawce $0,2 + 0,15 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$. Fungicyd ten nie zwalcza sprawców alternariozy ziemniaka i jest dopuszczony do stosowania w doświadczeniach sprawdzających skuteczność nowych środków ochrony roślin rejestrowanych do zwalczania alternariozy ziemniaka. Do naniesienia fungicydu na rośliny ziemniaka zastosowano dawkę wody w ilości $400 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$, stosując do wykonania zabiegu opryskiwacz polowy wyposażony w rozpylacze eżektorowe o strumieniu płaskim, w celu wyeliminowania efektów znoszenia na skutek gwałtownych porywów wiatru, przekraczających $4 \text{ m} \cdot \text{sek}$. Liczba zabiegów uzależniona była od nasilenia choroby w roku prowadzenia badań i wynosiła od 4 do 6.

Ochronę chemiczną przeciwko alternariozie ziemniaka rozpoczynano w momencie wystąpienia pierwszych objawów choroby na dolnych liściach roślin ziemniaka i kontynuowano do momentu całkowitego zniszczenia części nadziemnej roślin na wariantcie kontrolnym.

W okresie wegetacji prowadzono w odstępach 7–10 dniowych obserwacje tempa rozwoju choroby, notując poziom zniszczenia powierzchni asymilacyjnej według skali 9-stopniowej, gdzie 9 — oznacza brak objawów a 1 — całkowite zniszczenie rośliny (Pietkiewicz, 1972). Na podstawie wyników z obserwacji polowych obliczono względną powierzchnię pod krzywą rozwoju choroby rAUDPC (Perez, Forbes, 2010). Zbiór prób i plonu przeprowadzono w 1. dekadzie września każdego roku. Po zbiorach oceniono wielkość uzyskanego plonu bulw potomnych oraz jego jakość i podział pod względem użytkowym.

Dane meteorologiczne (temperatura powietrza, suma opadów, wilgotność powietrza) z sezonów wegetacyjnych gromadzono z własnej stacji meteorologicznej oddalonej od pola doświadczalnego o 0,5 do 1,0 km w linii prostej (tab. 2).

Otrzymane wyniki opracowano statystycznie za pomocą analizy wariancji, istotność różnic testowano testem Tukeya.

WYNIKI

Warunki meteorologiczne

Przebieg warunków meteorologicznych w okresie czerwiec — lipiec w latach 2009–2011 był najmniej korzystny zwłaszcza w miesiącu czerwcu, który charakteryzował się niedoborami opadów oraz niskimi temperaturami (tab. 2). W pozostałych miesiącach

oceny warunki meteorologiczne były bardziej sprzyjające do rozwoju alternariozy na roślinach ziemniaka.

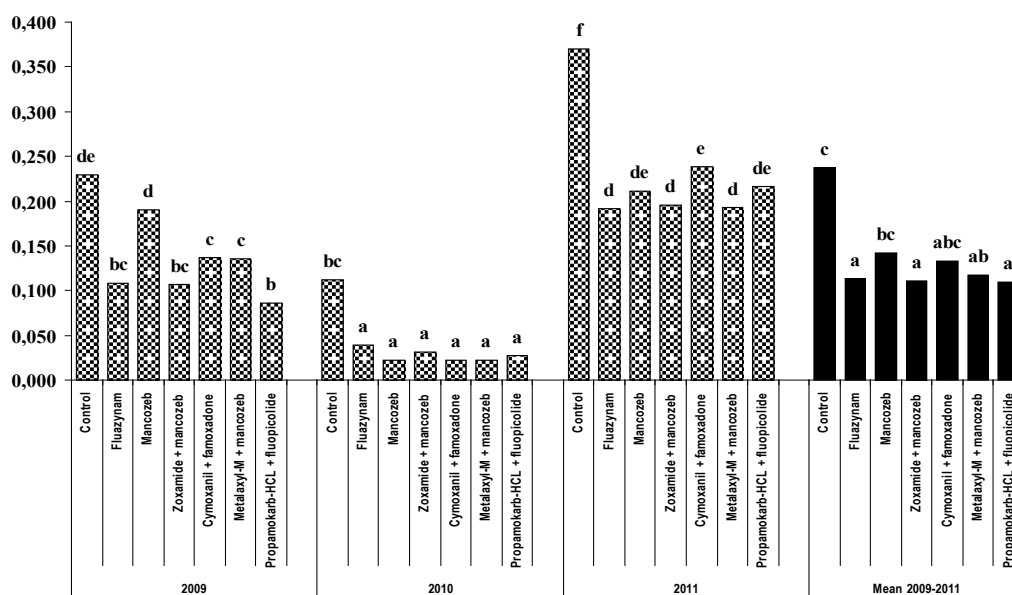
Tabela 2

Warunki meteorologiczne w okresie czerwiec — sierpień w latach 2009–2011
Meteorological conditions over the period July — August in 2009–2011

Rok Year	Dekada Decade	Czerwiec — June			Lipiec — July			Sierpień — August		
		temperatura temperature (°C)	opady rainfalls (mm)	wilgotność humidity (%)	temperatura temperature (°C)	opady rainfalls (mm)	wilgotność humidity (%)	temperatura temperature (°C)	opady rainfalls (mm)	wilgotność humidity (%)
2009	I	12,3	41,6	85,5	18,6	11,0	85,1	20,1	0,8	76,3
	II	13,0	83,6	85,0	18,2	39,6	83,9	17,2	24,2	79,7
	III	17,1	26,4	87,3	18,1	52,6	80,5	17,4	22,6	77,5
2010	I	15,3	15,4	85,7	19,8	17,6	71,6	18,5	41,2	88,0
	II	13,8	10,2	81,7	23,1	4,4	70,9	19,5	18,2	90,3
	III	16,2	0,4	79,8	18,5	73,0	84,2	16,0	76,2	87,7
2011	I	17,9	7,8	76,3	17,2	30,4	87,9	18,4	30,4	82,9
	II	15,3	46,8	83,6	18,0	40,0	82,2	16,7	47,6	88,7
	III	16,4	8,2	78,8	16,5	50,6	91,8	17,2	18,8	86,4

Relatywna powierzchnia zniszczenia pod krzywą rozwoju choroby — rAUDPC

Najniższe wartości rAUDPC świadczące o niskim poziomie infekcji w wariancie kontrolnym doświadczenia odnotowano w roku 2010 (rys. 1).



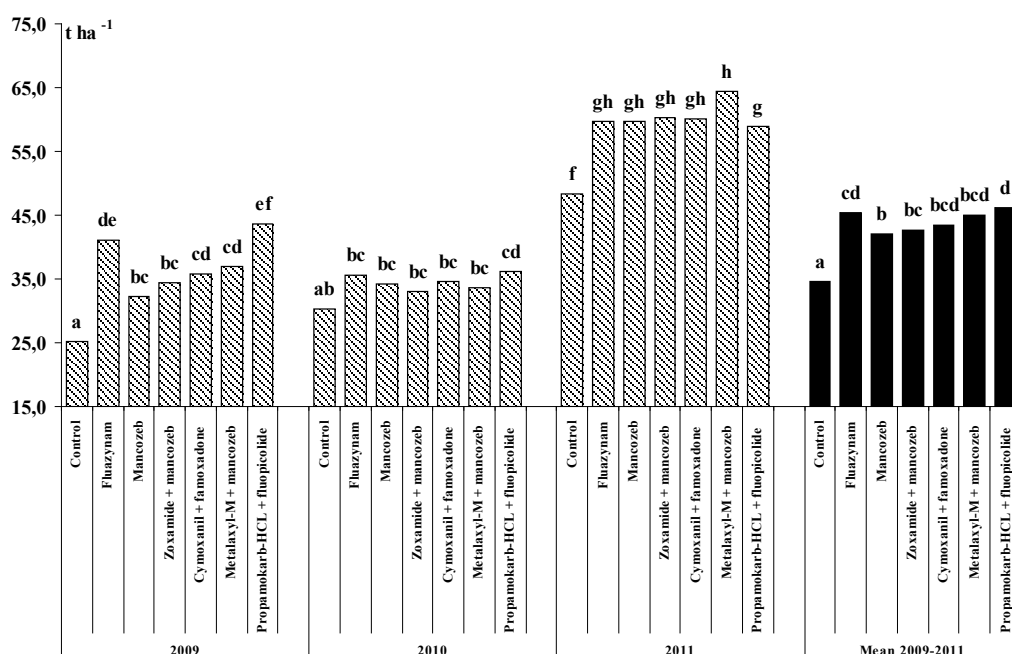
Rys. 1. Relatywna powierzchnia zniszczenia pod krzywą rozwoju choroby — rAUDPC w latach 2009–2011. Średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie

Fig. 1. The relative area under disease progress curve in 2009–2011. Means marked by the same letter are not statistically different

W pozostałych latach wartości tego parametru wynosiły odpowiednio 0,229 (rok 2009) i 0,371 (2011). W roku o niskim poziomie infekcji (najniższe wartości rAUDPC) nie stwierdzono istotnych różnic w poziomie skuteczności ograniczania rozwoju alternariozy ziemniaka przez badane warianty doświadczenia. Zróżnicowanie efektywności odnotowano w roku 2009 (średni poziom nasilenia choroby) i 2011 (najwyższy poziom nasilenia choroby). Spośród badanych substancji aktywnych skuteczność w ograniczaniu choroby niezależnie od poziomu jej infekcji stwierdzono dla mieszanin propamokarb-HCL + fluopikolid (Infinito 687,5 SC) — 0,110, zoksamid + mankozeb (Unikat 75 WG) — 0,111 oraz fluazynamu (Altima 500 SC) — 0,113.

Wpływ zastosowanych wariantów ochrony na plon handlowy (bulwy o średnicy >35 mm)

Zastosowanie ochrony chemicznej korzystnie wpłynęło na wielkość plonu handlowego bulw o średnicy powyżej 35 mm w porównaniu z wariantem kontrolnym (bez stosowania zabiegów ochronnych) (rys. 2).



Rys. 2 Wielkość plonu handlowego w zależności od wariantu ochrony w latach 2009–2011. Średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie

Fig. 2 Marketable yield, depending on the variant of protection in 2009–2011. Means marked by the same letter are not statistically different

Wzrost plonu w zależności od roku oceny wynosił 48,7% w 2009, 14,3% w 2010 i 25,0% w 2011 roku. Średnio wzrost plonu bulw potomnych w porównaniu do kontroli wynosił 27,5%. Najwyższy efekt plonotwórczy uzyskany na skutek ograniczenia rozwoju

alternariozy ziemniaka stwierdzono dla mieszaniny propamokarb-HCL + fluopikolid (Infinito 687,5 SC) — 33,5%.

DYSKUSJA

Grzyby *Alternaria solani* i *Alternaria alternata* są sprawcami chorób określanych potoczną nazwą alternarioza ziemniaka. Jest to choroba powszechnie występująca we wszystkich rejonach uprawy ziemniaka a o jej znaczeniu decydują termin występowania (moment wiązania i tuberyzacji bulw) oraz poziom powodowanych strat. Według doniesień różnych autorów wielkość strat może wynosić od 10 do ponad 70% (Harrison i in., 1965; Kapsa i Osowski, 2004; Brune i in., 1998).

W Polsce, w ostatnich latach, choroba występowała na plantacjach ziemniaka między 50 a 70 dniem od dnia sadzenia (Osowski, 2007, 2012). W przeprowadzonych doświadczeniach choroba wystąpiła odpowiednio po 54 dniach w 2009 roku, 57 dniach w 2010 roku i po 55 dniach w 2011 roku.

Występowanie choroby na plantacjach i tempo jej rozwoju uzależnione są od szeregu czynników takich jak: ilość i rozkład opadów atmosferycznych, wilgotność względna powietrza, temperatura powietrza oraz podatność i stan zdrowotny odmiany. Według Volkov i Tete (1974), Hooker (1981) oraz van der Vaals i in. (2003 a b) korzystny do rozwoju zakres temperatur wynosi 17–30°C. Dodatkowym czynnikiem sprzyjającym są krótkotrwałe opady atmosferyczne oraz wilgotność względna powietrza na poziomie 70–90%. Doniesienia tych autorów potwierdzają badania Osowskiego (2012) o wysokiej zależności wystąpienia i dalszego rozwoju choroby od temperatury, wilgotności powietrza i ilości opadów.

W badanym okresie czasu (rys. 1) korzystniejsze warunki do rozwoju choroby obserwowano w roku 2011 (najwyższe wartości rAUDPC — 0,371). W pozostałych latach oceny wynosiły one odpowiednio 0,229 (rok 2009) i 0,112 (2010). Niższe wartości rAUDPC obserwowane w roku 2009 i 2010 mogły wynikać nie tylko z braku sprzyjających rozwojowi choroby warunków, ale także wpływ na przebieg choroby mogła mieć ilość inokulum i jego koncentracja. Tezę tę wydają się potwierdzać doniesienia Coffey i in. (1975), Volutoglou i Kalogerakis (2000) oraz van der Vaals i in. (2003 b). Według nich to właśnie ilość inokulum i jego koncentracja są bezpośrednim czynnikiem wpływającym na przebieg choroby, jej epidemiczność i przełamanie odporności uprawianej odmiany.

Ochrona chemiczna jest ważnym sposobem ograniczającym rozwój alternariozy ziemniaka (Kapsa, Osowski, 2004), jednak jej skuteczność nie zawsze jest satysfakcjonująca. Według Rodriguez i in. (2007) w latach o wysokiej presji choroby konieczne jest wykonanie nawet 10 zabiegów. Na skuteczność wykonanego zabiegu wpływa wiele czynników (rodzaj zastosowanego środka, dawka, ilość cieczy roboczej, sposób naniesienia oraz termin wykonania zabiegu). Van der Waals i in. (2003 b) wyrażają pogląd, że strategia zwalczania alternariozy ziemniaka nie może być opierana tylko na stosowaniu zabiegów chemicznych, ale do skutecznego jej ograniczania plantatorzy powinni wykorzystywać zabiegi agrotechniczne. Wykorzystanie w strategii ochrony odporności odmian jako naturalnego sposobu ograniczania rozwoju choroby nie jest

możliwe ze względu na brak odmian odpornych wśród odmian handlowych. Kierunkiem pożądanym w rozwoju strategii ochrony plantacji ziemniaków przed alternariozą może być zastosowanie tak jak w przypadku zarazy ziemniaka systemów wspomagających podejmowanie decyzji o wykonaniu zabiegów ochronnych. Jak uważają Gent i Schwarz (2003) zastosowanie takiego systemu może obniżyć liczbę zabiegów o 30%.

W strategii zwalczania alternariozy ziemniaka istnieją rozbieżne teorie na temat terminu wykonania pierwszego zabiegu. Jakkolwiek wszyscy są zgodni, że czas rozpoczynania pierwszej aplikacji jest zależny od rejonu uprawy, a optymalna data powinna być ustalona na podstawie doświadczeń (Schuller, Habermeyer, 2002). Za optymalny termin rozpoczęcia ochrony chemicznej przeciwko alternariozie Christ i Maczuga (1989) uważają okres kwitnienia roślin ziemniaka. Pscheidt, Stevenson (1988), Holm (2002), Khan i in. (2003) oraz Kapsa, Osowski (2003) za korzystny termin rozpoczynania ochrony uważają początek drugiej fali infekcyjnej, kiedy widoczne są pierwsze objawy choroby. Tę tezę potwierdzają Gent i Schwartz (2003) uważając, że jest to właściwy termin, ponieważ gwałtowny rozwój choroby następuje 7 dni później.

W przeprowadzonym doświadczeniu za początek rozpoczynania ochrony chemicznej przyjęto wystąpienie pierwszych objawów choroby na roślinach ziemniaka. Uzyskane wyniki wydają się potwierdzać słuszność podjętych założeń.

Zaobserwowane w okresie prowadzenia doświadczenia różnice w skuteczności badanych wariantów ochrony mogły wynikać nie tylko ze zmiennych warunków meteorologicznych oraz ilości inokulum odpowiadającego za powstanie i rozwój infekcji, ale także mogły one wynikać ze zbyt długiego odstępu pomiędzy stosowanymi zabiegami (Osowski, Bernat 2009). Różnice w skuteczności działania ocenianych środków ochrony roślin mogły być także spowodowane zmieniającym się w okresie wegetacji składem populacji sprawców choroby. Doświadczenia przeprowadzone przez Kapsę (2007) za pomocą pułapek Burkarda wykazały, że w okresie wegetacji zmienia się skład populacji sprawców w zależności od warunków meteorologicznych panujących w okresie wegetacji. Badania laboratoryjne przeprowadzone przez Kapsę (2009) i Osowskiego (2012) wykazały zróżnicowaną skuteczność działania substancji czynnych środków ochrony roślin zarejestrowanych do zwalczania alternariozy ziemniaka.

Badane w doświadczeniu środki ochrony roślin nie tylko skutecznie hamowały rozwój alternariozy ziemniaka, ale pośrednio wpłynęły na wysokość plonu bulw potomnych (rys. 2) wydłużając okres gromadzenia plonu poprzez ograniczenie zniszczenia powierzchni asymilacyjnej roślin ziemniaka. Także doniesienia innych autorów potwierdzają pozytywny wpływ stosowania ochrony chemicznej na wysokość plonu bulw potomnych (Kapsa, Osowski, 2004; Wiik, 2004; Campo i in., 2007; Kapsa, 2010; Osowski, 2012).

WNIOSKI

1. Ochrona chemiczna przed alternariozą ziemniaka jest skutecznym sposobem ograniczania rozwoju choroby.

2. Zastosowany w przeprowadzonym doświadczeniu termin rozpoczynania zabiegów ochronnych (początek drugiej fali infekcyjnej, kiedy widoczne są pierwsze objawy choroby) potwierdził słuszność przyjętych wcześniej założeń.
3. Przeprowadzone badania potwierdziły także pogląd o korzystnym wpływie ochrony chemicznej na możliwość gromadzenia plonu bulw potomnych. Doświadczenia polowe przeprowadzone w Boninie wykazały, że dzięki ochronie chemicznej można uzyskać wyższe średnio o 27% plony bulw potomnych w porównaniu z obiektem kontrolnym.

LITERATURA

- Brune S., Melo P. E., Avila A. C. 1998. Embrapa/CIP-PP018 and Embrapa/CIP-PP039: new potato clones resistant to early blight, 1997. Horticultura-Brasileira 16, 1: 90 — 91.
- Campo R. O., Zambolim L., Costa L. C. 2007. Potato early blight epidemics and comparison of methods to determine its initial symptoms In a potato field. Rev. Fac. Nal. Agr. Medellin. Vol. 60, No. 2: 3877 — 3890.
- Coffey M. D., Whitbread R., Marshall C. 1975. The effect of early blight disease caused by *Alternaria solani* on shoot growth of young tomato plants. Ann. Appl. Biol. 80: 17 — 26.
- Christ B. J., Maczuga S. A. 1989. the effect of fungicide schedules and inoculum levels on early blight severity and yield of potato. Plant Disease 73: 695 — 698.
- Gent D. H., Schwartz H. E. 2003. Validation of potato early blight disease forecast models for Colorado using various sources of meteorological data. Plant Dis. 87: 78 — 84.
- Harrison M.D., Livingston J.G., Oshima N. 1965. Control of potato early blight in Colorado. Fungicide spray schedules in relation to the epidemiology of the disease. Am.Potato-J., 42, 11: 319 — 327.
- Holm A.L. 2002 Early blight www.ndsu.nodak.edu/instruct/gudmesta/lateblight1/blight1.html
- Hooker W. J. 1981. Compendium of Potato Diseases. APS publisher. 125 s.
- Kapsa J. 2007. Próba zastosowania pułapki Burkarda do określania składu gatunkowego grzyba *Alternaria* w uprawach ziemniaka. W: Nasiennictwo i ochrona ziemniaka. Konf. Nauk. - szkol. Kołobrzeg, 19–20 kwietnia 2007. IHAR ZNiOZ Bonin: 65 — 69.
- Kapsa J. 2009. Effectiveness of some fungicides in control of *Alternaria alternata* and *Alternaria solani*. PPO-Special Report Hamar, Norway No. 13: 127 — 133.
- Kapsa J. 2010. Modern fungicides in control of early and late blight in Polish experiments. Special report no. 14 (2010) Proceedings of the 12 EuroBlight Workshop. Arras, France 3–6 May 2010: 305 — 310.
- Kapsa J., Osowski J. 2003. Efficacy of some selected fungicides against early blight (*Alternaria* spp.) on potato crops. J. Plant Prot. Res. 43, 2: 113 — 120.
- Kapsa J., Osowski J. 2004. Occurrence of early blight (*Alternaria* spp.) at potato crops and results of its chemical control in Polish experiences. Special Report no.10 (2004) Proc.8th Workshop of an European network for development of an integrated control strategy of potato late blight. Jersey, England-France, 31 March - 4 April 2004. Eds. C. E. Westerdijk & H.T.A.M. Schepers, Applied Plant Research Wageningen, PPO 333: 101 — 107.
- Khan A. M., Rashid A., Jawed Iqbal M. 2003. Evaluation of foliar applied fungicides against early blight of potato under field conditions. Intern. J. Agric. Biol. 5, 4: 543 — 544.
- Osowski J. 2004. Skuteczność różnych fungicydów zawierających mankozeb w ograniczaniu rozwoju alternariozy ziemniaka w badaniach polowych i laboratoryjnych. Biul. IHAR 233: 295 — 302.
- Osowski J. 2007. Termin wystąpienia pierwszych objawów alternariozy ziemniaka w zależności od roku i województwa. Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin Vol. 47 (2): 216 — 223.
- Osowski J. 2012. Badania nad występowaniem alternariozy (*Alternaria* spp) na plantacjach ziemniaka w zależności od warunków meteorologicznych i możliwości ograniczania jej rozwoju. Rozp. dok. IHAR-PIB ZNiOZ Bonin: 119 s.

- Osowski J., Bernat E. 2009. Skuteczność wybranych fungicydów w ochronie przed alternariozą ziemniaka (*Alternaria* sp.) w zależności od rejonu kraju. Progress In Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin, 49 (I), 2009: 246 — 251.
- Perez W., Forbes G. 2010. Technical Manual Potato Late Blight. International Potato Center (CIP) Lima, Peru: 36 pp.
- Pietkiewicz J. 1972. Badanie odporności ziemniaków na zarazę ziemniaczaną (*Phytophthora infestans* de By.) na odciętych liściach. Biul. Inst. Ziem. 9: 19 — 32.
- Pscheidt J. W., Stevenson W. R. 1988. The critical period for control of early blight (*Alternaria solani*) of potato. Am. Potato J. 65: 425 — 438.
- Rodriguez N.V., Kowalski B., Rodriguez L.G., Caraballos I.B., Suarez M.A., Perez P.O., Quintana C.R., Gonzalez N., Ramos R.Q. 2007. *In vitro* and *ex vitro* Selection of Potato Plantlets for resistance to Early Blight. J. Phytopathology 155: 582 — 586.
- Schuller E., Habermeyer J. 2002. First results from an *Alternaria solani* Field trial in potatoes. PPO-Special Report no. 8. Lelystad, The Netherlands: 265 — 269.
- Weber Z. 2011. Choroby powodowane przez grzyby z typu *Ascomycota* (workowce). W: Fitopatologia t 2 (Kryczyński S., Weber Z. red.) PWRiL Poznań: 319 — 320.
- van der Waals J. E., Denner F.D.N., van Rij N., Korsten L. 2003 a. Evaluation of PLANT-plus, a decision support system for control of early blight on potatoes in South Africa. Crop Prot. 22: 821 — 828.
- van der Waals J.E., Korsten L., Aveling T.A.S., Denner F.D.N. 2003b. Influence of Environmental Factors on Field Concentrations of *Alternaria solani* Conidia above a South African Potato Crop. Phytoparasitica 31 (4): 353 — 364.
- van der Waals J.E., Korsten L., Denner F.D.N. 2004. Early blight in South Africa: Knowledge, attitudes and control practices of potato growers. Potato Research, 46: 27 — 37.
- Volkov V., Tete L. G. 1974. Fitoftoroz i makrosporioz kartofelja. Kartofel' i Ovošči 6: 34.
- Volutoglou I., Kalogerakis S. N. 2000. Effects of inoculum concentration, wetness duration and plant age on development of early blight (*Alternaria solani*) and on shedding of leaves in tomato plants. Plant Pathol. 49: 339 — 345.
- Wiik L. 2004. Potato early blight in Sweden: Results from recent field trials. Special Report no. 10. Proc. 8 Workshop of an European network for development of an integrated control strategy of potato late blight. Jersey, England-France, 31 March — 4 April 2004. Eds. C.E. Westerdijk, H. T. A. M. Schepers, App. Plant Res. Wageningen: 109 — 118.

CEZARY TRAWCZYŃSKI

Zakład Agromonii Ziemiaka

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB, Oddział Jadwisin

Zastosowanie makro- i mikroelementowych nawozów chelatowych w dolistnym dokarmianiu ziemniaka

The use of macro- and microelement chelating fertilizers in foliar application to potato

W pracy przedstawiono wyniki 3-letnich badań nad wpływem dolistnego dokarmiania makro- i mikroelementowymi nawozami chelatowymi typu Ekosole na plon i jakość bulw ziemniaka w warunkach zróżnicowanego nawożenia dogłębowego azotem (50, 100 kg N·ha⁻¹). Badania przeprowadzono na glebie lekkiej, na której przyorano słomę i międzyplon z gorczycy białej. W badaniach stosowano jednakową dawkę fosforu — 19,6 kg P·ha⁻¹ i potasu — 99,6 kg K·ha⁻¹, wynikającą z zasobności gleby w te składniki. Nawożenie mineralne dogłębowe, bez dolistnego dokarmiania stanowiło obiekt kontrolny. Badania wykazały istotny wzrost plonu bulw (średnio o 15%) pod wpływem zabiegów dolistnego dokarmiania Ekosolami przeprowadzonych 3-krotnie w okresie wegetacji w porównaniu do obiektu kontrolnego. Największy wzrost plonu bulw stwierdzono po zastosowaniu wieloskładnikowego nawozu Ekosol K (z makro- i mikroelementami), a najmniejszy w przypadku makroelementowego nawozu Ekosol PK. Plon po zastosowaniu dawki 100 kg N·ha⁻¹ bez dolistnego dokarmiania był zbliżony do uzyskanego pod wpływem dawki 50 kg N·ha⁻¹ uzupełnionym dolistnym dokarmianiem Ekosolem K. Pod wpływem dolistnego dokarmiania uzyskano wzrost udziału w plonie bulw dużych (powyżej 60 mm), zmniejszenie udziału w plonie bulw zdeformowanych i porażonych parchem zwykłym oraz większą zawartość skrobi i witaminy C w bulwach w porównaniu do obiektu kontrolnego.

Słowa kluczowe: dawki azotu, dolistne dokarmianie, jakość bulw, plon, warunki wegetacji, ziemniak

The results of three-year study on the influence of foliar application of Ekosol macro- and microelement chelating fertilizers, together with nitrogen soil fertilization at different doses (50, 100 kg N·ha⁻¹) on the yield and tubers quality were presented. The experiment was carried out on light soil, to which straw and aftercrop of white mustard were ploughed in. In these experiments constant levels of phosphorus — 19.6 kg P·ha⁻¹ and potassium — 99.6 kg K·ha⁻¹ were applied on the basis of the evaluated soil fertility. The soil mineral fertilization without foliar application was a control object. Significant increasing of the yield (mean about 15%) was obtained in combination with triple foliar application of Ekosole in comparison to the control object. The highest increase in tuber yield was

observed after application of multicomponent fertilizer Ekosol K (with macro- and microelements) and the least - in case of macroelement fertilizer Ekosol PK. The yield obtained after application of dose of 100 kg N·ha⁻¹ without any foliar applications was similar to the yield obtained at dose of 50 kg N·ha⁻¹ supplemented by foliar application of Ekosol K. The foliar application effect on increasing share of big tubers (above 60 mm), decreasing share of tubers with deformations, common scab infestation and higher content of starch and vitamin C in comparison to control object was observed.

Key words: doses of nitrogen, foliar application, quantity of tubers, yield, vegetation conditions, potato

WSTĘP

Nawożenie stosowane w produkcji ziemniaka wpływa na wysokość nakładów ponoszonych na jego uprawę. Szacuje się, że rolnik przeznaczą na nawozy około 20% środków przeznaczonych na produkcję, a udział nawozów w przyroście plonów, w zależności od poziomu dawek wynosi od 50 do 70% (Chotkowski, 2009). W ostatnim czasie notuje się dość szybki wzrost cen doglebowych nawozów mineralnych, a ziemniak należy do roślin o dużych potrzebach pokarmowych oraz mniejszym w porównaniu do innych gatunków uprawy polowej wykorzystaniem składników z gleby (Fotyma, 1997; GUS, 2011; Nowacki, 2009). Te aspekty ekonomiczno-przyrodnicze w określonych warunkach mogą się przyczyniać do zakłócania prawidłowego stanu odżywienia roślin, a w konsekwencji do obniżenia plonu. Ponadto w ostatnich latach zdarzają się niekorzystne warunki pogodowe w okresie wegetacji, co utrudniać może pobieranie przez rośliny składników pokarmowych z gleby. Objawiać to się może widocznym lub niewidocznym niedoborem składników na roślinach i przyczyniać do obniżenia plonu, co uzasadnia uzupełnienie ich poprzez aplikację dolistną (Urban, 1997; Szewczuk, Michałojć, 2003; Grzyś, 2004). W większości obecnie produkowanych nawozów dolistnych składniki pokarmowe są schelatowane, najczęściej związkiem EDTA (kwas etylenodiaminotetraoctowy). Formy chelatowe związków są dobrze rozpuszczalne w wodzie oraz łatwo i szybko przyswajalne przez rośliny. Stosowanie dolistne powoduje, że efektywniejsze jest działanie składników i zużywa się niewielkie ilości nawozu w porównaniu z nawożeniem doglebowym. Ponadto nawozy stosowane dolistnie służą szybkiemu uzupełnianiu niedoboru składników w okresie wegetacji roślin (Czuba, 2000). Efekty dolistnego dokarmiania kształtujące wielkość plonu i jakość bulw ziemniaka określa się dość różnie, na co zasadniczy wpływ mają warunki środowiska w czasie wegetacji (Roztropowicz, 1989; Boligłowa, 2003; Nowak i in., 2004; Szewczuk, 2009).

Celem badań było określenie wpływu nawozów dolistnych z zawartością makro- i mikroelementów stosowanych w formie chelatów na produktywność ziemniaka oraz wybrane cechy jakościowe bulw. Ponadto celem badań było również określenie możliwości zastępowania części podstawowego nawożenia mineralnego dokarmianiem dolistnym i wykazanie czy w przypadku redukcji podstawowej dawki azotu mineralnego można ją wyrównać dolistnie w czasie wegetacji.

MATERIAŁ I METODY

W Instytucie Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB Oddział w Jadwisinie w latach 2011–2013 przeprowadzono ściśle badania polowe z zastosowaniem w uprawie ziemniaka nawozów dolistnych z grupy Ekosoli: Ekosol PK, Ekosol K, Ekosol Mn, Ekosol Zn. Zwarte w nawozach składniki schelatowane były przez EDTA i skompleksowane naturalnymi kwasami organicznymi.

Badania przeprowadzono na glebie lekkiej, o składzie mechanicznym piasku gliniastego mocnego. Gleba w poszczególnych latach badań miała kwaśny odczyn, wysoką zasobność w przyswajalny fosfor i magnez, średnią w potas oraz mangan, cynk i miedź, natomiast niski był poziom żelaza i boru (tab. 1). Zawartość próchnicy w glebie była niska i wynosiła poniżej 1%.

Tabela 1

Zawartość przyswajalnych form makro- i mikroelementów w glebie ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) oraz odczyn gleby w latach 2011–2013

Soil content of available forms of macro- and microelements in the soil ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) and soil pH in the years 2011–2013

Rok Year	pH w KCl pH in KCl	Zawartość w glebie ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) Content in the soil ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)							
		P	K	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B
2011	5,0	67	89	50	650	100	2,0	2,7	0,2
2012	5,5	78	108	70	700	151	3,5	2,9	0,3
2013	5,3	74	98	57	575	110	3,6	3,7	0,3

Doświadczenia zakładano w układzie losowanych bloków w trzech powtórzeniach. Wielkość poletka wynosiła $14,85 \text{ m}^2$. Badanymi czynnikami doświadczenia były dwa poziomy doglebowego nawożenia mineralnego azotem — 50 i $100 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, na których stosowano zabiegi dolistnego dokarmiania w/w nawozami oraz warunki pogodowe okresów wegetacji w latach 2011, 2012, 2013. Kontrolę w badaniach stanowił obiekt bez dolistnego dokarmiania.

Warunki pogodowe w okresie wegetacji oceniono na podstawie sumy opadów i średniej temperatury powietrza (tab. 2). Analizowane lata zaliczały się do mokrych (sumy miesięcznych opadów za cały okres wegetacji, czyli od kwietnia do września włącznie, w każdym roku badań były większe od średniej z wielolecia) i chłodnych (średnia miesięczna temperatura powietrza za cały okres wegetacji była w poszczególnych latach mniejsza od średniej z wielolecia), ale rozkład zarówno opadów, jak i temperatury powietrza w poszczególnych miesiącach były zróżnicowane. W latach 2011 i 2013 w miesiącu lipcu zanotowano duże odchylenia od średniej z wielolecia opadów, bardzo niekorzystne dla rozwoju roślin ziemniaka i gromadzenia plonu bulw. W 2011 roku, w początkowym okresie wzrostu i rozwoju roślin ziemniaka było sucho i umiarkowanie ciepło (maj, czerwiec), w okresie gromadzenia plonu bulw wystąpiły obfite opady deszczu i było zimno (lipiec), a następnie do końca wegetacji roślin ziemniaka utrzymywał się okres posuchy (sierpień, wrzesień). W roku 2012 w okresie wzrostu i rozwoju roślin ziemniaka oraz gromadzenia plonu bulw (czerwiec, lipiec, sierpień) zanotowano dostateczną ilość

opadów (powyżej średniej z wielolecia) oraz było umiarkowanie chłodno (temperatury powietrza poniżej średniej z wielolecia). Z kolei rok 2013 był bardzo wilgotny do końca czerwca, lipiec suchy, a w kolejnych miesiącach wegetacji opady były powyżej średniej z wielolecia. Ponadto w miesiącach maj, czerwiec, lipiec i sierpień było ciepło (temperatura powietrza utrzymywała się powyżej średniej z wielolecia).

Tabela 2

Opady i temperatury powietrza okresów wegetacji w latach 2011–2013
Rainfalls and air temperatures of the vegetation periods in the years 2011–2013

Rok Year	Miesiące — Months						
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV-IX
Suma opadów (mm) — Sum of rainfalls (mm)							
1967–2013	36,0	57,0	76,0	77,0	60,0	49,0	355,0
2011	26,8	33,1	44,8	278,1	57,1	18,5	458,4
Odchylenie — Deviation	-9,2	-23,9	-31,2	+201,1	-2,9	-30,5	+103,4
2012	54,3	52,4	96,6	92,2	87,2	26,9	409,6
Odchylenie — Deviation	+18,3	-4,6	+20,6	+15,2	+27,2	-22,1	+54,6
2013	51,1	130,0	105,4	17,1	97,7	94,0	495,3
Odchylenie — Deviation	+15,1	+73,0	+29,4	-59,9	+37,7	+45,0	+140,3
Średnia temperatura powietrza (°C) — Mean of air temperature (°C)							
1967–2013	7,8	13,6	16,5	18,4	17,7	13,1	14,5
2011	9,7	13,2	17,5	17,0	15,3	13,7	14,4
Odchylenie — Deviation	+1,9	-0,4	+1,0	-1,4	-2,4	+0,6	-0,1
2012	7,9	13,9	15,6	15,2	17,4	12,8	13,8
Odchylenie — Deviation	+0,1	+0,3	-0,9	-3,2	-0,3	-0,3	-0,7
2013	6,3	15,7	17,2	18,7	18,2	10,3	14,4
Odchylenie — Deviation	-1,5	+2,1	+0,7	+0,3	+0,5	-2,7	-0,6

Nawożenie organiczne stanowiła pocięta i przyorywana po żniwach słoma pszenna w ilości około 5 t·ha⁻¹ z dodatkiem 1 kg N na 100 kg słomy oraz jesienią zielona masa międzyplonu ścierniskowego z gorczycy białej w ilości 15–20 t·ha⁻¹. Nawożenie mineralne fosforem (superfosfat wzbogacony — 17,4% P) i potasem (sól potasowa — 49,8% K) w oparciu o zasobność gleby w przyswajalne formy tych składników stosowano jesienią przed wykonaniem orki przedzimowej w dawce 19,6 kg P·ha⁻¹ (wysoka zasobność) i 99,6 kg K·ha⁻¹ (średnia zasobność). Nawożenie mineralne azotem (saletra amonowa — 34% N) stosowano wiosną bezpośrednio przed sadzeniem bulw. Zabiegi dolistnego dokarmiania Ekosolami wykonywano trzykrotnie w okresie wegetacji. Pierwszy zabieg zastosowano w okresie zwarcia roślin ziemniaka w międzyrzędziach (faza BBCH 35), drugi w fazie tworzenia pąków kwiatowych (faza BBCH 50), natomiast trzeci po kwitnieniu (faza BBCH 70). Do każdego zabiegu stosowano dawkę 1 dm³·ha⁻¹ nawozu Ekosol K, Ekosol Mn i Ekosol Zn oraz 6 dm³·ha⁻¹ nawozu Ekosol PK rozpuszczanych w 300 dm³·ha⁻¹ wody. Zawartości składników w zastosowanych nawozach dolistnych przedstawiono w tabeli 3.

Badania przeprowadzono na średnio wczesnej jadalnej, zalecanej do produkcji frytek odmianie Finezja. Bulwy sadzano ręcznie w III dekadzie kwietnia w rozstawie 75 × 33 cm, a zbierano w III dekadzie września. Liczba roślin na poletku do zbioru wynosiła 30. Podczas zbioru określono plon bulw z każdego poletka oraz pobierano 2 × 5-kilogramowe próby w celu określenia struktury plonu (wagowo frakcje bulw poniżej 3,5 cm; od 3,5 do

5,0 cm; od 5,0 do 6,0 cm i powyżej 6,0 cm), udziału bulw z wadami zewnętrznymi w plonie (procentowy udział bulw zdeformowanych, zazielenionych, porażonych parchem zwykłym) oraz zawartości skrobi, azotanów, witaminy C i suchej masy w bulwach.

Tabela 3

Zawartość składników pokarmowych w badanych Ekosolach (% wagowe)
The contents of nutrients in the investigated Ekosoles (% of weight)

Składnik Nutrition	Ekosol PK	Ekosol K	Ekosol Mn	Ekosol Zn
Azot (N) — Nitrogen	—	15,0	—	—
Fosfor (P ₂ O ₅) — Phosphorus	10,0	—	—	—
Potas (K ₂ O) — Potassium	20,0	—	—	—
Magnez (MgO) — Magnesium	—	2,0	—	—
Bor (B) — Boron	—	0,32	—	—
Miedź (Cu) — Copper	—	0,5	—	—
Żelazo (Fe) — Iron	—	0,5	—	—
Mangan (Mn) — Manganese	—	0,7	6,0	—
Cynk (Zn) — Zinc	—	1,0	—	7,6
Molibden (Mo) — Molybdenum	—	0,004	—	—

Zawartość skrobi oznaczono metodą hydrostatyczną na podstawie pomiaru gęstości bulw ważonych w powietrzu i pod wodą, posługując się wagą elektroniczną. Analizę zawartości azotanów (NO₃⁻) wykonywano reflektometrycznie przy użyciu urządzenia RQ Flex Merck według metodyki Merck. Zawartość witaminy C określono jako sumę kwasu L-askorbinowego i dehydroaskorbinowego metodą Tillmansa za pomocą miareczkowania roztworem 2,6-dwuchlorofenolindofenolu. Suchą masę oznaczono metodą suszarkową, poprzez suszenie zmielonych próbek w temperaturze 60°C, a następnie dosuszanie w temperaturze 105°C.

Wyniki doświadczeń opracowano posługując się programem statystycznym SAS Enterprise Guide. Analizę porównania średnich przy poziomie $p = 0,05$ przeprowadzono z wykorzystaniem testu Tukeya.

WYNIKI I DYSKUSJA

Analiza statystyczna wykazała istotne zróżnicowanie plonu bulw w odniesieniu do warunków pogodowych w okresie wegetacji, dawki podstawowego nawożenia doglebowego azotem oraz pomiędzy zastosowanymi nawozami dolistnymi, a także istotny przyrost plonu bulw pod wpływem stosowanych nawozów dolistnych w stosunku do kontroli, obiektu bez dolistnego dokarmiania (tab. 4).

Najbardziej sprzyjający gromadzeniu plonu bulw był rok 2012, w którym średni uzyskany plon bulw wyniósł 56 t·ha⁻¹, w roku 2011 stanowił 37,9 t·ha⁻¹, a najmniej korzystny był 2013 rok, w którym uzyskano plon bulw na poziomie 32,5 t·ha⁻¹ (tab. 4). Należy przy tym podkreślić, że średnio dla użytych nawozów efekt plonotwórczy dolistnego dokarmiania w roku sprzyjającym gromadzeniu plonu bulw stanowił około 13%, a w roku najbardziej niekorzystnym wyniósł około 20%, co potwierdziło zasadność dolistnego dokarmiania w warunkach wystąpienia niekorzystnego układu warunków

glebowo-klimatycznych w okresie wegetacji roślin ziemniaka jako szybkiego i efektywnego sposobu uzupełnienia składników (Kolbe, Stephan-Beckmann, 1997; Grześkiewicz, Trawczyński, 1998; Świerczewska, Sztuder, 2004; Szewczuk, 2009; Trawczyński, 2013).

Tabela 4

Wpływ dawki azotu i rodzaju nawozu dolistnego na plon bulw ($t \cdot ha^{-1}$) w latach 2011–2013
The influence of nitrogen doses and kind of foliar fertilizer on the tuber yield ($t \cdot ha^{-1}$) in the years 2011–2013

Rodzaj nawozu Kind of foliar fertilizer	Dawka N $kg \cdot ha^{-1}$ Dose of N $kg \cdot ha^{-1}$		Lata Years			Średnia Mean
	50	100	2011	2012	2013	
Obiekt kontrolny* — Control object*	33,9	41,1	34,0	50,6	28,0	37,5
Ekosol PK	39,0	44,3	36,9	56,4	31,7	41,7
Ekosol K	42,5	48,0	39,3	60,2	36,3	45,2
Ekosol Mn	38,9	47,6	36,3	58,5	34,9	43,3
Ekosol Zn	38,9	47,0	43,0	54,5	31,4	43,0
Średnia — Mean	38,6	45,6	37,9	56,0	32,5	

NIR_{0,05} dla dawki N; LSD_{0,05} for nitrogen of N — 1,2

NIR_{0,05} dla rodzaju nawozu; LSD_{0,05} for kind of foliar fertilizer — 2,0

NIR_{0,05} dla lat; LSD_{0,05} for years — 1,8

*-bez dolistnego dokarmiania

*-without foliar application

Nawożenie dolistnie wpływało na plon dodatnio, zarówno przy nawożeniu podstawowym 50 jak i 100 $kg N \cdot ha^{-1}$, ale większy przyrost plonu bulw pod wpływem dolistnego dokarmiania Ekosolem PK i Ekosolem K stwierdzono przy mniejszym poziomie doglebowej dawki azotu, niż przy 100 $kg N \cdot ha^{-1}$. Podobną zależność uzyskał Jabłoński (2009) stosując dolistnie wieloskładnikowy nawóz Sonatę Z. Na niskim poziomie nawożenia doglebowego azotem 80 $kg N \cdot ha^{-1}$ stwierdził zwiększenie plonu bulw o 11%, a przy zwiększeniu nawożenia doglebowego o 50% zwyczajka plonu zmalała do 9,2%. Świadczyć to może w przypadku niektórych nawozów, o większym pobieraniu składników podawanych przez liście w warunkach niedożywienia roślin wynikającego z obniżenia podstawowej dawki azotu. Ponadto w niniejszych badaniach wykazano, że po zastosowaniu dawki 50 $kg N \cdot ha^{-1}$ w połączeniu z dolistnym dokarmianiem Ekosolami PK, Mn i Zn uzyskano mniejszy o około 2 $t \cdot ha^{-1}$ plon bulw, co stanowiło około 5% w stosunku do dawki 100 $kg N \cdot ha^{-1}$ nieuzupełnionej dolistnym dokarmianiem tymi nawozami. Natomiast po zastosowaniu dawki 50 $kg N \cdot ha^{-1}$ uzupełnionej dolistnym dokarmianiem Ekosolem K uzyskano plon większy niż na dawce 100 $kg N \cdot ha^{-1}$ bez stosowania dolistnego dokarmiania. Wskazuje to na możliwość częściowego obniżenia doglebowej dawki azotu w warunkach stosowania nawozów dolistnych, szczególnie Ekosolu K i jest potwierdzeniem wcześniejszych badań własnych odnośnie użycia różnego rodzaju nawozów dolistnych w warunkach zróżnicowanego poziomu nawożenia azotem (Grześkiewicz, Trawczyński, 1998; Grześkiewicz, Trawczyński, 1999; Trawczyński, 2004).

Średni wzrost plonu bulw w stosunku do obiektu kontrolnego w latach prowadzenia badań wahał się od 11% po zastosowaniu Ekosolu PK do 20% pod wpływem dolistnego dokarmiania Ekosolem K, który w składzie, oprócz dodatku podstawowych mikro-

elementów (manganu, cynku, miedzi, boru, żelaza i molibdenu) zawierał znaczny udział azotu, składnika w największym stopniu wpływającego na efektywność plonotwórczą bulw. Działanie azotu i Ekosolu K potwierdzają badania innych autorów (Roztropowicz, Wierzejska-Bujakowska, 1993; Jabłoński 2004; Trawczyński, 2007 i 2008; Trawczyński, Wierzbicka, 2011). Plon bulw po zastosowaniu nawozów zawierających pojedyncze mikroelementy, czyli Ekosolu Mn oraz Ekosolu Zn był większy o około 14–15% w porównaniu do wariantu bez dolistnego dokarmiania i nie różnił się istotnie w odniesieniu do plonu uzyskanego po zastosowaniu dolistnego nawozu fosforowo-potasowego, czyli Ekosolu PK. Nowak i in. (2004) wykazali wyższą plon bulw o ponad 8% w porównaniu do obiektu kontrolnego, opryskując rośliny ziemniaka cynkiem w formie roztworu siarczanu cynku oraz manganem w formie siarczanu manganu. W badaniach Jabłońskiego (2006), prowadzonych na glebie średniej, trzykrotne dolistne nawożenie Ekosolem K zwiększyło plon bulw o 11,5%. Podobny efekt plonowania Jabłoński (2007) uzyskał stosując dolistnie nawóz fosforowo-potasowy Alkalin PK. Również Szewczuk (2009) wykazał wysoce istotny wzrost plonu bulw po dolistnym zastosowaniu dolistnym nawozów fosforowo-potasowych. Natomiast Bogucka i in. (2010) oraz Wróbel (2012) stwierdzili, że dodatkowe nawożenie dolistne nie zawsze zwiększa plon bulw, co zależy od warunków glebowych stanowiska, na którym prowadzone są badania.

Poziom nawożenia azotem, rodzaj nawozu dolistnego oraz warunki termiczno-wodne okresu wegetacji roślin miały istotny wpływ na strukturę plonu bulw. Pod wpływem dawki $100 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ uzyskano istotnie mniejszy udział bulw drobnych w plonie, o średnicy do 35 mm i bulw średnich od 35 do 50 mm oraz istotnie większy udział w plonie bulw dużych, o średnicy powyżej 60 mm w porównaniu do dawki $50 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ (tab. 5). Potwierdzają to dotychczasowe doniesienia o oddziaływaniu wzrastającego nawożenia azotem, szczególnie na udział bulw dużych w plonie (Trawczyński, 2007 i 2008). W odniesieniu do analizowanych okresów wegetacji uzyskano również istotne zróżnicowanie frakcji bulw do 35, 35–50 i powyżej 60 mm. W latach niesprzyjających gromadzeniu plonu bulw (2011 i 2013) uzyskano istotny wzrost udziału bulw w plonie do 35 i od 35 do 50 mm, natomiast w roku 2012 zanotowano istotny wzrost, o ponad 30% udziału bulw w plonie o średnicy powyżej 60 mm, niż w dwóch pozostałych latach (tab. 5). Pod wpływem nawozów dolistnych zawierających pojedyncze mikroelementy (Ekosol Mn i Ekosol Zn) uzyskano istotny wzrost udziału bulw dużych w plonie, kosztem zmniejszenia udziału bulw średnich w odniesieniu do obiektu kontrolnego. Natomiast struktura plonu bulw pomiędzy pozostałymi zastosowanymi nawozami dolistnymi, Ekosolem PK i Ekosolem K nie różniła się istotnie, chociaż stwierdzono podobne tendencje odnośnie wzrostu określonych frakcji bulw w plonie jak w przypadku Ekosoli Mn i Zn (tab. 5). Zwiększenie plonu bulw dużych (powyżej 60 mm) po zastosowaniu dolistnego dokarmiania różnymi nawozami wykazali Jabłoński (2007 i 2009) oraz Wróbel (2012).

Tabela 5

Wpływ dawki azotu i rodzaju nawozu dolistnego na strukturę plonu bulw (% wagowe) w latach 2011–2013
The influence of nitrogen doses and kind of foliar fertilizer on the structure of tuber yield
(% of weight) in the years 2011–2013

Wyszczególnienie Specification	Procent bulw o średnicy Percent of tubers in diameter:			
	< 35 mm	35–50 mm	50–60 mm	> 60 mm
Dawka azotu (kg·ha ⁻¹) — Dose of nitrogen (kg·ha ⁻¹)				
50	6,6	38,2	30,1	25,1
100	3,9	30,3	30,6	35,2
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}	1,3	3,1	r.n.–n.s.	3,0
Rodzaj nawozu — Kind of fertilizers				
Obiekt kontrolny* — Control object*	5,6	39,3	30,5	24,6
Ekosol PK	5,1	35,4	32,0	27,5
Ekosol K	4,3	34,1	31,8	29,8
Ekosol Mn	4,9	32,7	30,0	32,4
Ekosol Zn	6,3	32,2	27,5	34,0
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}	r.n.–n.s.	6,1	r.n.–n.s.	7,2
Lata — Years				
2011	6,3	45,2	29,6	18,9
2012	2,1	18,2	27,9	51,8
2013	8,2	40,9	33,3	17,6
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}	2,1	4,2	r.n.–n.s.	5,3

*-bez dolistnego dokarmiania

*- without foliar application

Ocena występowania wad zewnętrznych bulw wykazała, że najwięcej było bulw zdeformowanych, a najmniej bulw porażonych parchem zwykłym (tab. 6). Największe różnice w występowaniu wad zewnętrznych bulw wynikały z przebiegu warunków pogodowych w analizowanych latach badań. Udział w plonie bulw zdeformowanych wahał się od 6% w 2011 roku, w którym kiedy miesiąc lipiec był bardzo wilgotny do około 16% w 2013 roku, gdy w lipcu zanotowano znaczny niedobór opadów. Lata 2011, 2012 z nadmiarem opadów w miesiącu lipcu przyczyniły się do zielenienia bulw, czego nie stwierdzono w 2013 roku, gdy lipiec był suchy. Ponadto przy niedoborze opadów w okresie tuberyzacji (w czerwcu 2011 roku) wystąpiło porażenie bulw parchem zwykłym. Z badań Głuskiej (2000) nad wpływem suszy na jakość bulw, występującej w różnych okresach wynikało, że nasilenie wad wiązało się z późniejszą suszą, z wyjątkiem porażenia parchem zwykłym, co potwierdzono w przeprowadzonych badaniach.

Wykazano, że zastosowane nawożenie mineralne azotem nie różnicowało istotnie udziału w plonie bulw z wadami zewnętrznymi, natomiast po zastosowaniu Ekosolu PK, Ekosolu K i Ekosolu Mn stwierdzono istotnie mniej bulw zdeformowanych oraz w przypadku Ekosolu K i Ekosolu Mn również istotnie mniejszy udział w plonie bulw porażonych parchem zwykłym niż na obiekcie kontrolnym. Wróbel (2012) stwierdził, że nawóz dolistny z zawartością makro- i mikroelementów nie miał istotnego wpływu na porażenie bulw parchem zwykłym. W przeprowadzonych badaniach własnych, pomimo udowodnionego statystycznie zróżnicowania pomiędzy zastosowanymi nawozami dolistnymi, porażenie bulw parchem zwykłym było niewielkie.

Tabela 6

Wpływ dawki azotu i rodzaju nawozu dolistnego na wady zewnętrzne bulw (% wagowe) w latach 2011–2013
The influence of nitrogen doses and kind of foliar fertilizer on the share in yield of tubers with outside faults (% of weight) in the years 2011–2013

Wyszczególnienie Specification	Wady Faults			
	deformacje deformations	zazielenienia greens	parch zwykły common scab	suma sum
Dawka azotu (kg·ha ⁻¹) — Dose of nitrogen (kg·ha ⁻¹)				
50	10,7	4,3	0,5	15,5
100	10,6	4,1	0,6	15,3
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}	r.n.–n.s.	r.n.–n.s.	r.n.–n.s.	r.n.–n.s.
Rodzaj nawozu — Kind of fertilizers				
Obiekt kontrolny* — Control object*	11,7	4,3	0,8	16,8
Ekosol PK	10,0	3,7	0,8	14,5
Ekosol K	8,9	4,2	0,4	13,5
Ekosol Mn	9,1	4,5	0,2	13,8
Ekosol Zn	13,4	4,4	0,7	18,5
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}	1,5	r.n.–n.s.	0,3	1,9
Lata — Years				
2011	6,0	4,3	1,7	12,0
2012	9,9	8,4	0,0	18,3
2013	15,9	0,0	0,0	15,9
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}	1,0	0,6	0,2	1,3

*- bez dolistnego dokarmiania

*- without foliar application

Analiza jakości bulw pod kątem ich składu chemicznego wykazała istotne różnice zawartości skrobi, suchej masy, witaminy C i azotanów w bulwach. Istotne zróżnicowanie zawartości skrobi i witaminy C w bulwach odnosiło się do układu warunków pogodowych i badanych nawozów dolistnych (tab. 7, 9), zawartości azotanów dotyczyło poziomu nawożenia azotem i przebiegu pogody w okresie wegetacji (tab. 10), natomiast zawartości suchej masy tylko do badanych lat (tab. 8).

Tabela 7

Wpływ dawki azotu i rodzaju nawozu dolistnego na zawartość skrobi w bulwach (%) w latach 2011–2013

The influence of nitrogen doses and kind of foliar fertilizer on the content of starch in tubers (%) in the years 2011–2013

Nawóz Fertilizer	Dawka N kg·ha ⁻¹ Dose of N kg·ha ⁻¹		Lata Years			Średnio Mean
	50	100	2011	2012	2013	
Obiekt kontrolny* — Control object*	14,3	14,3	14,8	15,4	12,6	14,3
Ekosol PK	14,6	14,6	15,2	15,6	13,0	14,6
Ekosol K	14,7	14,6	15,0	16,1	12,9	14,7
Ekosol Mn	14,8	14,8	15,7	15,9	12,7	14,8
Ekosol Zn	14,7	14,8	14,8	16,4	13,1	14,8
Średnia — Mean	14,6	14,6	15,1	15,9	12,9	
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}	r.n.–n.s.		0,2			0,2

*-bez dolistnego dokarmiania

*- without foliar application

Tabela 8

Wpływ dawki azotu i rodzaju nawozu dolistnego na zawartość suchej masy w bulwach (%) w latach 2011–2013

The influence of nitrogen doses and kind of foliar fertilizer on the content of dry matter in tubers (%) in the years 2011–2013

Nawóz Fertilizer	Dawka N kg·ha ⁻¹ Dose of N kg·ha ⁻¹		Lata Years			Średnio Mean
	50	100	2011	2012	2013	
Obiekt kontrolny* — Control object*	23,1	23,0	23,6	24,9	20,7	23,0
Ekosol PK	23,4	23,7	23,8	25,7	21,2	23,5
Ekosol K	23,3	23,1	23,1	25,1	21,4	23,2
Ekosol Mn	23,4	23,0	23,2	25,2	21,4	23,2
Ekosol Zn	23,4	23,1	23,3	25,6	21,0	23,3
Średnia — Mean	23,3	23,2	23,4	25,3	21,1	
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}	r.n.—n.s.		0,2			r.n.—n.s.

*-bez dolistnego dokarmiania

*- without foliar application

Tabela 9

Wpływ dawki azotu i rodzaju nawozu dolistnego na zawartość witaminy C w bulwach (mg·kg⁻¹ świeżej masy) w latach 2011–2013

The influence of nitrogen doses and kind of foliar fertilizer on the content of vitamin C in tubers (mg·kg⁻¹ fresh mass) in the years 2011–2013

Nawóz Fertilizer	Dawka N kg·ha ⁻¹ Dose of N kg·ha ⁻¹		Lata Years			Średnio Mean
	50	100	2011	2012	2013	
Obiekt kontrolny* — Control object*	163	158	147	157	178	161
Ekosol PK	176	176	157	185	187	176
Ekosol K	170	175	149	186	182	172
Ekosol Mn	177	171	146	180	196	174
Ekosol Zn	176	177	177	171	182	176
Średnia — Mean	172	172	155	176	185	
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}	r.n.—n.s.		3			4

*-bez dolistnego dokarmiania

*-without foliar application

Tabela 10

Wpływ dawki azotu i rodzaju nawozu dolistnego na zawartość azotanów w bulwach (mg·kg⁻¹ świeżej masy) w latach 2011–2013

The influence of nitrogen doses and kind of foliar fertilizer on the content of nitrates in tubers (mg·kg⁻¹ fresh mass) in the years 2011–2013

Nawóz Fertilizer	Dawka N kg·ha ⁻¹ Dose of N kg·ha ⁻¹		Lata Years			Średnio Mean
	50	100	2011	2012	2013	
Obiekt kontrolny* — Control object*	40	61	7	89	56	50
Ekosol PK	33	56	11	64	60	45
Ekosol K	32	64	10	51	83	48
Ekosol Mn	39	63	13	59	83	51
Ekosol Zn	54	70	62	59	65	62
Średnia — Mean	39	63	20	64	69	
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}	5		7			r.n.—n.s.

*-bez dolistnego dokarmiania

*-without foliar application

Dostateczna ilość opadów oraz niższa od średniej z wielolecia temperatura powietrza w okresie gromadzenia plonu bulw (czerwiec, lipiec, sierpień 2012 roku) wpłynęły korzystnie, szczególnie na zawartość skrobi, suchej masy i witaminy C w bulwach w porównaniu do lat zarówno ze znacznym nadmiarem jak i niedoborem opadów w tym okresie (2011 i 2013 rok). Ponadto w analizowanych latach wykazano niską kumulację azotanów w bulwach, a szczególnie w pierwszym roku badań przy wysokim nadmiarze opadów w miesiącu lipcu. W przypadku zawartości azotanów w bulwach zanotowano istotny ich przyrost pod wpływem wzrostu dawki azotu mineralnego, co było potwierdzeniem dotychczas przeprowadzonych badań (Reda, Łojkowska, 1993; Czuba, 1996; Lis, 1996; Leszczyński, 2002; Jabłoński, 2006; Wierzbicka, 2006; Wierzbicka i in., 2008). W odniesieniu do zastosowanych nawozów dolistnych wykazano zbliżoną zawartość skrobi i witaminy C w bulwach, ale istotnie wyższą niż na obiekcie kontrolnym (tab. 7, 9). Doniesienia literatury wskazują, że stosowanie dolistne nawozów makro- czy mikroelementowych nie modyfikuje znacząco zawartości skrobi i suchej masy w bulwach (Kozera, Cwojdzinski, 2002; Nowak i in., 2004). Na podstawie wcześniejszych badań własnych wykazano jednak istotny wzrost zawartości skrobi w bulwach w stosunku do kontroli pod wpływem dolistnego dokarmiania roślin Ekolistem S (Grześkiewicz, Trawczyński, 1998). Z kolei Świerczewska i Sztuder (2004) wykazały istotny wzrost zawartości skrobi w bulwach po zastosowaniu nawozu Insol 7, o około 2% w stosunku do obiektu kontrolnego. Natomiast Jabłoński (2006) pod wpływem stosowania wieloskładnikowych nawozów dolistnych stwierdził spadek zawartości azotanów w bulwach wahający się od około 5 do 50% w porównaniu do obiektu kontrolnego, a Wróbel (2012) o prawie 60% po zastosowaniu dolistnym preparatu krzemowego Actisil w połączeniu z nawozem YaraVita Ziemniak. Czuba (1996), Gorlach (1996) i Urban (1997) podają, że przyczyną obniżenia zawartości azotanów w bulwach może być działanie reduktazy azotanowej, szczególnie po zastosowaniu nawozów zawierających molibden i cynk wchodzących w jej skład.

WNIOSKI

1. Zastosowanie nawozów dolistnych zwiększyło plon bulw średnio o 15,5% w porównaniu do obiektu kontrolnego, bez dolistnego dokarmiania.
2. Niezależnie od wielkości zastosowanej dawki azotu największy przyrost plonu bulw (20,5%) uzyskano po zastosowaniu Ekosolu K, mniejszy pod wpływem Ekosolu Mn i Ekosolu Zn (odpowiednio 15,5 i 14,7%), a najmniejszy w przypadku Ekosolu PK (11,2%) w porównaniu do obiektu bez dokarmiania dolistnego.
3. Po zastosowaniu Ekosolu K wykazano możliwość redukcji doglebowej dawki azotu.
4. Pod wpływem Ekosolu Mn i Ekosolu Zn uzyskano istotny wzrost udziału w plonie bulw dużych, o średnicy powyżej 60 mm niż na obiekcie kontrolnym.
5. Zastosowane w badaniach nawozy dolistne (Ekosol PK, Ekosol K, Ekosol Mn) przyczyniły się do zmniejszenia udziału w plonie bulw zdeformowanych i porażenia

- bulw parchem zwykłym (Ekosol K, Ekosol Mn) w porównaniu do obiektu bez dolistnego dokarmiania.
6. Nawozy dolistne zwiększyły istotnie zawartość skrobi i witaminy C w bulwach w odniesieniu do obiektu kontrolnego.

LITERATURA

- Boguśka B., Cwalina-Ambroziak B., Zięba T. 2010. The effects of varied soil and foliar mineral fertilization levels in the production of high-starch potatoes. *Pol. J. Natur. Sci.* 25 (3): 215 — 228.
- Bolińska E. 2003. Wpływ dolistnego dokarmiania ziemniaka (roztworem mocznika i nawozami wieloskładnikowymi) na plon, jego strukturę, zdrowotność i trwałość przechowalniczą bulw. *Acta Agroph.* 85: 99 — 106.
- Chotkowski J. 2009. Kierunki zmian w opłacalności produkcji ziemniaków. *Agroserwis* 6 (405): 8 — 9.
- Czuba R. 1996. Technika nawożenia mineralnego a zawartość azotanów w roślinach. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 440: 65 — 75.
- Czuba R. 2000. Mikroelementy we współczesnych systemach nawożenia. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 471: 161 — 170.
- Fotyma E. 1997. Efektywność nawożenia azotem podstawowych roślin uprawy polowej. *Fragm. Agron.* 1 (53): 46 — 66.
- Głuska A. 2000. Nawadnianie jako czynnik kształtujący jakość plonu ziemniaków. *Biul. IHAR* 213: 179 — 184.
- Gorlach E. 1996. Rola mikroelementów w redukcji azotanów. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 440: 109 — 120.
- Grześkiewicz H., Trawczyński C. 1998. Dolistne stosowanie nawozów wieloskładnikowych w uprawie ziemniaka. *Fol. Univ. Agric. Stetin.* 190 *Agricultura* (72): 75 — 80.
- Grześkiewicz H., Trawczyński C. 1999. Dolistne dokarmianie ziemniaków jadalnych płynnymi nawozami wieloskładnikowymi. *Biul. IHAR* 209: 149 — 155.
- Grzyś E. 2004. Rola i znaczenie mikroelementów w żywieniu roślin. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 502: 89 — 99.
- GUS 2011. Uprawy rolne i wybrane elementy metod produkcji roślinnej. *Powszechny Spis Rolny 2010*, Warszawa: ss. 151.
- Jabłoński K. 2004. Wpływ nawożenia azotowego na plon i jakość nowych odmian ziemniaka jadalnego uprawianych na glebach średnio zwięzłych. *Biul. IHAR* 232: 157 — 165.
- Jabłoński K. 2006. Wpływ dawek i sposobów nawożenia azotem na plon ziemniaka i zawartość azotanów w bulwach. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 513: 139 — 147.
- Jabłoński K. 2007. Wpływ dolistnego nawożenia ziemniaków Alkalinem PK 10:20 na plony, porażenie zarazą ziemniaka i niektóre cechy jakości bulw. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin* 47(2): 114 — 118.
- Jabłoński K. 2009. Produkcyjne i jakościowe efekty dolistnego nawożenia ziemniaków Sonatą Z i Alkalinem PK 10-20. *Annales UMCS, Agricultura* 64 (1): 59 — 67.
- Kolbe H., Stephan-Beckmann S. 1997. Development, growth and chemical composition of the potato crop (*Solanum tuberosum*). Cz. II. Tuber and whole plant. *Potato Res.* 40: 135 — 153.
- Kozera W., Cwojdzński W. 2002. Impact of fertilization with zinc and manganese on chemical content of potato tubers. *Chemia Inżynieria Ekologia* 11(9): 1397 — 1402.
- Leszczyński W. 2002. Zależność jakości ziemniaka od stosowania w uprawie nawozów i pestycydów. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 489: 47 — 64.
- Lis B. 1996. Wpływ długości okresu wegetacji odmian i nawożenia azotowego na zawartość azotanów w bulwach ziemniaka. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 440: 217 — 222.
- Nowacki W. 2009. Stan aktualny i perspektywy produkcji ziemniaka w Polsce do 2020 roku. *Studia i Raporty IUNG — PIB*, z. 14: 71 — 94.
- Nowak K., Kozera W., Majcherczak E. 2004. Wpływ nawożenia mikroelementami na plon bulw ziemniaka. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 502: 247 — 251.

- Reda S., Łojkowska E. 1993. Wpływ nawożenia azotem na zawartość azotanów w bulwach ziemniaka. *Biul. Inst. Ziemn.* 42: 29 — 37.
- Roztropowicz S. 1989. Środowiskowe, odmianowe i nawozowe źródła zmienności składu chemicznego bulw ziemniaka. *Fragm. Agron.* 6(6): 33 — 75.
- Roztropowicz S., Wierzejska-Bujakowska A. 1993. Nitrogen fertilization of Polish potato cultivars. *Potato Res.* 4: 384.
- Szewczuk C. 2009. Wpływ dokarmiania dolistnego na plon bulw ziemniaka. *Annales UMCS, Agricultura* 64 (1): 7 — 12.
- Szewczuk C., Michałojć Z. 2003. Praktyczne aspekty dolistnego dokarmiania roślin. *Acta Agroph.* 85: 19 — 29.
- Świerczewska M., Sztuder H. 2004. Dolistne stosowanie preparatów mikroelementowych zawierających tytan. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 502: 371 — 376.
- Trawczyński C. 2004. Wpływ dolistnego stosowania koncentratu mikroelementowego Plant Power 2003 na plon oraz zawartość cynku, manganu i miedzi w bulwach ziemniaka. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. z.* 502: 387 — 393.
- Trawczyński C. 2007. Reakcja kilku nowych odmian ziemniaka na nawożenie azotem. *Biul. IHAR* 246: 73 — 81.
- Trawczyński C. 2008. Reakcja nowych odmian ziemniaka na nawożenie azotem. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. z.* 530: 187 — 196.
- Trawczyński C., Wierzbicka A. 2011. Reakcja nowych odmian ziemniaka na nawożenie azotem. *Biul. IHAR* 259: 193 — 201.
- Trawczyński C. 2013. Wpływ dolistnego nawożenia preparatem Herbagreen na plonowanie ziemniaków. *Ziem. Polski* 2: 29 — 33.
- Urban H. 1997. Ertrage optimieren durch gezielte Blattdüngung. *Kartoffelbau* 4: 132 — 134.
- Wierzbicka A. 2006. Zmienność wybranych cech jakości bulw wczesnych odmian ziemniaka w zależności od nawożenia azotem i terminu zbioru. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. z.* 511: 175 — 187.
- Wierzbicka A., Mazurczyk W., Wroniak J. 2008. Wpływ nawożenia azotem i terminu zbioru na plon i wybrane cechy jakości bulw wczesnych odmian ziemniaka. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. z.* 530: 207 — 216.
- Wróbel S. 2012. Wpływ nawożenia ziemniaka odmiany Jelly dolistnymi preparatami YaraVita Ziemniak oraz Actisil na plon i cechy jego jakości. *Biul. IHAR* 266: 295 — 306.

ARTUR MAKAREWICZ**ANNA PŁAZA****BARBARA GĄSIOROWSKA****MILENA ANNA KRÓLIKOWSKA**

Katedra Szczegółowej Uprawy Roślin

Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach

Zawartość białka w bulwach ziemniaka nawożonego wsiewkami międzyplonowymi w integrowanym i ekologicznym systemie produkcji

The content of protein in potato tubers fertilized with undersown catch crops in integrated and organic production systems

W pracy przedstawiono wyniki badań z lat 2006–2009 mające na celu określenie wpływu wsiewek międzyplonowych przyoranych jesienią i pozostawionych do wiosny w formie mulczu na zawartość białka ogólnego i białka właściwego w bulwach ziemniaka uprawianego w integrowanym i ekologicznym systemie produkcji. W doświadczeniu badano dwa czynniki. I. Nawożenie wsiewką międzyplonową: obiekt kontrolny (bez nawożenia wsiewką międzyplonową), obornik, nostrzyk biały, nostrzyk biały + życica westerwoldzka, życica westerwoldzka, nostrzyk biały — mulcz, nostrzyk biały + życica westerwoldzka — mulcz, życica westerwoldzka — mulcz. II. System produkcji: integrowany i ekologiczny. Bezpośrednio po zastosowaniu nawożenia wsiewkami międzyplonowymi uprawiano ziemniaki jadalne. W bulwach ziemniaka oznaczono zawartość białka ogólnego metodą Kjeldahla i białka właściwego metodą Kjeldahla po strąceniu kwasem trójchlorooctowym. Najwyższą zawartość białka ogólnego i białka właściwego stwierdzono w bulwach ziemniaka nawożonego nostrzykiem białym i mieszką nostrzyku białego z życicą westerwoldzką pozostawioną do wiosny w formie mulczu oraz nostrzykiem białym przyorany jesienią. Wyższą koncentrację białka ogólnego i właściwego stwierdzono w bulwach ziemniaka uprawianego w integrowanym niż w ekologicznym systemie produkcji.

Słowa kluczowe: białko ogólne, białko właściwe, mulcz, nawożenie wsiewką międzyplonową, system produkcji, ziemniak

The work presents results of studies carried out from 2006 to 2009. They were undertaken to determine the influence of undersown catch crops, which were either autumn-incorporated or retained on the soil surface till spring as mulch, on total and true protein contents in tubers of potato cultivated

in integrated and organic production systems. The experimental factors were as follows: 1. undersown catch crop fertilizer (no undersown catch crop control treatment, farmyard manure, white melilot, white melilot + westerwolds ryegrass, westerwolds ryegrass, white melilot applied as mulch, westerwolds ryegrass + white melilot applied as mulch, westerwolds ryegrass applied as mulch) and 2. production system (integrated, organic). Edible potato immediately followed undersown catch crop fertilization in the field. Potato tubers were sampled to determine total and true protein contents. The highest total and true protein contents were recorded in the tubers of potato fertilized with white melilot and white melilot/westerwolds ryegrass mixture retained on the soil surface until spring as mulch and autumn-incorporated white melilot. Higher total and true protein contents were determined in the tubers of potato grown in the integrated production system than in the organic one.

Key words: fertilization with undersown catch crop, mulch, potato, production system, total protein, true protein

WSTĘP

Wysokie walory odżywcze ziemniak zawdzięcza między innymi obecności białka bogatego w aminokwasy egzogenne. Białko ziemniaczane zawiera szczególnie dużo leucyny, lizyny, fenyloalaniny i treoniny, natomiast mniej metioniny. Jego wartość biologiczna jest bardzo wysoka, porównywalna do białka sojowego, a tylko nieznacznie ustępująca standardowi żywieniowemu, za jaki przyjmuje się białko jaja kurzego (Zimoch-Guzowska i Flis, 2006; Zarzecka i Gugała, 2011). Wpływ systemów uprawy na zawartość białka ogólnego w bulwach ziemniaka zależy od warunków atmosferycznych. W latach posuchy w fazie intensywnego gromadzenia plonu, wyższą koncentrację białka ogólnego stwierdzono w bulwach z uprawy integrowanej, zaś azotanów — z uprawy ekologicznej, natomiast w latach o wystarczającej ilości opadów, obserwowano tendencję do wyższej akumulacji białka ogólnego w bulwach z uprawy ekologicznej niż integrowanej (Sawicka i Kuś, 2002). W dotychczasowych badaniach brak jest danych eksperymentalnych dotyczących oddziaływania wsiewek międzyplonowych na zawartość białka w bulwach ziemniaka uprawianego w różnych systemach produkcji. Stąd wyłania się potrzeba prowadzenia tego typu badań. Próbę częściowego wypełnienia tej luki stanowi niniejsza praca mająca na celu określenie wsiewek międzyplonowych przyoranych jesienią i pozostawionych do wiosny w formie mulczu na zawartość białka ogólnego i białka właściwego w bulwach ziemniaka uprawianego w integrowanym i ekologicznym systemie produkcji.

MATERIAŁ I METODY

Badania polowe przeprowadzono w latach 2006–2009 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. Zawartość próchnicy wynosiła 1,43%. Doświadczenie założono w układzie split-blok, w trzech powtórzeniach. Badano dwa czynniki. I. Nawożenie wsiewką międzyplonową: obiekt kontrolny (bez nawożenia wsiewką międzyplonową, a z nawożeniem mineralnym), obornik ($30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$), nostrzyk biały ($26 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), nostrzyk biały +

życica westerwoldzka ($13 + 10 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), życica westerwoldzka ($20 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), nostrzyk biały — mulcz ($26 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), nostrzyk biały + życica westerwoldzka — mulcz ($13 + 10 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), życica westerwoldzka — mulcz ($20 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$). II. System produkcji: integrowany i ekologiczny. Jesienią, na każdym poletku określono plon świeżej masy międzyplonów łącznie z ich masą korzeniową, z 30 cm warstwy gleby. Średni plon z 3 lat wynosił w integrowanym systemie produkcji: dla nostrzyku białego $27,9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, mieszanki nostrzyku białego z życicą westerwoldzką $34,2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ oraz dla życicy westerwoldzkiej $35,7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, a w ekologicznym systemie produkcji: dla nostrzyku białego $23,2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, mieszanki nostrzyku białego z życicą westerwoldzką $26,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ oraz dla życicy westerwoldzkiej $27,9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Wsiewki międzyplonowe wsiewano w pszenżyto jare uprawiane na ziarno. W pierwszym roku po nawożeniu wsiewkami międzyplonowymi uprawiano ziemniaki jadalne odmiany Zeus. W integrowanym systemie produkcji ziemniaka, 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 nawożenia mineralnego dostosowano do zasobności gleby i wielkości przewidywanego plonu. Na poletkach, na których jesienią wykonano orkę przedzimową, wiosną nawozy mineralne wymieszano z glebą za pomocą kultywatora zaagregatowanego 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 3 dekadzie kwietnia, a zbierano w 2 dekadzie września. Podczas zbioru ziemniaka, z każdego poletka pobrano próby bulw w celu wykonania analiz chemicznych. Zawartość białka ogólnego w bulwach ziemniaka oznaczono metodą Kjeldahla, a zawartość białka właściwego również oznaczono metodą Kjeldahla w wyniku traktowania próby materiału roślinnego kwasem trójchlorooctowym. W następstwie zachodzi oddzielenie białka od innych połączeń azotowych (niebiałkowych), które należy wydzielić z badanej próby przez ich ekstrakcję (Kerłowska-Kułas, 1993). Każdą z badanych cech poddano analizie wariancji zgodnie ze schematem układu split-blok. W przypadku istotnych źródeł zmienności dokonano szczegółowego porównania średnich testem Tuckeya (Trętowski i Wójcik, 1988).

Lata prowadzenia badań charakteryzowały się znacznym zróżnicowaniem warunków pogodowych (tab. 1). Najkorzystniejszym dla gromadzenia białka w bulwach ziemniaka okazał się 2007 rok. W tym też roku odnotowano najmniejszą sumę opadów, przy najwyższej temperaturze. W sierpniu odnotowano słabą posuchę. Największą sumę opadów odnotowano w 2008 roku. W tym też roku średnia temperatura była niższa o $0,4^{\circ}\text{C}$ od średniej temperatury wieloletniej. W sezonie wegetacyjnym 2008 roku, z największą ilością opadów odnotowano słabą posuchę tylko w kwietniu. Natomiast w 2009 roku silna posucha wystąpiła w kwietniu, lipcu i we wrześniu. W 2009 roku suma opadów była niższa niż w 2008 roku, ale wyższa od sumy wieloletniej.

Tabela 1

Warunki pogody w latach badań zgodnie z danymi ze Stacji Meteorologicznej w Zawadach
Weather conditions in the years of investigations, according to the data from the Meteorological Station in Zawady

Lata Years	Miesiąc Month						Średnie Means
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
Średnia temperatura powietrza (°C) Mean air temperature (°C)							
2007	8,6	14,6	18,2	18,9	18,9	13,1	15,4
2008	9,1	12,7	17,4	18,4	18,5	12,2	14,7
2009	10,3	12,9	15,7	19,4	17,7	14,6	15,1
1951–2000	7,8	13,8	17,1	18,7	18,0	13,0	14,7
Suma opadów (mm) Rainfall sum (mm)							
2007	21,2	59,1	59,0	70,2	31,1	67,6	308,2
2008	28,1	85,6	49,0	69,8	75,4	63,4	371,2
2009	8,1	68,9	145,2	26,4	80,9	24,9	354,4
1951–2000	37,1	50,6	61,5	71,6	53,8	50,0	324,6

WYNIKI

Analiza statystyczna wykazała istotny wpływ warunków okresu wegetacji, badanych czynników doświadczenia i ich współdziałania na zawartość białka ogólnego w bulwach ziemniaka. Najkorzystniejszym dla gromadzenia białka ogólnego w bulwach ziemniaka okazał się suchy 2007 rok (tab. 2). W tym też roku odnotowano najmniejszą sumę opadów, przy najwyższej temperaturze. Mniej korzystnym okazał się 2009 rok z silną posuchą w kwietniu, lipcu i we wrześniu. Natomiast niekorzystnym okazał się 2008 rok z największą ilością opadów i niższą temperaturą. Takie warunki pogodowe nie sprzyjały gromadzeniu białka w bulwach ziemniaka. Nawożenie biomasą wsiewek międzyplonowych sprzyjało koncentracji białka ogólnego w bulwach ziemniaka. Na obiektach nawożonych wsiewkami międzyplonowymi bulwy zawierały istotnie więcej białka ogólnego (średnio o 1,25%) niż na obiekcie kontrolnym. Na szczególne podkreślenie zasługuje tu nawożenie nostrykiem białym w formie mulczu, mieszanką nostryku białego z życią westerwoldzką pozostawioną do wiosny w formie mulczu oraz nostrykiem białym przyoranym jesienią. Nawożenie ziemniaka tymi wsiewkami międzyplonowymi, w porównaniu z obornikiem spowodowało istotny wzrost koncentracji białka ogólnego (średnio o 1,06%). Na obiektach nawożonych mieszanką nostryku białego z życią westerwoldzką przyoranych jesienią oraz życią westerwoldzką pozostawioną do wiosny w formie mulczu lub obornikiem, zawartość białka ogólnego w bulwach ziemniaka nie różniła się istotnie. W ziemniakach nawożonych życią westerwoldzką przyoraną jesienią była istotnie niższa zawartość białka ogólnego niż w bulwach nawożonych obornikiem, lecz wyższa od odnotowanej w ziemniakach zebranych z obiektu kontrolnego. Udowodnione współdziałanie lat z nawożeniem biomasą wsiewek międzyplonowych wskazywało, że w suchym 2007 roku ziemniaki nawożone nostrykiem białym w formie mulczu charakteryzowały się najwyższą zawartością suchej masy, w tym białka ogólnego (tab. 2). Natomiast w 2008

roku z największą sumą opadów, przy najniższej temperaturze, otrzymano najniższą zawartość białka ogólnego na obiekcie kontrolnym, bez stosowania nawozów zielonych.

Tabela 2

Zawartość białka ogólnego w bulwach ziemniaka (% s. m.) w zależności od nawożenia wsiewką międzyplonową w latach badań 2007–2009
Total protein content in potato tubers (% d. m.) depending on fertilization with undersown catch crops in 2007–2009

Nawożenie wsiewką międzyplonową Undersown catch crop fertilization	2007	2008	2009	Średnie Means
Obiekt kontrolny Control treatment	9,21	8,18	8,35	8,58
Obornik Farmyard manure	9,95	8,95	9,12	9,34
Nostrzyk biały White melilot	10,84	9,81	10,01	10,22
Nostrzyk biały + życica westerwoldzka White melilot + westerwolds ryegrass	9,98	8,95	9,12	9,35
Życica westerwoldzka Westerwolds ryegrass	9,57	8,56	8,65	8,93
Nostrzyk biały — mulcz White melilot — mulch	11,34	10,31	10,51	10,72
Nostrzyk biały + życica westerwoldzka — mulcz White melilot + westerwolds ryegrass — mulch	10,90	9,87	10,04	10,27
Życica westerwoldzka — mulcz Westerwolds ryegrass — mulch	10,11	9,11	9,28	9,50
Średnie Means	10,24	9,22	9,38	—
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}				
Lata Years				0,11
Nawożenie wsiewką międzyplonową Undersown catch crop fertilization				0,25
Interakcja Interaction				0,28

Zawartość białka ogólnego w bulwach ziemniaka istotnie modyfikowały badane systemy produkcji (tab. 3). Wyższą koncentracją białka ogólnego (średnio o 0,54%) charakteryzowały się bulwy ziemniaka uprawianego w integrowanym niż w ekologicznym systemie produkcji. Wykazano interakcję nawożenia biomasą wsiewek międzyplonowych z systemem produkcji. W integrowanym systemie produkcji najwyższą zawartość białka ogólnego otrzymano w bulwach ziemniaka nawożonego nostrykiem białym w formie mulczu, a w ekologicznym systemie produkcji - z obiektów nawożonych nostrykiem białym w formie mulczu oraz mieszkanką nostryku białego z życicą westerwoldzką również stosowaną w formie mulczu. Najniższą koncentrację białka ogólnego, niezależnie od systemu produkcji otrzymano w bulwach ziemniaka uprawianego na obiekcie kontrolnym, bez nawożenia wsiewką międzyplonową.

Tabela 3

Zawartość białka ogólnego w bulwach ziemniaka (% s. m.) w zależności od nawożenia wsiewką międzyplonową i systemu produkcji (średnie z lat 2007–2009)
Total protein content in potato tubers (% d. m.) depending on fertilization with undersown catch crops and production systems (average to over 2007–2009)

Nawożenie wsiewką międzyplonową Undersown catch crop fertilization	System produkcji Production system	
	integrowany integrated	ekologiczny organic
Obiekt kontrolny Control treatment	8,74	8,42
Obornik Farmyard manure	9,49	9,18
Nostrzyk biały White melilot	10,56	9,87
Nostrzyk biały + życica westerwoldzka White melilot + westerwolds ryegrass	9,58	9,12
Życica westerwoldzka Westerwolds ryegrass	9,10	8,75
Nostrzyk biały — mulcz White melilot — mulch	11,26	10,18
Nostrzyk biały + życica westerwoldzka — mulcz White melilot + westerwolds ryegrass — mulch	10,67	9,86
Życica westerwoldzka — mulcz Westerwolds ryegrass — mulch	9,63	9,37
Średnie Means	9,88	9,34
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}		
System produkcji Production system	0,21	
Interakcja Interaction	0,26	

Zawartość białka właściwego w bulwach ziemniaka była istotnie różnicowana przez warunki okresu wegetacji, badane czynniki doświadczenia i ich współdziałanie. Najwyższą koncentracją białka właściwego charakteryzowały się bulwy ziemniaka zebrane w 2007 roku, istotnie niższą w 2009 roku (tab. 4). Natomiast najniższą zawartość białka właściwego stwierdzono w mokrym 2008 roku. Takie warunki pogodowe nie sprzyjały gromadzeniu białka właściwego w bulwach ziemniaka. Nawożenie biomasą wsiewek międzyplonowych zwiększało zawartość białka właściwego w bulwach ziemniaka. Na obiektach nawożonych wsiewkami międzyplonowymi bulwy zgromadziły istotnie więcej (średnio o 1,23%) białka właściwego niż na obiekcie kontrolnym. Najkorzystniej na omawianą cechę oddziaływało nawożenie nostrzykiem białym zarówno przyoranym jesienią, jak i pozostawionym do wiosny w formie mulczu oraz mieszanką nostrzyku białego z życicą westerwoldzką pozostawioną do wiosny w formie mulczu. Koncentracja białka właściwego w bulwach ziemniaka nawożonego mieszanką nostrzyku białego z życicą westerwoldzką przyoraną jesienią kształtowała się na zbliżonym poziomie, jak w ziemniakach nawożonych obornikiem. W ziemniakach nawożonych życicą westerwoldzką zarówno przyoraną jesienią, jak i pozostawioną do wiosny w formie mulczu zawartość białka właściwego w bulwach ziemniaka była istotnie niższa niż na oborniku. Jednak i w

tym przypadku zawartość białka właściwego w bulwach ziemniaka była istotnie wyższa niż w ziemniakach zebranych z obiektu kontrolnego, bez nawożenia wsiewką międzyplonową. Wykazano interakcję warunków meteorologicznych z nawożeniem biomasa wsiewek międzyplonowych. Najwięcej białka właściwego zgromadziły bulwy ziemniaka uprawianego w suchym 2007 roku na obiektach nawożonych nostrykiem białym zarówno pozostawionym do wiosny w formie mulczu, jak i przyoranym jesienią. Na obiektach nawożonych roślinami bobowatymi zawartość białka właściwego w bulwach ziemniaka jest większa. Natomiast najniższą zawartość białka właściwego odnotowano w mokrym 2008 roku na obiekcie kontrolnym, bez stosowania wsiewek międzyplonowych.

Tabela 4

Zawartość białka właściwego w bulwach ziemniaka (% s. m.) w zależności od nawożenia wsiewką międzyplonową w latach badań 2007–2009
True protein content in potato tubers (% d. m.) depending on fertilization with undersown catch crops in 2007–2009

Nawożenie wsiewką międzyplonową Undersown catch crop fertilization	2007	2008	2009	Średnie Means
Obiekt kontrolny Control treatment	4,83	3,81	4,03	4,22
Obornik Farmyard manure	5,81	4,86	4,99	5,22
Nostryk biały White melilot	6,63	5,68	6,04	6,11
Nostryk biały + życica westerwoldzka White melilot + westerwolds ryegrass	5,53	4,93	5,11	5,32
Życica westerwoldzka Westerwolds ryegrass	5,21	4,24	4,43	4,63
Nostryk biały — mulcz White melilot — mulch	6,84	5,85	6,02	6,23
Nostryk biały + życica westerwoldzka — mulcz White melilot + westerwolds ryegrass — mulch	6,17	5,18	5,38	5,58
Życica westerwoldzka — mulcz Westerwolds ryegrass — mulch	5,44	4,46	4,64	4,85
Średnie Means	5,86	4,87	5,08	—
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}				
Lata Years				0,11
Nawożenie wsiewką międzyplonową Undersown catch crop fertilization				0,22
Interakcja Interaction				0,34

System produkcji także istotnie różnicował zawartość białka właściwego w bulwach ziemniaka (tab. 5). Wyższą koncentrację białka właściwego stwierdzono w bulwach ziemniaka uprawianego w integrowanym niż w ekologicznym systemie produkcji. Ze współdziałania badanych czynników wynika, że najwyższą zawartością białka właściwego charakteryzowały się bulwy ziemniaka nawożone nostrykiem białym pozostawionym do wiosny w formie mulczu oraz przyoranym jesienią w integrowanym systemie produkcji, a najmniejszą bulwy ziemniaka zebrane z obiektu kontrolnego zarówno w ekologicznym, jak

i integrowanym systemie produkcji. Wynika to z faktu, iż ziemniaki uprawiane w stanowisku użyźnionym roślinami bobowatymi z nawożeniem mineralnym stosowanym w integrowanym systemie produkcji charakteryzowały się wyższą koncentracją białka właściwego niż ziemniaki uprawiane w ekologicznym systemie produkcji tylko z nawożeniem organicznym.

Tabela 5

Zawartość białka właściwego w bulwach ziemniaka (% s. m.) w zależności od nawożenia wsiewką międzyplonową i systemu produkcji (średnie z lat 2007–2009)
True protein content in potato tubers (% d. m.) depending on fertilization with undersown catch crop and production systems (average over 2007–2009)

Nawożenie wsiewką międzyplonową Undersown catch crop fertilization	System produkcji Production system	
	integrowany integrated	ekologiczny organic
Obiekt kontrolny Control treatment	4,26	4,18
Obornik Farmyard manure	5,28	5,16
Nostrzyk biały White melilot	6,12	6,10
Nostrzyk biały + życica westerwoldzka White melilot + westerwolds ryegrass	5,36	5,28
Życica westerwoldzka Westerwolds ryegrass	4,68	4,57
Nostrzyk biały — mulcz White melilot — mulch	6,29	6,18
Nostrzyk biały + życica westerwoldzka — mulcz White melilot + westerwolds ryegrass — mulch	5,63	5,52
Życica westerwoldzka — mulcz Westerwolds ryegrass — mulch	4,91	4,78
Średnie Means	5,32	5,22
NIR _{0,05} — LSD _{0,05}		
System produkcji Production system	0,08	
Interakcja Interaction	0,28	

DYSKUSJA

Związki azotowe w bulwach ziemniaka występują średnio w ilości 2% w przeliczeniu na białko (N×6,25), jako tzw. białko ogólne, w tym 35–65% stanowi białko właściwe. Białko to zawiera wszystkie aminokwasy egzogenne w odpowiednich ilościach bogate w lizynę i jako jedno z nielicznych białek roślinnych posiada wartości biologiczne odpowiadające wartości białka zwierzęcego (Leszczyński, 2000; Gugala i in. 2014). W badaniach Makaraviciute (2003) oraz Wiatra (2002) nawożenie biomasą międzyplonu zwiększało zawartość białka właściwego w bulwach ziemniaka. W badaniach własnych najkorzystniej na omawianą cechę oddziaływało nawożenie nostrzykiem białym zarówno przyorany jesienią, jak i pozostawionym do wiosny w formie mulczu oraz mieszaną

nostrzyku białego z życicą westerwoldzką pozostawioną do wiosny w formie mulczu. Płaza i Ceglarek (2009) wykazali, że najwyższą zawartością białka właściwego charakteryzowały się bulwy ziemniaka nawożonego koniczyną białą oraz facelią zarówno przyoraną jesienią, jak i pozostawioną do wiosny w formie mulczu. Należy tłumaczyć to tym, iż ziemniaki uprawiane w stanowisku użyźnionym roślinami bobowatymi oraz mieszkanką nostrzyku białego z życicą westerwoldzką stosowaną w formie mulczu pobierają z gleby większe ilości azotu niż ziemniaki uprawiane w stanowisku użyźnionym innymi nawozami zielonymi. Azot zawarty w ich biomasie stopniowo ulega mineralizacji i równomiernie udostępniany jest roślinie ziemniaka, co zapewnia jego całkowitą zamianę na azot białkowy. W omawianym doświadczeniu zawartość białka właściwego w bulwach ziemniaka nawożonego życicą westerwoldzką zarówno przyoraną jesienią, jak i pozostawioną do wiosny w formie mulczu była istotnie niższa niż na oborniku. Również w badaniach Boligłowy i Gleń (2003), Płazy (2004) oraz Kołodziejczyka i in. (2007) najniższą zawartość białka odnotowano w ziemniakach nawożonych roślinami nie bobowatymi. Zawartość azotu w glebie w takich stanowiskach jest mniejsza i ziemniaki pobierają mniejszą jego ilość, przez co zawartość białka jest niższa.

Reust i in. (1999), Smith (2007) oraz Zarzyńska i Wroniak (2008) wykazali, iż system produkcji chociaż nie różnicował istotnie zawartości białka właściwego w bulwach ziemniaka to wyższą jego zawartość odnotowano w bulwach ziemniaka uprawianego w ekologicznym systemie produkcji. Natomiast w badaniach własnych analogicznie, jak u Sawickiej i Kuś (2002) oraz Pearsall (2009) wyższą zawartość tego składnika stwierdzono w bulwach ziemniaka uprawianego w integrowanym systemie produkcji.

W przeprowadzonym doświadczeniu zawartość białka właściwego w bulwach ziemniaka zależała istotnie od przebiegu warunków meteorologicznych. Największą ilość tego składnika nagromadziły bulwy ziemniaka w suchym i ciepłym 2007 roku, istotnie mniej w 2009 roku, a najmniej w mokrym 2008 roku. Jest to zbieżne z wynikami badań Pęksey (2003). Mała ilość opadów i optymalna temperatura powietrza sprzyjały wzrostowi zawartości białka przez zmniejszenie zawartości wody w bulwach ziemniaka. W opinii Głuskiej (2000) oraz Wiatra (2002) na zawartość białka ogólnego, a zwłaszcza właściwego, stymulująco wpływa ciepły, suchy i słoneczny okres wegetacji, a w czasie zawiązywania bulw najkorzystniejsza jest temperatura około 20°C, gdyż asymilacja zachodzi wtedy najenergiczniej. Natomiast Lis i in. (2002) wykazali, że nadmierne opady w okresie gromadzenia plonu (w czerwcu i lipcu) mogą doprowadzić do wypłukania azotu z gleby, co wiąże się z ograniczonym pobieraniem tego składnika przez bulwy. Zdaniem Mazurczyka i Lis (2001), Pytlarz-Kozickiej (2002) oraz Lachman i in. (2005) nadmiar opadów ogranicza gromadzenie białka w bulwach ziemniaka, a ich niedobór sprzyja zawartości białka w bulwach ziemniaka. Wpływ systemów uprawy na zawartość białka ogólnego w bulwach zależy od warunków atmosferycznych. W latach posuchy w fazie intensywnego gromadzenia plonu, wyższą koncentrację białka ogólnego stwierdzono w bulwach z uprawy integrowanej, natomiast w latach o wystarczającej ilości opadów, obserwowano tendencję do wyższej akumulacji białka ogólnego w bulwach ziemniaka z uprawy ekologicznej niż integrowanej (Sawicka i Kuś, 2002).

WNIOSKI

1. Warunki termiczno-opadowe istotnie różnicowały zawartość białka ogólnego i białka właściwego w bulwach ziemniaka.
2. Najwyższą zawartość białka ogólnego i białka właściwego stwierdzono w bulwach ziemniaka nawożonego nostrykiem białym oraz mieszanką nostryku białego z życicą westerwoldzką pozostawioną do wiosny w formie mulczu oraz nostrykiem białym przyoranym jesienią.
3. Wyższą koncentrację białka ogólnego i właściwego odnotowano w bulwach ziemniaka uprawianego w integrowanym niż w ekologicznym systemie produkcji.

LITERATURA

- Boligłowa E., Gleń K. 2003. Yielding and quality of potato tubers depending on the kind of organic fertilization and tillage method. *Elec. Jour. Pol. Agric. Univ. Top Agron.*, 1,6, www.ejpau.media.pl.
- Głuska A. 2000. Wpływ agrotechniki na kształtowanie jakości plonu ziemniaka. *Biul. IHAR* 213: 173 — 178.
- Gugała M., Zarzecka K., Mystkowska I., Sikorska A. 2014. The influence of weed control methods on total protein and true protein in potato tubers. *Acta Sci. Pol. Agric.* 13(2): 3 — 11.
- Kołodziejczyk M., Szmigiel A., Kielbasa S. 2007. Plonowanie oraz skład chemiczny bulw ziemniaka w warunkach zróżnicowanego nawożenia. *Fragm. Agronom.* 2(94): 142 — 150.
- Krełowska-Kułas M. 1993. Badania jakości produktów spożywczych. PWE Warszawa.
- Lachman J., Hamouz K., Dvorak P., Orsak M. 2005. The effect of selected factors on the content of protein and nitrates in potato tubers. *Plant Soil Environ.* 10: 431 — 438.
- Leszczyński W. 2000. Jakość ziemniaka konsumpcyjnego. *Żywność, Nauka, Technologia, Jakość* 4 (25): 5 — 27.
- Lis B., Mazurczyk W., Trawczyński C., Wierzbička A. 2002. Czynniki ograniczające wykorzystanie azotu przez rośliny ziemniaka a zagrożenie środowiska. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 489: 165 — 174.
- Makaraviciute A. 2003. Effect of organic and mineral fertilizers on the yield and quality of different of potato varieties. *Agron. Res.* 1 (2): 197 — 209.
- Mazurczyk W., Lis B. 2001. Variation of chemical compositions of tuber of potato table cultivars grown under deficit and excess of water. *Pol. Jour. Foot Nutr. Sci.* 10 (2): 27 — 30.
- Pearsal L.W. 2009. Facts about potato quality. *Amer. Jour. of Potato Res.*, 29 (8): 182 — 185.
- Pęksa A. 2003. Białko ziemniaczane — charakterystyka właściwości. *Post. Nauk Rol.* 5: 79 — 94.
- Plaža A. 2004. Skład chemiczny bulw ziemniaka jadalnego w warunkach zróżnicowanego nawożenia organicznego. *Annales UMCS, Sec. E*, 59(3): 1327 — 1334.
- Plaža A., Ceglarek F. 2009. Tuber quality of edible potato fertilized with catch crops and barley straw. *Annales UMCS, Sec. E*, 64 (3): 79 — 91.
- Pytlarz-Kozicka M. 2002. Wpływ sposobów pielęgnowania na wysokość i jakość plonów ziemniaka. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 489: 147 — 155.
- Reust W., Neyroud J. A., Dutoid J. P. 1999. Potato fertilization in integrated farming system. 14th 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.
- Trętowski J., Wójcik R. 1988. Metody doświadczeń rolniczych. WSRP Siedlce.
- Wiater J. 2002. Wpływ współdziałania niektórych odpadów z roślinami motylkowatymi na ilość i jakość białka ziemniaka. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 484: 743 — 752.
- Zarzecka K., Gugała M. 2011. Wybrane parametry jakości bulw ziemniaka jadalnego pochodzącego z rejonu Podlasia. *Bromat. Chem. Toksykol.* 44 (2): 38 — 42.

- 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.
- Zimoch-Guzowska E., Flis B. 2006. Genetyczne podstawy cech jakościowych ziemniaka. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 511: 23 — 36.

BEATA TATAROWSKA

BOGDAN FLIS

EWA ZIMNOCH-GUZOWSKA

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB Oddział w Młochowie

Stabilność reakcji odpornościowej odmian ziemniaka na *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary w testach laboratoryjnych

Stability of resistance reaction to *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary of potato cultivars in laboratory tests

Celem prezentowanej pracy była analiza stabilności reakcji odporności na *Phytophthora infestans* obserwowanej w badaniach laboratoryjnych. Listki i plastry bulw pobrane z różnych odmian ziemniaków inokulowano zawiesiną zarodników tego patogena. W czteroletnim doświadczeniu oceniano reakcję 22 odmian zróżnicowanych pod względem poziomu odporności i wczesności. Stabilność oceniano na podstawie udziału interakcji odmiana (tj. genotyp) $\times$ środowisko ($G \times E$) oraz innych interakcji (genotyp $\times$ rok i genotyp $\times$ termin testu) w obserwowanej zmienności, stosując mieszany model Scheffégo-Calińskiego. Do obliczeń zastosowano program Sergen. Pozwoliło to na identyfikację odmian o stabilnej reakcji odporności w testach listkowych (Wawrzyn, Lawina, Beata, Anielka) i testach plastrowych (Meduza, Nimfy, Vistula, Klepa, Mors). Stabilność reakcji odpornościowej w testach laboratoryjnych nie odpowiadała stabilności reakcji w warunkach polowych, którą obserwowano w innych badaniach.

Słowa kluczowe: *Phytophthora infestans*, stabilność, interakcja genotypowo $\times$ środowiskowa, program Sergen 3, testy laboratoryjne

The aim of presented study was stability analysis of reaction observed in laboratory tests for resistance to *Phytophthora infestans*. In these tests, detached leaflets and tuber slices collected from plants of various potato cultivars were inoculated with suspension of spores of this pathogen. In four-year study, the reaction was evaluated in 22 potato cultivars that were diverse in terms of resistance level and maturity. Stability was evaluated on the basis of the share of cultivar (i.e. genotype) by environment interaction ($G \times E$) and other interactions (genotype by year and genotype by date of test) in the observed variability by applying Scheffé-Caliński mixed model. For calculations Sergen program was applied. This allowed identifying cultivars with stable reaction of resistance in leaflet test (Wawrzyn, Lawina, Beata, Anielka) and in tuber slice tests (Meduza, Nimfy, Vistula, Klepa, Mors). The stability of reaction in laboratory tests did not completely correspond to the stability of reaction observed in other study performed in field conditions.

Key words: *Phytophthora infestans*, stability, genotype $\times$ environment interaction, program Sergen3, laboratory test

WSTĘP

Sprawca zarazy ziemniaka *Phytophthora infestans* wciąż pozostaje jednym z najważniejszych w skali globalnej patogenów ziemniaka. W ciągu ostatnich dwudziestu lat obserwowano na świecie zwiększenie potencjału infekcyjnego *P. infestans* związanego ze zmianą populacji patogena (Sujkowski i in. 1994; Elansky i in., 2001; Perez i in., 2001; Śliwka i in., 2006 a; Fry, 2008). Wynikiem tych zmian są między innymi: 1) wcześniejsze pojawianie się epifitozy i jej gwałtowniejszy przebieg, 2) wzrost patogeniczności patogena, 3) przełamywanie odporności genetycznej wielu uprawianych odmian ziemniaka, 4) zmiany w występowaniu i rozwoju pierwotnych infekcji *P. infestans* na roślinach ziemniaka i nieskuteczność ochrony plantacji przed epifitozą (Kapsa, 2004), 5) pojawienie się w wielu krajach nowego źródła infekcji pierwotnej — oospor zimujących w glebie (Zimnoch-Guzowska i Tatarowska, 2004). Monitoring stabilności ekspresji odporności na zarazę ziemniaka odmian uprawianych na terenie całego kraju dostarcza hodowcom i fitopatologom informacji o interakcji pomiędzy genetycznie warunkowaną odpornością gospodarza a patogenem. Hodowcy szukają źródeł stabilnej i trwałej odporności na zarazę ziemniaka. Przełamanie odporności odmiany przez patogena jest sygnałem dla producentów ziemniaka o konieczności dostosowania programu ochrony chemicznej do zaistniałej sytuacji. Prognozowanie trwałości odporności danej odmiany może chronić rolników przed dużymi stratami finansowymi.

Ocena odporności ziemniaka może być prowadzona wieloma metodami, które różnią się sposobem inokulacji (sztuczna lub naturalna), organem rośliny, który podlega inokulacji (cała roślina lub listki i bulwy) oraz środowiskiem przeprowadzenia testu (warunki naturalne lub laboratoryjne). Ocena stabilności poziomu odporności prowadzona musi być w zróżnicowanych środowiskach, co z reguły oznacza kilkuletnie badania wielu genotypów w wielu miejscowościach w warunkach naturalnej presji infekcyjnej. Badania takie umożliwiają oszacowanie udziału interakcji genotypowo-środowiskowej ($G \times E$) w ogólnej zmienności, co pozwala ocenić stabilność. Standardowo zmienność środowiskowa wynika z interakcji miejscowości z latami. Wydaje się, że techniką uzupełniającą taką ocenę stabilności reakcji odpornościowej mogą być laboratoryjne testy listkowe i plastrowe, w których środowisko jest definiowane jako koniunkcja lat i terminów, w których prowadzi się testy. Każdy termin testu odpowiada odmiennym warunkom wzrostu rośliny, z których zbiera się listki lub odmiennym stanom fizjologicznym testowanych bulw.

Celem pracy było oszacowanie interakcji genotypowo-środowiskowej (z podziałem na interakcję z latami ($G \times Y$), z terminami ($G \times T$) i interakcję potrójną ($G \times Y \times T$)) oraz stabilność reakcji odporności 22 odmian ziemniaka na *P. infestans* w warunkach laboratoryjnych przy wykorzystaniu programu statystycznego Sergen 3 (Caliński i in., 1998).

MATERIAŁ

Oceniany materiał stanowiły 22 polskie odmiany ziemniaka o zróżnicowanym poziomie odporności na *P. infestans* naci i bulw wg ocen odporności prowadzonych przez Centralny Ośrodek Badania Odmian i Roślin Uprawnych (COBORU). Wśród ocenianych odmian znalazło się osiem wysoko odpornych (w skali 1–9 zakres ocen od 7,0 do 8,0), dziesięć średnio odpornych (zakres ocen od 5,5 do 6,5) oraz cztery odmiany podatne (zakres ocen od 3,0 do 4,0). Głównym źródłem odporności na *P. infestans* w grupie ocenianych odmian był gatunek *Solanum demissum*. Poziom odporności bulw ocenianego materiału w testach plastrowych wg ocen COBORU zawarł się w przedziale od 3,0 do 5,0. Materiał badawczy był również zróżnicowany pod względem długości wegetacji. W grupie ocenianych odmian znalazło się dziesięć odmian późnych, osiem średnio późnych, dwie średnio wczesne, jedna wczesna oraz jedna bardzo wczesna (tab. 1).

Tabela 1

Ocena reakcji 22 odmian ziemniaka na naturalne porażenie przez *P. infestans* w wieloletnich doświadczeniach polowych oraz ich wczesność
Evaluation of reaction to natural infection with *P. infestans* in long-term field experiments with 22 potato cultivars and their maturity

Odmiana Cultivar	Reakcja ^{a)} Reaction ^{a)}	Wczesność Maturity
Bzura	stabilna ^{d)}	późna — late
Meduza	stabilna ^{d)}	późna — late
Dunajec	niestabilna - nieprzewidywalna ^{c)}	późna — late
Grot	niestabilna - nieprzewidywalna ^{c)}	średnio późna
Hinga	stabilna ^{d)}	późna — late
Koga	niestabilna - nieprzewidywalna ^{c)}	późna — late
Lawina	niestabilna - regularna ^{b)}	średnio późna — mid-late
Vistula	stabilna ^{d)}	średnio późna — mid-late
Umiak	niestabilna - nieprzewidywalna ^{c)}	późna — late
Ania	stabilna ^{d)}	średnio późna — mid-late
Anielka	niestabilna - nieprzewidywalna ^{c)}	średnio późna — mid-late
Beata	niestabilna - nieprzewidywalna ^{c)}	średnio późna — mid-late
Klepa	stabilna ^{d)}	średnio późna — mid-late
Jantar	niestabilna - nieprzewidywalna ^{c)}	późna — late
Jasia	stabilna ^{d)}	późna — late
Wawrzyn	stabilna ^{d)}	późna late
Zeus	niestabilna - nieprzewidywalna ^{c)}	średnio wczesna — mid-early
Nimfy	stabilna ^{d)}	późna — late
Rywal	niestabilna - nieprzewidywalna ^{c)}	średnio późna — mid-late
Albina	niestabilna - nieprzewidywalna ^{c)}	wczesna — early
Irys	niestabilna - regularna ^{b)}	bardzo wczesna — very early
Mors	niestabilna - regularna ^{b)}	średnio wczesna — mid-early

a) ocena stabilności w warunkach polowych według Tatarowska i in., 2012; stability in field experiments according to Tatarowska et al. 2012

b) reakcja niestabilna – regularna jest adekwatna do nasilenia epifitozy w danym środowisku; unstable – regular reaction is adequate to the severity of epiphytosis in a given environment

c) reakcja niestabilna – nieprzewidywalna, jeśli brak zależności pomiędzy nasileniem epifitozy w danym środowisku a poziomem porażenia; unstable – unpredictable reaction, if in a given environment relationship between intensity of epiphytosis and infection level is not observed

d) reakcja stabilna jest niezależna od zmiennego środowiska; stable reaction does not depend on the changing environment

METODY OCENY ODPORNOŚCI

Ocena odporności na *Phytophthora infestans* w teście listkowym

Z każdej odmiany oceniano corocznie 20 listków (5 listków $\times$ 2 powtórzenia $\times$ 2 terminy). Do inokulacji stosowano zawiesinę *P. infestans* o koncentracji 50 sporangiów w 1 mm³. Inokulowane listki umieszczano w temp. 16°C przy stałym oświetleniu ok. 1600 luksów. W każdej kuwecie umieszczano listki wzorców podatności i odporności. Jako wzorce stosowano listki z roślin odmiany Sokół oraz diploidalnych klonów DG 94-668 i DG 94-15. Oceny porażenia dokonywano po 6 dniach inkubacji uwzględniając powierzchnię zarodnikującej plamy i intensywność zarodnikowania. Stosowano skalę 9-stopniową (gdzie 9 = brak porażenia; 1 = silne porażenie) (Zarzycka, 2001 a). Ocena odporności odmian w teście listkowym została wykonana w czerwcu.

Ocena odporności bulw na *Phytophthora infestans* w teście plastrowym

Z bulw każdej odmiany oceniano corocznie odporność 20 plastrów (5 plastrów $\times$ 2 powtórzenia $\times$ 2 terminy). Plastry inokulowano zawiesiną *P. infestans* o koncentracji 50 sporangiów w 1 mm³ i umieszczano w temp. 16°C, w ciemności. Stosowano wzorce takie jak w testach listkowych. Oceny porażenia dokonywano po 6 dniach inkubacji uwzględniając powierzchnię plastra pokrytą grzybnia i intensywność zarodnikowania. Stosowano skalę 9-stopniową (gdzie 9 = brak porażenia; 1 = silne porażenie) (Zarzycka, 2001 b). Ocena odporności bulw wykonana została na początku listopada.

Izolaty *Phytophthora infestans* stosowane w doświadczeniach laboratoryjnych

W trakcie doświadczeń do sporządzania inokulum stosowano izolaty *P. infestans* o szerokim spektrum wirulencji i wysokim poziomie agresywności. Do inokulacji listków i plastrów bulw w roku I, II i IV zastosowano izolat MP-324, a w roku III izolat MP-425. Oba izolaty pochodziły z kolekcji izolatów IHAR o/Młochów i reprezentowały typ kojarzeniowy A1. Izolaty wytypowane do testów po wyjęciu ze skosów były 3 krotnie pasażowane na plastrach bulw i inkubowane za każdym razem w temp. 16°C przez 6 dni, w ciemności. Po sporządzeniu zawiesiny inokulacyjnej i sprawdzeniu stężenia za pomocą hemocytometru typu komora Thoma, inokulum umieszczano w temp. 7°C na 2 godz., a następnie w temp. około 20°C na 30 min., w celu przyspieszenia uwalniania pływów. Wirulencja izolatów została sprawdzona na listkach testerów Blacka, natomiast agresywność na listkach odmian nie zawierających genów R. Izolaty wykorzystane w testach laboratoryjnych wykazywały w poszczególnych latach badań następujące czynniki wirulencji (w nawiasie podano czynniki z niepełną ekspresją):

- MP-324 w czasie testowania listków w I roku — 1,2,3,(4),(5),(6),(7),8,10,11
- MP-324 w czasie testowania plastrów w I roku — 1,(2),3,4,(5),(6),(7),(8),(10),(11)
- MP-324 w czasie testowania listków w II roku — 1,2,3,4,6,7,(10),(11)
- MP-324 w czasie testowania plastrów w II roku — 1,2,3,4,(5),6,7,(8),10,11
- MP-425 w czasie testowania listków w III roku — 1,2,3,4,6,7,(10)
- MP-425 w czasie testowania plastrów w III roku — 1,2,3,4,6,7,10,11
- MP-324 w czasie testowania listków w IV roku — 1,2,3,4,6,7,10,11
- MP-324 w czasie testowania plastrów w IV roku — 1,2,3,4,(5),6,7,(8),10,11.

ANALIZY STATYSTYCZNE

Badanie stabilności reakcji odporności odmian ziemniaka na *P. infestans* prowadzono przez cztery lata w warunkach laboratoryjnych. Dla ocen odporności listków i plastrów bulw przeprowadzono analizy wykorzystując program statystyczny Sergen 3 (Caliński i in., 1998). W programie tym podstawę metod statystycznych stanowi model Scheffégo-Calińskiego (Mądry i Kang, 2005), oparty na modelu mieszanym zaproponowanym przez Scheffégo (1959). Model ten jest opisywany poprzez następującą formułę: $Y_{ijk*} = \mu_i + a_i^E(j, k) + e_{ijk*}$, gdzie: Y_{ijk*} = ocena porażenia i -tego genotypu, w j -tym terminie i w k -tym roku; μ_i — jest średnią ogólną (średnia generalna) oraz efektem stałym modelu; $a_i^E(j, k)$ — oznacza reakcję i -tego genotypu na warunki środowiskowe. e_{ijk*} — jest to „błąd średni ważony” dla genotypu i z doświadczenia j oraz roku k . Przyjmuje się przy tym, że składniki $a_i^E(j, k)$ oraz e_{ijk*} są zmiennymi losowymi. Model ten był poprzednio opisywany i wykorzystywany do oszacowania stabilności w sensie biologicznym zaledwie w dwóch pracach (Tatarowska i in., 2011, 2012). Analizy z wykorzystaniem tego modelu dotyczą częściej stabilności w sensie rolniczym (Kaczmarek i in., 2003; Mądry, 2003 a b; Flis i in., 2014).

W przeprowadzonych analizach przyjęto, że „środowisko” jest rozumiane jako interakcja lat z terminami. Termin testu to okres, w którym pobierano listki/plastry do testów laboratoryjnych w celu oceny ich stopnia porażenia.

WYNIKI

Ocena poziomu odporności na *Phytophthora infestans* 22 odmian ziemniaka w teście listkowym

W tabeli 2 przedstawiono średnie wartości odporności w teście listkowym dla 22 odmian ziemniaka. Najslabiej porażonymi odmianami w teście listkowym w całym czteroleciu były odmiany: Wawrzyn, Zeus, Jasia i Meduza, natomiast najsilniej porażonymi: Irys, Albina i Mors (tab. 2). Odmiany najslabiej porażone w doświadczeniu (poza odmianą Meduza) uzyskały średnie oceny niezgodne z ocenami katalogowymi przypisanymi im przez COBORU. W rankingu katalogowym odmiany te zostały zaliczone do odmian średnio odpornych natomiast w prezentowanych badaniach odmiany te zachowały się jak odmiany wysoko odporne. Średnia wartość dla odpornej wg. ocen COBORU odmiany Meduza wskazuje, iż odmiana ta potwierdziła przypisany jej poziom odporności (tab. 2). Odmiany Bzura, Dunajec, Grot, Hinga, Koga, Lawina, Vistula, Umiak, Anielka i Beata uległy znacznie silniejszemu porażeniu w stosunku do ich oceny katalogowej. Odmianami, dla których uzyskano oceny bardzo zbliżone do ocen katalogowych były: Ania, Jantar, Nimfy, Rywał, Albina, Irys i Mors. Odmiana wzorcowa Sokół uzyskała w testach listkowych oceny niższe w porównaniu z ich oceną katalogową (tab. 2).

Tabela 2

Średnie oceny odporności w testach listkowych i plastrowych dla 22 odmian ziemniaka badanych przez 4 lata

Mean values of resistance scores obtained in detached leaflet and tuber slice tests for 22 potato cultivars examined for 4 years

Odmiana Cultivar	Test listkowy Leaflet test			Test plastrowy Tuber slice test		
	wg COBORU ¹⁾ acc. to RCCT ¹⁾	wartość średnia i zakres dla 4 lat mean value and range of 4 years		wg COBORU ¹⁾ acc. to RCCT ¹⁾	wartość średnia i zakres dla 4 lat mean value and range of 4 years	
Bzura	8	3,9	(2,3–6,8)	4	3,7	(2,9–4,7)
Meduza	8	7,2	(4,4–9,0)	5	7,7	(6,4–7,9)
Dunajec	7	3,8	(2,4–4,8)	4	7,0	(6,2–7,6)
Grot	7	5,6	(3,8–6,8)	4	4,8	(3,3–6,5)
Hinga	7	4,4	(2,9–5,8)	4,5	7,5	(6,2–8,2)
Koga	7	5,8	(3,9–6,9)	4	5,4	(4,4–6,0)
Lawina	7	6,3	(3,7–7,7)	4	5,1	(2,8–7,2)
Vistula	7	5,2	(2,9–8,8)	4	5,4	(4,2–7,2)
Umiak	6,5	4,9	(3,4–6,6)	5	4,6	(3,8–5,1)
Ania	6	6,1	(3,6–7,8)	4,5	5,3	(4,0–8,1)
Anielka	6	3,5	(2,5–4,8)	4	5,1	(4,1–7,0)
Beata	6	3,6	(3,0–4,8)	4	4,1	(2,7–5,4)
Jantar	6	5,9	(3,5–8,7)	4,5	5,3	(3,1–7,2)
Jasia	6	7,5	(5,8–8,8)	5	4,9	(3,1–6,3)
Klepa	6	6,5	(4,1–8,6)	3,5	4,8	(4,2–6,5)
Wawrzyn	6	8,9	(8,8–9,0)	4,5	4,6	(3,9–5,4)
Zeus	6	7,9	(6,2–8,6)	4	3,8	(3,1–4,6)
Nimfy	5,5	5,0	(3,8–6,8)	4	6,0	(3,9–7,3)
Rywal	4	3,5	(2,2–4,7)	4,5	4,6	(1,6–6,6)
Albina	3	2,9	(2,2–4,0)	4	5,8	(3,9–8,4)
Irys	3	2,8	(1,8–4,1)	3	3,3	(1,7–6,0)
Mors	3	2,9	(2,1–3,6)	3,5	3,8	(1,4–5,6)
Średnia wartość dla odmian Mean value for cultivars	6	5,2	(4,0–5,8)	4,2	5,1	(4,0–6,0)
Sokół	6	2,9	(2,0–4,7)	6	5,2	(4,0–5,7)
DG 94-668	4,5²⁾	3,4	(2,6–4,2)	7,7²⁾	8,0	(7,5–8,6)
DG 94-15	8,7²⁾	8,1	(8,0–8,2)	8²⁾	8,8	(8,8–8,8)

1) W skali 1–9, gdzie 9 = najodporniejszy; dane pochodzą z tabelarycznej charakterystyki odmian ziemniaków (Chotkowski i Stypa, 2005); In 9 – grade scale, where 9 = the most resistant; data come from the characteristics of potato cultivars (Chotkowski and Stypa 2005).

2) dane dla tych klonów pochodzą z badań prowadzonych w IHAR/Młochów; data for these clones come from studies conducted in IHAR/Młochów.

Wstępna i ogólna analiza wariancji poziomu odporności na *Phytophthora infestans* w teście listkowym

Wstępne analizy wariancji wykazały wysoce istotne zróżnicowanie w poziomie odporności listków 22 badanych odmian ziemniaka w każdym z 8 środowisk (tab. 3). Na podstawie ogólnej analizy wariancji stwierdzono, że na uzyskane oceny w teście listkowym istotny wpływ ma efekt środowiska ($F = 55,32^{**}$), odmiany ($F = 24,21^{**}$) oraz interakcji $G \times E$ ($F = 6,10^{**}$) (tab. 4). Interakcja $G \times E$ jest rozbijana na dwa składniki: regresji efektów interakcyjnych względem środowiska i odchylenia od regresji. Stwierdzono wysoce istotne

odchylenie od regresji ($F = 4,57^{**}$), co wskazuje na dużą zmienność w uzyskanych ocenach (tab. 4).

Tabela 3

Wstępne analizy wariancji dla ocen odporności 22 odmian ziemniaka w testach listkowych
Preliminary analyses of variance of resistance scores for 22 potato cultivars in the detached leaflet tests

Środowisko (rok × termin) Environment (year × date)	Odmiana Cultivar		Błąd Error		Statystyka F ^{a)} F statistic ^{a)}
	stopnie swobody degrees of freedom	średni kwadrat mean square	stopnie swobody degrees of freedom	średni kwadrat mean square	
I (1)	21	31,34	197	3,30	9,48**
I (2)	21	40,52	197	1,68	24,05**
II (1)	21	37,28	197	1,24	30,09**
II (2)	21	58,60	197	0,61	96,76**
III (1)	21	59,16	197	1,70	34,90**
III (2)	21	69,95	197	2,20	31,72**
IV (1)	21	57,79	197	1,41	40,85**
IV (2)	21	20,51	197	1,17	17,59**

^{a)} Poziom istotności: ** – $P < 0,01$; Significant ** at $P < 0,01$

Tabela 4

Ogólna analiza wariancji dla ocen testów listkowych
General analyses of variance for scores obtained in detached leaflets tests

Źródło zmienności Source of variability	Stopnie swobody Degrees of freedom	Średni kwadrat Mean squares	Statystyka F ^{a)} F Statistic ^{a)}
Lata (Y) Years (Y)	3	31,11	3,38
Termin (T) Date (T)	1	37,28	4,05
Środowisko (Y×T = E) Environment (Y×T = E)	3	9,21	55,32**
Odmiana (G) Cultivar (G)	21	24,45	24,21 ^{**b)}
Odmiana × Rok (G×Y) Cultivar × Year (G×Y)	63	3,15	
Odmiana × Termin (G×T) Cultivar × Date (G×T)	21	0,56	
Odmiana × Środowisko (G×E) Cultivar × Environment (G×E)	63	1,01	6,10**
Regresja względem środowiska Regression on environment	21	1,52	
Odchylenie od regresji Deviation from regression	42	0,76	4,57**
Błąd doświadczenia Experimental error	1576	0,17	

^{a)} Poziom istotności: ** – $P < 0,01$; Significant ** at $P < 0,01$

^{b)} Zastosowany model nie pozwala testować istotności zróżnicowania odmian. Przedstawiono wartość $F = \text{średni kwadrat dla odmian} / \text{średni kwadrat odmiana} \times \text{środowisko}$, która pozwala oszacować tę istotność (w przybliżeniu)
The applied statistical model does not allow testing the effect of cultivar. In the table, estimated F value is presented calculated by dividing mean square for cultivar by mean square for cultivar × environment (approximately)

Analiza szczegółowa stabilności reakcji odpornościowej odmian ziemniaka ocenianych w teście listkowym

W celu uzyskania szczegółowych informacji przeprowadzono indywidualną analizę poszczególnych odmian, a mianowicie oceniono istotność efektu głównego (tj. czy średnia ocena odporności danej odmiany odbiega od przeciętnej reakcji, którą jest wartość średnia ocen dla wszystkich odmian w całym doświadczeniu) oraz efektów interakcji (tab. 5).

Tabela 5

Analiza stabilności reakcji w teście listkowym dla 22 odmian ziemniaka
Analysis of stability of reaction in detached leaflet tests for 22 potato cultivars

Odmiana Cultivar	Ocena efektu głównego Estimate of main effect	Stat. F dla efektu głównego ^{a)} F stat. for main effect ^{b)}	Statystyka F dla interakcji z: ^{a)} F statistic for interaction with: ^{a)}		
			latami (Y) years (Y)	terminami (T) dates (T)	środowiskami (E) environments (E)
Wawrzyn	3,727	316,31**	4,13	3,60	2,21
Zeus	2,677	36,31**	3,90	0,53	9,94**
Jasia	2,315	20,68*	3,24	0,32	13,05**
Meduza	2,002	23,95*	2,89	0,03	8,43**
Klepa	1,327	8,79	3,11	0,16	10,09**
Lawina	1,115	26,71*	6,82	0,99	2,34
Ania	0,952	3,52	3,06	0,08	12,97**
Jantar	0,715	3,17	5,13	0,03	8,12**
Koga	0,565	6,06	3,18	0,25	2,65*
Grot	0,427	1,96	1,31	1,52	4,70**
Vistula	0,040	0,24	157,04**	17,40*	0,33
Nimfy	-0,148	0,10	0,92	0,03	10,55**
Umiak	-0,335	0,36	0,61	0,77	15,66**
Hinga	-0,748	10,49*	4,15	0,59	2,68*
Bzura	-1,298	71,19**	26,40*	0,40	1,19
Dunajec	-1,348	7,55	0,10	0,01	12,11**
Beata	-1,573	126,67**	5,70	2,00	0,98
Rywal	-1,698	284,46**	20,13*	0,00	0,51
Anielka	-1,710	259,01**	7,57	0,11	0,57
Mors	-2,298	26,44*	0,29	1,00	10,06**
Albina	-2,335	188,65**	9,63*	4,49	1,46
Irys	-2,373	80,36**	1,74	1,27	3,53*

a) Poziom istotności: * – $P < 0,05$ oraz ** – $P < 0,01$; Significant: * at $P < 0,05$ and ** at $P < 0,01$

Odmiany zaznaczone tłustą czcionką to odmiany o stabilnej ekspresji odporności w testach listkowych; In bold — cultivars with stable expression of reaction in the detached leaflets tests

Stwierdzono, iż dla odmian Wawrzyn, Zeus, Jasia, Meduza i Lawina porażenie listków było istotnie słabsze od wartości średniej, a listki odmian Bzura, Beata, Rywal, Anielka, Mors, Albina i Irys porażają się silniej (tab. 5). Na porażenie listków wpływ miała również interakcja $G \times Y$, jak w przypadku Vistuli, Bzury, Rywala i Albiny oraz interakcja $G \times T$ w przypadku odmiany Vistula (tab. 5). Dla 14 spośród 22 badanych odmian, a mianowicie Zeusa, Jasi, Meduzy, Klepy, Ani, Jantara, Kogi, Grota, Nimf, Umiaka, Hingi, Dunajca, Morsa i Irysa stwierdzono istotny wpływ interakcji $G \times E$.

Do odmian o stabilnej reakcji listków możemy zaliczyć tylko te, dla których efekty wszystkich interakcji okazały się statystycznie nieistotne. Taką stabilną reakcją w teście listkowym charakteryzowała się odporna odmiana Wawrzyn (średnia ocena 8,9), średnio

odporna Lawina (średnia ocena 6,3) oraz podatne odmiany Beata i Anielka z niskimi średnimi ocenami (odpowiednio 3,6 i 3,5) (tab. 5 i tab. 2).

Ocena poziomu odporności na *Phytophthora infestans* 22 odmian ziemniaka w teście plastrowym

W tabeli 2 przedstawiono średnie wartości odporności w teście plastrowym dla 22 odmian ziemniaka. Najslabiej porażonymi odmianami w teście plastrowym w całym czteroleciu były odmiany: Meduza, Hinga i Dunajec. Uzyskane oceny dla tych odmian w teście plastrowym są znacznie wyższe od ocen katalogowych. Najsilniej porażały się natomiast odmiany: Irys, Bzura, Zeus i Mors, które zachowały się w doświadczeniu tak jak wskazuje na to ich ocena katalogowa. Dla pozostałych odmian uzyskano oceny odporności zbliżone do ocen katalogowych. Zastosowane w doświadczeniu wzorce uzyskiwały oceny zgodne z ocenami im przypisanymi (tab. 2).

Wstępna i ogólna analiza wariancji poziomu odporności na *Phytophthora infestans* w teście plastrowym

Wstępne analizy wariancji dla 8 środowisk wykazały istotne zróżnicowanie w poziomie odporności na *P. infestans* plastrów 22 odmian ziemniaka w 8 środowiskach na poziomie istotności $P = 0,01$ (tab. 7). Największe zróżnicowanie w poziomie odporności ocenianych 22 odmian ziemniaka wystąpiło w 1 i 2 terminie testu w roku IV (tab. 6). Testy wykonywane tego roku w 1 i 2 terminie były testami słabymi (najsłabsze porażenie 22 odmian ziemniaka) (tab. 6).

Tabela 6

Wstępne analizy wariancji dla ocen odporności 22 odmian ziemniaka w testach plastrowych Preliminary analyses of variance for resistance scores of 22 potato cultivars in tuber slices tests

Środowisko (rok × termin) Environment (year × date)	Odmiana Cultivar		Błąd Error		Statystyka F ^{a)} F statistic ^{a)}
	stopnie swobody degrees of freedom	średnie kwadraty mean square	stopnie swobody degrees of freedom	średnie kwadraty mean square	
I (1)	21	19,92	197	2,95	6,75**
I (2)	21	40,48	197	4,33	9,34**
II (1)	21	34,50	197	2,62	13,18**
II (2)	21	18,26	197	1,17	15,62**
III (1)	21	16,29	197	1,96	8,30**
III (2)	21	39,45	197	2,00	19,69**
IV (1)	21	18,95	197	0,86	22,10**
IV (2)	21	28,64	197	1,05	27,29**

^{a)} Poziom istotności: ** $P < 0,01$

^{a)} Significant ** at $P < 0,01$

Na oceny uzyskane w teście plastrowym istotny wpływ miał efekt środowiska ($F = 107,26^{**}$), odmiany ($F = 13,29^{**}$) oraz interakcji $G \times E$ ($F = 3,94^{**}$) (tab. 7). Dokonane w analizie wariancji rozbięcie sumy kwadratów dla interakcji $G \times E$ na dwa składniki (regresji efektów interakcyjnych względem środowiska i odchylenia od regresji), umożliwiło podobnie jak w przypadku testów listkowych, testowanie hipotezy o braku istotnego odchylenia od regresji względem środowiska. Ta hipoteza została odrzucona, stwierdzono wysoce istotne odchylenie od regresji ($F = 3,86^{**}$), które dodatkowo potwierdza występowanie niejednakowej reakcji odpornościowej odmian w 8 środowiskach (tab. 7).

Tabela 7

Ogólna analiza wariancji dla ocen testów plastrowych
General analyses of variance for scores obtained in tuber slice tests

Źródło zmienności Source of variability	Stopnie swobody Degrees of freedom	Suma kwadratów Sum of squares	Średni kwadrat Mean squares	Stat. F ^{a)} F Stat. ^{a)}
Lata (Y) Years (Y)	3	106,51	35,50	1,56
Termin (T) Date (T)	1	6,72	6,72	0,30
Środowisko (Y×T=E) Environment (Y×T=E)	3	68,15	22,72	107,26**
Odmiana (G) Cultivar (G)	21	231,53	11,03	13,29** ^{b)}
Odmiana × Rok (G×Y) Cultivar × Year (G×Y)	63	146,57	2,33	
Odmiana × Termin (G×T) Cultivar × Date (G×T)	21	23,99	1,14	
Odmiana × Środowisko (G×E) Cultivar × Environment (G×E)	63	52,56	0,83	3,94**
Regresja względem środowiska Regression on environment	21	18,20	0,87	
Odchylenie od regresji Deviation from regression	42	34,36	0,82	3,86**
Błąd doświadczenia Experimental error	1576		0,21	

^{a)} Poziom istotności: ** – P<0,01

^{a)} Significant ** at P<0.01

Patrz Tabela 4; See footnote to Table 4

Analiza szczegółowa stabilności reakcji odpornościowej odmian ziemniaka ocenianych w teście plastrowym

Podobnie jak w przypadku testów listkowych przeprowadzono szczegółową analizę. Istotne efekty główne stwierdzono zarówno dla odmian z wyższymi ocenami w teście (Meduza, Hinga, Dunajec, Nimfy, Albina) jak i z ocenami niskimi (Mors, Zeus, Bzura, Irys). Na obserwowaną reakcję odmian Albina, Ania, Lawina, Anielka, Zeus i Irys wpływ miała interakcja G×Y. Dodatkowo dla odmian Albina i Ania odnotowano wpływ interakcji G×T (tab. 8). Ponadto dla 11 odmian stwierdzono istotny wpływ interakcji G×E. Łącznie do odmian o niestabilnej reakcji odpornościowej w testach plastrowych zaliczono 17 odmian: Hinga, Dunajec, Albina, Koga, Jantar, Ania, Lawina, Anielka, Jasia, Grot, Wawrzyn, Umiak, Rywał, Beata, Zeus, Bzura i Irys (tab. 8). W grupie odmian o stabilnej reakcji plasterów znalazło się pięć odmian: Meduza, Nimfy, Vistula, Klepa i Mors, dla których efekty interakcji okazały się nieistotne statystycznie (tab. 8).

Tabela 8

Analiza stabilności reakcji w teście plastrowym dla 22 odmian ziemniaka
Analysis of stability of reaction in tuber slice test for 22 potato cultivars

Odmiana Cultivar	Ocena efektu głównego Value of main effect	Stat. F dla efektu głównego ^{a)} F stat. for main effect ^{a)}	Statystyka F dla interakcji z: ^{a)} F statistic for interaction with: ^{a)}		
			latami (Y) years (Y)	terminami (T) dates (T)	środkami (E) environments (E)
Meduza	2,620	183,40**	0,89	4,72	1,48
Hinga	2,420	13,57*	0,06	0,28	17,08**
Dunajec	1,883	33,45*	1,05	0,32	4,19**
Nimfy	0,870	12,12*	5,09	0,03	2,47
Albina	0,695	13,00*	21,05*	11,52*	1,47
Vistula	0,333	3,36	8,13	5,92	1,31
Koga	0,245	0,76	5,42	2,34	3,12*
Jantar	0,220	0,29	1,44	0,19	6,59**
Ania	0,170	7,04	120,10**	117,17**	0,16
Lawina	-0,030	0,21	77,71**	0,10	0,17
Anielka	-0,055	0,11	9,54*	0,24	1,06
Jasia	-0,230	0,45	1,12	1,58	4,61**
Klepa	-0,292	2,69	5,64	0,56	1,25
Grot	-0,305	0,55	0,64	0,03	6,69**
Wawrzyn	-0,492	1,97	0,90	0,54	4,86**
Umiak	-0,517	0,73	0,38	1,47	14,46**
Rywal	-0,542	3,13	7,39	0,02	3,72*
Beata	-1,017	6,36	1,68	0,41	6,44**
Mors	-1,342	50,98**	7,86	0,00	1,40
Zeus	-1,355	641,76**	94,39**	0,15	0,11
Bzura	-1,442	30,22*	0,53	1,96	2,72*
Irys	-1,842	104,70**	18,60*	9,92	1,28

a) Poziom istotności: * — $P < 0,05$ oraz ** — $P < 0,01$; Significant: * at $P < 0,05$ and ** at $P < 0,01$

Odmiany zaznaczone tłustą czcionką to odmiany o stabilnej ekspresji odporności w testach plastrowych

In bold — cultivars with stable expression of reaction in tuber slices

DYSKUSJA

Ocena poziomu odporności na zarazę ziemniaka w warunkach naturalnej presji infekcyjnej często uzupełniana jest oceną części nadziemnej w warunkach laboratoryjnych (Novy i in., 2006). Począwszy od lat 60. wielu badaczy w swoich pracach stwierdzało istnienie dość wysokiej korelacji między reakcją obserwowaną w teście listkowym, a reakcją w warunkach polowych (Hodgson, 1961; Pietkiewicz, 1972; Świeżyński i in., 1997; Stewart i Bradshaw, 2001). Pierwsze próby oceny odporności genotypów ziemniaka przy użyciu testu listkowego zostały przeprowadzone w Holandii w latach 50. (Toxopeus, 1954), a obecnie metoda ta jest stosowana na szeroką skalę na świecie i w Polsce. Test ten posiada szereg zalet: jest metodą szybką, tanią, może być standaryzowany pod względem warunków inkubacji i inokulacji oraz jest niezależny od wystąpienia epifitozy w polu (Zarzycka i Sujkowski, 1988 a). Jak dotąd nie ma w literaturze opracowań poruszających zagadnienia fenotypowej stabilności reakcji odpornościowej na zarazę ziemniaka odmian/rodów ocenianych w warunkach laboratoryjnych.

Przeprowadzone w pracy analizy wykazały istotne zróżnicowanie w poziomie odporności zarazą ziemniaka poszczególnych odmian w każdym z analizowanych testów

listkowych (środowisk). Odnotowano istotny wpływ środowiska i interakcji $G \times E$ na obserwowany poziom odporności listków. Szczegółowa analiza zmienności obserwowanej w testach listkowych pozwoliła wyróżnić odmiany o stabilnej reakcji. W grupie tej znalazły się zaledwie cztery odmiany ziemniaka o różnym poziomie odporności: Wawrzyn, Lawina, Beata i Anielka. Odmiany te w teście listkowym wykazały się stabilną reakcją listków w latach, terminach i środowiskach. Udział interakcji $G \times E$ w zmienności wnoszonej przez te odmiany był statystycznie nieistotny. W grupie odmian o stabilnej reakcji odpornościowej w teście listkowym na szczególną uwagę zasługuje późna odmiana Wawrzyn, która w ocenach katalogowych jest przedstawiana jako odmiana średnio odporna w naci (ocena odporności 6,0), natomiast w doświadczeniu laboratoryjnym uzyskała oceny znacznie wyższe (zakres ocen 8,8–9,0). Odmiana Wawrzyn również w testach polowych została zaklasyfikowana do grupy odmian stabilnie odpornych (Tatarowska i in., 2011, 2012). Do odmian wykazujących stabilną reakcję listków zaliczono również odmianę Lawina. W ocenie polowej odmiana ta została zaliczona do odmian niestabilnych – regularnych, co oznacza, że w warunkach naturalnej presji infekcyjnej wykazywała silną reakcję na zmienność lat i miejscowości, reagowała adekwatnie do nasilenia epifitozy w danym roku i miejscu (Tatarowska i in., 2012). Odmiany Beata i Anielka w testach listkowych wykazywały stabilną reakcję, natomiast w testach polowych zostały zaklasyfikowane do grupy odmian, których reakcja na zmienne środowisko jest całkowicie nieprzewidywalna (odmiany niestabilne –nieprzewidywalne), choć wartości $rAUDPC$ uzyskane w doświadczeniach polowych wskazują na średni poziom odporności (Tatarowska i in., 2012).

Dla pozostałych 18 odmian stwierdzono, że reakcja listków była zmienna w latach i/lub terminach i/lub środowiskach. W grupie odmian o niestabilnej reakcji listków znalazły się 3 odmiany odporne (Zeus, Jasia, Meduza), 9 średnio odpornych (Klepa, Ania, Jantar, Koga, Grot, Vistula, Nimfy, Umiak i Hinga) oraz 6 podatnych (Bzura, Dunajec, Rywał, Mors, Albina i Irys). Dla odmian Vistula, Bzura, Rywał i Albina nie stwierdzono istotnego udziału w interakcji $G \times E$, ale odnotowano istotny udział interakcji $G \times Y$ i/lub $G \times T$. Odmiany Klepa, Jasia, Nimfy, Ania, Hinga, Vistula, Bzura, Meduza w doświadczeniach polowych wykazywały stabilny poziom odporności (Tatarowska i in., 2012).

Testy listkowe przeprowadzane w kontrolowanych warunkach i przy zastosowaniu znanego izolatu *P. infestans* są zazwyczaj testami silniejszymi w porównaniu z oceną polową i wykorzystywane są najczęściej do charakteryzowania poziomu odporności materiału badanych form (Park i in., 2005; Foster i in., 2009; Śliwka i in., 2006 b). Przy jego pomocy można oceniać wszystkie materiały niezależnie od grupy wczesności (Zarzycka i Sujkowski, 1988 a). Na zmienność reakcji obserwowanej w testach laboratoryjnych wpływa wiele czynników, takich jak warunki środowiskowe w jakich rosną rośliny (Carnegie i Colhoun, 1982), ich wiek oraz położenie liści na roślinie, z której pobierane są listki do testów (Hodgson, 1961; Carnegie i Colhoun, 1980, 1982; Stewart i in., 1983; Fry i Apple, 1986; Stewart, 1990; Dorrance i Iglis, 1997; Visker, 2005). Na zmienność tę wpływają także warunki prowadzenia kultur *P. infestans* (Zarzycka i Połozynowicz, 1994; Zarzycka, 1995; Sobkowiak i in., 2004 a b; Sobkowiak i in., 2012) oraz okresowa zmienność patogeniczności (Flier i in., 1998; Sujkowski, 1983; Sujkowski

i in., 1994, 1996; Śliwka i in., 2006 a; Świeżyński i in., 1996; Zarzycka i in., 2002; Sobkowiak i in., 2004 c). W przeprowadzonych badaniach można było również zaobserwować na testerach Blacka zmienność wirulencji stosowanych izolatów, co również miało istotny wpływ na reakcję odpornościową ocenianych odmian.

Wyniki przedstawione w pracy pokazują dużą zmienność w reakcji listków w doświadczeniach wieloletnich. Brak możliwości uwzględnienia takich czynników jak interakcja rośliny ze zmienną populacją patogena oraz różnymi warunkami środowiska naturalnego uniemożliwia wnioskowanie o stabilności odporności tej cechy. W przypadku testów laboratoryjnych możemy jedynie mówić o stabilnej reakcji listków wykonując doświadczenia wieloletnie. Testy laboratoryjne nie są właściwym narzędziem do oszacowywania stabilności odporności, gdyż nie uwzględniają wielu elementów mających istotny wpływ na tę cechę. Doświadczenia polowe z cyklicznie wykonywanymi obserwacjami w trakcie sezonu są bardzo czasochłonne i wymagają dużego nakładu pracy, lecz pozwalają na określenie realnego (obserwowanego w realnych warunkach uprawy w polu) poziomu odporności badanego materiału oraz na wnioskowanie o rodzaju obserwowanej odporności (Simko i in., 2007, Tatarowska i in., 2011, 2012).

Ważnym elementem hodowli odpornościowej na *P. infestans* jest poznanie poziomu odporności bulw. Odporność ta jest bardzo słabo skorelowana z odpornością naci (Świeżyński, 1990; Platt i Tai, 1998; Świeżyński i Zimnoch-Guzowska, 2001; Flier i in., 2003). Ocena poziomu odporności bulw ziemniaka jest oszacowywana przez wielu badaczy w warunkach laboratoryjnych, poprzez testowanie całych bulw lub plastrów. Duży wpływ na poziom odporności ma termin, w którym przeprowadzana jest ocena bulw/plastrów (Darsow, 2004; Lebecka i in., 2006). Poziom odporności bulw ocenianych genotypów może również zależeć od temperatury w jakiej bulwy były przechowywane przed testowaniem oraz od wielkości bulwy z której wycinano plaster (Darsow, 1987).

Prezentowane wyniki wskazują na zmienną reakcję zakażanych plastrów bulw w latach i/lub terminach i/lub środowiskach. Wyróżniono jednak odmiany o reakcji stabilnej, tj. takie, dla których udział interakcji $G \times E$ i/lub $G \times Y$ i/lub $G \times T$ w zmienności był nieistotny. W grupie tej znalazło się pięć odmian ziemniaka: Meduza, Nimfy, Vistula, Klepa i Mors. Poziom odporności tych odmian nie odbiegał istotnie od średniego poziomu odporności wszystkich odmian w danym środowisku (średnia środowiskowa) oraz od średniego poziomu odporności wszystkich odmian w całym doświadczeniu (średnia generalna). W grupie odmian o stabilnej reakcji plastrów znalazła się jedna odmiana odporna (Meduza), trzy odmiany średnio odporne (Nimfy, Vistula, Klepa) oraz jedna odmiana podatna (Mors). W grupie odmian z niestabilną reakcją plastrów znalazło się 17 odmian, a wśród nich 2 odmiany odporne w testach plastrowych (Hinga i Dunajec), 12 odmian średnio odpornych (Albina, Koga, Ania, Jantar, Anielka, Lawina, Jasia, Grot, Rywał, Umiak, Wawrzyn i Beata) oraz 3 odmiany podatne (Zeus, Bzura i Irys).

Dotychczas wielu badaczy kładło główny nacisk na wysoki i stabilny poziom odporności na *P. infestans* części nadziemnej. W ostatnich latach zaczęto jednak skupiać większą uwagę na odporności znajdującej się w bulwach (Flier i in., 2001, 2003) stwierdzając, iż połączenie stabilnej odporności bulw i naci, może znacznie przyczynić się do zmniejszenia strat powodowanych przez tego patogena. Literatura poświęcona

zagadnieniom oceny stabilności reakcji odporności bulw/plastrów jest bardzo skromna. Wykorzystując testy parametryczne jako miary oszacowujące stabilność Mulema i współpracownicy (2004/2005) oceniali stabilność reakcji bulw ziemniaka w warunkach polowych w Ugandzie. Autorzy wskazali, że zmienność, jaką obserwowali w trakcie swoich badań, powinna skłaniać innych badaczy do szacowania stabilności tej cechy, gdyż uprawa form o stabilnej odporności prowadzi do ograniczenia strat ekonomicznych powodowanych przez porażenie bulw. Analizy statystyczne prowadzone przez Flier i innych (2001) wykazały bardzo zmienne uszeregowanie odmian pod względem odporności ocenianej w bulwach i plastrach w poszczególnych latach trwania doświadczeń. Autorzy oszacowywali kilka komponentów poziomu odporności bulw (IF — % zainfekowanych bulw oraz IAI — indeks inwazyjnej zdolności do porażania) i plastrów (NC — % tkanek nekrotycznych oraz My — gęstość grzybni). Uzyskane wartości dla poszczególnych komponentów były bardzo zróżnicowane (niskie współczynniki korelacji) i zależały od ocenianej odmiany i zastosowanego izolatu. Stwierdzono, iż plastry bulw porażane są silniej w porównaniu do całych bulw. W ocenie bulw istotnym elementem jest również termin w którym przeprowadzane są testy laboratoryjne. Według Świeżyńskiego i Domańskiego (1997) ocenę odporności bulw należy przeprowadzać w okresie jesiennym, dwa miesiące po spręcie, w dwóch terminach (w odstępach tygodniowych), gdyż relacje odpornościowe zmieniają się w miarę dojrzewania przechowywanych bulw. Z drugiej strony inni autorzy zalecają testowanie bulw w okresie od września do końca listopada, ponieważ właśnie wówczas można zaobserwować najbardziej stabilną ekspresję odporności bulw na *P. infestans* (Lebecka i in., 2006).

WNIOSKI

1. Stosując analizę interakcji G×E dla ocen odporności uzyskanych w trakcie 4 letnich testów laboratoryjnych wyróżniono odmiany o stabilnej i niestabilnej reakcji listków i plastrów.
2. W grupie odmian o stabilnej reakcji listków znalazła się odmiana odporna Wawrzyn, średnio odporna Lawina i dwie odmiany podatne Beata i Anielka.
3. W grupie odmian z niestabilną reakcją listków znalazły się odmiany: Zeus, Jasia, Meduza, Klepa, Ania, Jantar, Koga, Grot, Vistula, Nimfy, Umiak, Hinga, Bzura, Dunajec, Rywał, Mors, Albina i Irys.
4. W grupie odmian ze stabilną reakcją plastrów znalazła się odmiana odporna Meduza, trzy odmiany średnio odporne: Nimfy, Vistula, Klepa oraz jedna odmiana podatna Mors.
5. W grupie odmian z niestabilną reakcją plastrów znalazły się odmiany: Hinga, Dunajec, Albina, Koga, Ania, Jantar, Anielka, Lawina, Jasia, Grot, Rywał, Umiak, Wawrzyn, Beata, Zeus, Bzura i Irys.
6. Testy laboratoryjne pozwalają na oszacowywanie stabilnej reakcji listków/plastrów, natomiast najwłaściwszym narzędziem do oceny stabilności odporności są wielokrotne i wieloletnie doświadczenia polowe.

7. Zmienność reakcji listków/plastrów badanych odmian ziemniaka w przeprowadzanych testach zależała nie tylko od genotypów żywiciela, ale również od izolatu użytego do inokulacji i zmienności jego pasożytniczej kondycji w trakcie infekcji.
8. Obserwowana na testerach Blacka zmienność patogeniczności stosowanych izolatów w testach sprawia, iż głównym czynnikiem kryjącym się pod hasłem „środowisko” (obok lat i terminu) i wchodzącym w interakcje z odmianami o wyższej odporności był patogen.

LITERATURA

- Caliński T., Czajka S., Kaczmarek Z., Krajewski P., Siatkowski I. 1998. Podręcznik użytkownika programu SerGen 3. Instytut Genetyki Roślin PAN w Poznaniu.
- Carnegie S.F., Colhoun J. 1980. Differential leaf susceptibility to *Phytophthora infestans* on potato plants of cv. King Edward. *Phytopathology* 98: 108 — 117.
- Carnegie S. F., Colhoun J. 1982. Susceptibility of potato leaves to *Phytophthora infestans* in relation to plant age and leaf position. *Phytopathologische Zeitschrift* 104, no. 2: 157 — 167.
- Chotkowski J., Stypa I. 2004. Odmiany ziemniaków. Charakterystyka tabelaryczna. Bonin, Koszalin 2004.
- Darsow U. 1987. Long-term results of a tuber slice test for relative resistance to late blight. *Potato Res.* 30: 9 — 22.
- Darsow U. 2004. The use of four different assessment methods to establish relative potato tuber blight resistance for breeding. *Potato Res.* 47: 163 — 174.
- Dorrance A. E., Inglis D. A. 1997. Assessment of greenhouse and laboratory screening methods for evaluating potato foliage for resistance to late blight. *Plant Disease* 81: 1206 — 1213.
- Elansky S., Smirnov A., Dyakov Y., Dolgova A., Filippov A., Kozlovsky B., Kozlovskaya I., Russo P., Smart C., Fry W. E. 2001. Genotypic analysis of Russian isolates of *Phytophthora infestans* from Moscow region, Siberia and Far East. *J. Phytopathology* 149: 605 — 611.
- Flier W. G., Turkensteen L. J., Mulder A. 1998. Variation in tuber pathogenicity of *Phytophthora infestans* in the Netherlands. *Potato Res.* 41: 345 — 354.
- Flier W. G., Turkensteen L.J., van den Bosch G. B. M., Vereijken P. F. G., Mulder A. 2001. Differential interaction of *Phytophthora infestans* on tubers of potato cultivars with different levels of blight resistance. *Plant Pathology* 50: 292 — 301.
- Flier W. G., Turkensteen L. J., van den Bosch G. B.M. 2003. Stability of partial resistance in potato cultivars exposed to aggressive strains of *Phytophthora infestans*. *Plant Pathology* 52: 326 — 337.
- Flis B., Domański L., Zimnoch-Guzowska E., Polgar Z., Pousa S. Á., Pawlak A. 2014. Stability analysis of agronomic traits in potato cultivars of different. Origin DOI 10.1007/s12230-013-9364-6.
- Foster S. J., Park T. H., Pel M., Brigneti G., Śliwka J., Jagger L., van der Vossen E. A. G., Jones J. D. 2009. *Rpi-vnt1.1*, a Tm-22 homolog from *Solanum venturii*, confers resistance to potato late blight. *Molecular Plant-Microbe Interaction* 22: 589 — 600.
- Fry W. E., Apple A. E. 1986. Disease management implications of age-related changes in susceptibility of potato foliage to *Phytophthora infestans*. *American Potato Journal* Vol. 63: 47 — 56.
- Fry W. E. 2008. *Phytophthora infestans*: the plant (and R gene) destroyer. *Mol. Plant Path.* 9 (3): 1 — 18.
- Hodgson W. A. 1961. Laboratory testing of the potato for partial resistance to *Phytophthora infestans*. *Amer. Potato J.* 38: 259 — 264.
- Kapsa J. 2004. Zmiany stanu zagrożenia i ochrony plantacji ziemniaka przed zarazą (*P. infestans*) w Polsce na tle krajów europejskich. *Prog. Plant Prot.* 44 (1): 129 — 137.
- Kaczmarek J., Kotecki A., Kotowicz L., Weber R. 2003. Interakcja genotypowo-środowiskowa plonowania odmian rzepaku ozimego w doświadczeniach PDO. *Biul. IHAR* 226/227/2: 395 — 403.
- Lapwood D. H., McKee R. K. 1961. Reaction of tubers of R-gene potato clones to inoculation with specialized races of *Phytophthora infestans*. *Eur. Potato J.* 4: 3 — 9.

- Lapwood D. H. 1967. Laboratory assessments of the susceptibility of potato tubers to infection by blight (*Phytophthora infestans*). Eur. Potato J. 10: 127 — 135.
- Lebecka R., Sobkowiak S., Zimnoch-Guzowska E. 2006. Resistance of potato tubers to a highly aggressive isolate to *Phytophthora infestans* in relation to tuber age. Potato Res. 49: 99 — 107.
- Mądry W. 2003 a. Zastosowanie modeli mieszanych Shukli i regresji łącznej do analizy stabilności i adaptacji genotypów. Część I. Podstawy teoretyczne. Biul. IHAR 226/227/1: 7 — 14.
- Mądry W. 2003 b. Zastosowanie modeli mieszanych Shukli i regresji łącznej do analizy stabilności i adaptacji genotypów. Część II. Przykład dla pszenicy jarej. Biul. IHAR 226/227/1: 15 — 23.
- Mądry W., Kang M. S. 2005. Scheffe-Caliński and Shukla Models: Their Interpretation and usefulness in stability and adaptation analyses. Journal of Crop Improvement 14 (1/2): 325 — 369.
- Mulema J. M. K., Olanya O.M., Adipala E., Wagoire W. 2004/5. Stability of late blight resistance in Population B potato clones. Potato Res. 47: 11 — 24.
- Novy R. G., Love S. L., Corsini D. L., Pavek J. J., Whitworth J. L., Mosley A. R., James S. R., Hane D. C., Shock C. C., Rykbost K. A., Brown C. R., Thornton R. E., Knowles N. R., Pavek M. J., Olsen N., Inglis D. A. 2006. Defender: A high-yielding, processing potato cultivar with foliar and tuber resistance to late blight. Amer. J. of Potato Res. 83: 9 — 19.
- Park T. H., Vleeshouwers V. G. A. A., Huigen D. J., van der Vossen E. A. G., van Eck H. J., Visser R. G. F. 2005 a. Characterization and high-resolution mapping of a late blight resistance locus similar to *R2* in potato. Theoretical and Applied Genetics 111 (3): 591 — 597.
- Perez W. G., Gamboa J. S., Falcon Y. V., Coca M., Raymundo R. M., Nelson R. J. 2001. Genetic structure of Peruvian populations of *Phytophthora infestans*. Phytopathology 91: 956 — 965.
- Pietkiewicz J. B 1972. Badania odporności ziemniaka na zarazę ziemniaczaną (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary) na odciętych liściach. Biul. Inst. Ziemn. 9: 17 — 32.
- Platt H.W., Tai G. 1998. Relationship between resistance to late blight in potato foliage and tuber of cultivars and breeding selections with different resistance levels. Amer. J. of Potato Res. 75: 173 — 178.
- Scheffe H. 1959. The analysis of variance. J. Wiley and Sons, New York.
- Sobkowiak S., Zarzycka H., Zimnoch-Guzowska E. 2004 a. Effect of deep freezing of *Phytophthora infestans* cultures on their survival and pathogenicity. Plant Breed. Seed Sci. 49 (1): 79 — 89.
- Sobkowiak S., Zimnoch-Guzowska E., Zarzycka H. 2004b. Effect of various culture treatments on virulence and aggressiveness expression of *Phytophthora infestans*. 2004. Acta Agrobot. 57 (1–2): 131 — 143.
- Sobkowiak S., Zarzycka H., Lebecka R., Zimnoch-Guzowska E. 2004 c. Wpływ koncentracji inokulum i terminów oceny odporności na ekspresję agresywności i wirulencji *Phytophthora infestans* w stosunku do ziemniaka. Biul. IHAR. 233: 317 — 331.
- Sobkowiak S., Zarzycka H., Śliwka J. 2012. The influence of long-term storage in liquid nitrogen on survival and pathogenicity of *Phytophthora infestans* isolates. J. Plant Prot. Res. (52) 4: 479 — 485.
- Stewart H. E., Taylor K., Wastie R. L. 1983. Resistance to late blight in foliage (*Phytophthora infestans*) of potatoes assessed as true seedlings and as adult plants in the glasshouse. Potato Res. 26: 363 — 366.
- Stewart H. E. 1990. Effect of plant age and inoculum concentration on expression of major gene resistance to *Phytophthora infestans* in detached potato leaflets. Mycol. Res. 94 (6): 823 — 826.
- Stewart H. E., Bradshaw J. E. 2001. Assessment of the field resistance of potato genotypes with major gene resistance to late blight (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary) using inoculum comprised of two complementary races of the fungus. Potato Res. 44: 41 — 52.
- Simko I., Jansky S., Stephenson S., Spooner D. 2007. Genetic of resistance to pests and disease. In: Potato biology and biotechnology: advances and perspectives. D. Vreugdenhil, Ed., Elsevier, Amsterdam, The Netherlands: 117 — 155.
- Sujkowski L. S. 1983. Zmienność właściwości pasożytniczych grzyba *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary w stosunku do ziemniaka w cyklu rocznym. PhD. thesis. Młochów: 63 ss.
- Sujkowski L. S., Goodwin S. B., Dyer A.T., Fry W. E. 1994. Increased genotypic diversity via migration and possible occurrence of sexual reproduction of *Phytophthora infestans* in Poland. Phytopathology 84: 201 — 207.
- Sujkowski L.S., Goodwin S. B., Fry W. E. 1996. Changes in specific virulence in Polish populations of *Phytophthora infestans*: 1985–1991. Eur. J. Plant Pathol. 102: 555 — 561.

- Śliwka J., Sobkowiak S., Lebecka R., Avendaño-Córcoles J., Zimnoch-Guzowska E. 2006 a. Mating Type, Virulence, Aggressiveness and Metalaxyl Resistance of Isolates of *Phytophthora Infestans* in Poland. *Potato Res.* 49 (3): 155 — 166.
- Śliwka J., Jakuczun H., Lebecka R., Marczewski W., Gebhardt C., Zimnoch-Guzowska E. 2006 b. The novel, major locus *Rpi-phu1* for late blight resistance maps to potato chromosome IX and is not correlated with long vegetation period. *Theoretical and Applied Genetics* 113: 685 — 695.
- Świeżyński K. M. 1990. Resistance to *Phytophthora infestans* in potato cultivars and its relation to maturity. *Genetica Polonica* 31: 99 — 106.
- Świeżyński K. M., Domański L., Sobkowiak S., Zarzycka H. 1996. Resistance to *Phytophthora infestans* of potato genotypes with race-specific resistance. *Potato Res.* 39: 195 — 203.
- Świeżyński K. M., Domański L., Osiecka M., Sieczka M.T., Zarzycka H. 1997. Resistance to *Phytophthora infestans* in diploid and tetraploid potato families. 1. Resistance in detached leaflets. *J. Appl. Genet.* 38 (1): 19 — 32.
- Świeżyński K. M., Domański L. 1997. Porównanie odmian ziemniaka Polski, Niemiec i Holandii pod względem wczesności i jakości bulw. *Biul. Inst. Ziemn.* 48 (II): 37 — 51.
- Świeżyński K. M., Zimnoch-Guzowska E. 2001. Breeding potato cultivars with tubers resistant to *Phytophthora infestans*. *Potato Res.* 44: 97 — 117.
- Tatarowska B., Flis B., Plich J. 2011. Zastosowanie modelu mieszanego Scheffégo–Calińskiego do analizy stabilności odporności odmian ziemniaka na *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. *Biul. IHAR.* 262: 141 — 154.
- Tatarowska B., Flis B., Zimnoch-Guzowska E. 2012. Biological stability of resistance to *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary in 22 polish potato cultivars evaluation in field experiments. *Amer. J. Potato Res.* 89 (3): 73 — 81.
- Toxopeus H. J. 1954. Leaf testing as a method of genetical analysis of immunity from *Phytophthora infestans* in potatoes. *Euphytica* 3: 233 — 240.
- Visker M. H. P.W. 2005. Association between late blight resistance and foliage maturity type in potato-physiological and genetical studies. Ph.D. thesis, Wageningen, University, the Netherlands: 1 — 160.
- Zarzycka H., Połoszynowicz J. 1994. Wpływ wywaru bulw na infekcyjność zawiesiny zarodników *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary w stosunku do ziemniaka. *Biul. Inst. Ziemn.* 44: 121 — 129.
- Zarzycka H. 1995. Effect of culturing *Phytophthora infestans* on expression of its virulence and aggressiveness to potato. *Phytopath. Pol.* 9 (21): 81 — 88
- Zarzycka H., Sujkowski L.S. 1988 a. Skuteczność testu listkowego jako metody oceny odporności ziemniaków na *Phytophthora infestans*. *Rocznik Nauk Rolniczych* 6: 81 — 87.
- Zarzycka H., Sujkowski L. S. 1988 b. Postępy w metodach oceny odporności ziemniaków na zarazę ziemniaka. *Genetyczne podstawy hodowli ziemniaka.* Bonin: 146 — 155.
- Zarzycka H. 2001 a. Ocena odporności na zarazę ziemniaka w teście listkowym. Sporządzenie inokulum. *Monografie i Rozprawy Naukowe IHAR 10/2001, IHAR Radzików:* 77 — 79.
- Zarzycka H. 2001 b. Ocena odporności bulw na zarazę ziemniaka w teście plastrowym i bulwowym. *Monografie i Rozprawy Naukowe IHAR 10/2001, IHAR Radzików:* 80 — 82.
- Zarzycka H., Sobkowiak S., Lebecka R., Tatarowska B. 2002. Kształtowanie się fenotypowej struktury populacji *Phytophthora infestans* w Polsce w ciągu 15-lecia 1987–2001. *Acta Agrobotanica* 55: 389 — 400.
- Zimnoch-Guzowska E., Tatarowska B. 2004. Bottle necks in breeding late blight resistant potato. *Plant Breeding and Seed Science* 50: 71 — 79.

MARTA BRYLIŃSKA**JADWIGA ŚLIWKA**

Pracownia Badania Odporności na Grzyby i Bakterie

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy, Młochów

Efektory — kluczowe białka w interakcji ziemniak — *Phytophthora infestans* *

Effectors — key proteins in the interaction potato — *Phytophthora infestans*

Ziemniak (*Solanum tuberosum* L.) jest jedną z ważniejszych roślin uprawnych na świecie. Roczna produkcja wynosi około 340 mln ton, co umieszcza go na czwartym miejscu wśród roślin użytkowych. Produkcję ziemniaków znacznie obniża choroba - zaraza ziemniaka, wywołwana przez grzybopodobny patogen *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary należący do Oomycetes. Patogen ten odnosi sukces dzięki białkom - efektorom wydzielanym w czasie interakcji z gospodarzem. Identyfikacja i poznanie funkcji białek efektorowych jest ważne dla zrozumienia oddziaływań patogenów z roślinami i może znaleźć praktyczne zastosowanie w hodowli odpornościowej. Roślina broni się przed infekcją produkując białka odporności R. W niniejszej pracy podsumowano dotychczasową wiedzę na temat oddziaływań efektor — białko odporności R na przykładzie patosystemu ziemniak — *P. infestans*. Przedstawiono dwie klasy efektorów, omówiono model roślinnego systemu odpornościowego i zaprezentowano kilka przykładów działania najlepiej zbadanych efektorów.

Słowa kluczowe: odporność, *Solanum tuberosum*, zaraza ziemniaka

Potato is one of the most appreciated crops in the world, with total production near 340 million tons making it the fourth most important crop plant. Potato production is severely reduced by late blight caused by *Phytophthora infestans*. This pathogen is so successful thanks to proteins secreted during interaction with the host — effectors. The identification and knowledge of functions of a wide variety of effector proteins are very important for understanding the interactions of plants with pathogens and may find practical use in resistance breeding. The plant is defended by resistance (R) proteins. In this review the knowledge about interactions between effectors and R proteins was summarized with potato — *P. infestans* pathosystem as an example. Two different classes of effectors were presented. The plant immune system model was discussed as well as the host responses to infection. We presented examples

* Badania finansowane ze środków funduszy norweskich, w ramach programu Polsko-Norweska Współpraca Badawcza realizowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, projekt POTPAT (Pol-Nor/202448/28/2013)

Redaktor prowadzący: Barbara Zagdańska

of the most studied effectors which employ different mechanisms for evading recognition by the resistance proteins.

Key words: late blight, resistance, *Solanum tuberosum*

WSTĘP

Najważniejszą gospodarczo chorobą ziemniaka uprawnego (*Solanum tuberosum* L.) jest zaraza ziemniaka (ang. late blight), powodowana przez patogen należący do Oomycetes — *Phytophthora infestans*. Zaraza ziemniaka jest przyczyną obniżenia o około 16% całkowitej światowej rocznej produkcji ziemniaka (Vleeshouwers i in., 2011). Koszty stosowania fungicydów przeciwko tej chorobie są bardzo wysokie. Wraz z pojawieniem się nowych, niewrażliwych szczepów patogena środki ochrony są bardzo często nieskuteczne. Ponadto, stosowanie fungicydów ma niekorzystny wpływ na środowisko naturalne (Kamoun, 2003). Alternatywą dla chemicznych środków ochrony roślin w produkcji ziemniaka jest wykorzystywanie odmian odpornych. W ziemniaku zidentyfikowano wiele genów, które kodują białka obronne przeciwko patogenom (Champouret, 2010), między innymi geny odporności typu *R* (Jones i Dangl, 2006). Szczególnie cenne dla postępu hodowlanego i naukowego były geny *R1* – *R11* oznaczone przez Blacka i Mastenbroeka (1953). Odnotowany początkowy sukces nie trwał długo, ponieważ pojawiły się nowe szczepy *P. infestans* i szybko ewoluujące populacje, które były w stanie infekować rośliny posiadające geny *R* (Vleeshouwers i in., 2011). Do tej pory zidentyfikowano kilkadziesiąt genów *R*, odporności na zarazę, z różnych dzikich gatunków *Solanum* (van Poppel, 2009). Różnorodność genów *R* wynika z mutacji i umożliwia roślinie rozpoznanie również bardzo zróżnicowanych białek patogena — efektorów (Rodewald i Trognitz, 2013).

Efektory są to z definicji „białka, które manipulują strukturą i funkcją komórek gospodarza, ułatwiając w ten sposób infekcję i/ lub wywołanie reakcji obronnej” (Kamoun, 2006). Zmiana struktury i/ lub funkcji komórki gospodarza może opierać się na modyfikacji nie tylko jednego białka w roślinie. Jeden effektor może manipulować kilkoma białkami, które są odpowiedzialne za różne procesy w gospodarzu. Fakt ten utrudnia precyzyjne określenie celu danego efektora (Win i in., 2013). Termin efektory niedawno zastąpił nazwy takie jak: czynniki awirulencji, elicytory, czynniki wirulencji, toksyny, z których część miała negatywny, a część — pozytywny wpływ na wynik przebiegu infekcji (Win i in., 2013). Produkowane przez *P. infestans* efektory odgrywają istotną rolę w procesie adhezji w początkowej fazie infekcji, ale również w penetracji do wnętrza tkanek, jak i w niszczeniu komórek gospodarza. Efektory oddziałują ze ścianą komórkową, błoną komórkową oraz cytoplazmą ziemniaka (Bouwmeester i in., 2009).

Oddziaływanie białek *R* ziemniaka i efektorów *P. infestans* jest swoistym przykładem „wyścigu zbrojeń” (Bouwmeester i in., 2009). Nietrwałość odporności warunkowanej przez większość genów *R* wynika z niestabilności genomu *P. infestans*. Jest to patogen, który może rozmnażać się płciowo, co również prowadzi do zwiększonego zróżnicowania populacji i ułatwia przetrwanie patogenowi w zmiennych warunkach, w większości miejsc na świecie. Obserwuje się dużą zmienność i różnorodność populacji *P. infestans*

i wydzielanych przez nie efektorów. Nowe efekторы powstają przez mutacje, transpozony, mitotyczną i meiotyczną rekombinację. Co więcej, struktura genomu *P. infestans* może zwiększać tempo mutacji. W budowie genomu obserwuje się nietypowy rozkład gęstości genów. Efekторы zlokalizowane są w regionach bogatych w transpozony i sekwencje powtórzone, ale o niewielkiej zawartości genów. W pozostałych kluczowych, konserwowanych rejonach genomu gęstość genów jest wysoka, a liczba elementów powtórzonych niewielka. Takie usytuowanie genów efektorowych wpływa na ich zmienność i plastyczność (Kamoun, 2003; van Damme i in., 2011; Vleeshouwers i in., 2011).

Poznanie mechanizmów i czynników powodujących, że *P. infestans* jest tak skutecznym patogenem dostarczy kluczowych informacji wspierających racjonalną hodowlę roślin. Uprawa odmian odpornych na zarazę ziemniaka przyczyniłaby się do obniżenia kosztów jego produkcji (Bouwmeester i in., 2009). Wiele efektorów cytoplazmatycznych zostało dokładnie poznanych i scharakteryzowanych ze względu na ich przydatność w poszukiwaniu nowych genów odporności *R*. W niniejszym artykule zostanie przedstawiony podział, budowa, miejsce działania i cele wybranych efektorów *P. infestans*. Ponadto zostanie pokazane w jaki sposób efekторы unikają rozpoznania przez geny *R*: i) przez mutacje: *Avr3a*, *Avr4* ii) przez duplikacje i dywersyfikację: *ipiO* iii) przez zmiany ekspresji: *Avrvnt1*, *Avr2* (tab. 1). Celem tego artykułu jest zebranie i usystematyzowanie szerokiej wiedzy o dużej liczbie białek efektorowych patogena wywołującego zarazę ziemniaka, które manipulują strukturą i funkcją komórek gospodarza. Białka odporności ważne dla hodowli ziemniaka oddziałują z efektorami cytoplazmatycznymi o charakterystycznych motywach RxLR-dEER i im poświęcimy najwięcej uwagi.

TYPY EFEKTORÓW

Efekторы wydzielane przez *P. infestans* można podzielić ze względu na miejsce działania na dwie główne klasy: i) apoplastyczne, które są wydzielane do przestrzeni zewnątrzkomórkowej i ii) cytoplazmatyczne, które są wydzielane do wnętrza komórek gospodarza (Champouret, 2010). Wspólną cechą obu klas jest występowanie peptydu sygnałowego w konserwatywnej N — terminalnej domenie, który pośredniczy w wydzielaniu efektorów na zewnątrz komórek patogena. Apoplastyczne efekторы mają na celu ochronienie patogena przed mechanizmami obronnymi gospodarza i wspomagają kolonizację poprzez oddziaływanie z zewnątrzkomórkowymi białkami (Champouret, 2010, Rodewald i Trognitz, 2013). Apoplastyczne efekторы *P. infestans* to między innymi inhibitory proteaz np. EPI1, EPIC1 i glukanaz gospodarza (Rodewald i Trognitz, 2013). Innym przykładem są niewielkie białka bogate w cysteinę (SCR — small cysteine — rich proteins) np. INF1, PcF — like SCR74 oraz białka indukujące śmierć komórki NLPs (Nep1 — like proteins) np. PiNPP1, które pośredniczą w indukcji nekrozy (Wawra i in., 2012).

Cytoplazmatyczne efekторы *P. infestans* posiadają konserwatywną N — terminalną domenę, biorącą udział w przemieszczaniu efektorów do wnętrza komórek gospodarza, oraz zróżnicowaną, szybko ewoluującą C — terminalną domenę, która odpowiada za aktywność efektorów i oddziaływanie z białkami gospodarza. Efekторы cytoplazmatyczne wydzielane przez *P. infestans* można podzielić na dwie grupy: RxLR i CRN. N —

terminalna domena efektorów RxLR jest charakterystyczna dla Oomycetes i zawiera aminokwasowy motyw: arginina (R), dowolny aminokwas (x), leucyna (L), arginina (R). Uważa się, że główną funkcją domeny RxLR jest przenoszenie białka do komórek gospodarza. Istnieje kilka hipotez w jaki sposób ten proces przebiega. Pierwsza z hipotez opiera się na podobieństwie do innego rodzaju patogenów — grzybów i zakłada, że domena RxLR wiąże się z fosfolipidem (fosfatydyloinozytolo-3fosforanem — PI3P). PI3P jest składnikiem błony cytoplazmatycznej i bierze udział w transporcie wewnątrzkomórkowym — endocytozie (Kale i in., 2010; Kale, 2012). Druga teoria powstała w oparciu o motyw sygnałowy RxLx(E/Q) zarodźca malarycznego (*Plasmodium*). Wydzielane przez zarodźca białka posiadające motyw sygnałowy rozpoznawane są przez translokony i za jego pomocą transportowane do cytozolu erytrocytów (Przyborski i Lanzer, 2004). Motyw RxLR *P. infestans* przypomina motyw RxLx(E/Q) zarodźca malarycznego i być może transport efektorów do wnętrza komórek gospodarza również odbywa się podobnie (Birch i in., 2006). Według innej teorii do transportu przez translokony efektorów z domeną RxLR wymagają białek wiążących i chaperonowych. Chaperony mają pomagać w utrzymaniu odpowiedniego pofałdowania białka efektorowego podczas transportu przez błonę (Morgan i Kamoun, 2007). Być może mechanizm działania i funkcja domeny RxLR nie jest jeszcze prawidłowo wyjaśniona.

W obrębie N-terminalnego końca efektorów RxLR obserwuje się również występowanie dodatkowego motywu: kwas asparaginowy (d), kwas glutaminowy (E), kwas glutaminowy (E), arginina (R). Ponadto w ponad połowie znanych efektorów RxLR zaobserwowano występowanie motywów tryptofan (W), tyrozyna (Y), leucyna (L) w części C — końcowej białka (van Poppel i in., 2009). Najlepiej poznanymi obecnie z ogromnej liczby efektorów RxLR są *Avr1*, *Avr2*, *Avr3a*, *Avr4*, *ipiO*, *Avrvnt1* (tab. 1). W grupie efektorów RxLR najwyższą ekspresję obserwuje się w biotroficznej fazie infekcji, 2 do 3 dni po inokulacji, a spadek ekspresji w fazie nekrotycznej, 4–5 dni po inokulacji (Champouret, 2010; van Damme i in., 2011; Vleeshouwers i in., 2011; Wawra i in., 2012).

Od fenotypu pomarszczonych liści i wywoływanych nekroz pochodzi nazwa cytoplazmatycznych efektorów CRN (crinkling, necrosis). Posiadają one konserwatywny motyw aminokwasowy w N — terminalnej domenie: LxLFLAK. Na początku C — terminalnej domeny znajduje się silnie zróżnicowany trójpeptydowy motyw DWL oraz na jej końcu konserwatywny motyw: HVLVxxP. W wyniku rekombinacji i występowania wielu wariantów motywu DWL obserwuje się dużą różnorodność wśród efektorów CRN *P. infestans*. Efektory te zakłócają procesy komórkowe gospodarza np. niektóre domeny DWL (D2, DBF) wykazują podobieństwo do kinaz białkowych gospodarza i przyczyniają się do zmiany procesów sygnalizacyjnych. Białka CRN mogą też odgrywać inne role w różnych fazach infekcji. W roślinach z ulegającymi ekspresji odpowiadającymi białkami odporności cytoplazmatyczne efektor CRN indukują śmierć komórki. Niektóre efektor CRN *P. infestans* posiadają sygnałowy motyw przemieszczania do jądra gospodarza (NLS — nuclear localisation signal) (Haas i in., 2009; Champouret, 2010; van Damme i in., 2011; Wawra i in., 2012).

Rośliny naczyniowe wykształciły system odpornościowy, aby wykryć infekujące je patogeny oraz, aby nie dopuścić do rozwoju choroby. Działanie roślinnego systemu odporności opisuje model Zig – Zag, który składa się z czterech etapów. Początkowo błonowe receptory (PRR — pattern recognition receptors) rozpoznają konserwatywne elementy związane z patogenami (PAMP — pathogen — associated molecular patterns), co skutkuje aktywacją reakcji obronnej gospodarza (PAMP — triggered immunity — PTI). W odpowiedzi na PTI u patogenów wyewoluowały efekторы, które wyłączają PTI, powodując aktywację szlaku efektorowo wywołanej podatności (ETS — effector triggered susceptibility). Rośliny jednak bronią się specyficznie rozpoznając obecność efektora przez białko R i aktywację szlaku efektorowo wywołanej odporności (ETI — effector triggered immunity), która przejawia się reakcją nadwrażliwości (HR — hypersensitive response), czyli programowaną śmiercią komórki (Jones i Dangl, 2006; Champouret, 2010). Efekторы cytoplazmatyczne mogą być wykrywane bezpośrednio lub pośrednio przez odpowiadające im białka R. Bezpośrednie rozpoznanie polega na fizycznym połączeniu efektora z właściwym białkiem R. Pośredni sposób polega na detekcji zmiany spowodowanej przez efektor lub rozpoznaniu kompleksu efektora z białkiem docelowym, lub innym, upodabniającym się do białka docelowego (Dodds i Rathjen, 2010). Efekторы w różny sposób unikają rozpoznania przez białka R (ETI) np. poprzez mutację, duplikację, tłumienie ekspresji, utratę genu, co prowadzi do powielania etapów modelu Zig – Zag (van Poppel, 2009).

AVR3A, AVR4 — WIRULENCJA PRZEZ MUTACJĘ PUNKTOWĄ

Białko Avr3a, wydzielane przez *P. infestans*, jest jednym z najlepiej poznanych cytoplazmatycznych efektorów RxLR. Funkcją Avr3a jest hamowanie indukowanej INF-1 śmierci komórki (ICD — INF-1 induced cell death). INF-1 jest apoplastycznym efekterem wydzielanym przez *P. infestans* wykazującym cechy PAMP. Avr3a poprzez stabilizację hamuje aktywność ligazy ubikwityny E3 CMPG1 gospodarza, która jest kluczowym czynnikiem w odpowiedzi rośliny na reakcję wywołaną INF-1. CMPG1 jest jedną z trzech ubikwityn gospodarza biorącą udział w reakcji obronnej przez aktywację 26S proteasomu i ubikwitynowanie substratów przeznaczonych do degradacji. Białko efektorowe Avr3a uruchamia reakcję nadwrażliwości (HR) w roślinach, w których obserwujemy ekspresję genu odporności *R3a* (Gilroy i in., 2011; Stassen i Van den Ackerveken, 2011; van Damme i in., 2011; Yaeno i in., 2011).

W wyniku mutacji punktowej efektor Avr3a unika rozpoznania przez białko R3a. Wyróżniamy przynajmniej dwa główne allele wydzielanego przez *P. infestans* efektora, które różnią się trzema resztami aminokwasowymi. Pierwsza zmiana jest położona w peptydzie sygnałowym w pozycji 19 – C lub S. Dwie pozostałe zmiany obserwowane są w dojrzałym białku i występują w efektorowej domenie C-końcowej, z czego zmiana w pozycji 103 zlokalizowana jest w obrębie motywu W. W pozycji 80 występuje lizyna — K lub kwas glutaminowy — E, w 103 izoleucyna — I lub metionina — M (Armstrong i in., 2005; Kamoun, 2006). Białko efektorowe Avr3a^{KI} jest rozpoznawane przez roślinne białko R3a i uruchamia ETI. Natomiast forma białka Avr3a^{EM} unika wykrycia przez białko

odporności R3a. Obydwa allele kodujące *Avr3a* są zdolne do hamowania śmierci komórki gospodarza indukowanej przez INF1, chociaż aktywność *Avr3a^{KI}* jest silniejsza (Vleeshouwers i in., 2011).

Kolejnym przykładem cytoplazmatycznego efektoru RxLR jest wysoce polimorficzne białko Avr4 (van Poppel, 2009). Poza konserwatywną domeną C-kończową Avr4 posiada trzy motywy W (W1, W2, W3) i jeden motyw Y. Białko docelowe gospodarza dla tego efektoru nie zostało jeszcze zidentyfikowane. Podejrzewa się, że celem efektoru Avr4 może być białko biorące udział w tworzeniu kompleksu efektoru z białkiem odporności R4. W momencie gdy w roślinie ulega ekspresji gen *R4* i rozpoznaje efektor Avr4 uruchamiany jest szlak ETI.

Efektor Avr4 unika wykrycia przez roślinne białko odporności R4 za pomocą delekcji, która skutkuje wcześniejszym pojawieniem się kodonu stop, czyli pseudogenizacją. Zmiana ta sprawia, że powstające białko Avr4 jest skracane i przypuszczalnie jest нефunkcjonalne. Modyfikacja efektoru nie wpływa niekorzystnie na proces infekcji przez *P. infestans* (van Poppel, 2009; van Poppel i in., 2009; Vleeshouwers i in., 2011).

IPIO — WIRULENCJA PRZEZ DUPLIKACJĘ I DYWERSYFIKACJĘ

Rodzina ipiO należy do cytoplazmatycznych efektorów RxLR *P. infestans*. i została ona podzielona na trzy klasy. Przeważająca część przedstawicieli efektorów ipiO należy do klasy I, najbardziej rozpowszechnionej wśród większości izolatów *P. infestans* np. ipiO1, ipiO2. Efektory z rodziny ipiO poza motywem RxLR posiadają dodatkowy motyw składający się z trzech aminokwasów: arginina (R), glicyna (G), kwas asparaginowy (D). Wykazano, że motyw RGD oddziałuje z kinazą receptorową lektyny (LecRK79). Interakcja ta powoduje osłabienie adhezji ściany komórkowej do błony komórkowej. Rolą LecRK79 jest wzmocnienie przylegania ściany do błony podczas infekcji. Efektory ipiO zakłócają ten proces i ułatwiają infekcję (Bouwmeester i in., 2009; Wawra i in., 2012).

IpiO z klasy I i II indukują śmierć komórki (HR) w roślinach po rozpoznaniu przez białko R: Rpi-blb1. Efektory z klasy III np. ipio4 nie są rozpoznawane przez roślinne białko odporności oraz uniemożliwiają oddziaływanie ipiO1 z Rpi-blb1, przez co hamują reakcję nadwrażliwości (Champouret, 2010; Vleeshouwers i in., 2011; Chen i in., 2012).

W C — terminalnej domenie efektorów ipiO występuje motyw W, który odgrywa istotną rolę w oddziaływaniu z białkiem Rpi-blb1. W klasie III ipiO obserwuje się dużą różnorodność w obrębie motywu „W”. Na skutek duplikacji motywu „W” efektory te unikają rozpoznania przez wydzielane w roślinie białko R (Champouret, 2010).

AVRVNT1, AVR2 — WIRULENCJA PRZEZ ZMIANY EKSPRESJI

Avrvnt1 to cytoplazmatyczny efektor RxLR wydzielany przez *P. infestans*. Jego funkcja i białko docelowe są nieznane. Zidentyfikowano niewielką ilość wariantów alleli *Avrvnt1*. Efektor Avrvnt1 indukuje reakcję nadwrażliwości w roślinach, które posiadają białko Rpi-vnt1. Avrvnt1 jest regulowany transkrypcyjnie podczas wczesnej biotroficznej fazy infekcji. Białko Avrvnt1 unika wykrycia przez roślinne białko odporności Rpi-vnt1

dzięki redukcji ekspresji. W wielu szczepach *P. infestans* identyfikowana była sekwencja genu *Avrvnt1*, ale obecności białka nie stwierdzano (Vleeshouwers i in., 2011).

Następnym przykładem scharakteryzowanego cytoplazmatycznego efektora RxLR *P. infestans*, należącego do licznej, silnie zróżnicowanej rodziny jest Avr2. Docelowym białkiem gospodarza dla tego efektoru jest fosfataza z rodziny BSL (BSU — LIKE PROTEIN1). Fosfataza alkaliczna BSL1 w komórkach roślinnych jest zaangażowana w przewodzenie sygnału związanego z hormonami brassinosteroidowymi. W roślinach, w których jednocześnie obserwuje się występowanie efektoru Avr2 i białka odporności R2, BSL1 pośredniczy w tworzeniu kompleksu tych dwóch białek. W momencie, gdy w ziemniaku gen *R2* ulega ekspresji i efektor Avr2 jest rozpoznany uruchamiana jest reakcja nadwrażliwości HR.

Avr2 uchyla się od rozpoznania przez R2 za pomocą zmiany ekspresji. W izolatach *P. infestans* zdolnych do infekcji rośliny zawierającej białko R2 ekspresji nie ulega *Avr2* lub ulega *Avr2-like*. Dojrzałe białka Avr2 i Avr2-like różnią się trzynastoma aminokwasami, osiem zmian występuje w C-terminalnej domenie efektorowej. Avr2-like w dalszym ciągu oddziałuje z BSL1, natomiast interakcja R2 z BSL1 jest wtedy niemożliwa, a co za tym idzie nie powstaje kompleks włączający HR (Gilroy i in., 2011; Vleeshouwers i in., 2011; Saunders i in., 2012).

Tabela 1

Scharakteryzowane efekторы cytoplazmatyczne RxLR *P. infestans* o znanym mechanizmie wirulencji wobec ziemniaka posiadającego geny R
Cytoplasmic RxLR effectors of *P. infestans* characterized regarding virulence mechanisms against potato with R genes

Efektor Effector	Wirulencja Virulence	Białko docelowe gospodarza Host target protein	Gen <i>R</i> <i>R</i> gene
Avr3a	dwa allele: Avr3a ^{EM} – wirulencja Avr3a ^{KI} – awirulencja two alleles: Avr3a ^{EM} – virulence Avr3a ^{KI} – avirulence	ligaza ubikwityny E3 CMPG1 E3 ubiquitin ligase CMPG1	R3a
Avr4	pseudogen Avr4 pseudogene Avr4	nieznane unknown	R4
IpiO	ipiO4 nowa funkcja: blokowanie rozpoznania ipiO1, ipiO2 ipiO4 new function: block of ipiO1, ipiO2 recognition	kinaza receptorowa lektyny (LecRK79) lectin receptor kinase (LecRK79)	Rpi-blb1
Avrvnt1	redukcja ekspresji reduction of expression	nieznane unknown	Rpi-vnt1
Avr2	Avr2-like zahamowanie ekspresji Avr2 inhibition of Avr2 expression	fosfataza alkaliczna BSL1 alkaline phosphatase BSL1	R2

PODSUMOWANIE

Poznanie i zrozumienie mechanizmów infekcji *P. infestans* przyczyni się w znaczny sposób do kontroli wywoływanej przez ten patogen choroby — zarazy ziemniaka. Dzięki metodom biologii molekularnej zostały odkryte efekторы, które stanowią o infekcyjnym

sukcesie *P. infestans*. Jest to bardzo rozległa, zróżnicowana grupa białek, które przez różnego rodzaju manipulacje komórek gospodarza umożliwiają *P. infestans* zakażenie ziemniaka. Jednak jeszcze bardzo niewiele wiadomo na temat mechanizmów działania wielu efektorów, ich transportu do wnętrza komórki roślinnej, w jaki sposób zmieniają białka docelowe gospodarza. Do tej pory dokładnie opisano tylko kilkanaście genów efektorowych. Na podstawie tych dobrze scharakteryzowanych i przedstawionych w niniejszej pracy Avr2, ipiO, a zwłaszcza Avr3a można zidentyfikować szlaki działania innych efektorów (Bouwmeester i in., 2009; Schornack i in., 2009; van Damme i in., 2009; Whisson i in., 2011).

Zdobyta wiedza na temat efektorów może być użyteczna dla hodowców ziemniaka posługujących się genami odporności *R*. Za pomocą sekwencjonowania nowej generacji oraz innych najnowszych technik biologii molekularnej będzie możliwe identyfikowanie efektorów w szybszy sposób, poznanie ich celów w gospodarzu i receptorów, z którymi oddziałują. Informacje te przyczynią się do zwiększenia liczby używanych w hodowli genów *R*, oraz ich modyfikacji, aby były w stanie rozpoznać różne warianty efektorów (Vleeshouwers i in., 2011; Whisson i in., 2011; Vleeshouwers i Oliver, 2014).

LITERATURA

- Armstrong M. R., Whisson S. C., Pritchard L., Bos J. I. B., Venter E., Avrova A. O., Rehmany A. P., Böhme U., Brooks K., Cherevach I., Hamlin N., White B., Fraser A., Lord A., Quail M. A., Churcher A., Hall N., Berriman M., Huang S., Kamoun S., Beynon J. L., Birch P. R. J. 2005. An ancestral oomycete locus contains late blight avirulence gene Avr3a, encoding a protein that is recognized in the host cytoplasm. *PNAS*. 102: 7766 — 7771.
- Birch P. R. J., Rehmany A. P., Pritchard L., Kamoun S., Beynon J. L. 2006. Trafficking arms: oomycete effectors enter host plant cells. *TRENDS in Microbiology*. 14 (1): 8 — 11.
- Black W., Mastenbroek C., Mills W. R., Peterson L. C. 1953. A proposal for an international nomenclature of races of *Phytophthora infestans* and of genes controlling immunity in *Solanum demissum* derivatives. *Euphytica* 2 (3): 173 — 240.
- Bouwmeester K., van Poppel P. M. J. A., Govers F. 2009. Genome biology cracks enigmas of *Oomycete* plant pathogens. *Annual Plant Reviews*. 34: 102 — 133.
- Champouret N. 2010. Functional Genomics of *Phytophthora infestans* Effectors and *Solanum* Resistance Genes. Phd thesis. ISBN 978_90_8585_658_0.
- Chen Y., Liu Z., Halterman D. A. 2012. Molecular Determinants of Resistance Activation and Suppression by *Phytophthora infestans* Effector IPI – O. *PLoS Pathogens*. 8(3): e1002595. doi: 10.1371/journal.ppat.1002595.
- Dodds P. N., Rathjen J. P. 2010. Plant immunity: towards an integrated view of plant — pathogen interactions. *Nature Reviews Genetics*. 11: 539 — 548.
- Gilroy E. M., Breen S., Whisson S. C., Squires J., Hein I., Kaczmarek M., Turnbull D., Boevink P. C., Lokossou A., Cano L. M., Morales J., Avrova A. O., Pritchard L., Randall E., Lees A., Govers F., van West P., Kamoun S., Vleeshouwers V. G. A. A., Cooke D. E. L., Birch P. R. J. 2011. Presence/ absence, differential expression and sequence polymorphisms between PiAVR2 and PiAVR2-like in *Phytophthora infestans* determine virulence on R2 plants. *New Phytologist*. 191: 763 — 776.
- Gilroy E. M., Taylor R. M., Hein I., Boevink P., Sadanandom A., Birch P. R. J. 2011. CMPG1 — dependent cell death follows perception of diverse pathogen elicitors at the host plasma membrane and is suppressed by *Phytophthora infestans* RXLR effector AVR3a. *New Phytologist*. 190: 653 — 666.
- Haas B. J., Kamoun S., Zody M. C., Jiang R. H. Y., Handsaker R. E., Cano L. M., Grabherr M., Kodira C. D., Raffaele S., Torto-Alalibo T., Bozkurt T. O., Ah-Fong A. M. V., Alvarado L., Anderson V. L., Armstrong

- M. R., Avrova A., Baxter L., Beynon J., Boevink P. C., Bollmann S. R., Bos J. I. B., Bulone V., Cai G., Cakir C., Carrington J. C., Chawner M., Conti L., Costanzo S., Ewan R., Fahlgren N., Fischbach M. A., Fugelstad J., Gilroy E. M., Gnerre S., Green P. J., Grenville-Briggs L. J., Griffith J., Grünwald N. J., Horn K., Horner N. R., Hu C., Huitema E., Jeong D., Jones A. M. E., Jones J. D. G., Jones R. W., Karlsson E. K., Kunjeti S. G., Lamour K., Liu Z., Ma L. J., MacLean D., Chibucos M. C., McDonald H., McWalters J., Meijer H. J. G., Morgan W., Morris P. F., Munro C. A., O'Neill K., Ospina-Giraldo M., Pinzo'n A., Pritchard L., Ramsahoye B., Ren Q., Restrepo S., Roy S., Sadanandom A., Savidor A., Schornack S., Schwartz D. C., Schumann U. D., Schwessinger B., Seyer L., Sharpe T., Silvar C., Song J., Studholme D. J., Sykes S., Thines M., van de Vondervoort P. J. I., Phuntumart V., Wawra S., Weide R., Win J., Young C., Zhou S., Fry W., Meyers B. C., van West P., Ristaino J., Govers F., Birch P. R. J., Whisson S. C., Judelson & Chad Nusbaum H. S. 2009. Genome sequence and analysis of the Irish potato famine pathogen *Phytophthora infestans*. *Nature*. 461: doi:10.1038/nature08358.
- Jones J. D. G., Dangl J. L. 2006. The plant immune system. *Nature*. 444: doi:10.1038/nature05286.
- Kale S. D., Gu B., Capelluto D. G. S., Dou D., Feldman E., Rumore A., Arredondo F. D., Hanlon R., Fudal I., Rouxel T., Lawrence C. B., Shan W., Tyler B. M. 2010. External lipid PI3P mediates entry of eukaryotic pathogen effectors into plant and animal host cells. *Cell*. 142: 284 — 295.
- Kale S. D. 2012. Oomycete and fungal effector entry, a microbial Trojan horse. *New Phytologist*. 193: 874 — 881.
- Kamoun S. 2003. Molecular Genetics of Pathogenic Oomycetes. *Eukaryotic Cell*. 2: 191 — 199.
- Kamoun S. 2006. A Catalogue of the effector secretome of plant pathogenic oomycetes. *Annu. Rev. Phytopathol.* 44: 41 — 60.
- Morgan W., Kamoun S. 2007. RXLR effectors of plant pathogenic oomycetes. *Current Opinion in Microbiology*. 10: 332 — 338.
- Przyborski J., Lanzer M. 2004. The Malarial Secretome. *SCIENCE*. Doi: 10.1126/science.1107072.
- Rodewald J., Trognitz B. 2013. *Solanum* resistance genes against *Phytophthora infestans* and their corresponding avirulence genes. *Molecular Plant Pathology*. 14 (7): 740 — 757.
- Saunders D. G. O., Breen S., Win J., Schornack S., Hein I., Bozkurt T. O., Champouret N., Vleeshouwers V. G. A. A., Birch P. R. J., Gilroy E. M., Kamoun S. 2012. Host protein BSL1 associates with *Phytophthora infestans* RXLR effector AVR2 and the *Solanum demissum* immune receptor R2 to mediate disease resistance. *The Plant Cell*. 24 (8): 3420 — 3434.
- Schornack S., Huitema E., Cano L. M., Bozkurt T. O., Oliva R., van Damme M., Schwizer S., Raffaele S., Chaparro-Garcia A., Farrer R., Segretin M. E., Bos J., Haas B. J., Zody M. C., Nusbaum C., Win J., Thines M., Kamoun S. 2009. Ten things to know about oomycete effectors. *Molecular Plant Pathology*. 10 (6): 795 — 803.
- Stassen J. H. M., Van den Ackerveken G. 2011. How do oomycete effectors interfere with plant life? *Current Opinion in Plant Biology*. 14: 407 — 414.
- van Damme M., Schornack S., Cano L. M., Huitema E., Kamoun S. 2009. Interactions between *Phytophthora infestans* and *Solanum*. In: K. Lamour and S. Kamoun (ed.), *Oomycete Genetics and Genomics. Diversity, Interactions, and Research Tools*. Hoboken, New Jersey: Wiley — Blackwell.: 287 — 302.
- van Damme M., Cano L. M., Oliva R., Schornack S., Segretin M. E., Kamoun S., Raffaele S. 2011. Evolutionary and functional dynamics of oomycete effector genes. In: F. Martin i S. Kamoun (ed.), *Effectors in plant — microbe interactions*. Wiley — Blackwell.
- van Poppel P. M. J. A. 2009. The *Phytophthora infestans* avirulence gene *PiAvr4* and its potato counterpart *R4*. Phd thesis. ISBN 978-90-85858-306-0.
- van Poppel P. M. J. A., Jiang R. H. Y., Śliwka J., Govers F. 2009. Recognition of *Phytophthora infestans* Avr4 by potato R4 is triggered by C-terminal domains comprising W motifs. *Molecular Plant Pathology*. 10 (5): 611 — 620.
- Vleeshouwers V. G. A. A., Raffaele S., Vossen J., Champouret N., Oliva R., Segretin M. E., Rietman H., Cano L. M., Lokossou A., Kessel G., Pel M. A., Kamoun S. 2011. Understanding and exploiting late blight resistance in the age of effectors. *Annu. Rev. Phytopathol.* 49: 507 — 531

- Vleeshouwers V. G. A. A., Oliver R. P. 2014. Effectors as tools in disease resistance breeding against biotrophic, hemibiotrophic, and necrotrophic plant pathogens. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 27(3): 196 — 206.
- Wawra S., Belmonte R., Löbach L., Saraiva M., Willems A., van West P. 2012. Secretion, delivery and function of oomycete effector proteins. *Current Opinion in Microbiology*. 15: 685 — 691.
- Whisson S. C., Avrova A. O., Boevink P. C., Armstrong M. R., Seman Z. A., Hein I., Birch P. R. J. 2011. Exploiting knowledge of pathogen effectors to enhance late blight resistance Potato. *Potato Research*. 54: 325 — 340.
- Win J., Chaparro-Garcia A., Belhaj K., Saunders D. G. O., Yoshida K., Dong S., Schornack S., Zipfel C., Robatzek S., Hogenhout S. A., Kamoun S. 2013. Effector biology of plant — associated organisms: concepts and perspectives. Cold Spring Harbor Laboratory Press. Doi: 10.1101/sqb.2012.77.015933.
- Yaeno T., Li H., Chaparro-Garcia A., Schornack S., Koshiba S., Watanabe S., Kigawa T., Kamoun S., Shirasu K. 2011. Phosphatidylinositol monophosphate — binding interface in the oomycete RXLR effector AVR3a is required for its stability in host cells to modulate plant immunity. *PNAS*. Doi: 10.1073/pnas.1106002108.

ZBIGNIEW CZERKO**MAGDALENA GRUDZIŃSKA**

IHAR — PIB Radzików, Oddział w Jadwisinie

Zakład Przechowywania i Przetwórstwa Ziemniaka

Wpływ warunków wegetacji i przechowywania na kiełkowanie bulw ziemniaka

Influence of weather and storage conditions on sprouting of potato tubers

Celem doświadczenia było określenie wpływu czynników hydrotermicznych w okresie wegetacji i temperatury 3°C, 5°C i 8°C podczas przechowywania na termin rozpoczęcia kiełkowania bulw ziemniaka. Ziemniaki przechowywane w temperaturze 8°C rozpoczynały kiełkowanie średnio w drugiej dekadzie stycznia. Po okresie przechowywania długość kiełków u badanych odmian wynosiła 84 mm. Temperatura przechowywania 5°C spowodowała opóźnienie terminu kiełkowania średnio o 4 dekady w stosunku do temperatury 8°C. Przechowywanie bulw w 3°C opóźniło rozpoczęcie kiełkowania średnio o 2 miesiące w odniesieniu do temperatury 8°C. Największy wpływ na termin rozpoczęcia kiełkowania w różnych latach miały opady występujące podczas wegetacji. Większe opady, a także wyższa wartość współczynnika Sielianinowa w okresie wegetacji spowodowały wydłużenie okresu spoczynku podczas przechowywania. O terminie rozpoczęcia kiełkowania poszczególnych odmian i warunków wegetacji decydowały stopniodni wyliczone w okresie od września do rozpoczęcia kiełkowania podczas przechowywania (w zakresie 5°–8°C).

Słowa kluczowe: kiełki, opady, przechowywanie, warunki wegetacji, ziemniak

The beginning of sprouting and sprouts' length during storage at temperature 3°C, 5°C, 8°C and influence of weather factors in vegetation period on date of beginning of sprouting was evaluated. The beginning of sprouting of potatoes stored at temperature 8°C depended on varieties and begun in 2nd decade of January. After storage period, the length of sprouts was 84 mm. The 5°C temperature of storage caused delay in sprouting beginning of about 4 decades in relation to storage at temperature 8°C. Potatoes storage at 3°C caused delay in the beginning of sprouting of about 2 months in relation to storage at 8°C. Sum of rainfall during vegetation season had the largest influence on the date of sprouting beginning. Higher rainfall and also higher Sielianinov coefficient in vegetation season caused an extension of the dormancy period. The date of the start of sprouting for each variety and growing conditions was determined by degree-days calculated for the period from September to the beginning of sprouting during storage (at the 5°–8°C).

Key word: growing season, potato, precipitation, sprouting, storage

WSTĘP

Przydatność ziemniaków do długotrwałego przechowywania związana jest z właściwościami genetycznymi odmiany, które mogą ulegać modyfikacjom pod wpływem warunków uprawy, zbioru i przechowywania (Sowa-Niedziałkowska, 2000 i 2004). Jedną z istotnych cech decydujących o przydatności do długotrwałego przechowywania jest termin rozpoczęcia kiełkowania ziemniaków. W przechowalnictwie cenione są odmiany o długim okresie spoczynku i małej intensywności wzrostu kiełków.

Okres spoczynku charakteryzuje się zahamowaniem podziałów komórkowych i ograniczeniem do minimum procesów życiowych. Bulwy zapadają w stan spoczynku pod koniec okresu wzrostu, gdy aktywność merystematyczna gwałtownie spada (Bielińska-Czarnecka, 1985). Podczas przechowywania bulw istotna jest druga faza spoczynku tzw. względna, o długości której decydują warunki środowiska w których są one przechowywane.

Na kiełkowanie bulw podczas przechowywania mają wpływ: odmiana, przebieg temperatury w przechowalni, a także warunki w okresie wegetacji (Sowa-Niedziałkowska, 2000; Zarzyńska, 2004; Czerko, 2010).

Przechowywanie bulw ziemniaka w niskich temperaturach wydłuża okres uśpienia, ogranicza intensywność kiełkowania a przy tym ogranicza straty przechowalnicze (Sowa-Niedziałkowska, 2004; Czerko, 2008). Dla większości odmian zalecana temperatura dla przechowywania sadzeniaków wynosi 3°C. Odmiany które charakteryzują się długim okresem spoczynku mogą być przechowywane w wyższej temperaturze 5°C (Sowa-Niedziałkowska, 2002). Zdaniem wielu autorów dobór odpowiedniej temperatury do przechowywania sadzeniaków uzależniony jest od tempa fizjologicznego starzenia się bulw, długości okresu spoczynku oraz plonowania roślin w warunkach polowych (Rykaczewska, 1993; Reust i in., 2011).

Na wydłużenie okresu spoczynku bulw podczas przechowywania wpływa pogoda w okresie wegetacji. Sezon wegetacji charakteryzujący się dużymi opadami zwykle powoduje wydłużenie okresu spoczynku bulw w przechowalni (Czerko, 2010). Zagadnienie oddziaływania warunków panujących w okresie wegetacji na termin kiełkowania ziemniaków w przechowalni było zauważane w pracach (Czerko, 2011; Czerko, 2013) w ramach 3 letnich badań przedstawiających trwałość przechowalniczą odmian. Ponadto w pracy (Czerko, 2010) analizowano wpływ warunków pogodowych w 5 sezonach przechowalniczych na terminy kiełkowania ziemniaków wielu odmian (rocznie około 20), ale zmieniających się w poszczególnych latach. Na tle tych doświadczeń w celu oceny wpływu warunków pogodowych na kiełkowanie ziemniaków podjęto badania ścisłe, w których badano 5 odmian ziemniaka uprawianych przez 5 lat i przechowywanych w różnych temperaturach.

Celem doświadczenia było określenie wpływu czynników hydrotermicznych w okresie wegetacji i temperatury 3°C, 5°C i 8°C podczas przechowywania na termin rozpoczęcia kiełkowania bulw ziemniaka.

MATERIAŁ I METODY

Badania prowadzono przez pięć sezonów przechowalniczych w latach 2008/09–2012/13. Badaniami objęto pięć odmian ziemniaka: Flaming — bardzo wczesna, Justa — bardzo wczesna, Aruba — wczesna, Cyprian — wczesna, Elanda — średnio wczesna. Wszystkie odmiany rozmnażane były na polu doświadczalnym w Jadwisinie w latach 2008–2012, a następnie przechowywane w temperaturze 3°C, 5°C, 8°C. Celem zapewnienia takich samych warunków uprawy i rozwoju roślin wysadzano materiał kwalifikowany w stopniu CA lub CB. Ziemniaki sadzono pod koniec trzeciej dekady kwietnia. W czasie wegetacji przeprowadzono takie same zabiegi jakie stosowane są na plantacjach produkcyjnych (nawożenie N — 80 kg·h⁻¹, P — 66 kg·h⁻¹, K — 52 kg·h⁻¹, 3–5 zabiegów przeciwko zarazie ziemniaka, 2-krotna selekcja negatywna, zniszczenie naci rozbijaczem łęcin). Termin zbioru przypadał na koniec września (24–28 IX).

Badania prowadzono przez 5 sezonów przechowalniczych w następujących warunkach:

- w okresie przygotowawczym przez pierwsze dwa tygodnie po zbiorze utrzymywano temperaturę na poziomie 15°C, przy wilgotności względnej powietrza około 90%,
- w ciągu następnych dwóch tygodni temperaturę stopniowo obniżano, zachowując taką samą wilgotność,
- w długotrwałym okresie składowania, próby umieszczano w komorach przechowalni w których utrzymywano temperaturę 3°C, 5°C i 8°C, przy wilgotności względnej powietrza 90–95%,
- początek kiełkowania i intensywność wzrostu kiełków oceniano na bulwach przechowywanych w komorach w temperaturze 3°C, 5°C i 8°C. Ocenę wykonywano co 10 dni, a za początek kiełkowania przyjęto termin, w którym 75% bulw miało rozbudzone kiełki (>2 mm).

Oceniano ilość stopniodni jaka upłynęła od września do początku kiełkowania podczas przechowywania w temperaturze 3°C, 5°C i 8°C. Obliczono korelacje między terminem rozpoczęcia kiełkowania w poszczególnych temperaturach przechowywania a temperaturą, opadami i współczynnikiem hydrotermicznym w pięciu sezonach wegetacji. Wyniki doświadczenia opracowano statystycznie z wykorzystaniem analizy wariancji.

WYNIKI I DYSKUSJA

Pogoda w okresie wegetacji

Przebieg pogody w okresach wegetacji w których prowadzono doświadczenie był zróżnicowany (tab. 1, 2). Suma opadów w okresie wegetacji wahała się od 304,9 mm w roku 2008 do 504,1 mm w roku 2010. Największa różnica opadów między poszczególnymi latami wystąpiła w maju i we wrześniu. W połowie okresu wegetacji w lipcu bardzo duże opady wystąpiły w roku 2011 (278,1 mm). Średnie temperatury za okres wegetacji (maj–wrzesień) były na zbliżonym poziomie. Najwyższa średnia temperatura w okresie wegetacji wystąpiła w roku 2009. O średniej wysokiej temperaturze zdecydowała najwyższa wśród badanych lat temperatura w lipcu. Największe zmiany temperatury wystąpiły w badanych latach na koniec okresu wegetacji we wrześniu.

Tabela 1

Temperatura i opady w okresie wegetacji (V–IX) w latach 2008–2012
Temperature and precipitation in vegetation period (V–IX) in years 2008–2012

Lata Years	Maj May		Czerwiec June		Lipiec July		Sierpień August		Wrzesień September		Średnia temp. Average temp. (°C)	Suma opadów Sum of precipita- tion (mm)
	temp. temp. (°C)	opady precipita- tion (mm)	temp. temp. (°C)	opady precipita- tion (mm)	temp. temp. (°C)	opady precipita- tion (mm)	temp. temp. (°C)	opady precipita- tion (mm)	temp. temp. (°C)	opady precipita- tion (mm)		
2008	13,6	62,9	17,1	43,5	18,1	68,8	17,6	80,9	11,6	48,8	15,6	304,9
2009	12,3	80,8	16,4	72,4	21,3	85,6	17,3	83,1	14,2	18,8	16,3	340,7
2010	12,4	166,8	16,5	64,0	20,0	96,7	18,2	105,3	11,1	71,3	15,6	504,1
2011	13,2	33,1	17,5	44,8	17,0	278,1	17,5	57,2	13,7	18,5	15,8	431,7
2012	15,0	52,4	15,6	96,6	19,5	92,2	17,4	87,2	12,8	26,9	16,1	355,3

Tabela 2

Współczynniki hydrotermiczne (Sielianinowa) w okresie wegetacji (V–IX) w latach 2008–2012
Sielianinov coefficient in vegetation period (V–IX) in years 2008–2012

Lata Years	Maj May	Czerwiec June	Lipiec July	Sierpień August	Wrzesień September	Średnio Average
2008	1,64	0,84	1,22	1,48	1,40	1,32
2009	2,12	1,38	1,28	1,54	0,44	1,35
2010	4,35	1,29	1,56	2,22	2,14	2,31
2011	0,81	0,85	5,27	1,20	0,45	1,72
2012	1,16	2,06	1,58	1,67	0,70	1,43

Współczynnik hydrotermiczny (Sielianinowa) w okresie wegetacji w czterech latach wynosił od 1,32 do 1,71 co wskazywałoby na optymalne do lekko wilgotnych warunków dla uprawy ziemniaków. Natomiast wilgotne warunki (współczynnik Sielianinowa powyżej 2,0) wystąpiły w roku 2010 (2,31).

Początek kiełkowania i długość kiełków w różnych latach badań

Termin rozpoczęcia kiełkowania bulw ziemniaka istotnie różnił się w badanych temperaturach przechowywania (3°C, 5°C i 8°C). Średni termin kiełkowania pięciu badanych odmian ziemniaka przechowywanych w temperaturze 8°C wystąpił w drugiej dekadzie stycznia. Podczas przechowywania w 5°C średnio odmiany rozpoczęły kiełkowanie w trzeciej dekadzie lutego. W najniższej temperaturze przechowywania 3°C termin rozpoczęcia kiełkowania wystąpił dopiero w trzeciej dekadzie marca. Duże różnice w terminie rozpoczęcia kiełkowania wystąpiły między odmianami. Najwcześniejszym kiełkowaniem charakteryzowała się odmiana Flaming, która w temperaturze 8°C rozpoczęła kiełkowanie (średnio za pięć lat badań) w trzeciej dekadzie listopada. Najpóźniej kiełkowała odmiana Cyprian (pierwsza dekada lutego). Podobnie przedstawiała się długość kiełków badanych odmian ziemniaka w poszczególnych temperaturach przechowywania. Średnia długość kiełków po zakończeniu przechowywania (kwiecień) w 3°C wynosiła 18,2 mm w 5°C 33,2 mm i w 8°C 84,0 mm. Największym przyrostem kiełków charakteryzowała się odmiana Flaming, a najmniejszym przyrostem odmiana Cyprian. Zależność tę zaobserwowano we wszystkich temperaturach przechowywania.

Wpływ okresu wegetacji

Na termin kielkowania bulw ziemniaka w przechowalni wpływał przebieg pogody w okresie wegetacji (tab. 3).

Tabela 3

Terminy kielkowania po przechowywaniu bulw w temperaturach 3°C, 5°C and 8°C Beginning of sprouting after storage at temperatures 3°C, 5°C and 8°C

Wyszczególnienie Item		Temperatura przechowywania — Storage temperature		
		3°C	5°C	8°C
Odmiany Cultivars	Aruba	1 d IV	1 d III	3 d I
	Cyprian	2 d IV	1 d IV	1 d II
	Flaming	2 d II	3 d XII	3 d XI
	Justa	1 d IV	1 d III	3 d I
	Elanda	1 d IV	3 d II	2 d I
	NIR — LSD	2 d	1 d	1 d
Lata Years	2008/09	1 d II	2 d I	2 d XII
	2009/10	3 d III	3 d II	1 d I
	2010/11	3 d IV	3 d III	3 d I
	2011/12	3 d IV	2 d III	1 d II
	2012/13	3 d III	1 d III	2 d I
	NIR — LSD	1,6 d	1,1 d	1,1 d
Średnia dla temperatur Average for temperatures		3 d III	3 d II	2 d I
NIR — LSD.			1,1 d	

Tabela 4

Długość kielków (mm) po przechowywaniu bulw w temperaturach 3°C, 5°C, 8°C Length of sprouts (mm) after storage at temperatures 3°C, 5°C and 8°C

Wyszczególnienie Item		Temperatura przechowywania — Storage temperature		
		3°C	5°C	8°C
Odmiana Cultivars	Aruba	3,8	8,6	82,0
	Cyprian	3,0	5,6	26,6
	Flaming	19,2	47,6	134,0
	Justa	3,8	9,4	26,2
	Elanda	6,0	13,0	27,6
	NIR — LSD	7,9	8,5	14
Rok Years	2008/09	18,2	33,2	84
	2009/10	4,4	12,8	57
	2010/11	3,4	9,8	36,6
	2011/12	3,8	12,2	58,6
	2012/13	6,4	16,0	44,2
	NIR — LSD	7,9	8,5	14
Średnia dla temperatur Average for temperatures		7,16	16,8	59,3
NIR — LSD.			5,8	

Ziemniaki uprawiane w latach charakteryzujących się dużymi opadami (w roku 2010 suma opadów w okresie wegetacji 504,1 mm i w roku 2011 — 431,7 mm) podczas przechowywania charakteryzowały się późnym terminem rozpoczęcia kielkowania. Natomiast w roku 2008 o mniejszych opadach stwierdzono najwcześniejsze rozpoczęcie

kielkowania. Wykonano analizę korelacji między warunkami hydrotermicznymi podczas wegetacji a terminem rozpoczęcia kielkowania ziemniaków. Jako zmienne niezależne brano pod uwagę okres wegetacji od maja do września w latach 2008–2012: średnie opady, średnią temperaturę oraz wskaźnik hydrotermiczny. Współczynniki korelacji przedstawiono w tabeli 5. Analiza przebiegu temperatury w okresie wegetacji nie wykazała istotnej zależności z terminem rozpoczęcia kielkowania (tab. 5).

Tabela 5

Wpływ warunków pogodowych w różnych miesiącach wegetacji na początek kielkowania bulw ziemniaka w różnych temperaturach przechowywania — współczynniki korelacji
Influence of weather conditions in different months of vegetation period on date of potato sprouting — correlation coefficients

Warunki pogodowe Weather conditions	Okres wegetacji / temperatura przechowywania Vegetation period / storage temperature								
	V–IX			VII–IX			VII–VIII		
	3°C	5°C	8°C	3°C	5°C	8°C	3°C	5°C	8°C
Opady Precipitation (mm)	0,77	0,76	0,76	0,46	0,36	0,44	0,51	0,50	0,48
Współczynnik Sielianinowa Sielianinov coefficient	0,64	0,62	0,62	0,44	0,32	0,42	0,43	0,41	0,39
Temperatura Temperature (°C)	0,12	0,18	-0,20	0,02	0,22	0,16	0,06	0,13	0,03

Według Zarzyńskiej (2004) w roku o wyższej temperaturze i mniejszych opadach następuje skrócenie okresu spoczynku. Jednak szczegółowe badania przeprowadzone przez Ittersuma (1993) wskazują, że nawet w okresach gdy średnia temperatura jest stała następuje duże zróżnicowanie długości okresu spoczynku. Przy wyższych temperaturach najczęściej występowało skrócenie okresu spoczynku, ale zanotowano także jego wydłużenie. Duży wpływ na termin rozpoczęcia kielkowania miał dobowy zakres wahań temperatury minimalnej i maksymalnej.

Największy wpływ na termin rozpoczęcia kielkowania miał poziom opadów w okresie wegetacji w badanych latach. Co potwierdził współczynnik korelacji między terminem rozpoczęcia kielkowania i opadami oraz między terminem rozpoczęcia kielkowania a wartością współczynnika Sielianinowa. Wyższe opady a także wyższa wartość współczynnika Sielianinowa jakie wystąpiły w badanych latach spowodowały wydłużenie okresu spoczynku bulw ziemniaka podczas przechowywania.

Wartość współczynnika korelacji 0,76 dotyczyła średniej z trzech temperatur przechowywania (3°C, 5°C, 8°C) (tab. 6). Także duży współczynnik korelacji między średnimi opadami w okresie wegetacji a terminem rozpoczęcia kielkowania zaprezentowano we wcześniejszych pracach Czerko (2011, 2013). Przebieg opadów w drugiej połowie okresu wegetacji, w miesiącach lipiec i sierpień oraz w okresie lipiec, sierpień i wrzesień miał mniejszy wpływ na termin kielkowania ziemniaków podczas przechowywania niż cały okres wegetacji. Na podstawie wartości współczynnika korelacji określono zależność terminu kielkowania od ilości opadów w okresie wegetacji dla badanych odmian (tab. 7). Odmiana Elanda w najmniejszym stopniu reagowała na opady

w okresie wegetacji. Współczynnik korelacji (średnio dla badanych temperatur) wynosił 0,60. Największy współczynnik korelacji 0,88 wystąpił u odmiany Cyprian.

Tabela 6

Wpływ opadów w całym okresie wegetacji (V–IX) na początek kielkowania poszczególnych odmian przechowywanych w temperaturze 3°C, 5°C, 8°C — współczynniki korelacji
Influence of precipitations in whole vegetation period (V–IX) on date of sprouting of individual cultivars stored at temperature 3°C, 5°C and 8°C — correlation coefficient

Odmiany Cultivars	Temperatura przechowywania / współczynniki korelacji Storage temperature / Correlation coefficient			
	3°C	5°C	8°C	średnio — average
Aruba	0,85 ^x	0,74	0,73	0,77 ^{xx}
Cyprian	0,86 ^x	0,85 ^x	0,93 ^x	0,88 ^{xx}
Flaming	0,76	0,79	0,82	0,79 ^{xx}
Justa	0,77	0,73	0,85 ^x	0,78 ^{xx}
Elanda	0,62	0,69	0,48	0,60 ^x
Średnio Average	0,77 ^{xx}	0,76 ^{xx}	0,76 ^{xx}	0,76 ^{xx}

x — istotne — significant, p = 0,05

xx — istotne — significant, p = 0,01

Tabela 7

Wartość stopniodni od września do rozpoczęcia kielkowania bulw ziemniaka przechowywanych w temperaturze 3°C, 5°C, 8°C w latach 2008–20012
Number of degree-days from September to the beginning of potato sprouting in storage at temperatures 3°C, 5°C, 8°C in years 2008–20012

Wyszczególnienie Item		Temperatura przechowywania — Storage temperature		
		3°C	5°C	8°C
Odmiany Cultivars	Aruba	1214	1353	1386
	Cyprian	1265	1454	1496
	Flaming	1032	987	919
	Justa	1224	1359	1333
	Elanda	1195	1297	1338
	NIR — LSD	53	66	85
Lata Years	2008/09	910	994	966
	2009/10	1240	1315	1228
	2010/11	1166	1343	1365
	2011/12	1368	1455	1530
	2012/13	1245	1341	1374
	NIR — LSD	53	66	85
Średnia dla temperatur Average for temperature		1186	1290	1293
NIR dla temperatury LSD for temperature		33		

Wpływ stopniodni na termin kielkowania

Termin rozpoczęcia kielkowania bulw w przechowalni zależał głównie od odmiany i temperatury przechowywania. Analizę stopniodni liczonych od września do rozpoczęcia kielkowania przedstawiono w tabeli 7. Wystąpiły istotne różnice między odmianami w ilości stopniodni, po których następowało rozpoczęcie kielkowania bulw. Odmiana Flaming potrzebowała 987 stopniodni w temperaturze 5°C do rozpoczęcia kielkowania,

a odmiana Cyprian aż 1454 stopniodni. Do rozpoczęcia kiełkowania ziemniaki przechowywane w 5°C i w 8°C potrzebowały średnio taką samą ilość stopniodni (1290–1293). Natomiast bulwy przechowywane w niskiej temperaturze 3°C nie podlegały tej zależności i do rozpoczęcia kiełkowania potrzebowały istotnie mniej stopniodni 1186. Inaczej zachowała się tylko odmiana najwcześniej kiełkująca Flaming, która przechowywana w 3°C wymagała więcej stopniodni do rozpoczęcia kiełkowania niż przechowywana w 5°C i w 8°C.

WNIOSKI

1. Termin rozpoczęcia kiełkowania bulw ziemniaka w przechowalni zależy od temperatury przechowywania, odmiany i warunków hydrotermicznych podczas wegetacji.
2. Ilość opadów w poszczególnych dekadach okresu wegetacji wpływa na termin rozpoczęcia kiełkowania bulw. Duża wilgotność podczas wegetacji przyczynia się do opóźnienia kiełkowania.
3. O terminie rozpoczęcia kiełkowania odmian decydują stopniodni w okresie przechowalniczym.

LITERATURA

- Bielińska-Czarnecka M. 1985. Fizjologia okresu spoczynku. *Biologia ziemniaka*. Wyd. PWN: 90 — 103.
- Burton W. G. 1963. Concepts and mechanism of dormancy. In: *The growth of the potato*. Ivnis J. D., Milthorpe F. L. Butterworths, London: 17 — 41.
- Czerko Z. 2008. Trwałość przechowalnicza wybranych odmian ziemniaka. *Ziem. Pol.*, 3: 24 — 28.
- Czerko Z. 2010. Wpływ wybranych czynników na intensywność kiełkowania ziemniaków podczas przechowywania. *Biul. IHAR* 257/258: 215 — 223.
- Czerko Z. 2011. Przechowywalność sześciu odmian ziemniaka uprawianych w latach 2007–2009. *Biul. IHAR* 262: 127 — 139.
- Czerko Z., Jankowska J. 2013. Wpływ odmiany, temperatury przechowywania i warunków pogodowych podczas wegetacji na straty przechowalnicze 11 odmian ziemniaka badanych w latach 2009–2011. *Biul. IHAR* 267: 131 — 144.
- Ittersum van M. K. 1992. Dormancy and growth vigour of seed potatoes. Doctoral thesis. Wageningen Agricultural University: 187 pp.
- Listowski A. 1974. *Biologia ziemniaka*. W: *Ziemniak*. Pr. zbior. pod red. W. Gabriela. PWRiL, Warszawa: 15 — 60.
- Rastovski A., Buitelaar N., van Es A., de Haan P. H., Hartmans K. J., Meijers C. P., van der Schild J. H. W., Sijbring P. H., Sparenberg H., van Zwol B. H., van der Zaag D. E. 1981. *Storage of potatoes*. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen: 262 pp.
- Reust W., Winiger F. A., Hebeisen T., Dutoit J. P. 2001. Assessment of the physiological vigour of new potato cultivars in Switzerland. *Potato Res.* 44: 11 — 17.
- Rykaczewska K. 1993. Znaczenie wieku fizjologicznego sadzeniaków w rozwoju i plonowaniu ziemniaka. W: *Znaczenie jakości materiału siewnego w produkcji roślinnej*. Mat. Konf. Nauk. SGGW, Warszawa: 260 — 266.
- Sowa-Niedziałkowska G. 2000. Wpływ warunków wzrostu roślin i magazynowania bulw odmian jadalnych ziemniaka na ich trwałość przechowalniczą. *Biul. IHAR* 213: 225 — 232.
- Sowa-Niedziałkowska G. 2002. Określenie optymalnej temperatury przechowywania sadzeniaków różnych odmian ziemniaka w skali 9-stopniowej. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 223/224: 361 — 368.

- Sowa-Niedziałkowska G. 2004. Wpływ odmiany ziemniaka i warunków przechowywania bulw na długość okresu uśpienia i intensywność kiełkowania. Biul. IHAR 232: 23 — 36.
- Zarzyńska K. 2004. Długość okresu spoczynku bulw odmian ziemniaka. Biul. IHAR 232: 5 — 14.

SPIS TREŚCI — CONTENTS

Tomasz Góral Dorota Walentyn-Góral	Odporność odmian i linii pszenicy jarej na fuzariozę kłosów powodowaną przez grzyb <i>Fusarium culmorum</i> Resistance of spring wheat cultivars and lines to Fusarium head blight caused by <i>Fusarium culmorum</i>	3
Irena Kolasińska	Identyfikacja donorów genów przywracających męską płodność u mieszańców żyta ze sterylizującą cytoplazmą Pampa Identification of gene donors for male fertility restoration in rye hybrids with Pampa cytoplasm	17
Halina Wiśniewska Tomasz Góral Piotr Ochodźki Dorota Walentyn-Góral Michał Kwiatek Maciej Majka Iga Grzeszczak Jolanta Belter Zofia Banaszak Mirosław Pojmań Danuta Kurlito Marcin Konieczny Grzegorz Budzianowski Alicja Cicha Kazimierz Paizert Henryk Woś	Odporność rodów hodowlanych pszenżyta ozimego na fuzariozę kłosów Resistance of winter triticale breeding lines to Fusarium head blight	29
Cezary Trawczyński Anna Wierzbicka	Pobranie i wykorzystanie azotu z nawozów mineralnych przez odmiany ziemniaka o różnej wczesności The uptake and utilization by potato cultivars with different earliness of nitrogen from mineral fertilizers	45
Jerzy Osowski	Skuteczność działania wybranych substancji aktywnych w ograniczaniu alternariozy ziemniaka The effectiveness of selected active ingredients against potato early blight	55
Cezary Trawczyński	Zastosowanie makro- i mikroelementowych nawozów chelatowych w dolistnym dokarmianiu ziemniaka The use of macro- and microelement chelating fertilizers in foliar application to potato	65
Artur Makarewicz Anna Płaza Barbara Gąsiorowska Milena Anna Królikowska	Zawartość białka w bulwach ziemniaka nawożonego wsiewkami międzyplonowymi w integrowanym i ekologicznym systemie produkcji The content of protein in potato tubers fertilized with undersown catch crops in integrated and organic production systems	79

Beata Tatarowska	Stabilność reakcji odpornościowej odmian ziemniaka na <i>Phytophthora</i>	91
Bogdan Flis	<i>infestans</i> (Mont.) de Bary w testach laboratoryjnych	
Ewa Zimnoch-Guzowska	Stability of resistance reaction to <i>Phytophthora infestans</i> (Mont.) de Bary of potato cultivars in laboratory tests	
Praca rekomendowana przez Redakcję Biuletynu Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin		
Marta Brylińska	Efektory — kluczowe białka w interakcji ziemniak — <i>Phytophthora</i>	109
Jadwiga Śliwka	<i>infestans</i> Effectors — key proteins in the interaction potato — <i>Phytophthora</i> <i>infestans</i>	
Zbigniew Czerko	Wpływ warunków wegetacji i przechowywania na kiełkowanie bulw	119
Magdalena Grudzińska	ziemniaka Influence of weather and storage conditions on sprouting of potato tubers	