

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. Kłosa 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.

Redaktor prowadzący: Henryk J. Czembor

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

WSTĘP

Fuzarioza kłosów zbóż jest chorobą powodowana 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 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	Łągwa	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 odpornością 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	Nobeokabozu	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//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.

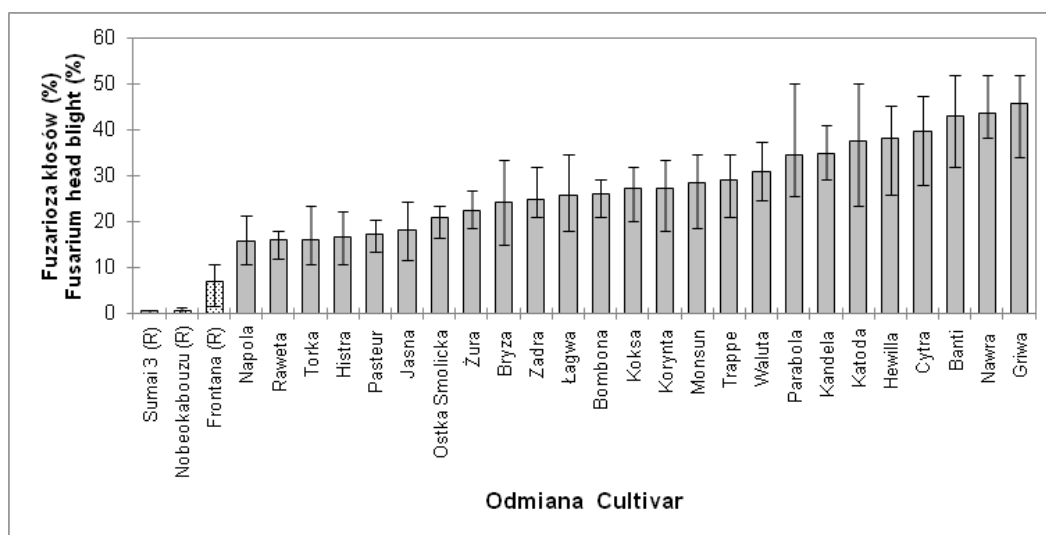
Średni indeks fuzariozy kłosów powodowanej przez *F. culmorum* dla odmian i linii odpornych pszenicy jarej wynosił 5,5%. Zakres reakcji mieścił się w granicach: 0–26,9%. Różnice pomiędzy odmianami/liniami pszenicy pod względem tej cechy były istotne

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	

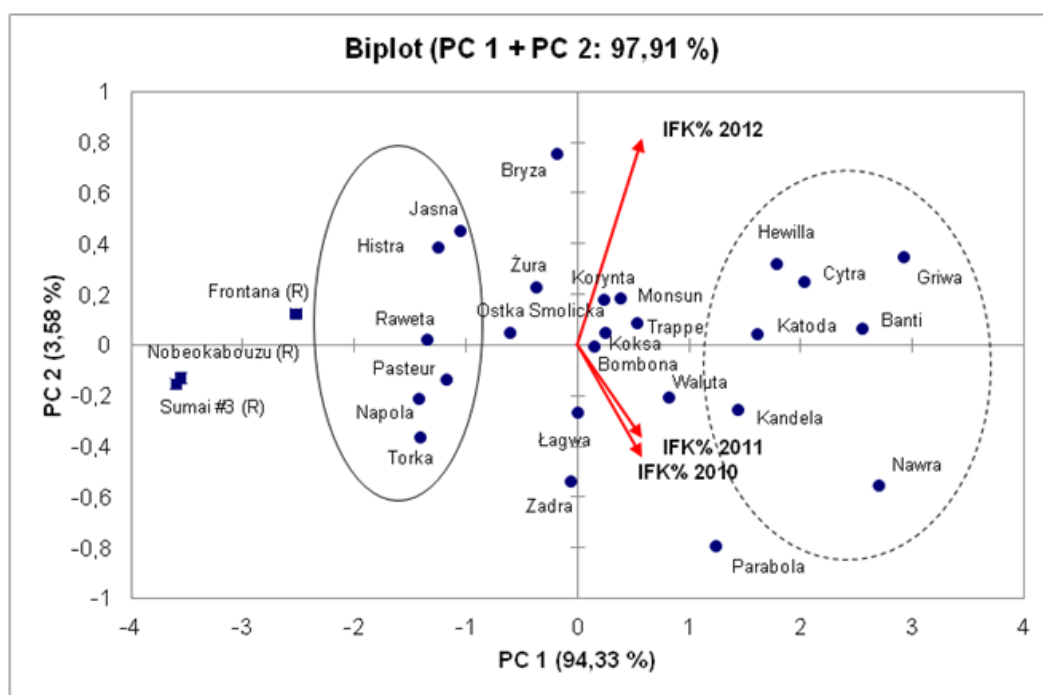
Współczynniki istotnie statystycznie dla $\alpha < 0,01$

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 reakcją 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

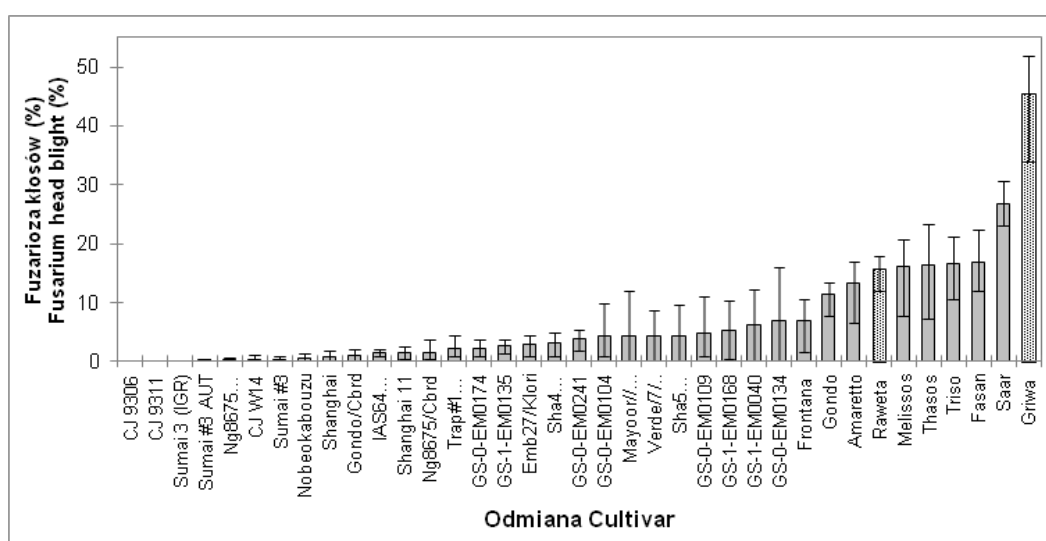
lub Frontana. W pracy Wiśniewskiej i Kowalczyka (2005) badano odporność na uszkodzenie ziarniaków przez *F. culmorum*. W zestawie badanych odmian były jedynie 3 z niniejszej pracy: Banti, Jasna, i Torka. Najbardziej podatna na uszkodzenie ziarniaków była odmian Banti, Jasna była średnio odporna, natomiast 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 sterylności *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

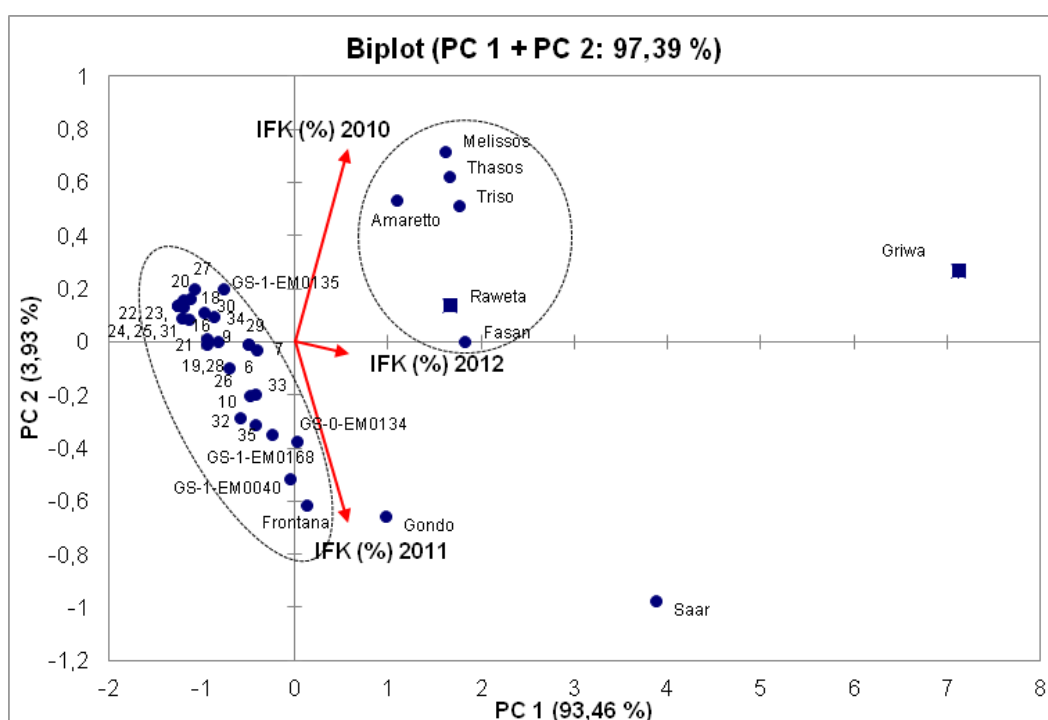
Fig. 3. Resistance of spring wheat cultivars and lines to Fusarium head blight (averages of the years 2010-2012). Whiskers show reaction range of lines over three years

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, wysoka 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, Kokska 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.
- Mesterházy 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., 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., 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/>.