PROGRESS IN PLANT PROTECTION
56 (1): 89-95, 2016
ISSN 1427-4337

DOI: 10.14199/ppp-2016-016
Published online: 02.03.2016

Received: 12.08.2015 / Accepted: 25.02.2016

Variability analysis of infection winter wheat cultivars in Lower Silesia by fungus *Puccinia recondita* f. sp. *tritici*

Analiza zmienności porażenia odmian pszenicy ozimej na Dolnym Śląsku przez grzyb *Puccinia recondita* f. sp. *tritici*

Ryszard Weber[1]*, Henryk Bujak[2], Kamila Nowosad[2]

Summary

Variability of winter wheat cultivars infection by fungus *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* was analysed in the years 2010, 2011 and 2013. The study the results of post-registration trials conducted in four locations: Naroczyce, Zybiszów, Tarnów and Kondratowice. The degree of infection of wheat cultivars was evaluated on the three upper leaves of plants nine-degree scale (where: 9 – healthy plants; 1 – 100% plants infected). The following cultivars: Figure, Natula, Ostroga, Mulan, Bamberska, Askalon, Szmaragd and Muszelka were assessed. There were significant differences in the occurrence of severity of leaf rust in the years of research and locations. In Zybiszów location regardless of the year of the study the wheat cultivars were infected the most by leaf rust as compared to other locations. Analysis of variance showed a significant interaction of the cultivars with the years and the cultivars with the locations. The cultivar Figura was characterized by a high susceptibility to infection by fungus *P. recondita* f. sp. *tritici*, while the cultivar Ostroga by an increased resistance.

Key words: winter wheat; cultivars; *Puccinia recondita* f. sp. *tritici*

Streszczenie

W latach 2010, 2011 i 2013 analizowano zmienność porażenia odmian pszenicy ozimej przez grzyb *Puccinia recondita* f. sp. *tritici*. Badania przeprowadzono na podstawie wyników Porejestrowego Doświadczalnictwa Odmianowego (PDO) w czterech miejscowościach: Naroczyce, Zybiszów, Tarnów i Kondratowice. Porażenie odmian oceniano w skali dziewięciostopniowej na trzech górnych liściach roślin pszenicy (9 – rośliny zdrowe; 1 – rośliny w 100% porażone). Badania przeprowadzono na następujących odmianach pszenicy: Figura, Natula, Ostroga, Mulan, Bamberska, Askalon, Szmaragd i Muszelka. Stwierdzono istotne zróżnicowanie nasilenia rdzy brunatnej w poszczególnych latach badań i miejscowościach. W miejscowości Zybiszów niezależnie od roku badań odmiany pszenicy charakteryzowały się zwiększonym nasileniem rdzy brunatnej w porównaniu do pozostałych lokalizacji. Analiza wariancji wykazała istotne interakcje odmian z latami badań i odmian z miejscowościami. Odmiana Figura odznaczała się znaczną wrażliwością na porażenie przez *P. recondita* f. sp. *tritici*, natomiast odmiana Ostroga charakteryzowała się zwiększoną odpornością.

Słowa kluczowe: pszenica ozima; odmiany; *Puccinia recondita* f. sp. *tritici*

[1] Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli
Orzechowa 61, 50-540 Wrocław
[2] Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
Katedra Genetyki, Hodowli Roślin i Nasiennictwa
Pl. Grunwaldzki 24A, 50-363 Wrocław
*corresponding author: rweber@iung.pulawy.pl

The Polish Society of Plant Protection
The Institute of Plant Protection – National Research Institute
The Committee of Plant Protection of the Polish Academy of Science

Wstęp / Introduction

Rdza brunatna jest chorobą liści pszenicy powodowaną przez grzyb *Puccinia recondita* f. sp. *tritici*. Patogen ten zarówno w Europie, jak również na obu kontynentach Ameryki przyczynia się do znacznych strat plonu. W warunkach epidemicznego wystąpienia choroby spadki plonu ziarna wynoszą 20–30%. Na obszarze Ameryki i Europy występują liczne rasy tego patogena. W USA zidentyfikowano około 70 różnych jego ras (Kolmer i wsp. 2007). We Francji co roku powstaje od 30 do 50 nowych ras *P. recondita* f. sp. *tritici* (Goyeau i wsp. 2006). Tak duża zmienność w obrębie tego gatunku grzyba powoduje, że losowe mutacje prowadzą w szybkim tempie do rozwoju nowych agresywnych genotypów.

Identyfikację stopnia wirulencji *P. recondita* f. sp. *tritici* prowadzi się za pomocą linii izogenicznych różniących się jednym genem odporności R. Dotychczas opisano około 60 genów głównych odporności na tego patogena (Macintosh i wsp. 2007). Większość genów głównych przejawia swoje działanie zarówno we wczesnych fazach rozwoju pszenicy, jak również po kwitnieniu roślin. Jednak niektóre geny – Lr12, Lr13, Lr22a warunkują odporność na rasy *P. recondita* f. sp. *tritici* w roślinach w pełni rozwiniętych. Geny odporności na tego patogena w większości powodują reakcję nadwrażliwości roślin, która prowadzi do szybkiej śmierci komórek gospodarza graniczących z porażoną tkanką liścia (naskórek, warstwa mezofilu). Natomiast odporność uwarunkowana przez gen Lr34 nie przejawia swego działania poprzez reakcję nadwrażliwości, lecz charakteryzuje się mniejszą liczbą urediniospor wytwarzanych przez patogena bez chlorozy i nekrozy liści (Dyck i Samborski 1982).

Celem pracy była analiza zmienności porażenia wybranych odmian pszenicy ozimej przez populacje grzyba *P. recondita* f. sp. *tritici* występujące na obszarze Dolnego Śląska.

Materiały i metody / Materials and methods

W badaniach wykorzystano ocenę 9 odmian pszenicy ozimej uzyskaną z doświadczeń Porejestrowego Doświadczalnictwa Odmianowego (PDO) na Dolnym Śląsku. Spośród doświadczeń PDO wytypowano 4 miejscowości odznaczające się zróżnicowanymi warunkami glebowo-klimatycznymi (tab. 1, 2). Analizowano 3-letni okres uprawy odmian pszenicy w latach 2010, 2011, 2013. Powierzchnia poletka w każdym doświadczeniu wynosiła 15 m^2. Ocenę nasilenia rdzy brunatnej analizowano w fazie dojrzałości mlecznej (70–79 według Zadoksa). Czynnikiem znacznie różnicującym nasilenie występowania rdzy brunatnej na badanych odmianach były niewyrównane opady deszczu w analizowanych miejscowościach. Doświadczenia te założono w dwóch powtórzeniach metodą pasów prostopadłych niekompletnych. Ocenę porażenia przeprowadzono w skali 9-stopniowej Centralnego Ośrodka Badania Odmian Roślin Uprawnych na trzech górnych liściach badanych odmian (1° – porażona w 100% powierzchnia liści; 9° – rośliny zdrowe, bez objawów porażenia grzybem *P. recondita* f. sp. *tritici*).

Tabela 1. Warunki środowiskowe i uprawowe w stacjach doświadczalnych w latach 2010, 2011, 2013
Table 1. Environmental and tillage conditions in experimental locations 2010, 2011, 2013

Wyszczególnienie – Specification	Naroczyce	Zybiszów	Tarnów	Kondratowice
Kompleks gleb – Complex soil	4–5	2	2	1
Klasa bonitacyjna gleby Soil bonitation class	IIIa–IVa	II–IIIa	IIIa	II
Zasobność gleby P_2O_5 P_2O_5 content in soil	średnia average	wysoka high	10,5	średnia average
Zasobność gleby K_2O K_2O content in soil	średnia average	wysoka high	20,8	średnia average
Zasobność gleby Mg Mg content in soil	bardzo wysoka very high	średnia average	7,6	średnia average
pH gleby – pH of soil	5,7–6,1	6,3	6,0–6,1	7,0–7,1
Nawożenie N na poziomie A1 Nitrogen rates A1 [kg/ha]	80	114	110	100–114
Nawożenie P_2O_5 Phosphoric rates [kg/ha]	60	60	36–67	40–60
Nawożenie K_2O Potasium oxide rates	90	90	63–101	60–90
Zaprawa nasienna Seed dressing	Oxafun T 75 DS/WS	Oxafun T 75 DS/WS	Funaben Plus 02 WS lub – or Oxafun T 75 DS/WS	Funaben Plus 02 WS lub – or Astep 225 FS
Herbicyd – Herbicide	Legato Plus 600 SC 1,5 l	Legato Plus 600 SC 1,5 l	Boxer 800 EC 2 l + Helm Tribi 75 WG 12 g	Legato Plus 600 SC 1 l + Starane 250 EC 1,5 l

Tabela 2. Sumy opadów [mm] i średnia dobowa temperatura powietrza [°C] w okresie wegetacji
Table 2. Sum of precipitation [mm] and the average daily air temperature [°C] during the vegetation

SDOO Naroczyce	Okres wegetacyjny – Vegetation season					
Opady – Precipitation [mm]	III	IV	V	VI	VII	Suma – Sum
2010	21	41	49	107	140	358
2011	34	12	82	37	182	347
2013	43	24	122	165	59	413
Temperatura – Temperature [°C]						
2010	5,9	8,7	14,9	16,2	19,5	65,2
2011	3,9	11,4	13,7	18,5	17,9	65,4
2013	–1,7	8,4	13,8	17,0	20,1	57,6
SDOO Zybiszów	Okres wegetacyjny – Vegetation season					
Opady – Precipitation [mm]	III	IV	V	VI	VII	Suma – Sum
2010	11	33	35	82	102	263
2011	31	33	56	48	207	375
2013	35	36	117	134	36	358
Temperatura – Temperature [°C]						
2010	6,3	9,6	15,4	17,3	20,1	68,7
2011	4,1	11,5	14,2	18,7	18,1	66,6
2013	–1,0	8,7	13,9	17,0	20,3	58,9
SDOO Tarnów	Okres wegetacyjny – Vegetation season					
Opady – Precipitation [mm]	III	IV	V	VI	VII	Suma – Sum
2010	9	31	57	64	145	306
2011	29	35	50	30	138	282
2013	45	32	105	83	37	302
Temperatura – Temperature [°C]						
2010	5,8	9,2	14,9	17,0	19,3	66,2
2011	4,4	10,7	13,6	18,0	17,4	64,1
2013	–1,3	8,3	13,2	16,6	19,6	56,4
KWS Kondratowice	Okres wegetacyjny – Vegetation season					
Opady – Precipitation [mm]	III	IV	V	VI	VII	Suma – Sum
2010	6	28	39	66	111	250
2011	24	44	62	26	98	254
2013	4	22	65	186	48	325
Temperatura – Temperature [°C]						
2010	7,3	9,9	16,3	18,6	20,3	72,4
2011	6,2	12,3	18,2	19,9	20,8	77,4
2013	–0,4	9,2	14,1	16,9	20,2	60,0

W doświadczeniach nie stosowano fungicydów. Obliczenia przeprowadzono biorąc za podstawę średnie porażenie odmiany uzyskane z każdego poletka w 4 miejscowościach przez okres 3 lat. W celu oceny zmienności porażenia analizowanych odmian pszenicy w poszczególnych miejscowościach wykorzystano analizę statystyczną zaproponowaną przez Calińskiego i wsp. (1987). Obliczenia przeprowadzono za pomocą programu Sergen 4. Analiza statystyczna w tym programie opiera się na następującym modelu matematycznym:

$$Y_{ijk*} = \mu_i + \alpha_i^E(j,k) + e_{ijk*}$$

μ_i – przeciętne, potencjalne porażenie genotypu „i”, $\alpha_i^E(j,k)$ – wpływ panujących warunków środowiskowych na porażenie genotypu „i” w miejscowości „j” oraz roku „k”, e_{ijk*} – średni błąd ważony dla genotypu „i” w miejscowości „j” oraz roku „k”.

Przyjmuje się, że μ_i jest efektem stałym modelu, a składniki $\alpha_i^E(j,k)$ oraz e_{ijk*} są zmiennymi losowymi.

Wyniki i dyskusja / Results and discussion

Analiza wariancji dla każdego środowiska (miejscowości) wykazała istotną zmienność porażenia odmian przez populacje grzyba (tab. 3). Znaczne nasilenie agre-

sywnych ras grzyba stwierdzono w miejscowości Zybiszów. Natomiast środowiska: Naroczyce, Kondratowice i Tarnów odznaczały się mniejszym nasileniem rdzy brunatnej. Analiza wariancji dla syntezy wielolecia (tab. 4) umożliwiła ocenę zmienności występowania rdzy brunatnej na odmianach pszenicy w poszczególnych latach badań i miejscowościach poprzez weryfikację następujących hipotez:

- równości wszystkich efektów głównych dla lat pod względem nasilenia rdzy brunatnej,
- równości wszystkich efektów głównych porażenia odmian grzybem *P. recondita* f. sp. *tritici*,
- równości wszystkich efektów głównych dla miejscowości,
- braku interakcji odmian z miejscowościami,
- braku współdziałania odmian z latami,
- braku współdziałania odmian ze środowiskami.

Średnia odporność odmian w poszczególnych miejscowościach odznaczała się dużą zmiennością. Istotna wartość interakcji genotypowo-środowiskowej wskazuje również na znaczne zróżnicowanie odporności poszczególnych odmian w zależności od warunków środowiska panujących w badanych miejscowościach w każdym roku badań. Duży wpływ na zmienność porażenia badanych odmian wywarły różniące się warunki glebowo-klimatyczne, a szczególnie zmienna ilość sumarycznych opadów w każdej miejscowości, w okresie wegetacji roślin. Zróżnicowaną reakcję odmian na zmiany warunków środowiska nie można wyjaśnić ich regresją liniową względem efektów środowiskowych. Istotne odchylenia od regresji w obu rozważanych wariantach wskazują, że interakcja genotypów z badanymi środowiskami nie może być opisana prostą zależnością regresyjną.

Tabela 3. Wartości średnie stopni porażenia liści pszenicy ozimej przez grzyb *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* w latach 2010, 2011 i 2013
Table 3. Mean degree of winter wheat leaf infection by *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* in 2010, 2011 and 2013

Odmiany Cultivars	Miejscowości – Locations				Średnia Mean
	Naroczyce	Zybiszów	Tarnów	Kondratowice	
Figura	4,33	2,67	6,83	5,17	4,75
Natula	6,17	3,67	6,83	7,00	5,92
Ostroga	7,50	6,17	7,83	9,00	7,63
Mulan	7,00	3,50	7,33	7,33	6,29
Bamberska	7,00	3,66	6,67	7,33	6,17
Bogatka	6,17	3,00	6,83	6,50	5,63
Askalon	7,33	4,50	7,33	7,83	6,75
Smaragd	6,67	4,17	8,17	7,50	6,63
Muszelka	7,17	4,00	7,17	8,17	6,63
Średnia – Mean	6,59	3,93	7,22	7,31	6,26

NIR odmiany – LSD cultivars = 1,44; NIR miejscowości – LSD locations = 2,16
NIR odmiany × NIR miejscowości – LSD cultivars × LSD locations = 3,72

Tabela 4. Średnie kwadraty zmienności plonu w łącznej analizie wariancji
Table 4. Mean square variation of yields in the combined analysis of variances

Źródło zmienności Source of variation	Liczba stopni swobody Number of freedom degrees	Średni kwadrat Mean square
Lata – Years	2	26,52**
Miejscowości – Locations	3	69,11**
Lata × miejscowości (środowiska) – Years × locations (environment)	6	23,58*
Odmiany – Cultivars	8	8,13*
Odmiany × lata – Cultivars × years	16	2,18*
Genotypy × miejscowości – Genotypes × locations	24	0,79*
Odmiany × lata × miejscowości – Cultivars × years × locations – G × E	48	0,75*
Regresja względem środowiska – Regression on explanatory variable	8	0,37
Odchylenie od regresji – Regression deviation	40	0,82**
Błąd doświadczeń – Experimental error	96	0,24

* istotność na poziomie odpowiednio p = 0,05 – significant at p = 0.05
** istotność na poziomie odpowiednio p = 0,01 – significant at p = 0.01

Tabela 5. Testowanie poszczególnych genotypów i ich interakcji
Table 5. Testing of genotypes and their interaction with environment

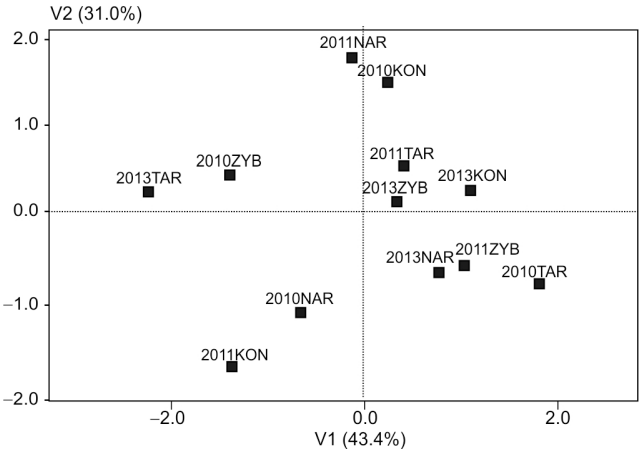
Odmiana Cultivar	Ocena efektu głównego Estimate of main effect	Statystyka F dla efektu głównego F statistics for main effect	Statystyka F dla interakcji ze środowiskami F statistics for interaction with environment
Figura	–1,542	15,22*	8,90*
Natula	–0,375	5,70*	1,41
Ostroga	1,333	15,72*	6,45*
Mulan	0,000	0,00	2,78*
Bamberska	–0,125	0,39	2,28*
Bogatka	–0,667	7,55*	3,36*
Askalon	0,458	8,62*	1,39
Smaragd	0,583	18,57*	1,05
Muszelka	0,333	8,35*	0,76
Wartości krytyczne – Critical values (α = 0,05)		5,39	2,19

*istotność na poziomie p = 0,05 – significant at p = 0.05

Wyniki szczegółowej analizy badanych genotypów ze względu na ich odporność na populację grzyba *P. recondita* f. sp. *tritici* oraz interakcję ze środowiskiem przedstawiono w tabeli 5. Odmiany: Ostroga, Smaragd, Askalon i Muszelka odznaczają się dodatnimi efektami głównymi. Odmiany te w analizowanych środowiskach charakteryzują się istotnie wyższą odpornością w porównaniu do średniej ogólnej wszystkich badanych obiektów.

Dużą wrażliwością na populacje patogena w 4 badanych miejscowościach odznaczały się odmiany: Figura, Bogatka i Natula. Pozostałe genotypy nie wykazywały istotnych odchyleń ocen porażenia od średniej generalnej. Istotna interakcja genotypowo-środowiskowa dla odmian: Figura, Ostroga, Bogatka, Mulan i Bamberska, wskazuje na dużą zmienność odporności tych odmian na populacje rdzy brunatnej. Natomiast odmiany: Askalon, Smaragd i Muszelka odznaczały się zwiększoną stabilnością odporności na populacje patogena w analizowanych latach i miejscowościach. Ocenę analizowanych środowisk (miejscowości) pod względem interakcji G × E przeprowadzono przez podział statystyki F tej interakcji na składniki odpowiadające poszczególnym kontrastom (porównaniom) między genotypami. Odpowiednia statystyka F wyrażona w procentach statystyki F dla interakcji G × E z ogólnej analizy wariancji pokazuje jaką część tej interakcji pochłania dany kontrast. W celu graficznego przedstawienia środowisk na płaszczyźnie wykorzystano dwie pierwsze składowe główne, które stanowią oceny kontrastów między genotypami wyliczone dla poszczególnych miejscowości. Rysunek 1. przedstawia rozmieszczenie środowisk na płaszczyźnie w układzie składowych głównych. Środowisko o wysokim udziale w interakcji G × E odznacza się dużą odległością od początku układu współrzędnych. Porażenie odmian przez *P. recondita* f. sp. *tritici* w tym środowisku (miejscowości) różni się znacznie od średniego porażenia w analizowanych latach badań na Dolnym Śląsku.

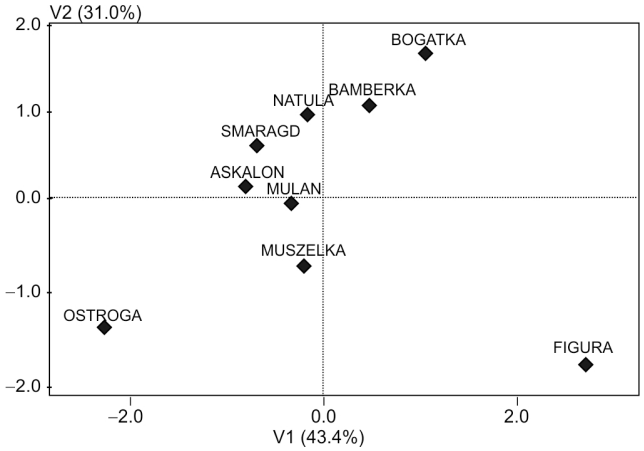
Analizując rysunek 1. można stwierdzić, że najbardziej oddalone od początku układu są środowiska 2011NAR



Rys. 1. Zmienność porażenia pszenicy ozimej przez *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* w miejscowościach w układzie składowych głównych
Fig. 1. Variability of winter wheat infection by *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* at research stations in the system of principal component

i 2010KON oraz 2011KON i 2010NAR oznaczające miejscowości Naroczyce i Kondratowice. Środowiska te charakteryzują się średnim porażeniem odmian znacznie odbiegającym od porażenia genotypów w innych miejscowościach, w analizowanych latach badań. Znaczne różnice w odporności odmian w wymienionych doświadczeniach, w porównaniu do pozostałych środowisk, wynikają ze zmiennych warunków klimatycznych panujących w tych miejscowościach w okresie badanego trzylecia. Świadczą o tym duże odległości między analizowanymi środowiskami w poszczególnych latach (2010NAR, 2011NAR i 2013NAR oraz 2010KON, 2011KON i 2013KON). Genotypy w układzie dwóch pierwszych składowych głównych V1 i V2 przedstawiono na rysunku 2. Wielkość (udział) interakcji poszczególnych genotypów ze środowiskami obrazuje odcinek (wektor) wartości statystyki F wyprowadzony od każdego punktu do początku układu.

Największy udział w sumie kwadratów odchyleń dla interakcji G × E wykazują odmiany: Ostroga, Figura i Bogatka. Genotypy te odznaczają się znacznie większą zmiennością odporności na rdzę brunatną w badanych środowiskach niż pozostałe odmiany. Natomiast zwiększoną stabilnością odporności charakteryzują się odmiany: Askalon, Szmaragd i Muszelka.



Rys. 2. Zmienność porażenia odmian pszenicy przez *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* w układzie składowych głównych
Fig. 2. Variability of wheat cultivars infection by *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* in the system of principal components

Badania wykazały duże zróżnicowanie porażenia odmian pszenicy ozimej przez grzyb *P. recondita* f. sp. *tritici* w poszczególnych miejscowościach. Wykazane różnice mogą wynikać ze zmiennych warunków klimatycznych lub różnych ras chorobotwórczych populacji występujących w poszczególnych regionach Dolnego Śląska. Badania udowodniły duży wpływ opadów i temperatury na kiełkowanie urediniospor (Wójtowicz i wsp. 2013). Zarodniki te przenoszone są przez wiatr nie tylko między regionami określonego kraju, lecz również między kontynentami, co między innymi przyczynia się do załamywania odporności nowych odmian pszenicy ozimej. Znaczny udział pszenicy w strukturze zasiewów w Polsce i Europie oraz coroczne występowanie tej choroby na plantacjach zbóż może powodować pojawienie się nowych, bardziej wirulentnych ras patogena przełamujących odporność kluczowych odmian pszenicy ozimej. W celu uzyskania zwiększonej odporności na występujące w zachodniej Europie rasy *P. recondita* f. sp. *tritici* wprowadzono do odmian pszenicy kombinacje genów odporności Lr10, Lr20, Lr26 lub Lr37 (Winzeler i wsp. 2000). Jednak w szeregu publikacji są doniesienia o tworzeniu się nowych ras patogena, które zmniejszają liczbę efektywnych genów odporności na rdzę brunatną (Kolmer 2005, 2010; Ordoñez i Kolmer 2009). W hodowli odpornościowej wykorzystuje się geny odporności wywodzące się z dzikich gatunków pszenic. Gen Lr21 pochodzi od gatunku *Triticum tauschii* (Cloutier i wsp. 2007). W Polsce, w latach 2000–2002 geny odporności Lr9, Lr19 i Lr24 były efektywne wobec populacji patogena w stadium siewki i roślin dorosłych (Chełkowski i wsp. 2005). Jednak dzięki zastosowaniu mikrosatelitarnych markerów SSR wykazano, że u *P. recondita* f. sp. *tritici* występują typowe właściwości dikariotycznych populacji o wysokim poziomie heterozygotyczności (Goyeau i wsp. 2006). Opisana przez Chełkowskiego i wsp. (2005) odporność może być w krótkim czasie przełamana przez powstające nowe rasy patogena.

Wnioski / Conclusions

1. Zmienność nasilenia występowania rdzy brunatnej pszenicy była w dużym stopniu uzależniona od warunków klimatyczno-glebowych na obszarze Dolnego Śląska.
2. Odmiany pszenicy wykazywały zróżnicowane porażenie przez *P. recondita* f. sp. *tritici* w poszczególnych miejscowościach i latach.
3. Odmiany: Askalon, Smaragd i Muszelka odznaczały się podwyższoną i stabilną w latach odpornością na populacje grzyba *P. recondita* f. sp. *tritici.*

Praca wykonana w ramach Krajowego Programu Porejestrowego Doświadczalnictwa Odmianowego koordynowanego przez Centralny Ośrodek Badania Odmian Roślin Uprawnych.

Literatura / References

Caliński T., Czajka S., Kaczmarek Z. 1987. A model for the analysis of a series of experiments repeated at several places over a period years. I. Theory. Biuletyn Oceny Odmian – Cultivar Testing Bulletin 10: 7–34.

Chełkowski J., Stępień Ł., Strzembicka A. 2005. Ocena podatności pszenicy ozimej na rdzę brunatną oraz poszukiwanie źródeł odporności. Acta Agrobotanica 58 (1): 145–152.

Cloutier S., McCallum B.D., Loutre C., Banks T.W., Wicker T., Feuillet C., Keller B., Jordan M.C. 2007. Leaf rust resistance gene Lr1, isolated from bread wheat (*Triticum aestivum* L.) is a member of the large psr567 gene family. Plant Molecular Biolology 65 (1–2): 93–106.

Dyck P.L., Samborski D.J. 1982. The inheritance of resistance to *Puccinia recondita* in a group of common wheat cultivars. Canadian Journal of Genetics Cytology 24 (3): 273–283.

Goyeau H., Park R., Scheffer B., Lannocu C. 2006. Distribution of pathotypes with regard to host cultivars in french wheat leaf rust populations. Phytopathology 96 (3): 264–273.

Kolmer J.A. 2005. Tracking wheat rust on a continental scale. Current Opinion in Plant Biology 8 (4): 441–449.

Kolmer J.A. 2010. Genetics of leaf rust resistance in the soft red winter wheat cultivars Coker 9663 and Pioneer 26R61. Plant Disease 94 (5): 628–632.

Kolmer J.A., Long D.L., Hughes M.E. 2007. Physiological specialization of *Puccinia triticina* on wheat in the United States in 2005. Plant Disease 91 (8): 979–984.

Macintosh R.A., Yamazaki Y., Devos K.M., Dubcovsky J., Rogers J., Appels R. 2007. Catalogue of gene symbols for wheat. Supplement. KOMUGI Integrated Wheat Science Database. http://www.shigen.nig.ac.jp/wheat/komugi/genes/symbolClassList.jsp [Accessed: 2014].

Ordoňez M.E., Kolmer J.A. 2009. Differentiation of molecular genotypes and virulence phenotypes of *Puccinia triticina* from common wheat in North America. Phytopathology 99 (6): 750–758.

Winzeler M., Mesterhazy A., Park R.F., Bartos P., Csosz M., Goyeau H., Ittu M., Jones E., Loschenberger F., Manninger K., Pasquini M., Richter K., Rubiales D., Schachermayr G., Strzembicka A., Trottet M., Unger O., Vida G., Walther U. 2000. Resistance of European winter wheat germplasm to leaf rust. Agronomie 20 (7): 783–792.

Wójtowicz A., Gwiazdowski R., Kubiak K., Pasternak M. 2013. Wpływ temperatury na kiełkowanie urediniospor *Puccinia recondita* f. sp. *tritici*. [Influence of temperature on germination of uredniospores of *Puccinia recondita* f. sp. *tritici*]. Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin 53 (3): 556–559.