

Received: 04.03.2016 / Accepted: 22.07.2016

Identification of brown rust resistance gene *Lr19* caused by *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* in foreign cultivars of winter wheat *Triticum aestivum* L.

Identyfikacja genu *Lr19* warunkującego odporność na rdzę brunatną powodowaną przez *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* w zagranicznych odmianach pszenicy ozimej *Triticum aestivum* L.

Agnieszka Tomkowiak¹, Danuta Kurasiak-Popowska^{1*}, Sylwia Mikołajczyk¹, Dorota Weigt¹,
Janetta Niemann¹, Angelika Kiel¹, Agnieszka Lisewska¹, Jerzy Nawracała¹,
Przemysław Matysik², Michał Rokicki³, Jan Bocianowski⁴

Summary

The aim of this study was to identify the *Xwmc221* marker for the leaf rust *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* resistance gene *Lr19* among 47 foreign cultivars of winter wheat. Marker *Xwmc221* linked to the *Lr19* gene was identified in reference genotypes i.e. cultivars: Agatha and GSTR 420, and in two tested cultivars: KWS Loft and Arktis. The cultivar KWS Loft has a very good resistance to *P. recondita* f. sp. *tritici* in the field conditions, in contrast to the cultivar Arktis which resistance to *P. recondita* was medium despite the presence of *Lr19* gene. The cultivars: Ohio, Pengar and Speedway have shown very high field resistance to *P. recondita* f. sp. *tritici*, and it can be assumed that they probably have other genes of resistance to this disease. The study determined the suitability of *Xwmc221* marker to identify the gene *Lr19* in wheat cultivars with different origins. The marker may be used to support selection in breeding programs.

Key words: wheat; leaf rust; *Lr19* gene; SSR molecular markers

Streszczenie

Celem pracy było zidentyfikowanie markera *Xwmc221* dla genu odporności na rdzę brunatną *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* *Lr19* wśród 47 zagranicznych odmian pszenicy ozimej. Marker *Xwmc221* sprzężony z genem *Lr19* został zidentyfikowany zarówno w odmianach referencyjnych: Agatha i GSTR 420, jak również w testowanych odmianach: KWS Loft oraz Arktis. Odmiana KWS Loft charakteryzowała się bardzo dobrą odpornością na *P. recondita* f. sp. *tritici* w warunkach polowych, w przeciwieństwie do odmiany Arktis, której odporność była średnia, pomimo obecności genu *Lr19*. Odmiany: Ohio, Pengar i Speedway wykazujące bardzo wysoką polową odporność na *P. recondita* f. sp. *tritici* posiadają prawdopodobnie inne geny odporności na tego patogena. W pracy wykazano przydatność markera *Xwmc221* do identyfikacji genu *Lr19* w odmianach pszenicy o zróżnicowanym pochodzeniu. Marker ten może być wykorzystywany do wspierania selekcji w programach hodowlanych.

Słowa kluczowe: pszenica; rdza brunatna; gen *Lr19*; markery molekularne SSR

¹Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Katedra Genetyki i Hodowli Roślin
Dojazd 11, 60-632 Poznań

²Hodowla Roślin Strzelce Sp. z o.o. Grupa IHAR, Główna 20, 99-307 Strzelce

³Poznańska Hodowla Roślin Sp. z o.o., Kasztanowa 5, 63-004 Tulce

⁴Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Katedra Metod Matematycznych i Statystycznych
Wojska Polskiego 28, 60-637 Poznań

*corresponding author: popowska@up.poznan.pl

Wstęp / Introduction

Choroby grzybowe obniżają plony oraz pogarszają jakość ziarna (Korbas 2007). Straty ilościowe odnotowywane są na skutek obniżenia masy ziarna oraz zmniejszenia ich liczby w kłosie (Artyszak 2006). Obecnie w ramach Integrowanej Ochrony Roślin dąży się do ograniczenia stosowania fungicydów, natomiast zwiększa się rola hodowli odpornościowej. W nowoczesnych programach hodowlanych coraz więcej uwagi poświęca się genetycznie uwarunkowanej odporności roślin na patogeny.

Grzyby rodzaju *Puccinia* są groźnymi patogenami zbóż w Europie oraz w Ameryce Północnej i Południowej, gdyż przyczyniają się do znacznych strat plonu. O nasileniu choroby decydują warunki pogodowe w danym kraju (Kryczyński i wsp. 2011). Uprawa odmian pszenicy, które posiadają geny warunkujące odporność na sprawcę rdzy brunatnej jest najbardziej ekonomiczną metodą kontrolowania skutków występowania tej choroby (Chhuneja i wsp. 2008; Kurparthy i wsp. 2011). W tym celu do identyfikacji markerów genów odporności na *Puccinia* wykorzystuje się różne techniki molekularne, takie jak: STS, SSR i SCAR (<http://maswheat.ucdavis.edu>). Dzięki markerom molekularnym zlokalizowano wiele genów odporności na sprawcę rdzy brunatnej u pszenicy (Błaszczyk i Chełkowski 2010).

Geny odporności na rdzę brunatną *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* oznacza się skrótem *Lr* od angielskiej nazwy choroby Leaf Rust (Huseynova i wsp. 2013). Dotychczas zidentyfikowano 81 genów odporności na sprawcę rdzy brunatnej (McIntosh i wsp. 2005). Z roku na rok liczba efektywnie działających genów odporności na *Puccinia* maleje ze względu na pojawianie się nowych patotypów (Abdelback i wsp. 2013; Huseynova i wsp. 2013; Liu i wsp. 2013; Imbaby i wsp. 2014). Gen *Lr19* należy do najbardziej efektywnych genów odporności na tego patogena (obok genów: *Lr9*, *Lr10*, *Lr24*, *Lr28* oraz *Lr32*). Został on wprowadzony do pszenicy zwyczajnej poprzez

translokację z *Agropyron elongatum* do dystalnej części długiego ramienia chromosomu 7D pszenicy zwyczajnej (Miralles i wsp. 2007; Uhrin i wsp. 2008). Wykazano również, że translokacja ta powoduje zwiększenie plonu ziarna (Gupta i wsp. 2006; Huseynova i wsp. 2013). Warunkuje on odporność na sprawcę rdzy brunatnej w wielu regionach świata (Kassem i wsp. 2011; Shegal i wsp. 2012; Slikova i wsp. 2003) i zapewnia ochronę przeciwko wielu rasom patogena w regionie Azji oraz Europy (Kumar i wsp. 2010; Leśniowska-Nowak i wsp. 2013). W Polsce oraz krajach sąsiadujących nie notowano dotychczas genów wirulencji przełamujących odporność związaną z obecnością genu *Lr19* (Chełkowski i wsp. 2005; Czajowski i wsp. 2011). Gen ten może być piramidyzowany z innymi genami odporności na sprawcę rdzy brunatnej w celu nadania roślinom długotrwałej odporności. Gen *Lr19* zapewnia odpowiedź opartą na reakcji nadwrażliwości rośliny (Okoń i wsp. 2012).

Celem pracy była identyfikacja markera *Xwmc221* dla genu odporności na rdzę brunatną *P. recondita* f. sp. *tritici* *Lr19* wśród 47 odmian pszenicy zwyczajnej.

Materiały i metody / Materials and methods

Przedmiotem badań było 47 odmian pszenicy ozimej o zróżnicowanym pochodzeniu oraz dwie odmiany referencyjne: Agatha (*Agrus/6* * Thatcher) oraz GSTR 420 (Thatcher * *6/Agropyron elongatum*). Odmiany referencyjne z genem *Lr19* otrzymano z National Small Grains Collection znajdującej się w Agriculture Research Station w Aberdeen, w USA. Pozostałe odmiany pochodziły z doświadczeń przeprowadzonych w ramach Porejestrowanego Doświadczalnictwa Odmianowego prowadzonego przez Centralny Ośrodek Badania Odmian Roślin Uprawnych (COBORU) oraz Hodowlę Roślin Strzelce Sp. z o.o. Grupa IHAR w Polsce (tab. 1).

Tabela 1. Lista badanych odmian oraz wykaz hodowców, bądź reprezentantów (pełnomocników)
Table 1. List of studied cultivars and a list of breeders or representatives

Odmiana Cultivar	Hodowca/reprezentant Breeder/representative	Odmiana Cultivar	Hodowca/reprezentant Breeder/representative
1	2	3	4
Arktis*	Deutsche Saatveredelung AG	Lavantus*	Strube Research GmbH & Co. KG
Artist*	Deutsche Saatveredelung AG	Linus*	RAGT 2n
Askalon*	Nordsaat Saat-zucht GmbH Saat-zucht Langenstein	Meister*	RAGT 2n
Boregar**	RAGT 2n	Mulan*	Nordsaat Saat-zucht GmbH Saat-zucht Langenstein
Estivus*	Strube Research GmbH and Co. KG	Norin**	Syngenta Hadmersleben GmbH
Euclide**	Florimond Desprez Veuve et Fils	Ohio*	W. von Borries-Eckendorf GmbH & Co. KG
Fakir*	Syngenta Seeds GmbH	Opal**	Syngenta Hadmersleben GmbH
Fidelius*	Saat-zucht Doneau GmbH & CoKG	Oxal*	RAGT 2n
Florus*	Strube Research GmbH & Co. KG	Pamier**	Syngenta Hadmersleben GmbH
Folklor**	Agri-Obtentions	Patras*	Deutsche Saatveredelung AG
Forum*	Nordsaat Saat-zucht GmbH Saat-zucht Langenstein	Pengar*	W. von Borries-Eckendorf GmbH & Co. KG

1	2	3	4
Franz*	Nordsaat Saatzucht GmbH Saatzucht Langenstein	Platin*	Strube Research GmbH & Co. KG
Golem**	RAGT Czech s.r.o.	Praktik*	RAGT 2n
Gordian**	Syngenta Participations AG	Rebell**	R2n (Société RAGT 2n)
Julius**	KWS Lochow GMBH	RGT Kilimanjaro*	RAGT 2n
Kepler *	Nickerson International Research SNC	Rotax*	Strube Research GmbH & Co. KG
Kredo*	Nordsaat Saatzucht GmbH Saatzucht Langenstein	Rubisko**	RAGT
KWS Dacanto*	KWS Lochow GMBH	Sailor*	Secobra Saatzucht GmbH
KWS Dakotana*	KWS Lochow GMBH	Skagen*	W. von Borries-Eckendorf GmbH & Co. Kommanditgesellschaft
KWS Livius*	KWS Lochow GMBH	Speedway*	Nordsaat Saatzucht GmbH Saatzucht Langenstein
KWS Loft*	KWS Lochow GMBH	Tobak*	W. von Borries-Eckendorf GmbH & Co. KG
KWS Magic*	KWS Lochow GMBH	Toras**	Syngenta Hadmersleben GmbH
KWS Ozon*	KWS Lochow GMBH	Zeppelin**	Syngenta Hadmersleben GmbH
KWS Pius**	KWS Lochow GMBH	–	–

*odmiany wpisane do Krajowego Rejestru (www.coboru.pl) – cultivars admitted to the Polish National List (www.coboru.pl)

**baza odmian roślin – plant cultivar database – European Commission

(http://ec.europa.eu/food/plant/plant_propagation_material/plant_variety_catalogues_databases)

Obserwacje porażenia roślin przez *P. recondita* prowadzono w Hodowli Roślin Strzelce w następujących terminach: 1–14.06.2013, 2–12.07.2013, 1–18.06.2014 i 2–27.07.2014 roku. Ocena stopnia porażenia roślin dokonywana była w oparciu o 9-stopniową skalę wykorzystywaną przez COBORU, w której 9 – oznacza brak objawów chorobowych, a 1 – najsilniejsze porażenie.

Materiał do badań pobierano z 10-dniowych siewek uzyskanych ze skiełkowanych w warunkach laboratoryjnych nasion. Izolację DNA (deoxyribonucleic acid) prowadzono wykorzystując zestaw do izolacji DNA z roślin Genomic Mini AX PLANT firmy A&A BIOTECHNOLOGY zgodnie z dołączoną procedurą. Stężenie DNA oznaczono za pomocą spektrofotometru NanoDrop. Próby rozcieńczono wodą destylowaną w celu uzyskania jednakowego stężenia 40 ng/μl. Reakcję PCR (polymerase chain reaction) przeprowadzono w mieszaninie o składzie: woda – 5 μl, DreamTaq™ Green PCR Master Mix – 6,25 μl, startery – 2 × 0,25 μl (stężenie końcowe starterów wynosiło 10 μM), matryca DNA – 1 μl.

Identyfikację genu *Lr19* przeprowadzono z wykorzystaniem markera *Xwmc221*. Wykazuje on charakter kodominujący, w związku z czym stosując parę starterów – F: 5'- ACG ATA ATG CAG CGG GGA AT - 3', R: 5'- GCT GGG ATC AAG GGA TCA AT - 3' amplifikowano fragmenty o wielkości 200 pz dla genotypów posiadających gen *Lr19* i 220 pz dla genotypów wrażliwych (Gupta i wsp. 2006).

Do badań wykorzystano termocykler gradientowy TProfessional Basic Gradient Thermocycler. Po przetestowaniu siedmiu różnych warunków reakcji PCR zoptymalizowano warunki reakcji: denaturacja wstępna: 3 min. w 94°C, 35 cykli (denaturacja: 30 s w 94°C, przyłączenie starterów: 30 s w 55°C, synteza: 30 s w 72°C), synteza końcowa: 5 min. w 72°C, przechowywanie: max 24 h w 4°C.

Elektroforezę prowadzono w żelu agarozowym o stężeniu 2,5%. Wizualizacji dokonano na transiluminatorze High Performance UV Transiluminator UVP. Obrazy archiwizowano za pomocą systemu KTE – Video.

Jednoczynnikowa analiza wariancji (ANOVA) została przeprowadzona w celu zweryfikowania hipotezy o braku wpływu lat na zmienność stopnia porażenia. Ze względu na brak różnic w latach, przeprowadzono dwuczynnikową analizę wariancji w celu zweryfikowania hipotez o braku wpływu odmian oraz terminów, jak również hipotezy o braku interakcji odmiany × terminy na zmienność stopnia porażenia.

Wyniki i dyskusja / Results and discussion

Analizując uzyskane dane nie zaobserwowano różnic między latami prowadzenia obserwacji pod względem stopnia porażenia ($F_{1,166} = 0,65$, $p = 0,21$). Wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji wskazują na istotne statystycznie zróżnicowanie odmian ($F_{46,74} = 19,09$, $p < 0,011$) oraz terminów ($F_{1,74} = 41,57$, $p < 0,011$) pod względem stopnia porażenia. Natomiast interakcja odmiany × terminy nie była istotna statystycznie ($F_{46,74} = 0,64$, $p = 0,948$). W pierwszym i drugim roku badań silne porażenie w obu terminach obserwacji wynoszące 2–4 w skali 9-stopniowej zaobserwowano u 5 odmian (rys. 1). Z drugiej strony u 7 odmian odnotowano zupełny brak porażenia w pierwszym terminie obserwacji w roku 2013. W roku 2014 podobny wynik uzyskano dla zaledwie czterech odmian, z których trzy: Ohio, Pengar i Speedway osiągnęły ten sam wynik jak w 2013 roku.

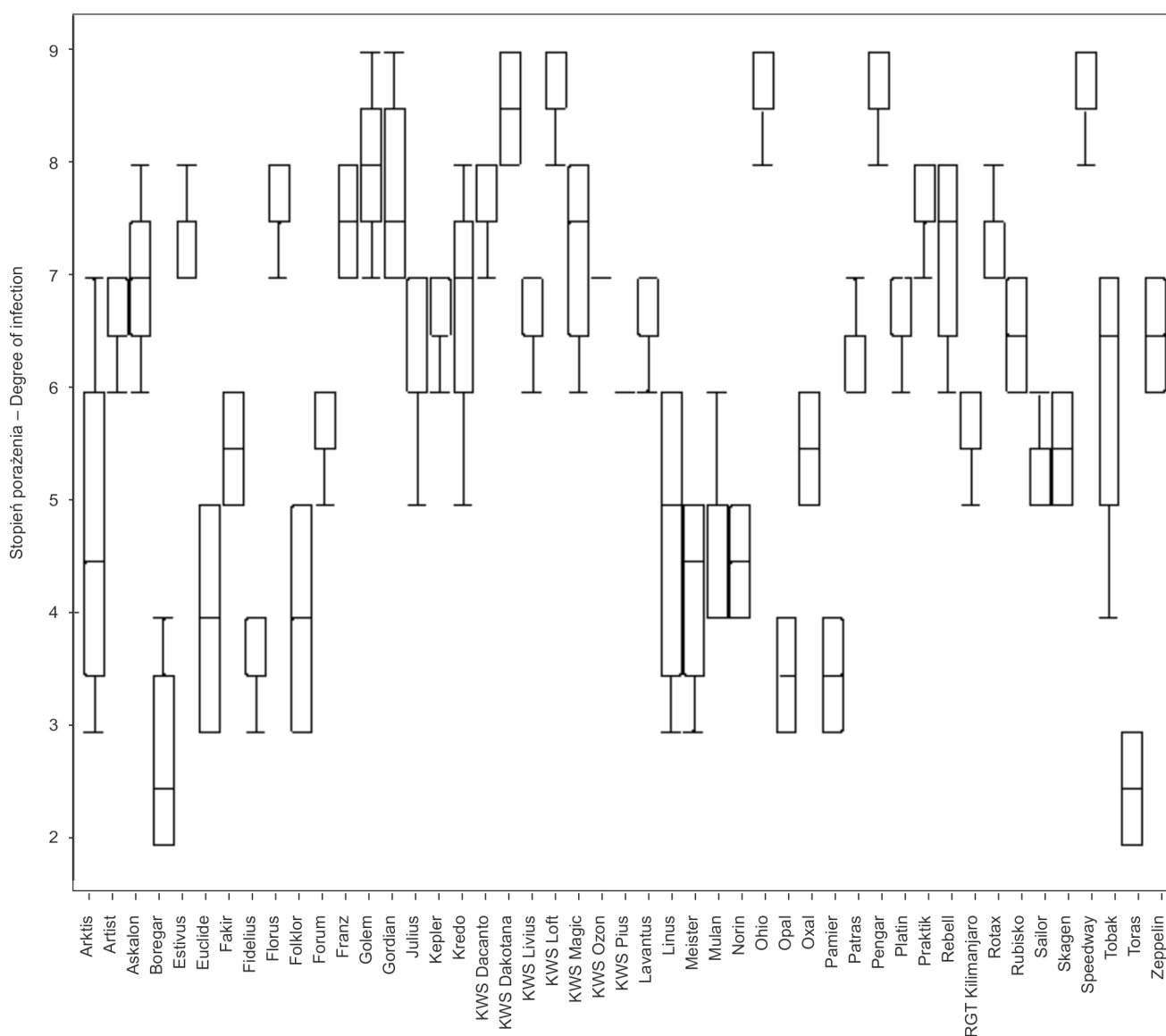
Na elektroforogramach zarejestrowano produkty amplifikacji o wielkości 200 pz w odmianach referencyjnych: Agatha i GSTR 420 (rys. 2). Produkt o tej wielkości otrzymano również w odmianach: KWS Loft oraz Arktis

(rys. 2). Odmiana KWS Loft odznaczała się bardzo dobrą połową odpornością na rdzę brunatną w latach badań (rys. 1). Odporność odmiany Arktis w pierwszych terminach obserwacji porażenia w obu latach badań wynosiła 7 w skali 9-stopniowej, a następnie osiągnęła 5. stopień skali w kolejnych terminach obserwacji. W pozostałych testowanych odmianach, również tych, które wykazywały bardzo dobrą odporność na *P. recondita* f. sp. *tritici* w warunkach połowych stwierdzono obecność produktu amplifikacji o wielkości 220 pz, co świadczy o braku genu *Lr19*. Odmiany odporne na tego patogena, a nie posiadające genów *Lr19* najprawdopodobniej posiadają inne geny *Lr*.

Przez długi czas gen *Lr19* nie był szeroko wykorzystywany w programach hodowlanych pszenicy, ze względu na jego sprzężenie z genem żółtego pigmentu Y, warunku-

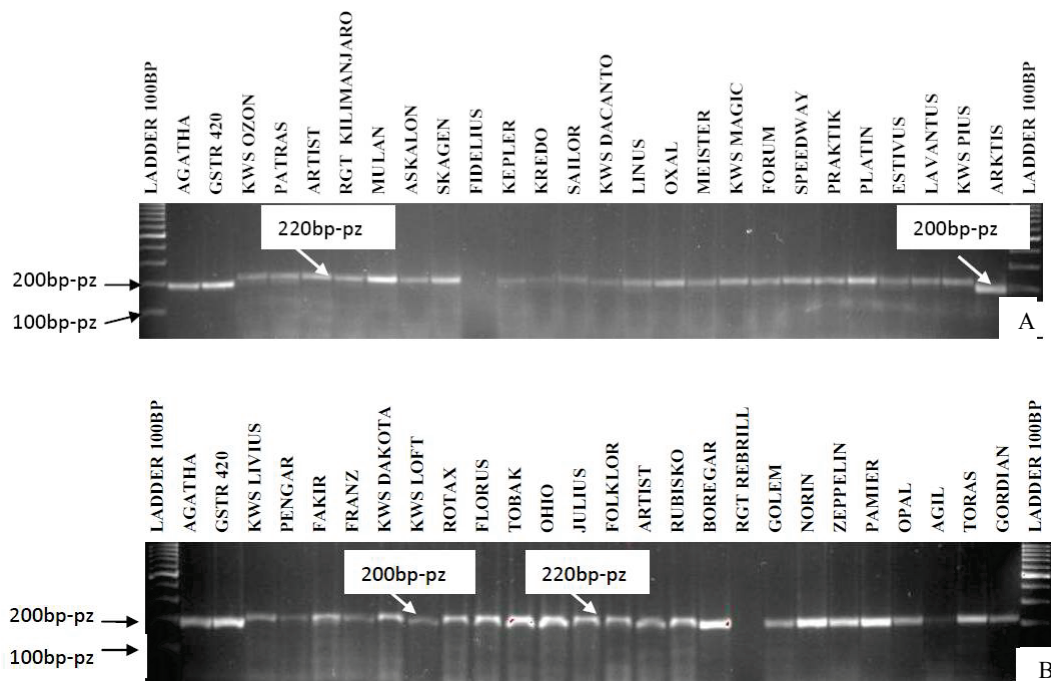
jącym żółte odcienie mąki. Knott (1980) opracował linie mutanta Agatka-28 zawierające geny *Lr19/Sr25* o zmniejszonej zawartości koloru żółtego z powodu mutacji w genie *PSY-E*. Linie te zostały wykorzystane w ramach krzyżowań wstecznych w australijskich odmianach pszenicy oraz w programach CIMMYT (Bariana i wsp. 2007). Z drugiej strony wysoki poziom żółtego pigmentu jest pożądanym w hodowli pszenicy durum (Zhang i wsp. 2005).

W badaniach dotyczących identyfikacji genu *Lr19* w odmianach pszenicy zwyczajnej często stosowane są markery AFLP, RAPD oraz SCAR. Cherukuri i wsp. (2003) określili obecność genu *Lr19* wykorzystując marker RAPD, który przekonwertowali w marker SCAR (SCS73). Z kolei Prabhu i wsp. (2004), weryfikując skuteczność markera SCS73 w selekcji form odpornych wykazali, że



Rys. 1. Wykres pudełkowy stopnia porażenia odmian pszenicy ozimej przez *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* – dla danych z obu terminów w obu latach (Dolny i górny bok pudełka są 25. i 75. percentylem – kwartył dolny i górny, odpowiednio; środek pudełka jest 50. percentylem – mediana. Końce wąsów odpowiadają wartościami minimalnej i maksymalnej wszystkich danych)

Fig. 1. Boxplot of the degree of infection of winter wheat by *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* – for data from both terms in both years (The bottom and top of the box are the 25th and 75th percentile – the lower and upper quartiles, respectively; and the band near the middle of the box is the 50th percentile – the median. The ends of the whiskers represent the minimum and maximum of all the data)



Rys. 2. Elektroforogram przedstawiający występowanie markera genu *Lr19* u odmian pszenicy o zróżnicowanym pochodzeniu
 Fig. 2. Agarose gel electrophoresis showing the presence of a marker of gene *Lr19* in wheat cultivars with diverse origins

marker ten nie jest sprzężony z genem *Lr19*, natomiast jest specyficzny dla genu *Lr24*. Gupta i wsp. (2006) zidentyfikowali dwa markery RAPD, specyficzne dla genu *Lr19*, a następnie przekonwertowali je w markery SCAR – SCS253 oraz SCS265. Skuteczność tych markerów potwierdzili Błaszczyk i wsp. (2008), wykorzystując w tym celu linie bliskoizogeniczne odmiany Thatcher, posiadające różne geny odporności na sprawcę rdzy brunatnej. Podobne rezultaty otrzymali Okoń i wsp. (2012), którzy w swoim opracowaniu stwierdzili obecność produktu amplifikacji o wielkości 736 pz w 213 polskich liniach hodowlanych, natomiast brak produktu tej wielkości, a tym samym obecność genu *Lr19* wykazali w 33 genotypach oraz w linii bliskoizogenicznej Thatcher z genem *Lr19*. Inny marker SCAR-SCS123 zastosowali Huseynova i wsp. (2013), w rezultacie wykazali obecność produktu o wielkości 688 pz, świadczący o obecności genu *Lr19* w 48 odmianach pszenicy zwyczajnej.

Podobne prace dotyczące identyfikacji genów *Lr* prowadzone są na różnych odmianach, na całym świecie. Leśniowska-Nowak i wsp. (2013) stwierdziła obecność genu *Lr19* w jednej spośród 12 europejskich odmian pszenicy. Kowalczyk i wsp. (2009) zlokalizowali gen *Lr19* w 38 polskich liniach pszenicy zwyczajnej spośród 356 badanych. Vanzetti i wsp. (2011) stwierdzili obecność markera genu *Lr19* o długości 130 pz w przypadku dwóch argentyńskich odmian pszenicy zwyczajnej spośród

66 analizowanych. Podobne wyniki otrzymali Urbanovich i wsp. (2006), wykazując obecność genu *Lr19* w dwóch genotypach – szwedzkim i rosyjskim testując 68 odmian pszenicy zwyczajnej. Abou-Elseoud i wsp. (2014) zidentyfikowali gen *Lr19* w dwóch egipskich odmianach spośród siedmiu testowanych.

W pracy wykazano przydatność markera *Xwmc221* do identyfikacji genu *Lr19* w odmianach pszenicy o zróżnicowanym pochodzeniu. Marker ten może być wykorzystywany do wspierania selekcji w hodowli odpornościowej.

Wnioski / Conclusions

1. Marker *Xwmc221* sprzężony z genem *Lr19* został zidentyfikowany zarówno w genotypach referencyjnych: Agatha i GSTR 420, jak również w testowanych odmianach: KWS Loft oraz Arktis.
2. Odmiana KWS Loft charakteryzowała się bardzo dobrą odpornością na *P. recondita* f. sp. *tritici* w warunkach polowych, w przeciwieństwie do odmiany Arktis, której odporność na *P. recondita* f. sp. *tritici* była średnia pomimo obecności genu *Lr19*.
3. Odmiany Ohio, Pengar i Speedway wykazujące bardzo wysoką polową odporność na sprawcę rdzy brunatnej posiadają prawdopodobnie inne geny odporności na tę chorobę.

Literatura / References

Abdelback A., Soliman N., Najeeb M., Omara R. 2013. Postulation and identification of resistance genes against *Puccinia triticina* in new wheat cultivars in Egypt using molecular markers. International Journal of Chemical, Environmental and Biological Sciences 1 (1): 2320–4087.

- Abou-Elseoud M.S., Kamara A.M., Alaa-Eldein O.A., El-Bebany A.F., Ashmawy N.A., Draz I.S. 2014. Identification of leaf rust resistance genes in Egyptian wheat cultivars by multipathotypes and molecular markers. *Journal of Plant Sciences* 2 (5): 145–151.
- Artyszak A. 2006. *Technologia produkcji pszenicy ozimej*. Wyd. I. Przedsiębiorstwo Wydawnicze Rzeczpospolita SA, Warszawa: 49–51.
- Bariana H.S., Brown G.N., Bansal U.K., Miah H., Standen G.E., Lu M. 2007. Breeding triple rust resistant wheat cultivars for Australia using conventional and marker-assisted selection technologies. *Australian Journal of Agricultural Research* 58: 576–587.
- Błaszczak L., Chełkowski J. 2010. Geny odporności na patogeny w genomie pszenicy. *Kwartalnik Polskiej Izby Nasionnej* 3: 15–23.
- Błaszczak L., Kramer I., Ordon F., Chełkowski J., Tyrka M., Vida G., Karsai I. 2008. Validity of selected DNA markers for breeding leaf rust resistant wheat. *Cereal Research Communications* 36 (2): 201–213.
- Chełkowski J., Stepien Ł., Strzembicka A. 2005. Ocena podatności pszenicy ozimej na rdzę brunatną oraz poszukiwanie źródeł odporności. *Acta Agrobotanica* 58: 143–152.
- Cherukuri D.P., Gupta S.K., Charpe A., Koul S., Prabhu K.V., Singh R.B., Haq Q.M.R., Chauhan S.V.S. 2003. Identification of a molecular markers linked to an *Agropyron elongatum* – derived gene *Lr19* for leaf rust resistance in wheat. *Plant Breeding* 122: 204–208.
- Chhuneja P., Kaur S., Goel R.K., Aghae-Sarbarzeh M., Prashar M., Dhaliwal H.S. 2008. Transfer of leaf rust and stripe rust resistance from *Aegilops umbellulata* Zhunk. to bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Genetic Resources and Crop Evolution* 55: 849–859.
- Czajowski G., Strzembicka A., Karska K. 2011. Wirulencja populacji *Puccinia triticina* sprawcy rdzy brunatnej pszenicy i pszenżyta w Polsce w latach 2008–2010. *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin* 260/261: 145–153.
- Gupta S.K., Charpe A., Prabhu K.V., Haque Q.M.R. 2006. Identification and validation of molecular markers linked to the leaf rust resistance gene *Lr19* in wheat. *Theoretical and Applied Genetics* 113: 1027–1036.
- http://ec.europa.eu/food/plant/plant_propagation_material/plant_variety_catalogues_databases
- Huseynova I.M., Guliyeva F.B., Rustamova S.M., Aliyev J.A. 2013. PCR – based molecular markers linked to the leaf rust resistance gene *Lr19* in different bread wheat cultivars. *Advances in Biological Chemistry* 3: 153–158.
- Imbabi I.A., Mahmoud M.A., Hassan M.E.M., Adb-El-Aziz A.R.M. 2014. Identification of leaf rust resistance genes in selected Egyptian wheat cultivars by molecular markers. *The Scientific World Journal*, Volume 2014, Article ID 574285: 1–7, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/574285>.
- Kassem M., El-Ahmed A., Hakim M.S., Al-Saleh A., El-Khalifeh M., Nachit M. 2011. Identifying leaf rust resistance gene *Lr19* in durum wheat using simple sequence repeat (SSR) marker. *African Journal of Biotechnology* 10 (44): 8716–8719.
- Knott D.R. 1980. Mutation of a gene for yellow pigment linked to *Lr19* in wheat. *Canadian Journal of Genetics and Cytology* 22: 651–654.
- Korbas M. 2007. Program ochrony pszenicy na rok 2007. Plantpress, Kraków: 8–16.
- Kowalczyk K., Okoń S., Leśniowska-Nowak J., Nowak M. 2009. Wykorzystanie genów odporności na rdzę brunatną *Lr19*, *Lr21* i *Lr35* w programach hodowlanych pszenicy zwyczajnej w Polsce. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 542: 255–260.
- Kryczyński S., Weber Z., Paduch-Cichal E., Schollenberger M., Wakuliński W., Werner M., Fiedorowicz Z., Irzykowska L., Karolewski Z., Mirzwa-Mróż E., Sala-Rejczak K., Szyndel M., Gołębiak B., Jeżewska M., Kosiada T., Majewski T. 2011. *Fitopatologia. Tom 2. Choroby roślin uprawnych*. Wyd. I. PWRiL, Poznań: 418–420.
- Kumar J., Mir R.R., Kumar N., Kumar A., Mohan A., Prabhu K.V., Balyan H.S., Gupta P.K. 2010. Marker – assisted selection for pre-harvest sprouting tolerance and leaf rust resistance in bread wheat. *Plant Breeding* 129: 617–621.
- Kuraparthi V., Sood S., Guedira G., Gill B.S. 2011. Development of a PCR assay and marker – assisted transfer of leaf rust resistance gene *Lr58* into adapted winter wheats. *Euphytica* 180: 227–234.
- Leśniowska-Nowak J., Grądzielewska A., Majek M. 2013. Identyfikacja genów odporności na rdzę brunatną w wybranych europejskich odmianach pszenicy zwyczajnej oraz opracowanie warunków Multiplex PCR. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, Sectio E, Agricultura* 68 (3): 20–28.
- Liu Z., Bowden R.L., Bai G. 2013. Molecular markers for leaf rust resistance gene *Lr42* in wheat. *Crop Science* 53: 1566–1570.
- McIntosh R.A., Devos K.M., Dubcovsky J., Rogers W.J., Morris C.F., Appels R., Anderson O.D. 2005. Catalogue of gene symbols for wheat: 2013–2014. Supplement.
- Miralles D.J., Resnicoff E., Carretero R. 2007. Yield improvement associated with *Lr19* translocation in wheat. *Scale and Complex*. In *Plant Research: Gene-Plant-Crop Reactions*: 171–178.
- Okoń S., Matysiak P., Nita Z., Bichoński A., Rubrycki K., Woźna-Pawlak U., Kowalczyk K. 2012. Identyfikacja genu *Lr19* odporności na rdzę brunatną w polskich liniach pszenicy zwyczajnej (*Triticum aestivum* L.). *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, Sectio E, Agricultura* 57 (3): 39–43.
- Prabhu K.V., Gupta S.K., Charpe A., Koul S. 2004. SCAR marker tagged to the alien leaf rust resistance gene *Lr19* uniquely marking the *Agropyron elongatum* – derived gene *Lr24* in wheat: a revision. *Plant Breeding* 123: 417–420.
- Shegal S.A., Tahir R.A., Nawaz M., Younas M. 2012. Genic microsatellite markers for genetic diversity of rust resistant wheat genotypes. *Journal of Biochemical Technology* 4 (1): 480–484.
- Slikova S., Gregova E., Bartos P., Kraic J. 2003. Marker-assisted selection for leaf rust resistance in wheat by transfer of gene *Lr19*. *Plant Protection Science* 39 (1): 13–17.
- Uhrin A., Lang L., Bedo Z. 2008. Comparison of PCR-based DNA markers for using different *Lr19* and *Lr24* leaf rust resistance wheat sources. *Cereal Research Communications* 36 (4): 533–541.
- Urbanovich O.Y., Malyshev S.V., Dolmatovich T.V., Kartel N.A. 2006. Identification of leaf rust resistance genes in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars using molecular markers. *Russian Journal of Genetics* 42 (5): 546–554.
- Vanzetti L.S., Campos P., Demichelis M., Lombardo L.A., Aurelia P.R., Vaschetto L.M., Bainotti C.T., Helguera M. 2011. Identification of leaf rust resistance genes in selected Argentinean bread wheat cultivars by gene postulation and molecular markers. *Electronic Journal of Biotechnology* 14 (3): 1–17.
- www.ncbi.nlm.nih.gov
- www.coboru.pl
- Zhang W., Soria M.A., Goyal S., Dubcovsky J., Lukaszewski A.J., Kolmer J. 2005. Molecular characterization of durum and common wheat recombinant lines carrying leaf rust resistance (*Lr19*) and yellow pigment (*Y*) genes from *Lophopyrum ponticum*. *Theoretical and Applied Genetics* 111: 573–582.