

Received: 28.03.2018 / Accepted: 09.05.2018

Identification of leaf rust (*Puccinia triticina*) resistance genes *Lr11*, *Lr13* and *Lr16* in wheat cultivars with different origins

Identyfikacja genów odporności na rdzę brunatną (*Puccinia triticina*) *Lr11*, *Lr13* i *Lr16* u odmian pszenicy zwyczajnej o zróżnicowanym pochodzeniu

Agnieszka Tomkowiak, Danuta Kurasiak-Popowska*, Dorota Weigt, Janetta Niemann, Jerzy Nawracała

Summary

The effective resistance genes of leaf rust (*Puccinia triticina*) in Europe that were identified in the experiment, which included 46 wheat cultivars (13 Polish and 33 foreign) are: *Lr11*, *Lr13* and *Lr16*. DNA isolation was performed using a DNA isolation kit from Genomic Mini AX PLANT plants. Four specific markers were used to determine the presence of *Lr* genes: *Xwmc261* and *Xwmc24* for the *Lr11* gene, *Xgwm630* for the *Lr13* gene and *Xwmc764* for the *Lr16* gene. The analyses of common wheat cultivars for the presence of markers for leaf rust resistance genes *Lr11*, *Lr13* and *Lr16*, showed their presence in the following 12 tested cultivars (3 Polish and 9 foreign), Opcja, Astoria, Mewa, Bonanza, Janosch, Artist, KWS Kiran, KWS Livius, Franz, Leandrus, Platin and Rotax. Two genes were found in various combinations among 20 cultivars and fourteen cultivars had only one of the identified genes.

Key words: wheat; breeding; resistance; molecular markers; leaf rust

Streszczenie

Skutecznymi genami odporności na rdzę brunatną w Europie, które były identyfikowane u 46 odmian pszenicy w doświadczeniu są: *Lr11*, *Lr13* i *Lr16*. W skład analizowanych odmian wchodzi: 13 odmian polskich oraz 33 odmiany zagraniczne. Izolację DNA prowadzono wykorzystując zestaw do izolacji DNA z roślin Genomic Mini AX PLANT. W celu stwierdzenia obecności genów *Lr* w odmianach wykorzystano cztery specyficzne markery: *Xwmc261* oraz *Xwmc24* dla genu *Lr11*, *Xgwm630* dla genu *Lr13* oraz *Xwmc764* dla genu *Lr16*. W trakcie analiz 46 odmian pszenicy zwyczajnej pod kątem obecności markerów dla genów odporności na rdzę brunatną *Lr11*, *Lr13* i *Lr16* wykazano, iż 12 testowanych odmian w tym 3 polskie i 9 zagranicznych posiada skumulowane wszystkie analizowane geny, i należą do nich: Opcja, Astoria, Mewa, Bonanza, Janosch, Artist, KWS Kiran, KWS Livius, Franz, Leandrus, Platin i Rotax. Wśród 20 odmian stwierdzono obecność dwóch genów w różnych kombinacjach. Czternaście odmian posiadało tylko jeden z identyfikowanych genów.

Słowa kluczowe: pszenica; hodowla; odporność; markery molekularne; rdza brunatna

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
Dojazd 11, 60-632 Poznań
*corresponding author: dkurasiak@wp.pl

Wstęp / Introduction

Rdza brunatna, wywoływana przez *Puccinia triticina* to jedna z poważniejszych chorób grzybowych pszenicy. Cechą charakterystyczną, która decyduje o ekonomicznym znaczeniu tej choroby jest systematyczność jej występowania w wielu rejonach świata oraz istotny, niekorzystny wpływ na plon. Straty powodowane przez agrofagi w produkcji pszenicy ozimej szacuje się na poziomie 20–40%. Największy udział mają choroby grzybowe (Tomkowiak i wsp. 2016), w optymalnych warunkach rozwoju, rdza brunatna może powodować spadek plonu nawet do 30% (Krawczyk 2015). Najwyższe ryzyko wystąpienia rdzy brunatnej pszenicy występuje w temperaturze 12–24°C w dzień i 0–12°C w nocy, przy regularnym występowaniu rosy. W takich warunkach urediniospory kiełkują w ciągu 30 minut. Czas od infekcji do pojawienia się pierwszych objawów na roślinie (w optymalnych warunkach) wynosi 5–10 dni. Najlepszym sposobem zapewnienia pszenicy ochrony przed patogenami, w tym również grzybowymi jest hodowla odpornościowa. Dzięki uprawie odmian odpornych rolnik może obniżyć koszty uprawy, przy jednoczesnym ograniczeniu ilości stosowanych pestycydów. Zostało naukowo potwierdzone, że wprowadzenie odmian z genami odporności na rdzę brunatną daje większy zysk w postaci większych plonów, niż wprowadzenie odmian nowych. Selekcja odmian odpornych wymaga wiedzy na temat genetycznych uwarunkowań rośliny, które odpowiadają za jej reakcję na patogen. Wiedza ta dotyczy przede wszystkim identyfikacji genów i poznania mechanizmów odpornościowych z nimi związanych. W polskich odmianach najczęściej występującymi genami *Lr* dającymi odporność są: *Lr1*, *Lr3*, *Lr11*, *Lr13*, *Lr14*, *Lr16* i *Lr26* (Chełkowski i Stępień 2001). W krajach europejskich występują odmiany z genami *Lr10*, *Lr17*, *Lr20* i *Lr37* (Tyrka i Chełkowski 2004).

Celem pracy była identyfikacja genów odporności na rdzę brunatną *Lr11*, *Lr13* i *Lr16* u odmian pszenicy zwyczajnej o zróżnicowanym pochodzeniu.

Materiały i metody / Materials and methods

Materiałem roślinnym użytym do badań było 13 polskich odmian pszenicy: Belissa, Opcja, Pokusa, Medalistka, Natula, Astoria, Arkadia, Banderola, Hondia, Jantarka, Mewa, Ostroga, Tytanika oraz 33 odmiany zagraniczne: Memory, Bartosz, Bonanza, Janosch, Tobak, Artist, Patran, Julius, KWS Dakotana, KWS Kiran, KWS Livius, KWS Ozon, Franz, Rivero, Aleksander, Sailor, Florus, Lavantus, Leandrus, Platin, Rotax, Desamo, Dolores, Fakir, Delawar, Fidelius, Frisky, LG Jutta, Linus, Praktik, RGT Kicker, RGT Kilimanjaro, Hybery. Odmiany pszenicy pochodziły z kolekcji należącej do Danko Hodowla Roślin Sp. z o.o.

Materiał do badań pobrano z 10-dniowych siewek uzyskanych ze skielkowanych w warunkach laboratoryjnych ziarniaków. Z każdej odmiany z losowo wybranych 5 roślin pobrano fragment liścia do izolacji. Izolację DNA prowadzono wykorzystując zestaw do izolacji DNA z roślin Genomic Mini AX PLANT firmy A&A BIOTECHNOLOGY zgodnie z dołączoną procedurą. Próby po izolacji rozcieńczano wodą destylowaną w celu uzyskania jednolitego stężenia DNA 60 ng/μl. Stężenia sprawdzano przy użyciu fluorymetru NanoDrop. 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 20 μM), matryca DNA – 1 μl. W celu stwierdzenia obecności genów *Lr* w odmianach wykorzystano cztery specyficzne markery: *Xwmc261* oraz *Xwmc24* dla genu *Lr11*, *Xgwm630* dla genu *Lr13* oraz *Xwmc764* dla genu *Lr16*, do identyfikacji których użyto czterech par starterów. Sekwencje starterów pochodzą z bazy danych Grain Genes (<https://wheat.pw.usda.gov/>).

Xwmc261

F: 5'GATGTGCATGTGAATCTCAAAGTA3',

R: 5'AAAGAGGGTCACAGAATAACCTAAA3' – produkt specyficzny 110 pz

Xwmc24

F: 5'GTGAGCAATTTTGATTATACTG3',

R: 5'TACCCTGATGCTGTAATATGTG3' – produkt specyficzny 152 pz

Xgwm630

F: 5'GTGCCTGTGCCATCGTC3',

R: 5'CGAAAGTAACAGCGCAGTGA3' – produkt specyficzny 120 pz

Xwmc764

F: 5'CCTCGAACCTGAAGCTCTGA3',

R: 5'TTCGCAAGGACTCCGTAACA3' – produkt specyficzny 156 pz

Po zoptymalizowaniu reakcję PCR przeprowadzono w termocyklerze TProfessional Basic z firmy POLYGEN w tych samych warunkach niezależnie od zidentyfikowanego markera, profil różnił się tylko temperaturą przyłączenia starterów ustaloną zgodnie z temperaturą ich topnienia: denaturacja wstępna – 3 min w 94°C, 38 cykli (denaturacja – 30 s w 94°C, przyłączanie starterów – 1 min w 56°C (*Xwmc261*), 54°C (*Xwmc24*), 60°C (*Xgwm630*), 58°C (*Xwmc764*), synteza – 1 min w 72°C), synteza końcowa – 5 min w 72°C, przechowywanie max. 24 h w 4°C. Elektroforezę prowadzono w 2,5% żelu agarozowym zanurzonym w buforze TBE 1x przy użyciu prądu o napięciu 100 V i natężeniu 200 mA. Do wizualizacji wyników wykorzystano transiluminator Molecular Imager Gel Doc™ XR oraz ImageLab™ Software firmy Biorad.

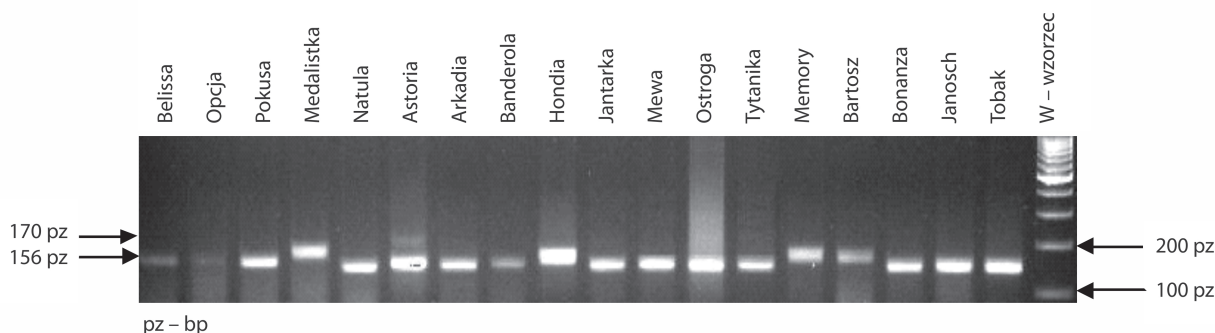
Wyniki i dyskusja / Results and discussion

W przypadku markera *Xwmc261* genu *Lr11* specyficznego produktu o długości 110 pz nie stwierdzono w odmianach: Banderola, Jantarka i Frisky. W przypadku niektórych odmian np. RGT Kicker, Kilimanjaro, Hybery pojawił się produkt niespecyficzny o długości 220 pz, niezwiązany z analizowanym genem. Marker *Xwmc24* genu *Lr11* dający produkt amplifikacji świadczący o obecności genu o długości 152 pz pojawił się u następujących odmian: Pokusa, Medalistka, Natula, Astoria, Arkadia, Banderola, Hondia, Memory, Janosch, Tobak, Artist, Julius, KWS Kiran, KWS Livius, Rivero, Florus, Desamo, Delawar, Linus, RGT Kicker i RGT Kilimanjaro. W przypadku pozostałych genotypów zidentyfikowano niespecyficzny marker o długości 160 pz, oprócz takich odmian, jak: Mewa, Bartosz, Bonanza, Aleksander, Leandrus, Fakir, Frisky oraz Hybery, u których nie stwierdzono produktów amplifikacji. Analizując marker *Xgwm630* genu *Lr13* zidentyfikowano specyficzny produkt świadczący o obecności genu, o wielkości 120 pz w odmianach: Opcja, Medalistka, Astoria, Mewa, Bonanza, Janosch, Artist, KWS Kiran, KWS Livius, Franz, Lavantus, Leandrus, Platin, Rotax. Oprócz produktu amplifikacji o wielkości 120 pz pojawiły się produkty niespecyficzne.

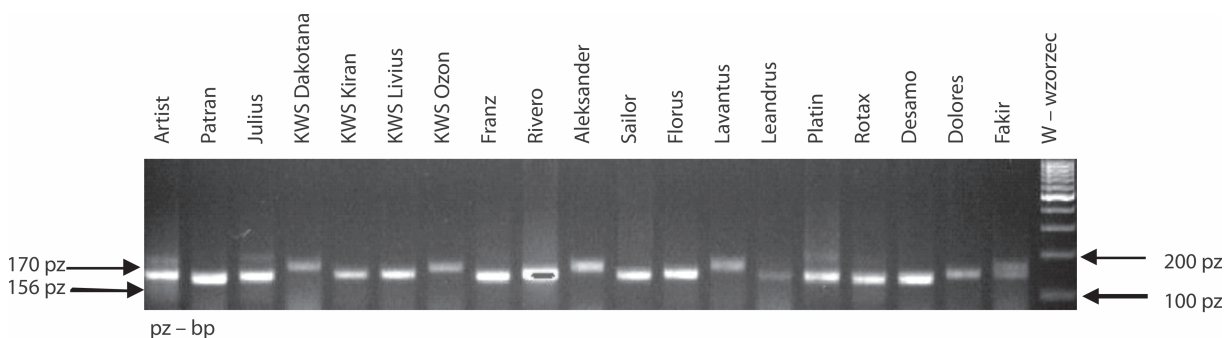
W przypadku genu *Lr16* marker *Xwmc764* dający specyficzny produkt amplifikacji o długości 156 pz zidentyfikowano w odmianach: Belissa, Opcja, Pokusa, Natula, Astoria, Arkadia, Banderola, Jantarka, Mewa, Ostroga, Tytanika, Memory, Bartosz, Bonanza, Janosch, Tobak, Artist, Patran, Julius, KWS Kiran, KWS Livius, Franz, Rivero, Sailor, Florus, Leandrus, Platin, Rotax, Desamo, Fidelius, Frisky, Linus, Praktik oraz RGT Kicker. W przypadku pozostałych odmian pojawił się produkt o wielkości 170 pz niezwiązany z analizowanym genem (rys. 1, 2, 3).

W trakcie analiz 46 odmian pszenicy zwyczajnej pod kątem obecności markerów dla genów odporności na rdzę brunatną *Lr11*, *Lr13* i *Lr16* wykazano, iż 12 testowanych odmian w tym 3 polskie i 9 zagranicznych posiada skumulowane wszystkie analizowane geny, i należą do nich: Opcja, Astoria, Mewa, Bonanza, Janosch, Artist, KWS Kiran, KWS Livius, Franz, Leandrus, Platin, Rotax (tab. 1). Wśród 20 odmian stwierdzono obecność dwóch genów w różnych kombinacjach. Czternaście odmian posiadało tylko jeden z identyfikowanych genów (tab. 1).

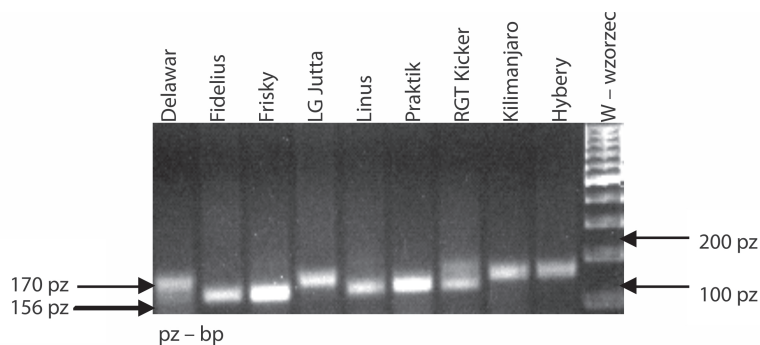
W celu zwiększenia odporności na choroby grzybowe pszenic, hodowla nowych odmian skierowana jest na pozyskiwanie nowych, efektywnych źródeł odporności i wprowadzaniu ich do programów hodowlanych. Najważ-



Rys. 1. Elektroforogram przedstawiający występowanie markera *Xwmc764* genu *Lr16* u odmian pszenicy
Fig. 1. Electropherogram showing the presence of a marker *Xwmc764* gene *Lr16* in wheat cultivars



Rys. 2. Elektroforogram przedstawiający występowanie markera *Xwmc764* genu *Lr16* u odmian pszenicy
Fig. 2. Electropherogram showing the presence of a marker *Xwmc764* gene *Lr16* in wheat cultivars



Rys. 3. Elektroforogram przedstawiający występowanie markera *Xwmc764* genu *Lr16* u odmian pszenicy
 Fig. 3. Electropherogram showing the presence of a marker *Xwmc764* gene *Lr16* in wheat cultivars

Tabela 1. Obecność genów *Lr11*, *Lr13* i *Lr16* u odmian pszenicy o zróżnicowanym pochodzeniu
 Table 1. Presence of *Lr11*, *Lr13* and *Lr16* genes in wheat cultivars with different origins

Odmiana Cultivar	Gen – Gene			
	<i>Lr11</i> marker		<i>Lr13</i> marker	<i>Lr16</i> marker
	<i>Xwmc261</i>	<i>Xwmc24</i>	<i>Xgwm630</i>	<i>Xwmc764</i>
1	2	3	4	5
Belissa	+	–	–	+
Opcja	+	–	+	+
Pokusa	+	+	–	+
Medalistka	+	+	+	–
Natula	+	+	–	+
Astoria	+	+	+	+
Arkadia	+	+	–	+
Banderola	–	+	–	+
Hondia	+	+	–	–
Jantarka	–	–	–	+
Mewa	+	–	+	+
Ostroga	+	–	–	+
Tytanika	+	–	–	+
Memory	+	+	–	–
Bartosz	+	–	–	–
Bonanza	+	–	+	+
Janosch	+	+	+	+
Tobak	+	+	–	+
Artist	+	+	+	+
Patran	+	–	–	+
Julius	+	+	–	+
KWS Dakotana	+	–	–	–
KWS Kiran	+	+	+	+
KWS Livius	+	+	+	+
KWS Ozon	+	–	–	–
Franz	+	–	+	+
Rivero	+	+	–	+
Aleksander	+	–	–	–

1	2	3	4	5
Sailor	+	-	-	+
Florus	+	+	-	+
Lavantus	+	-	+	-
Leandrus	+	-	+	+
Platin	+	-	+	+
Rotax	+	-	+	+
Desamo	+	+	-	+
Dolores	+	-	-	-
Fakir	+	-	-	-
Delawar	+	+	-	-
Fidelius	+	-	-	+
Frisky	-	-	-	+
LG Jutta	+	-	-	-
Linus	+	+	-	+
Praktik	+	-	-	+
RGT Kicker	+	+	-	+
RGT Kilimanjaro	+	+	-	-
Hybery	+	-	-	-

niejszym i najcenniejszym źródłem genów odporności na rdzę brunatną pszenicy są przede wszystkim gatunki dzikie pszenic oraz gatunki im pokrewne, tj.: *Triticum monococcum*, *T. spelta*, *T. dicoccum*, *T. dicoccoides*, *T. timopheevii*, *T. durum*, *T. carthlicum*, *T. sphaerococcum*, *T. tauschii* (syn. *Aegilops squarrosa*), *A. speltooides*, *A. longissima*, *A. ovata*, *H. villosa* (syn. *Dasyphyrum villosum* L. Candargy) oraz żyto (*Secale cereale*) (McIntosh i wsp. 1998; Górny 2004; Chełkowski i wsp. 2005).

Odmiany pszenicy ozimej uprawiane w Polsce oraz nowe, poddawane badaniom rejestrowym, oceniane są jako średnio podatne w stadium siewek na porażenie przez *Puccinia recondita* f. sp. *tritici*. W warunkach polowych odmiany te oceniane są jako mniej lub bardziej wrażliwe w zależności od pory roku (Pietrusińska 2010). Dane literaturowe dotyczące występowania konkretnych genów *Lr* zarówno w polskich, jak i zagranicznych odmianach nie zawsze są jednoznaczne. Najczęściej jednak, jako występujące w polskich odmianach pszenicy wymienia się geny *Lr1*, *Lr3*, *Lr11*, *Lr13*, *Lr14*, *Lr16* i *Lr26* (Chełkowski i wsp. 2005). W pracy wśród polskich odmian skumulowane geny *Lr11* i *Lr13* posiadały odmiany: Opcja, Medalistka, Astoria i Mewa. W krajach europejskich występują najczęściej odmiany posiadające geny: *Lr10*, *Lr17*, *Lr20* i *Lr37* (Tyrka i Chełkowski 2004). Badania nad obecnością genów odporności na rdzę brunatną w odmianach europejskich prowadził również Winzeler i wsp. (2000). Geny jakie zidentyfikował to: *Lr1*, *Lr3a*, *Lr3ka*, *Lr10*, *Lr13*, *Lr14a*, *Lr17b*, *Lr20*, *Lr26* oraz *Lr37*. W prezentowanych badaniach u wszystkich testowanych odmian zagranicznych oprócz odmiany Frisky ziden-

tyfikowano jeden lub więcej analizowanych genów (*Lr11*, *Lr13*, *Lr16*). Za bardzo skuteczne przeciwko rdzy brunatnej jednak niewystępujące w polskich odmianach geny uważa się: *Lr9*, *Lr19*, *Lr23*, *Lr24* i *Lr25*. Woźniak-Strzembicka (2003) na podstawie przeprowadzonych badań stwierdziła, że geny *Lr9* oraz *Lr19* są jedynymi w pełni skutecznymi w całej Europie przeciwko *P. recondita*.

Gen odporności na rdzę brunatną *Lr11* pierwotnie został zlokalizowany na chromosomie 2A (Soliman i wsp. 1964), jednak najnowsze badania wskazują, iż gen ten zlokalizowany jest na chromosomie 2D (Darino i wsp. 2015). W badaniach marker *Xwmc261* genu *Lr11* wystąpił samodzielnie lub w połączeniu z genami *Lr13* i *Lr16* u wszystkich analizowanych polskich odmian oprócz Banderoli i Jantarki oraz u wszystkich zagranicznych odmian oprócz odmiany Frisky. Marker *Xwmc24* genu *Lr11* pojawił się samodzielnie lub w połączeniu z genami *Lr13* i *Lr16* w 7 spośród 13 analizowanych odmian polskich oraz w 14 spośród 33 analizowanych odmian zagranicznych.

Gen odporności *Lr13* uznawany jest za jeden z najszerzej rozpowszechnionych genów odporności na rdzę brunatną, znajduje się on na krótkim ramieniu chromosomu 2B pszenicy. Źródłem tego genu jest pszenica zwyczajna. W połączeniu z innymi genami *Lr* powoduje znaczne zwiększenie odporności roślin. Singh i wsp. (2001) podali, że połączenie genów *Lr1* i *Lr13* zdecydowanie wpłynęło na wzrost odporności australijskich odmian pszenicy. Podobną prawidłowość zaobserwował Roelfs (1988) po skumulowaniu w odmianach pszenicy genów *Lr13* i *Lr34*. W swoich badaniach Winzeler i wsp. (2000) zidentyfikowali gen odporności na

rdzę brunatną *Lr13* samodzielnie lub w połączeniu z innymi genami u czterdziestu dwóch europejskich odmian pszenicy zwyczajnej spośród siedemdziesięciu dwóch analizowanych. W prezentowanych badaniach marker *Xgwm630* genu *Lr13* wystąpił samodzielnie lub w połączeniu z genami *Lr11* i *Lr16* u 4 polskich i 10 zagranicznych odmian pszenicy zwyczajnej.

Gen *Lr16* został zmapowany w regionie znajdującym się na końcu długiego ramienia chromosomu 2B pszenicy (Somers i wsp. 2004; McCartney i wsp. 2005). W badaniach marker *Xwmc764* genu *Lr16* wystąpił samodzielnie lub w połączeniu z genami *Lr11* i *Lr13* u wszystkich analizowanych polskich odmian oprócz Hondii i Medalistki oraz u wszystkich zagranicznych odmian oprócz następujących: Memory, Bartosz, KWS Dakotana, KWS Ozon, Aleksander, Lavantus, Dolores, Fakir, Delewar, LG Jutta, Kilimanjaro oraz Hybery.

Kumulacja różnych kombinacji genów warunkujących odporność na ważne z punktu widzenia rolniczego choro-

by jest metodą powszechnie stosowaną w programach hodowlanych na całym świecie. Do najważniejszych korzyści MAS (Marker – Assisted Selection) można niewątpliwie zaliczyć fakt, że selekcja materiału hodowlanego jest przede wszystkim niezależna od fazy rozwojowej badanych roślin oraz czynników zewnętrznych, co jest istotne w przypadku konieczności przeprowadzania krzyżowań wypierających.

Wnioski / Conclusions

Spśród 46 analizowanych odmian 3 polskie: Opcja, Astoria, Mewa i 9 zagranicznych: Bonanza, Janosch, Artist, KWS Kiran, KWS Livius, Franz, Leandrus, Platin, Rotax posiadają skumulowane geny odporności na rdzę brunatną *Lr11*, *Lr13* i *Lr16*. Odmiany te mogą stanowić materiał referencyjny w programach hodowlanych.

Literatura / References

- Chełkowski J., Stępień Ł. 2001. Molecular markers for leaf rust resistance genes in wheat. *Journal of Applied Genetics* 42 (2): 117–126.
- Chełkowski J., Stępień Ł., Strzembicka A. 2005. Ocena podatności pszenicy ozimej na rdzę brunatną oraz poszukiwanie źródeł odporności. *Acta Agrobotanica* 58 (1): 143–152.
- Darino M.A., Dieguez M.J., Singh D., Ingala L.R., Pergolesi M.F., Park R.F., McIntosh R.A., Sacco F. 2015. Detection and location of *Lr11* and other leaf rust resistance genes in the durably resistant wheat cultivar Buck Poncho. *Euphytica* 206: 35–147. DOI: 10.1007/s10681-015-1486-0.
- Górny A.G. 2004. *Zarys genetyki zbóż. Tom 1. Jęczmień, pszenica i żyto*. Wyd. Instytut Genetyki Roślin PAN, Poznań: 181–327. <https://wheat.pw.usda.gov/>
- Krawczyk A. 2015. Rdza żółta i rdza brunatna – groźne choroby zbóż. <https://nawozy.eu/wiedza/porady-ekspertow/> [dostęp: 20.03.2018].
- McCartney C.A., Somers D.J., McCallum B.D., Thomas J., Humphreys D.G., Menzies J.G., Brown P.D. 2005. Microsatellite tagging of the leaf rust resistance gene *Lr16* on wheat chromosome 2BS. *Molecular Breeding* 15 (4): 329–337.
- McIntosh R.A., Hart G.E., Devos K.M., Rogers W.J. 1998. Catalogue of gene symbols for wheat. In: *Proceedings of the 9th International Wheat Genetics Symposium Vol. 5: 13–72*. (A.E. Slinkard, ed.). University Extension Press, University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada.
- Pietrusińska A. 2010. Wykorzystanie markerów molekularnych do wprowadzania genów odporności na rdzę brunatną (*Puccinia recondita* f. sp. *tritici*) i mączniaka prawdziwego (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*) do pszenicy ozimej. [The use of molecular markers for introduction of leaf rust (*Puccinia recondita* f. sp. *tritici*) and powdery mildew (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*) resistance genes in winter wheat (*Triticum aestivum*)]. *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin* 256: 31–54.
- Roelfs A.P. 1988. Resistance to leaf and stem rusts in wheat. p. 10–22. In: *Breeding Strategies for Resistance to the Rusts of Wheat* (N.W. Simmonds, S. Rajaram, eds.). CIMMYT, Mexico, D.F.
- Singh D., Park R.F., McIntosh R.A. 2001. Inheritance of seedling and adult plant resistance to leaf rust of selected Australian spring and English winter wheat varieties. *Plant Breeding* 120 (6): 503–507. DOI: 10.1046/j.1439-0523.2001.00663.x.
- Soliman A.S., Heyne E.G., Johnson C. 1964. Genetic analysis of leaf rust resistance in the eight differential varieties of wheat. *Crop Science* 4: 246–248.
- Somers D.J., Isaac P., Edwards K. 2004. A high-density microsatellite consensus map for bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theoretical Applied Genetics* 109 (6): 1105–1114. DOI: 10.1007/s00122-004-1740-7.
- Tomkowiak A., Kurasiak-Popowska D., Mikołajczyk S., Weigt D., Niemman J., Kiel A., Lisewska A., Nawracała J., Matysik P., Rokicki M., Bocianowski J. 2016. Identyfikacja genu *Lr19* warunkującego odporność na rdzę brunatną powodowaną przez *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* w zagranicznych odmianach pszenicy ozimej *Triticum aestivum* L. [Identification of brown rust resistance gene *Lr19* caused by *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* in foreign cultivars of winter wheat *Triticum aestivum* L.]. *Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin* 56 (3): 318–323. DOI: 10.14199/ppp-2016-051.
- Tyrka M., Chełkowski J. 2004. Enhancing the resistance of triticale by using genes from wheat and rye. *Journal of Applied Genetics* 45 (3): 283–295.
- Winzeler M., Mesterházy A., Park R.F., Bartos P., Csösz M., Goyeau H., Ittu M., Jones E., Löschenberger F., Manninger K., Pasquini M., Richter K., Rubiales D., Schachermayr G., Strzembicka A., Trotter M., Unger O., Vida G., Walther U. 2000. Resistance of European winter wheat germplasm to leaf rust. *Agronomie* 20 (7): 783–792. DOI: 10.1051/agro:2000175.
- Woźniak-Strzembicka A. 2003. Wirulencja populacji *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* w Polsce w latach 1998–2001. [Virulence of *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* population in Poland in 1998–2001]. *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin* 230: 109–117.