

INFORMACJE OGÓLNE O PROJEKCIE

Tytuł projektu:

Efektywność piramidowania genów odporności na mączniaka prawdziwego (*Blumeria graminis* f.sp. *tritici*) i rdzę brunatną (*Puccinia triticina*) w pszenicy ozimej

Okres realizacji projektu:

lata 2014-2020

Miejsce realizacji projektu:

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy (IHAR – PIB)

Zakład Genetyki i Hodowli Roślin, Pracownia Genetyki Stosowanej, lata 2014-2016

Krajowe Centrum Roślinnych Zasobów Genowych (KCRZG), lata 2017-2020

Opis zespołu badawczego:

Kierownik i wykonawca tematu: dr inż. Aleksandra Pietrusińska

e:mail: a.pietrusinska@ihar.edu.pl

Wykonawcy tematu:

1. prof. dr hab. Jerzy H. Czembor (01.2014-06.2018)
2. Kinga Smolińska (01.2017-01.2018)
3. Aneta Kisiela (01.2014-12.2018)
4. HR Strzelce (2014-2020)
5. HR Smolice (2014-2020)

CELE ZADANIA

Temat badawczy 1. Piramidowanie efektywnych genów odporności. Cele:

1. Przeprowadzenie krzyżowań zbieżnych oraz wstecznych
2. Wykonanie selekcji fenotypowej oraz molekularnej materiału roślinnego pod kątem obecności wprowadzonych genów odporności
3. Wyznaczenie polimorficznych markerów do selekcji materiału roślinnego pod kątem obecności genu *Lr55*

Wszystkie cele zostały osiągnięte w 100%.

Temat badawczy 2. Poszukiwanie nowych źródeł odporności. Cele:

1. Poszukiwanie nowych oraz efektywnych źródeł odporności na rdzę brunatną oraz mączniaka prawdziwego.

Wszystkie cele zostały osiągnięte w 100%.

Temat badawczy 3. Ocena linii w różnych warunkach środowiskowych. Cele:

1. Ocena materiału roślinnego przeprowadzona w trzech lokalizacjach: HR Strzelce, HR Smolice IHAR-PIB Radzików.
2. Ocena materiału roślinnego pod kątem 7 cech w tj.: (1) prezimowanie, (2) kłoszenie, (3) wysokość, odporność na choroby: (4) rdza brunatna oraz (5) żółta, (6) mączniak prawdziwy, (7) septoriozy. Łącznie obserwowano po 7 cech.

Wszystkie cele zostały osiągnięte w 100%.

Materiały i metody

Temat badawczy 1. Piramidowanie efektywnych genów odporności

1. Źródła (donory) odporności na rdzę brunatną zbóż i traw:

linia KS90WGRC10, *Triticum tauschii* (syn. *Aegilops tauschii*, *Aegilops squarrosa*), gen odporności *Lr39(=Lr41)*

linia HRS Yecora Rojo – UC996610010, *Triticum speltoides*, gen odporności *Lr47*

linia KS04WGRC45, *Elymus trachycaulis*, gen odporności *Lr55*

2. Jako donory (źródła) odporności na mączniaka prawdziwego zbóż i traw wykorzystano 3 linie pszeniczne:

linia 6VS/6AL Yangmai 5, *Haynaldia villosa* (syn. *Dasypyrum villosum*), gen odporności *Pm21*

linia NC97BGTD7, *Triticum tauschii* (syn. *Aegilops tauschii*, *Aegilops squarrosa* L.), gen odporności *Pm34*

linia NC99BGTA11, *Triticum timophevii* subsp. *Armeniacum*, gen odporności *Pm37*

3. Odmiany:

Bogatka, Nadobna, Lexus, Meteor oraz linia RAH979, o wysokiej wartości gospodarczej, wysokoplonujące, ale podatne na populacje *Blumeria graminis* f.sp. *tritici* oraz *Puccinia recondita* f.sp. *tritici* aktualnie występujące na terenie Polski

Hondia, Formacja, RGT Bilanz, Euforia (rodzic wsteczny), odmiany wpisane do krajowego rejestru odmian COBORU, grupa pszenic jakościowych, odpowiednio: A, A, B, A.

4. Dwie populacje mapujące: F₂ (Bogatka×*Lr55*), (Nadobna×*Lr55*)

5. Izolacja DNA: metoda CTAB oraz w obecności buforu TPS (wg. Thomsona-Henry'ego 1995)

6. Reakcja amplifikacji:

Gen *Lr41*: Gdm35 (170 pz), Barc124 (250 pz), Gwm210 (182 pz), Gwm296 (135 pz), Gwm261 (160-200pz)

Gen *Lr47*: (PCAPSR+PS10L+PS10L2) (280 pz), Gwm60 (180-220 pz)

Gen *Lr55*: 172 SSR, 60 DArT

Gen *Pm21*: NAU/xibao (902 pz)

Gen *Pm34*: Barc177 (130 pz), Barc144 (235 pz)

Gen *Pm37*: Gwm332 (192 pz), Wmc790 (149 pz), STSBE406627 (550 pz), STSBE445653 (750 pz)

Temat badawczy 2. Poszukiwanie nowych źródeł odporności

7. Doświadczenie fitopatologiczne (Temat badawczy 1 oraz 2):

Do oceny reakcji odporności – podatności materiału roślinnego na zakażenie przez *Blumeria graminis* oraz *Puccinia triticina* wykorzystano jednozarodnikowe izolaty różnicujące oraz zestaw odmian/linii. Doświadczenia fitopatologiczne prowadzone były w warunkach kontrolowanych (komora fitotronowa).

Temat badawczy 3. Ocena linii w różnych warunkach środowiskowych

8. Stacja HR Smolice, HR Strzelce oraz IHAR Radzików

9. Selekcja materiału roślinnego pod kątem korzystnych cech gospodarczych oraz pod kątem takich cech jak: (1) przezimowanie, (2) kłoszenie, (3) wysokość, odporność na choroby: (4) rdza brunatna oraz (5) żółta, (6) mączniak prawdziwy, (7) septoriozy.

Najważniejsze wyniki z realizacji zadania w latach 2014-2020:

Temat badawczy 1. Piramidowanie efektywnych genów odporności

A. Selekcja fenotypowa i molekularna populacji mieszańcowych BIO pozwoliła na wytypowanie linii o określonych piramidach genowych:

Populacja mieszańcowa **BIO_1**:

$(Lr41+Pm21+Lr47) \times \text{Hondia}$

$(Lr41+Pm21+Lr47) \times \text{Formacja}$

$(Lr41+Pm21+Lr47) \times \text{RGT Bilanz}$

$(Lr41+Pm21+Lr47) \times \text{Euforia}$

Populacja mieszańcowa **BIO_2**:

$(Lr41+Pm21) \times \text{Hondia}$

$(Pm21+Lr47+Pm34) \times \text{Formacja}$

$(Pm21+Lr47+Lr41) \times \text{RGT Bilanz}$

Populacja mieszańcowa **BIO_3**:

$(Pm21+Lr47) \times \text{Hondia}$

$(Pm21+Lr47+Pm37) \times \text{Formacja}$

Populacja mieszańcowa **BIO_4**:

$(Lr47+Lr41+Pm34) \times \text{Hondia}$

$(Lr41+Pm34+Pm37) \times \text{Formacja}$

$(Lr47+Lr41+Pm37) \times \text{RGT Bilanz}$

Najważniejsze wyniki z realizacji zadania w latach 2014-2020 cd.:

Temat badawczy 1. Piramidowanie efektywnych genów odporności

B. Mapowanie genu *Lr55* w dwóch populacjach mapujących: (*Lr55*×Bogatka) oraz (*Lr55*×Nadobna):

- Przeprowadzone analizy potwierdziły, że gen *Lr55* jest zlokalizowany na chromosomie 1BS w rejonie 14.3 a 30.7cM na mapie genetycznej
- Fragment ten, jest prawdopodobnie związany z rejonem syntenicznym do *Elymus trachycaulis* z genem odporności *Lr55*
- Na podstawie analizy segregacji dla populacji F₂ (Bogatka×*Lr55*) gen *Lr55* zlokalizowany jest w odległości około 16,4cM do markera Gwm818
- Na podstawie analizy segregacji dla populacji (Nadobna×*Lr55*) gen *Lr55* zlokalizowany jest w odległości około 12,8cM do markera Cfd15 oraz 3.6cM Gwm374
- Uzyskane wyniki dla obu populacji nie są jednoznaczne, dlatego też postanowiono zestawić wyniki wspólnie
- W oparciu o jedną mapę genetyczną [(Bogatka×*Lr55*)+(Nadobna×*Lr55*)] markerami flankującymi gen *Lr55* (141.2cM) są Gwm374 (132.9cM) oraz Wmc406 (156.0cM) (**wyniki w trakcie publikacji**)

Wnioski do tematu badawczego 1. Piramidowanie efektywnych genów odporności

- Na drodze krzyżowań zbieżnych oraz wstecznych możliwe jest wprowadzenie do odmian pszenic uprawnych efektywnych genów odporności pojedynczo oraz/lub w różnych kombinacjach tych genów
- Piramidowanie kilku genów odporności w jednym genotypie jest ograniczone poprzez testowanie bardzo dużej puli roślin
- Selekcja molekularna przy wykorzystaniu markerów DNA skutecznie identyfikuje w materiale roślinnym wprowadzane geny odporności
- W oparciu o wspólną mapę genetyczną [(Bogatka×*Lr55*)+(Nadobna×*Lr55*)] markerami flankującymi gen *Lr55* (141.2cM) są Gwm374 (132.9cM) oraz Wmc406 (156.0cM)
- Dodatkowe markerowe z wykorzystaniem technologii sekwencjonowania nowej generacji pozwolą na dokładniejszą analizę lokalizacji genu *Lr55* i identyfikację genów kandydujących
- Badane markery molekularne mogą być punktem wyjścia do selekcji materiału roślinnego na obecność genu *Lr55*

Najważniejsze wyniki z realizacji zadania w latach 2014-2020 cd.:

Temat badawczy 2. Poszukiwanie nowych źródeł odporności

- Na podstawie przeprowadzonych testów fenotypowych określono reakcją badanego materiału roślinnego na zestaw izolatów *P. recondita* oraz *B. graminis*
- Doświadczenia fitopatologiczne obejmujące ocenę źródeł odporności pod kątem reakcji na populację *P. recondita* potwierdziły, że za efektywne źródła odporności można zaliczyć linie z genami: *Lr9*, *Lr34*, *Lr19*, *Lr41(=Lr39)*, *Lr55*, *Lr62* oraz KS11WGRC53-J. Natomiast linia z genem odporności na rdzę brunatną *Lr47* daje odporność częściową
- Doświadczenia fitopatologiczne obejmujące ocenę źródeł odporności pod kątem reakcji na populację *B. graminis* potwierdziły, że za efektywne źródła odporności można zaliczyć linie z genami: *Pm21*, *Pm37*, *Pm1+2+4b+9*. Natomiast linia z genem *Pm34* daje reakcję częściowej odporności na *B. graminis*
- Mimo iż formy dzikie i im pokrewne stanowią unikatowe genotypy, badania fenotypowe nie znalazły wśród testowanych linii/odmian form odpornych na rdzę brunatną zbóż i traw oraz mączniaka prawdziwego zbóż i traw
- Przeprowadzone testy fenotypowe pozwoliły na wyodrębnienie 4 klasy genotypów: odporne, częściowo odporne, podatne oraz skrajnie podatne.

Wnioski do tematu badawczego 2. Poszukiwanie nowych źródeł odporności

- Efektywne geny odporności zarówno o odporności całkowitej jak i częściowej stanowią ciekawy komponent wykorzystywany w programach hodowlanych
- Poszukiwanie nowych oraz efektywnych źródeł odporności stanowi bardzo ważny element każdego programu hodowlanego
- Populacje *Blumeria graminis* f.sp. *tritici* oraz *Puccinia triticina* występujące na pszenicy w Polsce charakteryzuje się szerokim spektrum patogeniczności i większość izolatów było wirulentne w stosunku do testowanego materiału roślinnego.

Najważniejsze wyniki z realizacji zadania w latach 2014-2020 cd.:

Temat badawczy 3. Ocena linii w różnych warunkach środowiskowych

- Na podstawie przeprowadzonych obserwacji polowych wytypowano genotypy, które stanowiły materiał badawczy w doświadczeniach zakładowych
- Ze względu jednak na niskie plonowanie (do 70%) oraz wyleganie część materiału roślinnego nie została zakwalifikowana do dalszego etapu hodowli
- Zmieniający się klimat miał wpływ na ocenę linii w różnych warunkach środowiskowych
- Długie i ciepłe lato oraz brak opadów atmosferycznych w okresie wegetacji roślin przyczynił się do ograniczenia występowania niektórych chorób grzybowych zbóż

Wnioski do tematu badawczego 3. Ocena linii w różnych warunkach środowiskowych

- Warunki atmosferyczne panujące w 3 lokalizacjach w latach 2014-2020 były niesprzyjające dla rozwoju mączniaka prawdziwego zbóż i traw
- W warunkach polskiego klimatu mączniak prawdziwy zbóż i traw występuje w niewielkim nasileniu i nie stanowi już takiego zagrożenia w uprawach pszenicy jak w latach poprzednich
- Zmieniający się klimat może przyczynić się do ograniczenia występowania chorób grzybowych zbóż, a tym samym migracji w kierunku klimatu bardziej wilgotnego (kierunek północ) (mączniak prawdziwy zbóż i traw)
- Suche i ciepłe lata mogą sprzyjać zwiększeniu intensywności występowania rdzy brunatnej we wszystkich regionach uprawy pszenicy

Dyskusja

Obecnie trwające ocieplenie klimatu stawia przed hodowlą odpornościową wiele wyzwań. Genetyka odpornościowa łączy w sobie elementy genetyki klasycznej oraz molekularnej dając w ten sposób szeroki wachlarz rozwiązań, które z powodzeniem wykorzystywane są od dawna w programach hodowlanych. Głównym kierunkiem prowadzonych programów hodowlanych jest uzyskanie zdrowego ziarna wraz z jak najwyższym plonem przy jednoczesnym ograniczeniu stosowania środków ochrony roślin. Należy pamiętać, że uprawa odmian o korzystnych cechach gospodarczych, ściśle związana jest z odpornością uprawianych odmian na choroby grzybowe oraz wirusowe. Uzyskanie linii/odmian, które łączą w sobie wszystkie te cechy jest niezmiernie trudnym do zrealizowania celem. Celem zadania badawczego 1 było przede wszystkim stworzenie różnych kombinacji efektywnych piramid genów odporności. Większość zaplanowanych segmentów odpornościowych na drodze krzyżowań zbieżnych oraz wstecznych udało się uzyskać. Jednak w realizowanym projekcie nie udało się otrzymać kombinacji piramid genowych składających się z 4 genów i więcej. Prawdopodobnie może być to związane zbyt małą liczbą selekcionowanych prób roślinnych oraz rozszczepianiem się genów. Natomiast w literaturze można znaleźć wiele przykładów piramid genowych uzyskanych w odmianach pszenic tj.: (*Pm1+Pm2+Pm9+Pm4b*), (*Pm1+Pm3d+Pm4b*), (*Lr27+Lr31*), (*Lr34+Lr48*), (*Lr34+Lr49*), (*Lr13+Lr34+Yr18*), (*Lr3+Lr17+Lr23+Lr nieokreślony*), (*Lr3+Lr10+Lr17+Lr nieokreślony*), (*Lr13+Lr26+Lr nieokreślony*) (Kowalczyk i in., 1998; Singh i in., 1984; Kolmer, 1996; Huerta-Espino i in., 2009; Saini, 2002; Hysing i in., 2006). Przykładów piramidyzacji o profilu (*Lr+Pm*) jest mało. Dlatego też, uzyskane w projekcie genotypy o różnych segmentach odpornościowych stanowią cenny materiał roślinny. Wytwarzanie odmian o trwałej i efektywnej w czasie odporności, przy jednocześnie wysokim plonie jest procesem, który obejmuje zarówno selekcję materiału roślinnego na poziomie laboratorium w warunkach kontrolowanych oraz lub nawet przede wszystkim w warunkach naturalnej infekcji. Jest to konieczny element w hodowli odpornościowej ze względu na występowanie różnych ras populacji zarówno *Puccinia triticina* oraz *Blumeria graminis* na terenie kraju. Oba te patogeny występują w Polsce każdego o roku, w różnym nasileniu, zależnym w dużej mierze od czynników pogodowych (długa i mroźna zima, brak opadów, długotrwała susza, upał itp.). Przykład mogą stanowić wyniki obserwacji polowych otrzymanych w 2017 roku z trzech różnie zlokalizowanych miejscowości: Radzików, Strzelce, Kobylin – Smolice. Na podstawie uzyskanych wyników w 2016 i 2017 roku można zaobserwować różne nasilenie występowania chorób grzybowych lub nawet ich brak, co potwierdza o konieczności prowadzenia obserwacji polowych materiału roślinnego w różnych warunkach środowiskowych w cyklach kilkuletnich. Drugim celem tematu badawczego pierwszego było wyznaczenie markera selekcyjnego, który powszechnie byłby wykorzystywany do selekcji materiału hodowlanego pod kątem obecności efektywnego genu *Lr55*. Do tej pory, brak było doniesień literaturowych dotyczących markera(ów) molekularnego(ych) detykowanych do selekcji materiału roślinnego pod kątem genu *Lr55*. Dlatego też, uzyskane wyniki i wyselekcjonowanie dwóch markerów molekularnych stanowią niezmiernie cenną informację, tym bardziej, że linia *Lr55* na tle zestawu różnicującego charakteryzuje się reakcją odporności (Pietrusińska, dane niepublikowane). Ważnym elementem prowadzonych prac było poszukiwanie efektywnych źródeł odporności. Uzyskiwanie odmian trwale odpornych na choroby zbóż to skomplikowany proces hodowlany, obejmujący między innymi pozyskiwanie nowych a zarazem efektywnych i trwałych w czasie źródeł odporności. Efektywnym źródłem odporności są zarówno formy dzikie, oddalone lub gatunki im pokrewne. Pojawianie się nowych ras patogena(ów) przyczynia się do przełamывania odporności odmian. Dlatego też, poszukiwanie oraz jednocześnie trwałych w czasie efektywnych źródeł odporności stanowił niezmiernie ważny kierunek prowadzonych badań.

Konkretne osiągnięcia projektu:

1. Na drodze krzyżowań zbieżnych oraz wstecznych uzyskano efektywne połączenia piramid genów odporności w różnych ich kombinacjach.
2. Wyznaczono markery molekularne do selekcji efektywnego genu *Lr55* (dane w trakcie publikowania). Markery te mogą stanowić punkt wyjścia do selekcji materiału roślinnego pod kątem genu *Lr55*.
3. Systematycznie przekazywany materiał roślinny spółką hodowlanym stanowi cenny materiał wyjściowy wykorzystywany w doświadczeniach zakładowych przeprowadzanych w celu wyprowadzenia linii oraz nowych odmian pszenic ozimych.
4. Uzyskane wyniki w projekcie będą systematycznie publikowane w czasopismach naukowych z IF.
5. Wyniki projektu będą stanowiły punkt wyjścia do złożenia w 2021 roku projektu w ramach MINIATURA 5. Uważamy, że dodatkowe markerowanie w oparciu o technologię sekwencjonowania następnej generacji - DArTseq wyselekcjonuje nowoczesne markery diagnostyczne oraz bliżej sprzężone z genem *Lr55*.

Literatura:

- Huerta-Espino, J., Singh, R.P., Pérez-López, J.B. 2009. Phenotypic Variation Among Leaf Rust Isolates From Durum Wheat In Northwestern Mexico. 12th International Cereal Rust and Powdery Mildews Conference, October 13-16, Antalya - Turcja. Abstract Book, str. 29.
- Hysing, S.H., Singh, R.P., Huerta-Espino, J., Merker, A., Liljeroth, E., Diaz, O. 2006. Leaf rust (*Puccinia triticina*) resistance in wheat (*Triticum aestivum*) cultivars grown in Northern Europe 1992-2002. Hereditas 143: 1-14.
- Kolmer, J. A. 1996. Genetics of resistance to wheat leaf rust. Annu. Rev. Phytopathol. 34: 435-455.
- Kowalczyk, K., Hsam, S.L.K., Zeller, F.J. 1998. Identification of powdery mildew resistance genes in common wheat (*Triticum aestivum* L. em. Thell.). XI. Cultivars grown in Poland. J. Appl. Genet. 39(3): 225-236.
- Saini, R.G., Kaur, M., Singh, B., Sharma, S., Nanda, G.S., Nayar, S.K. 2002. *Lr48* and *Lr49*, noval hypersensitive adult plant leaf rust resistance genes in wheat (*Triticum aestivum* L.). Euphytica 124: 365–370.
- Singh, R.P., McIntosh, R.A. 1984. Complementary genes for resistance to *Puccinia recondita tritici* in *Triticum aestivum* II. Cytogenetic studies. Can. J. Genet. Cytol. 26: 736-742.

Wykaz publikacji wyników projektu za cały okres realizacji projektu:

• Rok 2014

Publikacja: Pietrusińska A., Czembor J.H. 2014. Struktura wirulencji populacji *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* występującej na terenie Polski w latach 2012–2013. [Virulence structure of the *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* population occurring in Poland across 2012–2013]. Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin 274: 15–25. MEiN: 4

Plakat na konferencji: Pietrusińska A., Czembor J.H. 2014. XVI International Congress on Molecular Plant-Microbe Interactions: „Molecular markers for the detection of the wheat leaf rust and powdery mildew resistance genes in MAS”

• Rok 2015

Publikacja: Pietrusińska A., Czembor J.H. 2015. Piramidyżacja genów – powszechne narzędzie używane w programach hodowlanych. [Gene pyramiding – a tool commonly used in breeding programs breeding programs]. Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin 278: 3–16. MEiN: 6

Plakat na konferencji: Pietrusińska A., Czembor J.H. 2015. 14th International Cereal Rusts and Powdery Mildews Conference: „Leaf rust and powdery mildew in polish winter wheat”

• Rok 2016

Publikacja: -

Plakat na konferencji: Pietrusińska A., Czembor J.H. 2016. 13th European Conference on Fungal Genetics: „Applied biotechnology to combat the leaf rust caused by *Puccinia triticina* and powdery mildew caused by *Blumeria graminis* in polish wheat cultivars”.

• Rok 2017

Publikacja: Pietrusińska A., Czembor J.H. 2017. Piramidowanie genów odporności (*Pm21* + *Pm34*) pszenicy ozimej na mączniaka prawdziwego zbóż i traw (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*). [Pyramiding winter wheat resistance genes (*Pm21* + *Pm34*) of powdery mildew of cereals and grasses (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*)]. Progress in Plant Protection 57 (1): 41–46. DOI:10.14199/ppp-2017-006. MEiN: 12

Wykład: Pietrusińska A., Czembor J.H. 2017. Postęp w hodowli odpornościowej zbóż. Materiały z XI Sympozjum „Genetyka Ilościowa Roślin Uprawnych”. Świeradów Zdrój. 06.–09.06.2017. Książka streszczeń (elektroniczna) str. 36.

Plakat na konferencji: Pietrusińska A., Czembor J.H. 2017. 12th EFPP (European Foundation for Plant Pathology): “Traditional and modern plant breeding methods with examples in wheat”, nr posteru 110, sesja 5, książka sterszczeń str. 178.

• Rok 2018

Publikacja: Pietrusińska A., Żurek M., Piechota U., Słowacki P., Smolińska K. 2018. Poszukiwanie źródeł odporności na choroby w odmianach dawnych i miejscowych oraz dzikich gatunkach pokrewnych zbóż. Praca przeglądowa. Agronomy Science, 73(4), 45-60. <https://doi.org/10.24326/asx.2018.4.5>

Plakat na konferencji: Pietrusińska A., Smolińska K., Tyrka M., Czembor J.H. 2018. International plant molecular biology: „Molecular mapping of leaf rust resistance gene *Lr55* and pyramiding genes for leaf rust and powdery mildew resistance in common wheat”. Poster G146. Książka streszczeń w wersji elektronicznej.

Wykład: Pietrusińska A., Smolińska K., Czembor J.H., Tyrka M. 2018. Charakterystyka zasobów genowych dla hodowli roślin: „Wykorzystywanie zasobów genowych w tworzeniu nowych odmian pszenic uprawnych”.

• Rok 2019

Publikacja: Pietrusińska A., Żurek M., Mańkowski D. 2019. Poszukiwanie źródeł odporności na stesy biotyczne w dawnych odmianach i populacjach miejscowych pszenic i pszenżyta. [The search for sources of biotic stress resistance in old varieties and landraces of wheat and triticale]. Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin 287: 25–28. MEiN: 20. <https://doi.org/10.37317/biul-2019-0101>

Publikacja: Pietrusińska A. 2019. Efektywność piramidowania genów odporności na mączniaka prawdziwego (*Blumeria graminis* f.sp. *tritici*) i rdzę brunatną (*Puccinia triticina*) w pszenicy ozimej. Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin 286: 35–40. <https://doi.org/10.37317/biul-2019-0007>

Plakat na konferencji/Materiały konferencyjne Pietrusińska A., Tyrka M. 2019. Nauka dla hodowli i nasiennictwa roślin uprawnych: „Mapowanie genu odporności na rdzę brunatną *Lr55* w pszenicy zwyczajnej (*Triticum aestivum* L.)”. Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin Nr 285 str. 321. MEiN: 20. <https://doi.org/10.37317/biul-2019-0000>

Plakat na konferencji: Pietrusińska A., Tyrka M. 2019. 5th Conference on Cereal Biotechnology and Breeding: „Mapping oh the *Lr55* brown rust resistance in common wheat (*Triticum aestivum* L.). <https://static.akcongress.com/downloads/cbb/cbb5-boa.pdf>

• Rok 2020

Publikacja: Pietrusińska A., Tratwal A. 2020. Characteristics of powdery mildew and its importance for wheat grown in Poland. Plant Protection Science 56: 141–153. MEiN: 40, IF 1,13.

Publikacja: Pietrusińska A., Tyrka M. 2020/2021. Linkage of *Lr55* wheat leaf rust resistance gene with microsatellite and DArT-based markers. Physiological and Molecular Plant Pathology MEiN: 70, IF 1,646 (w trakcie recenzji).