

Edyta Małgorzata PACZOS-GRZĘDA, Sylwia OKOŃ, Aneta KOROLUK,  
Krzysztof KOWALCZYK

## OCENA ODPORNOŚCI NA RDZĘ KORONOWĄ NOWYCH I HISTORYCZNYCH POLSKICH ODMIAN OWSA ZWYCZAJNEGO

### ASSESSING CROWN RUST RESISTANCE OF MODERN AND OLD POLISH COMMON OAT CULTIVARS

Instytut Genetyki, Hodowli i Biotechnologii Roślin, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

**Abstract.** Crown rust is a commonly occurring fungal disease of oat caused by *Puccinia coronata* Cda. F.sp. *avenae* P. Syd. & Syd. Oat crop loss caused by this pathogen ranged to 50%. The most effective, economical and environmentally friendly method for controlling crown rust is growing resistant cultivars. The aim of presented study was characteristic of Polish oat cultivars. Objectives of presented study were 78 oat cultivars collected in Institute of Plant Genetics, Breeding and Biotechnology University of Life Science in Lublin. The host-pathogen tests were carried out on the first leaves of 10 days old seedlings using PK2010 isolate. Obtained results shown that 3 oat cultivars (Borowiak, Celer and Krezus) were resistant to PK2010 isolate in seedling stage. However, only Borowiak and Celer were resistant also in adult plant stage. The rest of cultivars showed a susceptible or intermediate infection type.

**Słowa kluczowe:** owies zwyczajny, *Puccinia coronata*, rdza koronowa, testy żywiciel–patogen.  
**Key words:** common oat, crown rust, host-pathogen test, *Puccinia coronata*.

#### WSTĘP

Rdza wieńcowa, inaczej koronowa, należy do najbardziej powszechnych chorób grzybowych owsa. Czynnikiem infekcyjnym jest grzyb *Puccinia coronata* Cda. F.sp. *avenae* P. Syd. & Syd., który poraża głównie liście. Straty plonu wywołane porażeniem mogą sięgać nawet 50% (Simons 1980, Martinelli i in. 1994). Forma specjalna *avenae* atakuje wiele gatunków traw, ale nie poraża gatunków zbóż, poza owsem. Gospodarzem pośrednim są krzewy różnych gatunków szakłaku (*Rhamnus*) oraz kruszyny pospolitej (*Frangula alnus*). Rozwojowi choroby sprzyjają wysoka temperatura, zwiększona wilgotność powietrza oraz nadmierne nawożenie azotowe (Simons 1985).

Większość uprawianych obecnie w Polsce odmian nie jest odporna na ten patogen. Ponadto szybka specjacja powoduje pojawianie się nowych ras przełamujących odporność warunkowaną przez kolejne geny *Pc*. Ciągłe poszukiwanie nowych źródeł specyficznej rasowej odporności i wprowadzanie do uprawy odmian odpornych to najskuteczniejsze metody walki z tą chorobą. Geny odporności na rdzę wieńcową zidentyfikowano zarówno wśród odmian *A. sativa*, jak i wśród dzikich gatunków: *A. sterilis*, *A. barbata*, *A. maroccana*, *A. murphyi* i *A. strigosa* (Aung i in. 1977, Rines i in. 2007, Carson 2009).

---

Adres do korespondencji – Corresponding author: dr Edyta Małgorzata Paczos-Grzęda, Instytut Genetyki, Hodowli i Biotechnologii Roślin, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Akademicka 15, 20-950 Lublin, e-mail: edyta.paczos@up.lublin.pl

Piramidyzacja głównych genów oporności jest jedną z dwóch strategii stosowanych w hodowli odpornościowej roślin. Nadaje ona pełną, jednakże zazwyczaj krótkotrwałą, oporność. Drugim sposobem jest akumulacja genów cząstkowej odporności, która zapewnia roślinom oporność ilościową. Introgresja genów *Pc* do genomu owsa zwyczajnego jest zabiegiem pracochłonnym, zaś odporność nadawana przez pojedynczy gen jest najczęściej przełamywana szybko wraz z pojawieniem się wirulentnej rasy w populacji patogenu. Według Sebesty i in. (2003) w warunkach europejskich istnieją efektywne geny *Pc39*, *Pc50*, *Pc59*, *Pc60*, *Pc61* i *Pc68*, pochodzące od *A. sterilis*. Jednakże w ostatnich latach stwierdzono wirulencję w stosunku do najefektywniejszych dotychczas w Europie genów *Pc39* i *Pc68* (Paczos-Grzęda i in. 2013). Większe prawdopodobieństwo utrzymania się trwałej oporności daje odporność częściowa. Dlatego jej uzyskanie w przypadku danej odmiany jest bardziej pożądane. Długotrwała odporność na patogen jest często warunkowana genami wywołującymi niewielkie modyfikacje w jego rozwoju. Te efekty są wzmacniane, jeśli pojawiają się w obecności genów specyficznych dla konkretnej rasy. Kombinacja różnych mechanizmów odporności jest szczególnie wartościowa, wydłużając czas efektywnej odporności (Rubiales i Niks 2000, Ribeiro do Vale i in. 2001).

Do identyfikacji genów odporności na choroby grzybowe u roślin zbożowych powszechnie wykorzystywane są testy żywiciel–patogen. Były one stosowane w przypadku owsa zwyczajnego zarówno do poszukiwania nowych, jak i do identyfikacji znanych genów odporności na mączniaka prawdziwego (Hsam i in. 1997, 1998, Kowalczyk i in. 2004) czy rdzę koronową (Sebesta i Harder 1983, Hammami i in. 2007, Sanchez-Martin i in. 2012). Testy te wykonywane są najczęściej w stadium siewki poprzez oprysk całej rośliny zawiesiną zarodników grzyba bądź poprzez inokulację fragmentów liści umieszczonych na szalkach Petriego wypełnionych agarem (Kowalczyk i in. 1998, Czembor 2000). Ocena stopnia porażenia testowanych form przez konkretną rasę patogenu pozwala zidentyfikować genotypy charakteryzujące się odpornością.

Celem pracy była charakterystyka odporności na rdzę koronową nowych i historycznych polskich odmian owsa zwyczajnego na podstawie obserwacji polowych oraz przeprowadzonych testów żywiciel–patogen.

## MATERIAŁ I METODY

Przedmiotem badań było 78 nowych i historycznych polskich odmian owsa zwyczajnego skolekcjonowanych w Instytucie Genetyki, Hodowli i Biotechnologii Roślin Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie. Ziarniaki odmian wyhodowanych przed rokiem 1970 pochodziły z Krajowego Centrum Zasobów Genowych IHAR w Radzikowie. Ziarniaki pozostałych odmian sprowadzono ze spółek hodowlanych.

Ocenę porażenia przez rdzę koronową w warunkach naturalnej infekcji polowej wykonano na podstawie doświadczenia przeprowadzonego na poletkach gospodarstwa doświadczalnego Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie i w Czesławicach koło Nałęczowa (51°N, 22°E). Doświadczenie przeprowadzono na glebie brunatnej wytworzonej z lessu, należącej do II klasy bonitacyjnej. Przedplonem były buraki cukrowe. Późną jesienią wykonano orkę wgłębną. Wiosną przeprowadzono podstawowe uprawki oraz zastosowano nawożenie mineralne N w ilości 60 kg · ha<sup>-1</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> w ilości 80 kg · ha<sup>-1</sup>, K<sub>2</sub>O w ilości 100 kg · ha<sup>-1</sup>.

Doświadczenie założono metodą bloków losowanych. Każda odmiana została wysiana w 3 powtórzeniach. Siew wykonano 04.04.2010 r. Na poletka, o długości 1 m i szerokości 0,6 m, ręcznie wysiano po 30 ziarniaków. Rozstawa rzędów wynosiła 20 cm. W początkowym okresie wegetacji przeprowadzono oprysk pielęgnacyjny Chwastoksem D, natomiast w późniejszym terminie chwasty usuwano ręcznie. W trakcie wegetacji przeprowadzono obserwacje porażenia przez rdzę koronową. Typ infekcji określano, przeprowadzając wizualną ocenę liści w skali 0–9 pkt (McNeal i in. 1971), w której 0 oznacza całkowitą odporność, zaś 9 – silne porażenie. Po przeprowadzeniu oceny porażenia na każdym poletku dla poszczególnych odmian obliczono średnią, którą sprowadzono do wartości całkowitej.

Testy żywiciel–patogen przeprowadzono wykorzystując izolat PK2010, który został wyprowadzony w warunkach laboratoryjnych z bardzo agresywnej populacji *Puccinia coronata* f.sp. *avenae*, zebranej w roku 2010 z poletek doświadczalnych Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie w Czesławicach koło Nałęczowa. Testy odporności wykonano na pierwszych liściach 10-dniowych siewek. Siewki poszczególnych odmian wysiano na paletach w fitotronie. Fragmenty liści wykładano na 12-dółkowe płytki wypełnione do połowy 0,6-procentowym roztworem agaru z dodatkiem benzimidazolu ( $35 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ). Do pierwszego i ostatniego dołka na każdej płytce wykładano fragmenty liści form kontrolnych – cv. ‘Kasztan’ (forma podatna na porażenie rdzą koronową) i cv. ‘Celer’ (forma odporna na izolat PK2010). Porażenie przeprowadzono w 3 powtórzeniach. Płytki z fragmentami liści inokulowano w wieży inokulacyjnej, rozprowadzając ok. 500–700 zarodników rdzy koronowej na  $1 \text{ cm}^2$ . Następnie szalki umieszczano w fitotronie, w temperaturze ok.  $18^\circ\text{C}$ , przy natężeniu światła ok. 4 kLx i wilgotności powietrza wynoszącej 70%. Po 10 dniach od inokulacji zarodnikami rdzy koronowej określono porażenie liści w skali pięciostopniowej, gdzie 0 oznacza brak kolonii z występującymi zmianami nekrotycznymi i chlorotycznymi, 1 – małe kolonie otoczone zmianami nekrotycznymi i chlorotycznymi, 2 – małe i średnie kolonie otoczone zmianami chlorotycznymi, 3 – średnie kolonie ze zmianami chlorotycznymi, 4 – duże kolonie bez zmian nekrotycznych i chlorotycznych (Murphy 1935). Po przeprowadzeniu oceny porażenia, podobnie jak w przypadku oceny polowej, na każdej z 3 szalek dla poszczególnych odmian obliczono średnią, którą sprowadzono do wartości całkowitej.

## WYNIKI

W roku 2010 na poletkach gospodarstwa doświadczalnego Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie zaobserwowano bardzo silne porażenie przez rdzę koronową odmian owsa zwyczajnego oraz znajdujących się w kolekcji Instytutu Genetyki, Hodowli i Biotechnologii Roślin wielu dzikich gatunków z rodzaju *Avena*. W warunkach naturalnej infekcji polowej całkowitą odporność na lokalną populację *Puccinia coronata* wykazały odmiany ‘Borowiak’ i ‘Celer’, zaś niewielkie porażenie (3 pkt w skali 0–9) stwierdzono dla cv. ‘Grajcar’, ‘Sprinter’, ‘Bachmat’, ‘Arden’ i ‘Stoper’ (tab. 1). Pozostałe odmiany charakteryzowały się średnią lub całkowitą wrażliwością.

Tabela 1. Charakterystyka odporności na rdzę koronową polskich odmian owsa zwyczajnego  
 Table 1. Polish common oat cultivar crown rust resistance characteristic

Odmiana Cultivar	Rok wpisania do Krajowego rejestru odmian Entry date	Reakcja siewki na porażenie Seedlings infection type <sup>a</sup>	Reakcja roślin dorosłych na porażenie Adult plant infection type <sup>b</sup>
'Akt'	1997	4	7
'Antoniński Biały'	po – after 1928	4	9
'Antoniński Żółty'	po – after 1928	3	9
'Arab'	2004	4	7
'Arden'	2010	3	3
'Bachmat'	2001	2	3
'Bajka'	1997	4	7
'Bartek Udycki'	przed – before 1939	3	9
'Berdysz'	2008	4	5
'Biały Mazur'	1928	4	9
'Biały Orzeł'	przed – before 1939	2	9
'Bingo'	2009	3	5
'Bohun'	2002	4	7
'Borek'	1981	4	9
'Borowiak'	1998	0	0
'Boruta'	1982	3	7
'Boryna'	1990	4	7
'Borys'	1991	4	7
'Breton'	2007	4	5
'Budrys'	2001	3	9
'Cacko'	2000	3	7
'Cekin'	1999	3	7
'Celer'	2000	0	0
'Chwat'	2000	4	5
'Cwał'	2001	4	9
'Deresz'	2000	4	7
'Dragon'	1982	4	7
'Dukat'	1991	4	7
'Farys'	1989	4	7
'Furman'	2006	4	7
'German'	1991	3	7
'Gniady'	2007	4	5
'Góral'	1988	4	7
'Grajcar'	1997	1	3
'Haker'	2010	3	5
'Hetman'	1999	3	7
'Jagiełło'	przed – before 1939	3	7
'Jawor'	1994	4	7
'Jubileuszowy Więclawicki'	przed – before 1939	4	7
'Kanarek Mikulicki'	1923	4	7
'Karol'	1989	4	7
'Kasztan'	1999	3	9
'Komes'	1985	3	7
'Koneser'	2007	1	5

Tabela 1. Charakterystyka odporności na rdzę koronową polskich odmian owsa zwyczajnego (cd.)  
Table 1. Polish common oat cultivar crown rust resistance characteristic (cont.)

Odmiana Cultivar	Rok wpisania do Krajowego Rejestru Odmian Entry date	Reakcja siewki na porażenie Seedlings infection type <sup>a</sup>	Reakcja roślin dorosłych na porażenie Adult plant infection type <sup>b</sup>
'Kościelecki'	1923	4	7
'Krezus'	2005	0	7
'Kwant'	1992	4	7
'Lach'	1980	4	9
'Maczo'	2010	3	5
'Markus'	1979	4	7
'Modzurowski'	–	4	7
'Nagus'	2011	3	5
'Niemierczański Najwcześniejszy'	1893	4	7
'Pegaz'	1977	3	7
'Płatek'	1986	4	7
'Podkowa Dłużewski'	1929	4	7
'Polar'	2002	2	9
'Proporczyk'	przed – before 1939	4	5
'Przebój I'	po – after 1939	4	7
'Przebój II'	po – after 1939	4	7
'Puławski Średniorychły'	1928	3	7
'Rajtar'	2004	3	9
'Rumak'	1981	4	7
'Rychlik Oberek'	przed – before 1939	3	5
'Sam'	1999	3	7
'Santor'	1989	3	7
'Siwek'	2010	4	9
'Skrzat'	1996	3	7
'Sławko'	1993	3	7
'Sobieszyński'	1923	4	7
'Sprinter'	2000	1	3
'Stoper'	2003	4	3
'Szakał'	2000	4	5
'Teodozja'	1923	4	5
'Udycz biały'	1925	4	7
'Udycz żółty'	przed – before 1939	2	9
'Ułan'	1985	4	9
'Zuch'	2008	4	5

<sup>a</sup> Skala wg Murphy (1935) – scale by Murphy (1935).

<sup>b</sup> skala wg McNeal i in. (1971) – scale by McNeat et al. (1971).

Populację rdzy zebrano i w warunkach laboratoryjnych wyprowadzono izolat, który charakteryzował się awirulencją w stosunku do odmian 'Borowiak' i 'Celer' (tab. 1). Izolat ten został wykorzystany do przeprowadzenia testów żywiciel-patogen dla skolekcjonowanych odmian owsa zwyczajnego.

Testy żywiciel–patogen wykazały, że 3 spośród testowanych odmian ('Borowiak', 'Krezus' i 'Celer') były w stadium siewki całkowicie odporne na porażenie przez uzyskany izolat rdzy koronowej. W zastosowanej skali ocen porażenia tych odmian przez zastosowany izolat rdzy koronowej określono na 0 pkt. Niewielkie porażenie (1 pkt) w zastosowanej skali odnotowano u odmian 'Grajcar', 'Koneser' i 'Sprinter'. Wszystkie odmiany, z wyjątkiem cvs. 'Koneser' i 'Krezus', były odporne również w stadium rośliny dorosłej. Z kolei odmiany 'Bachmat', 'Arden' i 'Stoper', pomimo że były wrażliwe na izolat *Puccinia coronata* PK2010 w stadium siewki w warunkach naturalnej infekcji polowej, zareagowały na ten izolat umiarkowaną reakcją obronną.

## DYSKUSJA

Pojawiające się nowe rasy patogenu, przełamujące odporność uzależnioną od dotychczas zidentyfikowanych genów odporności, wymuszają ciągle poszukiwania efektywnych genów. W związku z tym badania nad odpornością zbóż na choroby grzybowe prowadzone są systematycznie. Hodowla odmian owsa odpornych na rdzę koronową jest niezwykle trudna, ponieważ grzyb ten wytwarza liczne rasy fizjologiczne o zróżnicowanej wirulencji (Ralski i Muszyńska 1968).

Początkowo hodowla ukierunkowana była na wykorzystanie pojedynczych genów odporności. Jednakże zdolność patogenu do szybkiej specjacji i wytwarzania nowych ras fizjologicznych powoduje, że odporność ta jest bardzo szybko przełamywana (Leonard i Szabo 2005). Podstawowym celem hodowli odpornościowej jest uzyskanie takich form, które będą odporne na wiele ras przez długi czas. Wielu autorów wskazuje na konieczność poszukiwania nowych źródeł odporności na rdzę koronową wśród dzikich gatunków owsa. Dotychczas nowych genów poszukiwano wśród genotypów dzikiego heksaploidalnego gatunku *A. sterilis* (Sadanaga i Simons 1960, Simons 1985). Przeniesienie odporności z dzikiego gatunku również przynosi oczekiwane rezultaty. Potencjalnym źródłem odporności na rdzę koronową może być diploidalny owies szorstki *A. strigosa* lub tetraploid *A. abyssinica* (Simons i in. 1959, Zillinsky i in. 1959, Martens i in. 1980, Simons 1985, McMullen i in. 2005, Sánchez-Martín i in. 2012). Rines i in. (2007) wskazują, że przeniesienie odporności z dzikiego gatunku na odmiany jest niezwykle trudne, pracochłonne i długotrwałe, często również utrudnione przez naturalne bariery krzyżowalności, takie jak różnice w liczbie chromosomów.

Z punktu widzenia hodowców owsa poszukiwanie nowych efektywnych genów odporności jest niezwykle ważne. Jednakże charakterystyka i ocena już istniejących odmian uprawnych pod względem odporności na rdzę koronową również odgrywa znaczną rolę. Dlatego w badaniach własnych przedstawiono charakterystykę odmian owsa pod względem odporności na ten patogen. Przeprowadzone badania wykazały, że 3 polskie odmiany: 'Borowiak', 'Celer' i 'Krezus' odznaczały się wysoką odpornością w stadium siewki. Natomiast w stadium rośliny dorosłej całkowitą odpornością na rdzę koronową charakteryzowały się 2 spośród tych odmian – 'Celer' i 'Borowiak'. W warunkach naturalnej infekcji polowej 3 odmiany: 'Bachmat', 'Arden' i 'Stoper', pomimo że były wrażliwe na izolat *Puccinia coronata* PK2010 w stadium siewki, zostały porażone w bardzo niewielkim stopniu. Zjawisko odporności roślin dorosłych (APR – ang. *adult plant resistance*) zostało opisane przez Zadoks (1961) jako odporność,

która nie ujawnia się w stadium siewki; APR jest typem nadwrażliwości. Siewki wykazują porażenie na poziomie 7–9 w skali McNeal i in. (1971), zaś rośliny dorosłe – na poziomie zaledwie 1–3. Niewiele wiadomo na temat mechanizmu tego zjawiska i czynników, które determinują jego ekspresję. Niemniej jednak odporność tego typu odmiana utrzymuje zdecydowanie dłużej niż odporność warunkowaną pojedynczymi genami (Denissen 1993).

## PODSUMOWANIE

Uzyskane wyniki wskazują, że polskie odmiany owsa zwyczajnego, z wyjątkiem odmian 'Celer' i 'Borowiak', nie posiadają efektywnych genów odporności na rdzę koronową w stosunku do zastosowanego w testach płytkowych izolatu. Dlatego wprowadzanie efektywnych genów z odmian odpornych oraz poszukiwanie i introdukcja genów gatunków dzikich jest niezbędne dla poprawienia odporności polskich odmian owsa zwyczajnego na ten patogen.

## PIŚMIENNICTWO

- Aung T., Thomas H., Jones I.T.** 1977. The transfer of the gene for mildew resistance from *Avena barbata* (4x) into the cultivated oat *A. sativa* by an induced translocation. *Euphytica* 26, 623–632.
- Carson M.L.** 2009. Crown Rust Development and Selection for Virulence in *Puccinia coronata* f.sp *avenae* in an Oat Multiline Cultivar. *Plant Dis.* 93, 347–353.
- Czembor J.H.** 2000. Resistance to powdery mildew in population of barley landraces from Morocco. *Genet. Res. Crop Evol.* 47, 439–449.
- Denissen C.J.M.** 1993. Components of adult plant resistance to leaf rust in wheat. *Euphytica* 70, 31–140.
- Hammami I., Allagui M.B., Chakroun M., El Gazzeh M.** 2007. Evaluating landrace oats (*Avena* sp.) collected in Tunisia for crown rust resistance under natural infection. *Euphytica* 157, 27–34.
- Hsam S.L.K., Pederina E., Gorde S., Zeller F.J.** 1998. Genetic studies of powdery mildew resistance in cultivated oat (*Avena sativa* L.). II Cultivars and breeding lines grown in Northern and Eastern Europe. *Hereditas* 129, 227–230.
- Hsam S.L.K., Peters N., Paderina E.V., Felsenstein F., Oppitz K., Zeller F.J.** 1997. Genetic studies of powdery mildew resistance in common oat (*Avena sativa* L.). I. Cultivars and breeding lines grown in Western Europe and North America. *Euphytica* 96, 421–427.
- 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.
- Kowalczyk K., Hsam S.L.K., Zeller F.J.** 2004. Identification of oat powdery mildew resistance group 2 (OMR2) and Polish common oat (*Avena sativa* L.) cultivars [in: Resistance of cereals to biotic stresses]. Warsztaty, Radzików, Poland 28.11–01.12.2004. Radzików, IHAR, 122–125.
- Leonard K.J., Szabo L.J.** 2005. Stem rust of small grains and grasses caused by *Puccinia graminis*. *Molec. Plant Pathol.* 6(2), 99–111.
- Martens J.W., McKenzie R.I.H., Harder D.E.** 1980. Resistance to *Puccinia graminis avenae* and *P. coronata avenae* in the wild and cultivated *Avena* populations of Iran, Iraq, and Turkey. *Can. J. Genet. Cytol.* 22, 641–649.
- Martinelli J.A., Federizzi L.C., Benedetti A.C.** 1994. Yield reductions of oat grains due leaf rust severity. *Summa Phytopatholog.* 20, 116–118.
- McMullen M.S., Doehlert D.C., Miller J.D.** 2005. Registration of 'HiFi' oat. *Crop Sci.* 45, 1664.
- McNeal F.M., Konzak C.F., Smith E.P., Tate W.S., Russell T.S.** 1971. A uniform system for recording and processing cereal research data. *USDA-ARS Bull.* 34, 121.

- Murphy H.C.** 1935. Physiologic specialisation in *Puccinia coronata* U.S. Dep. Agric. Tech. Bull. 433, 1–48.
- Paczos-Grzęda E., Leśniowska-Nowak J., Koroluk A., Okoń S., Kowalczyk K.** 2013. Identyfikacja efektywnych genów odporności owsa zwyczajnego na rdzę koronową [w: IV Kongres Genetyki], Poznań 10–13 września 2013 r. Poznań, IGR PAN, 63.
- Ralski E., Muszyńska K.** 1968. Studia nad rdzami zbożowymi. Hod. Rośl. Aklim. 12, 619–644.
- Ribeiro do Vale, F.X., Parlevliet, J.E., Zambolim, L.** 2001. Concepts in plant disease resistance. Fitopatol. Brasileira 26, 577–589.
- Rines H.W., Porter H.L., Carson M.L., Ochocki, G.E.** 2007. Introgression of crown rust resistance from diploid oat *Avena strigosa* into hexaploid cultivated oat *A. sativa* by two methods: direct crosses and through an initial 2x-4x synthetic hexaploid. Euphytica 158, 67–79.
- Rubiales D., Niks, R.E.** 2000. Combination of mechanisms of resistance to rust fungi as a strategy to increase durability. Opt. Mediterran., Ser. A 40, 333–339.
- Sadanaga K., Simons M.D.** 1960. Transfer of crown rust resistance of diploid and tetraploid species to hexaploid oats. Agron. J. 52, 285–288.
- Sánchez-Martín J., Rubiales D., Sillero J.C., Prats E.** 2012. Identification and characterization of sources of resistance in *Avena sativa*, *A. byzantina* and *A. strigosa* germplasm against a pathotype of *Puccinia coronata* f.sp. *avenae* with virulence against the *Pc94* resistance gene. Plant Pathol. 61, 315–322.
- Sebesta J., Harder D.E.** 1983. Occurrence and distribution of virulence in *Puccinia coronata* var. *avenae* in Europe, 1977–1980. Plant Dis. 67, 56–59.
- Sebesta J., Zwatz B., Roderick H., Corazza L., Manisterski J., Stojanovic S.** 2003. Incidence of crown rust and virulence of *Puccinia coronata* Cda. f.sp. *avenae* Eriks. and the effectiveness of *Pc* genes for resistance in Europe, Middle East and North Africa. Archiv. Phytopathol. Plant Protect. 36, 179–194.
- Simons M.D.** 1980. Effect of *Puccinia coronata* on straw yield and harvest index of oats. Phytopathology 70, 604–607.
- Simons M.D.** 1985. Crown rust [in: The cereal rust. Vol. II. Diseases, distribution, epidemiology, and control]. Red. A.P. Roelfs, W.R. Bushnell. Orlando, FL, Academic Press, 131–172.
- Simons M.D., Sadanaga, K., Murphy, H.C.** 1959. Inheritance of resistance of strains of diploid and tetraploid species of oats to races of the crown rust fungus. Phytopathology 49, 257–259.
- Zadoks, J.C.** 1961. Yellow rust on wheat studies in epidemiology and physiologic specialization, T. Pl. Ziekten 67, 69–256.
- Zillinsky F.J., Sadanaga K., Simon, M.D., Murphy H.C.** 1959. Rust-resistant tetraploid derivatives from crosses between *Avena abyssinica* and *A. strigosa*. Agron. J. 12, 496–498.