PROGRESS IN PLANT PROTECTION
56 (3): 296-301, 2016
ISSN 1427-4337

DOI: 10.14199/ppp-2016-048
Published online: 25.07.2016

Received: 15.04.2016 / Accepted: 13.07.2016

Outbreak of barley yellow dwarf in winter cereals in Poland in the season 2014/2015

Masowe wystąpienia żółtej karłowatości jęczmienia na zbożach ozimych w Polsce w sezonie 2014/2015

Małgorzata Jeżewska, Katarzyna Trzmiel*

Summary

Barley yellow dwarf (BYD) is the most dangerous distributed worldwide virus disease of cereals caused by a group of several virus species transmitted by aphids in persistent manner. In the season 2014/2015 the disease occurred at high incidence in all parts of Poland except Podlasie region, causing serious yield losses, particularly in winter barley. Plant samples exhibiting the disease symptoms were analyzed using ELISA test detecting two principal causal agents: *Barley yellow dwarf virus-MAV* (BYDV-MAV) and *Barley yellow dwarf virus-PAV* (BYDV-PAV). A total of 688 samples of cereal plants were tested. The rate of the virus detection was very high (over 80%). The impact of climatic conditions on the outbreak of the disease was analyzed and discussed.

Key words: barley yellow dwarf; viruses; aphid; vectors; wheat; barley; triticale

Streszczenie

Żółta karłowatość jęczmienia (barley yellow dwarf − BYD) jest najgroźniejszą chorobą wirusową wszystkich gatunków zbóż na świecie, wywoływaną przez kilka gatunków sprawców przenoszonych przez mszyce w sposób trwały. W sezonie 2014/2015 wiroza wystąpiła we wszystkich regionach Polski, oprócz Podlasia, w dużym nasileniu powodując znaczne straty plonu, szczególnie na uprawach jęczmienia ozimego. Przy użyciu testu ELISA, wykrywającego dwa podstawowe gatunki wirusów żółtej karłowatości jęczmienia: *Barley yellow dwarf virus-MAV* (BYDV-MAV) i *Barley yellow dwarf virus-PAV* (BYDV-PAV) przebadano ogółem 688 prób roślin zbożowych, pochodzących z różnych regionów kraju, z objawami wskazującymi na porażenie. Wykrywalność wirusów była wysoka (ponad 80%). Przeanalizowano i przedyskutowano wpływ warunków pogodowych na tak intensywne wystąpienie wirozy.

Słowa kluczowe: żółta karłowatość jęczmienia; wirusy; mszyce; wektory; pszenica; jęczmień; pszenżyto

Instytut Ochrony Roślin − Państwowy Instytut Badawczy
Zakład Wirusologii i Bakteriologii
Władysława Węgorka 20, 60-318 Poznań
*corresponding author: k.trzmiel@iorpib.poznan.pl

Wstęp / Introduction

Żółta karłowatość jęczmienia (barley yellow dwarf − BYD) jest powszechnie występującą na świecie poważną chorobą wirusową wszystkich gatunków zbóż i traw, przenoszoną przez liczne gatunki mszyc zbożowych w sposób trwały (Rochow 1970; Plumb 1992). Początkowo uważano, że sprawcą objawów BYD jest jeden gatunek, *Barley yellow dwarf virus*, w obrębie którego wyróżniano kilka izolatów i w starszej literaturze można spotkać taką terminologię. Wraz z rozwojem badań molekularnych odkryto, że symptomy choroby wywołuje kilka gatunków wirusów z rodziny Luteoviridae, znacznie zróżnicowanych, należących do rodzajów *Luteovirus*, *Polerovirus*, jak również bez ustalonej przynależności rodzajowej (Domier 2012).

Pomimo znacznego zróżnicowania, wirusy żółtej karłowatości jęczmienia charakteryzują się paroma wspólnymi cechami, takimi jak: morfologia (wiriony sferyczne o średnicy 25 nm), rodzaj wywoływanych objawów (przebarwienia i skarłowacenia), sposób przenoszenia (wyłącznie przez mszyce w sposób trwały), zlokalizowanie w tkance przewodzącej (łyku) oraz zakres roślin gospodarzy obejmujący wyłącznie gatunki z rodziny wiechlinowatych (Poaceae).

Wiroza jest niebezpieczna szczególnie dla zbóż ozimych, zwłaszcza jęczmienia, jeżeli w sprzyjających warunkach dochodzi do wczesnych zakażeń jesiennych. Pojawiające się wiosną objawy chorobowe są silne i często prowadzą do zamierania roślin.

Straty plonu spowodowane porażeniami przez wirusy BYD są zależne od wielu czynników i mogą wynosić nawet kilkadziesiąt procent (Conti i wsp. 1987; Plumb 1992; Perry i wsp. 2000; Thackray i wsp. 2005). W przypadku wczesnych i masowych porażeń uprawy są likwidowane.

Warto wspomnieć również o szkodliwości pośredniej, związanej z podwyższoną podatnością roślin zakażonych na inne choroby, np. *Fusarium* spp. (Liu i Buchenauer 2005).

Pierwsze doniesienie o występowaniu BYD w Polsce pochodzi z lat 80. (Hoppe i wsp. 1983). W następnych latach monitorowano rozprzestrzenianie i intensywność objawów chorobowych (Jeżewska 1998, 2003; Jeżewska i wsp. 2010; Strażyński i wsp. 2011). Stwierdzano zróżnicowane nasilenie pojawiania się symptomów, ale najbardziej masowe, wczesne i ostre wystąpienie wirozy obserwowano wiosną 2015 roku.

Wyniki badań monitoringowych wskazują, że głównymi sprawcami BYD w Polsce są następujące gatunki wirusów: *Barley yellow dwarf virus-MAV* (BYDV-MAV), *Barley yellow dwarf virus-PAV* (BYDV-PAV) oraz *Cereal yellow dwarf virus-RPV* (CYDV-RPV).

Celem pracy było przedstawienie danych dotyczących epidemicznego wystąpienia żółtej karłowatości jęczmienia na uprawach zbóż ozimych wiosną 2015 roku oraz próba analizy przyczyn tego zjawiska w celu podjęcia działań zapobiegających podobnym stratom w kolejnych latach.

Materiały i metody / Materials and methods

Materiał badawczy stanowiły rośliny zbóż ozimych: jęczmienia, pszenicy, pszenżyta i żyta o różnym stopniu zaawansowania objawów wskazujących na porażenie przez wirusy BYD. Próby pochodziły z różnych regionów Polski, tzn. z 110 lokalizacji położonych na terenie 15 województw. Rośliny pobierano w 2015 roku, od połowy lutego do końca maja, z każdego pola jednorazowo.

Rośliny diagnozowano na podstawie testu ELISA, wykrywającego dwa główne gatunki wirusów, sprawców BYD, tzn. BYDV-MAV i BYDV-PAV (Lister i Rochow 1979). Korzystano z komercyjnego zestawu immunoglobulin i koniugatu produkcji Loewe (Niemcy). Kontrolę negatywną stanowiły zdrowe rośliny zbóż rosnące w szklarni, u których wykluczono porażenie przez wirusy BYD. Korzystano też z fabrycznej kontroli negatywnej z zestawu diagnostycznego.

Dane dotyczące przebiegu średnich temperatur miesięcznych oraz średnich sum opadów pochodzą z Biuletynu Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej wydawanego przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy.

Wyniki i dyskusja / Results and discussion

Ogółem przebadano 688 roślin zbożowych ozimych, w tym jęczmienia − 298, pszenicy − 326, pszenżyta – 56 i żyta − 8.

Procent wykrywania wirusów BYDV-MAV i BYDV-PAV w roślinach jęczmienia wyniósł 88,9 (265 stwierdzonych porażeń na 298 badanych prób). Odpowiadające liczby dla pozostałych gatunków zbóż kształtowały się następująco: dla pszenicy − 81,0 (264/326), dla pszenżyta − 83,9 (47/56) oraz dla żyta − 37 (3/8). Szczegółowe przedstawienie wyników z uwzględnieniem rejonów pochodzenia badanych prób zamieszczono w tabeli 1. Warto zwrócić uwagę na powszechność występowania żółtej karłowatości jęczmienia we wszystkich częściach kraju z wyjątkiem Podlasia. Stosunkowo dużą liczbę silnych porażeń pszenicy ozimej stwierdzono w województwach północnych: zachodniopomorskim, pomorskim, a szczególnie warmińsko-mazurskim, w którym dotąd nie obserwowano objawów BYD. Dane te świadczą o ekspansji mszyc, co jest ściśle związane z kształtowaniem się warunków klimatycznych.

Negatywne wyniki w teście ELISA mogły wynikać z porażeń roślin przez inne niż BYDV-MAV i BYDV-PAV gatunki wirusów. Wykluczenie obecności wszystkich potencjalnych sprawców tej choroby wymagałoby zastosowania specyficznych i kosztownych technik molekularnych nie praktykowanych w tego typu badaniach przesiewowych. Ponadto istnieje ewentualność wywoływania zbliżonych symptomów przez czynniki abiotyczne. Wyjaśnienie braku stwierdzonych porażeń w województwie podlaskim nie jest jednoznaczne. Jedną z możliwości jest specyfika warunków klimatycznych mniej sprzyjających rozwojowi i rozprzestrzenianiu mszyc − wektorów. Brak danych dotyczących prób z Podlasia nie oznacza nieobecności porażeń w tym regionie tylko wskazuje na ich ograniczoną, nie zwracającą uwagi liczbę. Należy podkreślić, że żółta karłowatość jęczmienia jest chorobą powszechnie występującą na świecie i w Polsce od wielu lat, natomiast jej szkodliwość zależy od nasilenia porażeń.

Tabela 1. Wykrywanie porażeń zbóż przez wirusy żółtej karłowatości jęczmienia (BYDV-MAV i BYDV-PAV) w Polsce, w sezonie 2014/2015
Table 1. Detection of barley yellow dwarf viruses (BYDV-MAV and BYDV-PAV) in cereals in Poland, in the season 2014/2015

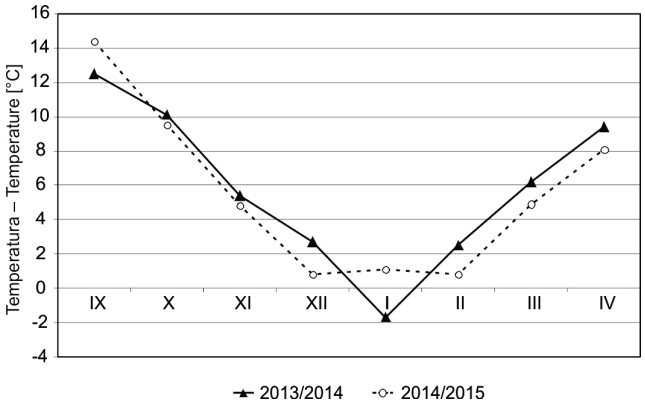
Rodzaj zboża Cereal species	Lokalizacja (województwo) Location (voivodeship)	Liczba wykrytych porażeń/liczba roślin badanych Number of infected plants/number of tested samples	Ogólna ocena nasilenia porażeń General evaluation of the infection intensity
Jęczmień ozimy Winter barley	dolnośląskie	88/119	bardzo silne – very strong
	lubelskie	3/4	bardzo silne – very strong
	lubuskie	6/6	bardzo silne – very strong
	łódzkie	2/2	bardzo silne – very strong
	małopolskie	10/10	bardzo silne – very strong
	opolskie	41/41	bardzo silne – very strong
	podkarpackie	18/18	bardzo silne – very strong
	pomorskie	12/12	bardzo silne – very strong
	śląskie	20/20	bardzo silne – very strong
	świętokrzyskie	3/3	bardzo silne – very strong
	warmińsko-mazurskie	3/3	bardzo silne – very strong
	wielkopolskie	55/56	bardzo silne – very strong
	zachodniopomorskie	4/4	bardzo silne – very strong
Pszenica ozima Winter wheat	dolnośląskie	35/73	zróżnicowane – different
	kujawsko-pomorskie	11/12	bardzo silne – very strong
	lubelskie	5/6	bardzo silne – very strong
	lubuskie	6/10	bardzo silne – very strong
	łódzkie	3/3	bardzo silne – very strong
	mazowieckie	6/6	bardzo silne – very strong
	opolskie	25/26	bardzo silne – very strong
	pomorskie	55/57	bardzo silne – very strong
	śląskie	4/4	bardzo silne – very strong
	warmińsko-mazurskie	80/82	bardzo silne – very strong
	wielkopolskie	18/31	zróżnicowane – different
	zachodniopomorskie	16/16	bardzo silne – very strong
Pszenżyto ozime Winter triticale	dolnośląskie	8/13	bardzo silne – very strong
	warmińsko-mazurskie	5/5	bardzo silne – very strong
	wielkopolskie	11/11	bardzo silne – very strong
	zachodniopomorskie	23/27	bardzo silne – very strong

W sezonie epidemicznego pojawu wirozy, tj. jesienią 2014 roku nie zebrano danych dotyczących nalotów mszyc – wektorów BYD.

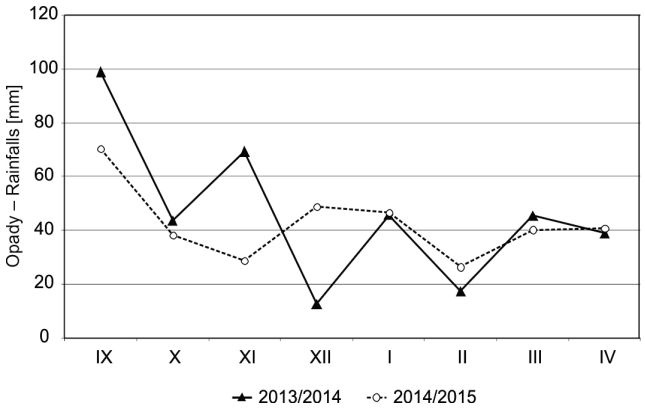
Najwyższą wykrywalność sprawców BYD stwierdzono u roślin jęczmienia ozimego. Objawy chorobowe na tym zbożu wystąpiły najostrzej, najbardziej masowo i przeważnie wcześniej niż na pszenicy ozimej i na pszenżycie ozimym. Skutkowało to bardzo wysoką szkodliwością i doprowadziło do zaorania większości pól zaatakowanych przez wirozę. Przeprowadzane wywiady z rolnikami wykazały, że we wszystkich przypadkach ostrych, masowych porażeń zaniechano ochrony insektycydowej upraw przed mszycami w okresie jesiennym. Stwierdzono wyraźną zależność między stosowaniem zabiegów zwalczających mszyce po wschodach a intensywnością wystąpienia żółtej karłowatości jęczmienia. Nasileniu porażeń sprzyjał też wczesny termin siewu zbóż. Ograniczona liczba potwierdzonych porażeń roślin jęczmienia pochodzących z województw południowo-wschodnich (lubelskie, podkarpackie) wynika ze stosunkowo niewielkiej powierzchni uprawy tego zboża w powyższym rejonie kraju.

Wpływ warunków klimatycznych na masowe wystąpienie żółtej karłowatości jęczmienia analizowano na podstawie przebiegu średnich miesięcznych temperatur oraz sum miesięcznych opadów w okresach krytycznych dla rozwoju choroby, tzn. od września do października. Porównano warunki panujące w sezonie 2014/2015 z warunkami w analogicznym okresie poprzedniego sezonu, w którym porażenia przez wirusy BYD występowały tylko sporadycznie. Przebieg temperatury przedstawiono na rysunku 1., a sum opadów na rysunku 2. Dane przedstawione na rysunkach są uproszczone. W Polsce wystę-

puje duże zróżnicowanie warunków klimatycznych między poszczególnymi regionami. Jednakże uśrednienie podstawowych parametrów pogodowych jest uzasadnione faktem powszechności pojawiania się wirozy we wszystkich częściach kraju, z wyjątkiem Podlasia.



Rys. 1. Porównanie przebiegu średnich temperatur na przełomie lat 2013/2014 i 2014/2015 w Polsce
Fig. 1. The course of mean temperature in the years 2013/2014 and 2014/2015 in Poland



Rys. 2. Porównanie sum opadów na przełomie lat 2013/2014 i 2014/2015 w Polsce
Fig. 2. Rainfalls in the years 2013/2014 and 2014/2015 in Poland

Porównanie przebiegu średnich miesięcznych temperatur nie wskazuje na znaczące różnice w sezonach 2013/2014 i 2014/2015, pominąwszy wyraźnie niższą temperaturę stycznia 2014 roku (−1,7°C) podczas gdy w styczniu 2015 roku wynosiła ona 1,1°C. Nieco większe zróżnicowanie między omawianymi sezonami odnotowano porównując sumy miesięcznych opadów. Na przełomie lat 2013 i 2014, czyli w sezonie ograniczonego wystąpienia żółtej karłowatości jęczmienia, zaobserwowano wyraźne skoki sum opadów, po bardzo wilgotnym wrześniu (98,8 mm, 182,6% normy) nastąpił gwałtowany ich spadek w październiku (43,6 mm, 76,8% normy), po którym znów nastąpił duży wzrost (69,2 mm, 180,7% normy). W grudniu 2013 roku odnotowano średnio tylko 12,5 mm (68,8% normy), a w styczniu 2014 roku suma opadów wzrosła do 45,5% (150% normy), aby znów obniżyć się do 17,3 mm (55,5% normy) w lutym tego roku. Zarówno susza, jak i gwałtowne opady ograniczają rozprzestrzenianie się mszyc przenoszących wirusy BYD. W sezonie 2014/2015 stwierdzono bardziej wyrównany przebieg średnich miesięcznych sum opadów. Warunki klimatyczne są ważnym czynnikiem kształtującym występowanie chorób wirusowych zbóż ozimych, co omówiono na przykładzie wirusa żółtej mozaiki jęczmienia (Jeżewska 2013).

W związku z wyjątkowo wysoką, potencjalną szkodliwością najważniejszej wirozy zbóż obszernie przebadano wszystkie aspekty stwarzanego zagrożenia. Głównym zagadnieniem jest zjawisko przenoszenia wirusów przez mszyce, które w ostatnich latach jest traktowane jako problem zintegrowanych zależności: wirus–wektor–gospodarz (Fiebig i wsp. 2004; Bragard i wsp. 2013) przy uwzględnieniu ewolucji cyklu życiowego mszyc pod wpływem zmian klimatycznych. Badania entomologiczne wykazały, że wzrost temperatur w lecie inicjuje rozwój nowej formy mszycy czeremchowo-zbożowej (*Rhopalosiphum padi* L.), gatunku dominującego w Polsce i będącego głównym wektorem wirusów BYD. Wystąpienie co najmniej kilku dni ze średnią dobową temperaturą 25°C inicjuje zmiany w rozwoju mszyc, umożliwiając im permanentne dzieworództwo, skutkiem czego jest pozostawanie na trawach bez przelatywania na żywiciela pierwotnego, przerywającego łańcuch przenoszenia wirusów zbożowych (Ruszkowska 2004, 2006).

Sam proces przenoszenia wirusów w sposób trwały jest skomplikowany (Gray i Gildow 2003). Pierwotnie sądzono, że relację wirus–wektor cechuje wysoka specyficzność, jednak stopniowo korygowano ten pogląd (Rochow 1965; Gildow i Gray 1993; Peiffer i wsp. 1997). Wiadomo też, że przenoszenie wirusów jest regulowane genetycznie (Burrows i wsp. 2006, 2007), a postęp biologii molekularnej umożliwił głębsze poznanie molekularnego podłoża tego procesu (Brault i wsp. 2005) oraz opracowanie biomarkerów identyfikujących specyficzne białka wektora związane z tym procesem (Cilia i wsp. 2011). Odkryto też, że żerowanie mszyc na roślinach porażonych przez BYD zmienia ich biologię, powodując wzrost liczby mszyc uskrzydlonych (Gildow 1980).

Uwzględniając złożoność uwarunkowań zjawiska przenoszenia wirusów BYD przez mszyce nie można ograniczyć wskazania przyczyn epidemicznego wystąpienia wirozy do przebiegu warunków pogodowych, gdyż one przede wszystkim wpływają na liczbę owadów, ale nie na ich zdolność zmiany na wektory wirusów.

Na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat wielokrotnie opracowywano matematyczne modele prognozujące ryzyko pojawiania się żółtej karłowatości jęczmienia, szczególnie w krajach o klimacie sprzyjającym rozwojowi choroby i intensywnej uprawie zbóż ozimych, szczególnie jęczmienia i pszenicy (Kendall i wsp. 1992; McElhany i Real 1995; Teulon i wsp. 1999; Bicknell i wsp. 2000; Leclercq-Le Quillec i wsp. 2000), jednakże nie znalazły one praktycznego zastosowania w szerszej skali.

Prowadzone badania nad odpornością odmian zbóż na żółtą karłowatość jęczmienia też nie przyniosły oczekiwanych sukcesów, natomiast najwyższą skuteczność zwalczania choroby zapewnia chemiczne zwalczanie mszyc na oziminach około 5 tygodni po wschodach.

Wnioski / Conclusions

1. Nasilenie występowania objawów żółtej karłowatości jęczmienia jest zróżnicowane z sezonu na sezon i trudne do przewidzenia z racji złożonego procesu przenoszenia wirusów – sprawców choroby przez mszyce.
2. Z powodu trudności prognozowania wystąpienia żółtej karłowatości jęczmienia zaleca się działania prewencyjne obejmujące jesienne zwalczanie mszyc na oziminach oraz dobór optymalnego terminu siewu zbóż ozimych.

Literatura / References

Bicknell K., Greer G., Teulon D.A.J. 2000. The value of forecasting BYDV in autumn sown cereals. New Zealand Plant Protection 53: 87−92.

Bragard C., Caciagli P., Lemaire O., Lopez-Moya J.J., MacFarlane S., Peters D., Susi P., Torrance L. 2013. Status and prospects of plant virus control through interference with vector transmission. Annual Review of Phytopathology 51: 177−201.

Brault V., Perigon S., Reinbold C., Erdinger M., Scheidecker D., Herrbach E., Richards K., Ziegler-Graff V. 2005. The polerovirus minor capsid protein determines vector specificity and intestinal tropism in the aphid. Journal of Virology 79 (15): 9685−9693.

Burrows M.E., Caillaud M.C., Smith D.M., Benson E.C., Gildow F.E., Gray S.M. 2006. Genetic regulation of polerovirus and luteovirus transmission in the aphid *Schizaphis graminum*. Phytopathology 96: 828−837.

Burrows M.E., Caillaud M.C., Smith D.M., Gray S.M. 2007. Biometrical genetic analysis of luteovirus transmission in the aphid *Schizaphis graminum.* Heredity 98: 106−113.

Cilia M., Howe K., Fish T., Smith D., Mahoney J., Tamborindeguy C., Burd J., Thannhauser T.W., Gray S. 2011. Biomarker discovery from the top-down: protein biomarkers for efficient virus transmission by insects (Homoptera: Aphididae) discovered by coupling genetics and 2-D DIGE. Proteomics 11 (12): 2440−2458.

Conti M., D'Arcy C.J., Jedlinski H., Burnett P.A. 1987. World situation – the "yellow plague" of cereals, barley yellow dwarf virus. World perspectives on BYD. Proceedings of the International Workshop. Italy, Udine, July 6−11, 1987: 1−6.

Domier L.L. 2012. *Luteoviridae*. p. 1045−1052. In: "Virus Taxonomy: Ninth Report of the International Committee on Taxonomy of Viruses" (A.M.Q. King, M.J. Adams, E.B. Carstens, E.J. Lefkowitz, eds.). Elsevier Inc., UK, USA, 1327 pp.

Fiebig M., Poehling H.-M., Borgemeister C. 2004. Barley yellow dwarf virus, wheat and *Sitobion avenae*: a case of trilateral interactions. Entomologia Experimentalis et Applicata 110 (1): 11−21.

Gildow F.E. 1980. Increased production of alatae by aphids reared on oats infected with barley yellow dwarf virus. Annals of Entomological Society of America 73: 343−347.

Gildow F., Gray S.M. 1993. The aphid salivary gland basal lamina as a selective barrier associated with the vector specific transmission of *Barley yellow dwarf luteoviruses*. Phytopathology 83 (12): 1293−1302.

Gray S., Gildow F.E. 2003. Luteovirus-aphid interactions. Annual Review of Phytopathology 41: 539−566.

Hoppe W., Ruszkiewicz M., Zielińska L. 1983. Occurrence of barley yellow dwarf virus on oat cultures in Poland. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych 291: 119−129.

Jeżewska M. 1998. Transmission of barley yellow dwarf luteovirus isolates MAV and PAV by cereal aphid *Metopolophium dirhodum*. Journal of Plant Protection Research 38 (1): 5−10.

Jeżewska M. 2003. Choroby wirusowe zbóż, diagnostyka i występowanie. [Virus diseases of gereals, diagnostics and occurrence]. Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin 43 (1): 164−171.

Jeżewska M. 2013. Wpływ warunków pogodowych na występowanie wirusa żółtej mozaiki jęczmienia (*Barley yellow mosaic virus*, BaYMV) w Polsce oraz ocena podatności odmian jęczmienia ozimego na zakażenie. [Impact of temperature and rainfall on symptom expression of barley yellow mosaic in Poland and preliminary assessment of the reaction of winter barley cultivars to the virus]. Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin 53 (2): 409−412.

Jeżewska M., Cajza M., Buchowska-Ruszkowska M. 2010. Monitoring i diagnostyka molekularna wirusów zbóż. s. 157−180. W: „Ograniczanie strat w plonach roślin uprawnych z zachowaniem bezpieczeństwa żywności" (D. Sosnowska, red.). Instytut Ochrony Roślin – Państwowy Instytut Badawczy, Poznań, 284 ss.

Kendall D.A., Brain P., Chinn N.E. 1992. A simulation model of the epidemiology of barley yellow dwarf virus in winter sown cereals and its application to forecasting. Journal of Applied Ecology 29: 414−426.

Leclercq-Le Quillec F., Plantagenest M., Riault G., Dedryver C.A. 2000. Analyzing and modeling temporal disease progress of *Barley yellow dwarf virus* serotypes in barley fields. Phytopathology 90 (8): 860−866.

Lister R.M., Rochow W.F. 1979. Detection of barley yellow dwarf virus by enzyme-linked immunosorbent assay. Phytopathology 69: 649−654.

Liu Y., Buchenauer H. 2005. Interactions between *Barley yellow dwarf* and *Fusarium* spp. affecting development of Fusarium head blight of wheat. European Journal of Plant Pathology 113 (3): 283−295.

McElhany P., Real L.A. 1995. Vector preference and disease dynamics: a study of barley yellow dwarf virus. Ecology 76 (2): 444−457.

Peiffer M.L., Gildow F.E., Gray S.M. 1997. Two distinct mechanisms regulate luteovirus transmission efficiency and specificity at the aphid salivary gland. Journal of General Virology 78 (3): 495−503.

Perry K.L., Kolb F.L., Sammons B., Lawson C., Cisar G., Ohm H. 2000. Yield effects of *Barley yellow dwarf virus* in soft red winter wheat. Phytopathology 90: 1043−1048.

Plumb R.I. 1992. Barley yellow dwarf. p. 41−79. In: "Plant Diseases of International Importance" Vol. 1 "Diseases of Cereals and Pulses" (J. Kumer, S. Chavbe, eds.). Englewood Cliffs, New Jersey, USA, Prentice, 273 pp.

Rochow W.F. 1965. Apparent loss of vector specificity following double infection by two strains of barley yellow dwarf virus. Phytopathology 55: 62−69.

Rochow W.F. 1970. Barley yellow dwarf virus. CMI/AAB Descriptions of Plant Viruses No 32.

Ruszkowska M. 2004. Modyfikacja progów szkodliwości i metody alternatywne w warunkach powstawania nowych form rozwojowych mszyc. [Modification of pest thresholds and alternative methods in conditions of the development of new aphids forms]. Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin 44 (1): 347−354.

Ruszkowska M. 2006. Uwarunkowania klimatyczne w rozprzestrzenianiu najważniejszych wektorów chorób wirusowych na zbożach w badanych regionach Polski. [Permament and cyclic parthenogenesis of *Rhopalosiphum padi* (L.) (*Homoptera: Aphidoidea*) across different climate regions in Poland]. Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin 46 (1): 276−283.

Strażyński P., Ruszkowska M., Jeżewska M., Trzmiel K. 2011. Evaluation of the autumn infection of winter barley with barley yellow dwarf viruses transmitted by anholocyclic form of bird cherry-oat aphid *Rhopalosiphum padi* L. in Poland. Journal of Plant Protection Research 51 (3): 314−321.

Teulon D.A.J., Stufkens M.A.W., Nicol D., Harcourt S.J. 1999. Forecasting barley yellow dwarf virus in autumn-sown cereals in 1998. Proceedings of 52nd New Zealand Plant Protection Conference: 187−191.

Thackray D.J., Ward L.T., Thomas-Carroll M.L., Jones R.A.C. 2005. Role of winter-active aphids spreading *Barley yellow dwarf virus* in a Mediterranean-type environment. Australian Journal of Agricultural Research 56: 1089−1099.