

Variação da sensibilidade de populações de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas inibidores da desmetilação no Brasil

Sheila Ariana Xavier¹, Lucimara Junko Koga¹, Daiane Cristina Martins Barros¹, Marcelo Giovanetti Canteri¹, Ivani de Oliveira Negrão Lopes², Claudia Vieira Godoy²

¹Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, CEP 86051-970, Londrina, PR, Brasil; ²Embrapa Soja, Caixa Postal 231, CEP 86001-970, Londrina, PR, Brasil.

Autor para correspondência: Claudia Vieira Godoy (claudia.godoy@embrapa.br)

Data de chegada: 18/02/2014. Aceito para publicação em: 25/05/2015.

10.1590/0100-5405/2068

RESUMO

Xavier, S.A.; Koga, L.J.; Barros, D.C.M.; Canteri, M.G.; Lopes, I.O.N.; Godoy, C.V. Variação da sensibilidade de populações de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas inibidores da desmetilação no Brasil. *Summa Phytopathologica*, v.41, n.3, p.191-196, 2015.

Durante as safras 2008/09, 2009/10 e 2010/11 foi monitorada a sensibilidade do fungo *Phakopsora pachyrhizi* aos fungicidas tebuconazol, ciproconazol, metconazol e prothioconazol (inibidores da desmetilação, IDMs). Folhas destacadas de soja foram tratadas com os fungicidas em doses variando de zero a 32 mg L⁻¹ (tebuconazol, ciproconazol e metconazol) e zero a 8 mg L⁻¹ (prothioconazol) e inoculadas com esporos de *P. pachyrhizi* provenientes de lavouras de soja de diferentes regiões produtoras. As folhas inoculadas foram incubadas em placas de Petri com papel umedecido, a 23°C ± 2°C, e a severidade da ferrugem estimada 15 dias após a inoculação. Foram determinadas as doses efetivas para reduzir 50% da severidade da doença

(DE₅₀). O fungicida prothioconazol apresentou a maior atividade intrínseca, com valores de DE₅₀ variando de 0,000001 mg L⁻¹ a 0,39 mg L⁻¹. Os valores de DE₅₀ variaram de 0,001 mg L⁻¹ a 1,49 mg L⁻¹ para tebuconazol; 0,001 mg L⁻¹ a 3,27 mg L⁻¹ para ciproconazol e 0,004 mg L⁻¹ a 3,89 mg L⁻¹ para metconazol. As medianas de DE₅₀ para todos os fungicidas avaliados foram inferiores a 0,5 mg L⁻¹, nas três safras. As correlações (*r*) entre as DE₅₀ dos quatro fungicidas foram significativas (*p*<0,05), mostrando a existência de resistência cruzada entre os fungicidas. A variação nos valores de DE₅₀ no monitoramento mostra uma coexistência de populações com diferentes níveis de sensibilidade aos IDMs no campo.

Palavras-chave: ferrugem-asiática da soja, tebuconazol, ciproconazol, metconazol, prothioconazol, triazóis.

ABSTRACT

Xavier, S.A.; Koga, L.J.; Barros, D.C.M.; Canteri, M.G.; Lopes, I.O.N.; Godoy, C.V. Sensitivity variation of *Phakopsora pachyrhizi* populations to demethylation inhibitor fungicides in Brazil. *Summa Phytopathologica*, v.41, n.3, p.191-196, 2015.

During 2008/09, 2009/10 and 2010/11 growing seasons, the sensitivity of the fungus *Phakopsora pachyrhizi* to the fungicides tebuconazole, cyproconazole, metconazole and prothioconazole (demethylation inhibitors, DMIs) was monitored. Detached soybean leaves were treated with those fungicides at concentrations varying from zero to 32 mg L⁻¹ (tebuconazole, cyproconazole and metconazole) and from zero to 8 mg L⁻¹ (prothioconazole) and were inoculated with *P. pachyrhizi* spores collected from different Brazilian soybean producing regions. Inoculated leaves were incubated in Petri plates containing moistened paper towel at 23°C ± 2°C, and the disease severity was estimated at 15 days after inoculation. The effective concentrations to

reduce the disease severity by 50% (EC₅₀) were estimated. The fungicide prothioconazole presented the highest intrinsic activity and its EC₅₀ ranged from 0.000001 mg L⁻¹ to 0.39 mg L⁻¹. EC₅₀ values ranged from 0.001 mg L⁻¹ to 1.49 mg L⁻¹ for tebuconazole, 0.001 mg L⁻¹ to 3.27 mg L⁻¹ for cyproconazole and 0.004 mg L⁻¹ to 3.89 mg L⁻¹ for metconazole. EC₅₀ medians of all tested fungicides were lower than 0.5 mg L⁻¹ in the three growing seasons. The correlations (*r*) among the EC₅₀ values of the four fungicides were significant (*p*<0.05), indicating cross-resistance among the products. The EC₅₀ variation in the monitoring shows coexistence of populations with different levels of sensitivity to DMIs in the field.

Additional keywords: Asian soybean rust, tebuconazole, cyproconazole, metconazole, prothioconazole, triazoles.

A ferrugem-asiática da soja, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P. Syd., é uma das doenças mais severas que incide na cultura da soja, com danos variando de 10% a 90% nas diversas regiões geográficas onde foi relatada (18, 21). Nas Américas, o maior impacto econômico tem sido observado no Brasil, Paraguai e Bolívia, onde o fungo pode sobreviver o ano todo sem estresse de temperatura e umidade (13, 21). Nos últimos anos, o custo ferrugem no Brasil, considerando as perdas em produtividade e o custo para o controle da doença, tem sido estimado em US\$ 2 bilhões por safra (2).

As estratégias de manejo recomendadas no Brasil para o manejo

dessa doença incluem: a utilização de cultivares de ciclo precoce e semeaduras no início da época recomendada, a eliminação de plantas de soja voluntárias e a ausência de cultivo de soja na entressafra por meio do vazio sanitário, o monitoramento da doença nas lavouras desde o início do desenvolvimento da cultura, a utilização de fungicidas no aparecimento dos sintomas ou preventivamente, e a utilização de cultivares resistentes (19). A decisão sobre o momento de aplicação (sintomas iniciais ou preventiva) deve ser técnica, levando em conta os fatores necessários ao aparecimento da ferrugem (presença do fungo na região, idade da planta e condição ambiental favorável), a

logística de aplicação (disponibilidade de equipamentos e tamanho da propriedade), a presença de outras doenças e o custo de controle (19).

A principal estratégia de manejo que viabiliza a semeadura de soja, sem reduções de produtividade, na presença da doença, é a utilização de fungicidas. Pesquisas iniciais na Ásia indicavam que mancozeb, maneb, fungicidas a base de cobre e, em algumas situações, os benzimidazóis suprimiam o desenvolvimento da doença (17). No entanto, o controle da doença passou a ser mais eficiente com a introdução dos fungicidas inibidores da desmetilação (IDMs) (12). Fungicidas IDMs são sítio-específicos, se ligando com a enzima 14 α -desmetilase (CYP51) e, inibindo a biossíntese de ergosterol, importante componente da membrana celular dos fungos (3).

No Brasil, os fungicidas para o controle da ferrugem-asiática têm sido comparados em uma rede de ensaios cooperativos, desde 2003/04 (7, 8, 9). Resultados de 2003 a 2007, analisados utilizando meta-análise, mostraram que os IDMs aplicados de forma isolada apresentavam melhor eficiência do que os fungicidas inibidores da quinona oxidase (IQo), com grande diferença de eficiência dentro do grupo (15). Em razão da alta eficiência de controle e baixo custo, os fungicidas IDMs foram utilizados pelos produtores isoladamente, em aplicações sequenciais e curativas desde a introdução da doença em 2001 (10). A partir de 2007/08, foi observada redução na eficiência dos fungicidas IDMs na região dos Cerrados e, em 2008/09, na região Sul do Brasil. As recomendações para controle da ferrugem evoluíram para utilização somente de misturas formuladas de IDM e IQo (10,19).

Diferentes mecanismos de resistência aos IDMs têm sido descritos para patógenos de seres humanos e de plantas, envolvendo mutações pontuais e superexpressão do gene CYP51, aumento da regulação de transportadores de efluxo e alteração na biossíntese de esterol (3). Alguns fitopatógenos apresentam variação na sensibilidade a IDMs, tais como *Blumeria graminis*, *Mycosphaerella graminicola* e *Uncinula necator* (3, 4, 20).

A resistência dentro e entre grupos de fungicidas pode ser cruzada. A resistência cruzada ocorre quando populações de patógenos que desenvolvem resistência a um fungicida tornam-se, simultaneamente, resistentes a outros fungicidas que são afetados pela mesma mutação gênica e/ou pelo mesmo mecanismo de resistência (4). Para *M. graminicola* em cereais, na Inglaterra, menor eficiência de controle tem sido observada para os IDMs flusilazol, propiconazol e tebuconazol, embora o epoxiconazol e o protioconazol permaneçam eficientes no campo (3).

O monitoramento da sensibilidade de *P. pachyrhizi* a fungicidas no Brasil foi iniciado em 2005, utilizando a metodologia de folhas destacadas (5, 11). Valores da dose efetiva para redução de 50% da severidade da doença (DE₅₀), em folhas destacadas, têm sido obtidos por diferentes programas de monitoramento (1, 11, 16). Análises do gene CYP51 mostraram que mutações pontuais e superexpressão do gene CYP51 estão envolvidas na redução de sensibilidade aos IDMs. Entre as mutações detectadas, Y131F, Y131H e K142R são homólogas a mutações encontradas em outros patógenos e as mutações F120L, I145F e I475T também foram encontradas em isolados com maiores valores de DE₅₀ para metconazol, ciproconazol e tebuconazol. Além das mutações em pontos específicos, um aumento da regulação constitutiva do gene CYP51, de até dez vezes, foi observado em alguns dos isolados menos sensíveis aos IDMs (16).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a sensibilidade de populações do fungo *P. pachyrhizi*, coletadas em diferentes regiões produtoras de soja no Brasil, nas safras 2008/09, 2009/10 e 2010/11, para os IDMs tebuconazol, ciproconazol, metconazol e protioconazol.

Para o monitoramento da sensibilidade de *P. pachyrhizi* aos IDMs foram utilizadas amostras de folhas de soja infectadas provenientes de lavouras de diferentes regiões produtoras, em diferentes estádios fenológicos, nas safras 2008/09, 2009/10 e 2010/11.

As folhas foram coletadas, acondicionadas em sacos de papel e transportadas para o laboratório. Quando as amostras foram coletadas por terceiros, as mesmas foram enviadas por serviço de encomendas expressas até o laboratório. Várias amostras foram perdidas, sendo que as principais razões que inviabilizaram o aproveitamento das amostras foram: a coleta de amostras com umidade, o período decorrido entre a coleta e o recebimento das amostras, as altas temperaturas durante o transporte, o envio de quantidade insuficiente de folhas, o envio de folhas com baixa severidade e o envio de folhas com esporos inviáveis (coleta de folhas com lesões velhas ou de áreas que receberam aplicações de fungicidas). As amostras foram recebidas entre os meses de janeiro a abril. O tempo médio entre o envio e recebimento das amostras no laboratório variou com a distância do local de coleta e método de transporte, ocorrendo no mesmo dia em algumas coletas e demorando até sete dias quando enviadas por meio de encomendas expressas de regiões distantes do laboratório.

Após recebimento, o material foi armazenado em câmara fria a 5°C até o seu processamento, que foi realizado em até 48 horas. O monitoramento da sensibilidade do fungo *P. pachyrhizi* foi realizado de acordo com a metodologia de folhas destacadas (5, 11).

Foram avaliados os fungicidas IDMs tebuconazol (Folicur[®], Bayer CropScience), ciproconazol (Alto 100[®], Syngenta), metconazol (Caramba[®], Basf) e protioconazol (Proline[®], Bayer CropScience), nas concentrações de zero; 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8; 16 e 32 mg L⁻¹ (ppm). Nas safras 2009/10 e 2010/11, as concentrações de protioconazol foram reduzidas para zero; 0,031; 0,065; 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 4 e 8 mg L⁻¹, uma vez que em 2008/09 100% de controle da ferrugem ocorreu na concentração de 0,25 mg L⁻¹ para esse fungicida, não sendo possível estimar a DE₅₀ nessa safra.

Plantas de soja sadias da cultivar CD 219 RR foram periodicamente cultivadas em casa de vegetação, na ausência da ferrugem, para a coleta de folhas unifolioladas com até três semanas de idade. As folhas foram imersas nas diferentes concentrações de fungicida, por aproximadamente três segundos. As folhas tratadas foram colocadas sobre papel de filtro saturado com água destilada, com a face abaxial voltada para cima, em placas de Petri de 15 cm de diâmetro. A inoculação das folhas foi realizada entre 12 a 20 horas após o tratamento.

Os esporos de *P. pachyrhizi* utilizados na inoculação foram coletados por sucção a vácuo das amostras de folhas recebidas. A germinação dos esporos das amostras foi determinada previamente a instalação dos experimentos. Para a quantificação da porcentagem de esporos viáveis, 1 mL de suspensão de esporos foi colocada em placas de Petri de 9 cm de diâmetro, contendo ágar-água. As placas foram incubadas em BOD a 23°C \pm 2°C, no escuro. Após 4 horas foi quantificada a porcentagem de esporos germinados contando-se 100 esporos ao acaso sob microscópio ótico com aumento de 10X. Os esporos foram considerados germinados quando o comprimento do tubo germinativo ultrapassou o diâmetro do esporo. Foram realizadas duas repetições (placas) por amostra, contando-se quatro campos em cada placa. Os experimentos foram instalados somente para amostras com germinação de esporos superior a 10%. Buscou-se obter a concentração máxima de cada amostra em razão da baixa porcentagem de germinação de esporos das amostras recebidas. Para inoculação, a suspensão de esporos (100 mL) foi preparada com água destilada e tween 20 (0,1

mg L⁻¹). As folhas foram inoculadas borrifando-se a face abaxial com auxílio de aerógrafo.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado para cada população e fungicida, com quatro repetições de cada concentração, sendo a unidade experimental constituída por uma placa de Petri de 15 cm de diâmetro contendo três folhas de soja.

Após a inoculação, as placas foram incubadas em saco plástico vedado umedecido para manter a umidade, em câmaras de crescimento, com temperatura de 23°C ± 2° C, 12 horas de fotoperíodo, por 15 dias. Após 15 dias foi realizada a avaliação da severidade da ferrugem nas folhas, com auxílio de escala diagramática (6).

Para cada população do fungo, foi aplicado o modelo de regressão linear probit entre porcentagem de controle e logaritmo na base 10 das concentrações (doses) dos fungicidas. Os parâmetros do modelo probit e as estimativas das DE₅₀ foram obtidos utilizando PROC PROBIT do sistema SAS® Versão 9.1.3. (14). O coeficiente chi-quadrado de Pearson foi usado para verificar a qualidade do ajuste ($p > 0,01$). As DE₅₀ só foram estimadas quando as folhas inoculadas e não tratadas apresentaram severidade superior a 10%. Foi realizada análise de correlação entre os valores de DE₅₀ dos fungicidas para verificar a resistência cruzada entre os fungicidas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram determinados os valores de DE₅₀ das amostras de *P. pachyrhizi* de nove Estados brasileiros em 2009 (37 amostras) (Tabela 1), oito em 2010 (45 amostras) (Tabela 2) e seis em 2011 (16 amostras) (Tabela 3). Não foi possível estabelecer as DE₅₀ para todos os fungicidas em todos os locais em razão da severidade da doença inferior a 10% nas folhas não tratadas em alguns experimentos. Essa severidade ocorreu em razão da baixa porcentagem de esporos viáveis em algumas das amostras recebidas do campo. A maior porcentagem de aproveitamento das amostras ocorreu no Estado do Paraná, em razão da coleta e transporte imediato para o laboratório.

Para tebuconazol, os valores da DE₅₀ para as populações de *P. pachyrhizi* variaram de 0,001 mg L⁻¹ a 1,49 mg L⁻¹, com medianas de 0,22 mg L⁻¹, 0,25 mg L⁻¹ e 0,23 mg L⁻¹, nas safras 2008/09, 2009/10 e 2010/11, respectivamente (Tabelas 1 a 3). Na safra 2008/09 as populações de Uberlândia, MG, e São Gabriel do Oeste, MS, coletadas no mês de março, foram as que apresentaram a maior sensibilidade e a população de Ponta Porã, MS, coletada em março, foi a menos sensível (Tabela 1). Para a safra 2009/10, as populações mais sensíveis foram as de Campo Verde, MT, e Holambra, SP, coletadas no mês de fevereiro e janeiro, respectivamente, enquanto que as menos sensíveis foram as de Campo Mourão e Mauá da Serra, PR, coletadas em março (Tabela 2). Na safra 2010/11, a população de Santa Bárbara do Sul, RS, foi a mais sensível e a população de Ponta Grossa, PR, apresentou-se a menos sensível, ambas coletadas no mês de março (Tabela 3).

Os valores da DE₅₀ para ciproconazol variaram de 0,001 mg L⁻¹ a 3,27 mg L⁻¹. As medianas do valor da DE₅₀ foram 0,44 mg L⁻¹, 0,36 mg L⁻¹ e 0,12 mg L⁻¹, nas safras 2008/09, 2009/10 e 2010/11, respectivamente (Tabelas 1 a 3). Em 2008/09, a população de Londrina, PR, coletada em janeiro foi a mais sensível e a menos sensível foi a população de Goiânia, GO, coletadas em abril (Tabela 1). Em 2009/10, a população de Uberlândia, MG, coletada em fevereiro foi a mais sensível e a menos sensível foi a de Itaberá, SP, coletada no mês de março (Tabela 2). Na safra 2010/11, a população de Santa Maria, RS, coletada em abril, foi a mais sensível e a menos sensível foi a população de Mauá da Serra, PR, coletada no mês de fevereiro (Tabela 3).

Para o fungicida metconazol, os valores da DE₅₀ variaram de 0,004 mg L⁻¹ a 3,89 mg L⁻¹, com medianas de 0,35 mg L⁻¹, 0,49 mg L⁻¹ e 0,17 mg L⁻¹, nas safras 2008/09, 2009/10 e 2010/11, respectivamente (Tabelas 1 a 3). Em 2008/09, a população de Londrina, PR, coletada em janeiro foi a mais sensível e a população de Goiânia, GO, coletada no mês de abril foi a menos sensível, semelhante à ciproconazol (Tabela 1). Em 2009/10 as populações mais e menos sensíveis ao metconazol foram respectivamente as de Holambra, SP, e a de São Gabriel do Oeste, MS, ambas coletadas no mês de fevereiro (Tabela 2). Em 2010/11, a população de Dourados, MS, coletada em março foi a mais sensível e, da mesma forma que para o tebuconazol, a população de Ponta Grossa, PR, coletada no mês de março foi a menos sensível (Tabela 3).

O fungicida protioconazol apresentou os menores valores de DE₅₀, variando de 0,000001 mg L⁻¹ a 0,39 mg L⁻¹. A mediana da DE₅₀ foi de 0,05 mg L⁻¹ e 0,04 mg L⁻¹, nas safras 2009/10 e 2010/11, respectivamente (Tabelas 2 e 3). Em 2009/10, a população mais sensível foi a de Campo Verde, MT, coletadas no mês de fevereiro e a população menos sensível foi a de Palmeira, PR, coletada em março de 2010 (Tabela 2). Na safra 2010/11 a população de Pitanga, PR, coletada em março apresentou-se a mais sensível e a de Dourados, MS, coletado em março, a menos sensível, semelhante à metconazol (Tabela 3).

As medianas de DE₅₀ para os fungicidas avaliados foram inferiores a 0,5 mg L⁻¹, sendo que o fungicida protioconazol foi o que apresentou a maior atividade intrínseca, com menores valores de DE₅₀. Valores de DE₅₀ acima de 1 mg L⁻¹ só não foram observados para o fungicida protioconazol (Tabelas 2 e 3). Os valores de DE₅₀ apresentaram distribuição aleatória, considerando os meses de coleta e regiões.

A correlação (r) entre as DE₅₀ dos quatro fungicidas foi significativa ($p < 0,05$), utilizando as populações dos três anos (Tabela 4), variando de 0,38 (tebuconazol x ciproconazol) a 0,71 (tebuconazol x protioconazol), mostrando a existência da resistência cruzada para fungicidas com mesmo modo de ação. A resistência cruzada entre IDMs é relatada em outros patossistemas, podendo ser maior ou menor em função das mutações envolvidas (3, 4).

Schmitz et al. (16) avaliando a sensibilidade de isolados de *P. pachyrhizi* coletados no Brasil durante a safra 2009/2010, encontraram valores de medianas de DE₅₀ de 2,2 mg L⁻¹ para ciproconazol e metconazol; 2,3 mg L⁻¹ para o epoxiconazol e 2,5 mg L⁻¹ para o tebuconazol. As medianas foram maiores do que os valores observados neste trabalho, o que pode ser explicado pela diferença na metodologia, onde foram tratadas plantas para posterior coleta das folhas para inoculação. O isolado referência de sensibilidade utilizado por Schmitz et al., (16), coletado em 2004, apresentou valores de DE₅₀ de 0,01 mg L⁻¹ para todos os fungicidas. No monitoramento realizado neste trabalho, os menores valores de DE₅₀ para os fungicidas avaliados não ocorreram sempre para o mesmo isolado.

Blum (1) utilizando um isolado descrito como sensível coletado em 2004, obteve valores de DE₅₀ variáveis entre repetição do mesmo experimento e em função da variável utilizada para estimar a DE₅₀ (lesões ou número de pústulas por cm²). Os valores de DE₅₀ obtidos utilizando a metodologia de folhas destacadas variaram de 0,89 mg L⁻¹ a 3,06 mg L⁻¹ para ciproconazol, 2,5 mg L⁻¹ a 2,61 mg L⁻¹ para metconazol e 0,41 mg L⁻¹ a 0,81 mg L⁻¹ para tebuconazol. A variação de valores entre repetição do mesmo experimento e de acordo com a variável utilizada ressalta a importância da padronização do método e também dificulta a comparação de valores obtidos por diferentes laboratórios. O isolado descrito como sensível no estudo de Blum (1) apresentou valores maiores do que o isolado sensível do estudo de Schmitz et al. (16). Para metconazol, com exceção de três populações de 2009, todas apresentaram valores inferiores ao valor do isolado sensível obtidos

Tabela 1. Municípios, estados e mês de coleta (1 – janeiro, 2 – fevereiro, 3 – março e 4 – abril) de folhas infectadas com *Phakopsora pachyrhizi* e valores da dose efetiva para reduzir 50% da severidade da ferrugem (DE₅₀) para os fungicidas tebuconazol (TBZ), ciproconazol (CPZ) e metconazol (MTZ), na safra 2008/09.

Local (mês da coleta)	TBZ	CPZ	MTZ
Barreiras, BA (3)	-	0,19	0,40
Luiz Eduardo Magalhães, BA (3)	1,09	0,47	0,71
Goiânia, GO (3)	0,18	0,59	0,35
Goiânia, GO (3)	0,39	0,25	0,28
Goiânia, GO (4)	0,73	1,37	3,89
Balsas, MA (3)	0,43	-	-
Uberaba, MG (3)	0,32	0,17	0,23
Uberlândia, MG (2)	0,10	0,29	-
Uberlândia, MG (3)	0,02	1,35	1,12
Uberlândia, MG (3)	-	-	0,34
Chapadão Sul, MS (3)	0,10	0,19	0,18
Chapadão Sul, MS (3)	0,08	0,44	1,33
Ponta Porã, MS (2)	-	-	0,03
Ponta Porã, MS (3)	1,28	0,25	0,60
São Gabriel do Oeste, MS (3)	0,02	0,42	0,04
Primavera do Leste, MT (3)	-	-	0,23
Ventania, PR (4)	0,05	0,40	0,23
Arapongas, PR (3)	-	0,11	0,29
Campo Mourão, PR (3)	-	0,27	-
Castro, PR (4)	0,47	0,44	0,79
Curiúva, PR (4)	0,21	1,04	0,53
Londrina, PR (1)	0,11	0,06	0,02
Londrina, PR (3)	0,32	0,64	0,32
Londrina, PR (3)	0,22	-	0,15
Londrina, PR (4)	0,23	0,48	0,41
Mauá da Serra, PR (3)	0,14	0,45	1,02
Pitanga, PR (3)	0,99	-	1,23
Pitanga, PR (3)	0,39	0,14	1,04
Ponta Grossa, PR (4)	0,63	0,68	0,83
Ponta Grossa, PR (4)	0,19	0,68	0,04
Mauá da Serra, PR (4)	1,12	1,32	2,64
Espumoso, RS (3)	0,67	0,61	2,51
Passo Fundo, RS (4)	0,71	0,87	1,74
Holambra, SP (3)	0,06	0,24	0,13
Holambra, SP (3)	0,16	0,28	0,27
Iracemápolis, SP (3)	0,11	0,77	0,22
Itaberá, SP (3)	-	0,96	-
Mediana	0,22	0,44	0,35
Valor mínimo	0,02	0,06	0,02
Valor máximo	1,28	1,37	3,89

Tabela 2. Municípios, estados e mês de coleta (1 – janeiro, 2 – fevereiro, 3 – março e 4 – abril) de folhas infectadas com *Phakopsora pachyrhizi* e valores da dose efetiva para reduzir 50% da severidade da ferrugem (DE₅₀) para os fungicidas tebuconazol (TBZ), ciproconazol (CPZ), metconazol (MTZ) e protioconazol (PTZ), na safra 2009/10.

Local (mês da coleta)	TBZ	CPZ	MTZ	PTZ
Senador Canedo, BA (3)	0,14	0,27	0,36	0,05
Goianópolis, GO (2)	0,30	0,52	0,17	0,04
Senador Canedo, BA (3)	0,14	0,27	0,36	0,05
Uberlândia, MG (2)	0,20	0,08	0,72	0,04
Chapadão do Sul, MS (1)	0,20	0,35	0,94	0,03
Ponta Porã, MS (2)	0,20	0,20	0,57	0,03
São Gabriel do Oeste, MS (2)	0,21	0,55	1,72	0,07
Campo Verde, MT (2)	0,08	0,30	0,16	0,02
Primavera do Leste, MT (2)	0,09	0,31	0,33	0,03
Rondonópolis, MT (3)	0,71	0,80	1,61	0,06
Arapoti, PR (3)	0,15	0,14	0,38	0,03
Campo Mourão, PR (3)	0,97	0,96	0,46	0,12
Cascavel, PR (3)	0,16	0,18	0,16	0,06
Cascavel, PR (3)	0,41	0,83	1,28	0,08
Castro, PR (3)	0,33	0,20	0,14	0,05
Imbituva, PR (3)	0,34	0,28	0,42	0,08
Londrina, PR (1)	0,27	0,13	0,21	-
Londrina, PR (2)	0,23	0,22	0,14	0,03
Londrina, PR (2)	0,19	0,82	0,54	0,05
Londrina, PR (2)	0,36	0,40	0,77	0,05
Mauá da Serra, PR (2)	-	0,30	0,16	-
Mauá da Serra, PR (3)	0,11	0,44	0,54	-
Mauá da Serra, PR (3)	0,55	0,32	0,71	-
Mauá da Serra, PR (3)	0,97	1,10	1,56	0,13
Palmeira, PR (3)	0,53	0,42	1,04	0,14
Palotina, PR (2)	0,18	0,13	0,20	0,04
Palotina, PR (3)	0,21	0,21	0,75	0,05
Pitanga, PR (2)	-	0,26	0,62	0,03
Pitanga, PR (3)	0,27	-	-	-
Pitanga, PR (3)	0,41	0,45	0,45	0,04
Ponta Grossa, PR (2)	0,13	0,24	-	0,04
Ponta Grossa, PR (2)	0,55	0,53	0,52	0,09
Ponta Grossa, PR (3)	0,43	-	0,83	-
Ponta Grossa, PR (3)	0,46	0,39	0,45	0,06
Ponta Grossa, PR (3)	0,32	0,35	1,02	0,11
Renascença, PR (3)	0,09	-	0,10	-
Ventania, PR (3)	0,54	0,40	-	0,04
Londrina, PR (2)	0,16	0,37	0,18	0,03
Passo Fundo, RS (3)	0,69	0,22	-	-
Santa Bárbara, RS (3)	0,30	0,40	0,38	0,09
Assis, SP (2)	0,22	0,50	-	0,06
Assis, SP (3)	0,30	0,70	0,70	0,11
Holambra, SP (1)	0,08	0,36	0,17	0,04
Holambra, SP (2)	-	0,41	0,06	0,03
Holambra, SP (3)	0,21	0,19	0,66	0,05
Itaberá, SP (3)	0,22	1,23	0,61	0,08
Mediana	0,25	0,36	0,49	0,05
Valor mínimo	0,08	0,08	0,06	0,02
Valor máximo	0,97	1,23	1,72	0,14

Tabela 3. Municípios, estados e mês de coleta (1 – janeiro, 2 – fevereiro, 3 – março e 4 – abril) de folhas infectadas com *Phakopsora pachyrhizi* e valores da dose efetiva para reduzir 50% da severidade da ferrugem (DE₅₀) para os fungicidas tebuconazol (TBZ), ciproconazol (CPZ), metconazol (MTZ) e protioconazol (PTZ), na safra 2010/11.

Local (mês da coleta)	TBZ	CPZ	MTZ	PTZ
Jataí, GO (3)	0,2473	-	0,1822	0,1833
Uberlândia, MG (2)	0,2408	-	1,2393	0,0813
Dourados, MS (2)	0,0711	-	0,1799	-
Dourados, MS (3)	-	0,1230	0,0045	0,3956
Apucarana, PR (2)	0,9537	0,6021	0,0135	0,0042
Califórnia, PR (2)	0,2299	1,4376	0,0518	0,0098
Jardim Alegre, PR (4)	0,0465	0,2056	-	-
Londrina, PR (1)	0,2776	0,0377	0,2688	-
Londrina, PR (3)	0,0189	0,0266	0,0308	0,0037
Mauá da Serra, PR (2)	0,3362	3,2680	0,1702	-
Mauá da Serra, PR (2)	0,0257	-	-	-
Pitanga, PR (3)	0,0035	0,0054	-	0,000001
Ponta Grossa, PR (3)	1,4904	0,0062	1,5807	-
Santa Bárbara do Sul, RS (3)	0,0012	-	-	-
Santa Maria, RS (4)	0,1309	0,0013	-	-
Mogi Mirim, SP (3)	0,8450	0,7525	-	0,1245
Mediana	0,2299	0,1230	0,1751	0,0456
Valor mínimo	0,0012	0,0013	0,0045	0,000001
Valor máximo	1,4904	3,2680	1,5807	0,3956

Tabela 4. Correlações (*r*) entre os valores de doses efetivas para reduzir 50% da severidade da ferrugem-asiática (DE₅₀) para os fungicidas tebuconazol, ciproconazol, metconazol e protioconazol, nas safras 2008/09, 2009/10 e 2010/11.

Fungicidas	<i>r</i> (<i>p</i> <0,05)
Tebuconazol x ciproconazol	0,39
Tebuconazol x metconazol	0,51
Tebuconazol x protioconazol	0,71
Ciproconazol x metconazol	0,61
Ciproconazol x protioconazol	0,55
Metconazol x protioconazol	0,48

por Blum (1). Para ciproconazol, todas as populações apresentaram valores inferiores ao valor superior obtido por Blum (1), para o isolado descrito como sensível.

Os fungicidas tebuconazol e ciproconazol têm sido incluídos em ensaios em rede realizados em diferentes regiões produtoras, com o objetivo de monitorar a sensibilidade do fungo *P. pachyrhizi* a esses ingredientes ativos. Entre 2008 a 2011, período no qual foi realizado o monitoramento, a média de eficiência desses fungicidas nos ensaios foi estável e baixa (33% de controle) (7, 8, 9). A variação na DE₅₀ no monitoramento mostra uma coexistência de populações com diferentes níveis de sensibilidade aos IDMs no campo. Em função da extensa janela de semeadura da soja e das aplicações frequentes de fungicidas

na cultura, é natural que populações menos sensíveis sejam selecionadas quando ocorrem aplicações sequenciais do mesmo fungicida, como ocorreu com os IDMs (10). Esse fato ressalta a necessidade de adotar estratégias antirresistência no início das recomendações de controle com novos fungicidas para retardar a seleção de isolados menos sensíveis/resistentes aos fungicidas, prolongando a vida útil dos mesmos. A adoção de estratégias de manejo conjuntas, com rigor na execução do vazio sanitário, semeadura de cultivares precoces no início da época recomendada, limitando a janela de semeadura e a utilização de cultivares com genes de resistência podem contribuir para redução de pressão de seleção de resistência aos fungicidas na cultura da soja.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos pesquisadores de empresas do FRAC (Comitê de Ação à Resistência de Fungicidas) e Nortox e aos pesquisadores da Fundação Mato Grosso, Embrapa trigo, Fundação ABC, Tagro e Universidade de Rio Verde pelo envio de amostras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Blum, M.M.C. **Sensibilidade de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas.** 2009. 164f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo.
- Consórcio Antiferrugem. **Conheça a ferrugem:** Tabela de custo. Disponível em: <<http://www.consorcioantiferrugem.net/>> Acesso em: 22 de out. 2014.
- Cools, H.J.; Fraaije, B.A. Resistance to azole fungicides in *Mycosphaerella graminicola*: mechanisms and management. In: Thind, T.S. **Fungicide resistance in crop protection:** risk and management. London, UK: CABI, 2012, cap.5, p.64-77.
- Erickson, E.O.; Wilcox, W.F. Distributions of sensitivities to three sterol demethylation inhibitor fungicides among populations of *Uncinula necator* sensitive and resistant to triadimefon. **Phytopathology** v.87, n.8 p.784-791, 1997.
- FRAC Monitoring Methods. Disponível em: <http://www.frac.info/frac/Monitoring_Methods/anhang/PHAKPA_detached_leaf_monitoring_method_BCS_2006_V1.pdf> Acesso em: 22 out. 2014
- Godoy, C.V.; Koga, L.J.; Canteri, M.G. Diagrammatic scale for assessment of soybean rust severity. **Fitopatologia Brasileira**, Lavras, v.31, p.63 - 68, 2006.
- Godoy C.V.; Silva L.H.C.P.; Utiamada C.M.; Siqueri, F.V.; Lopes, I.O.N.; Roesse, A.D.; Machado, A.Q.; Forcelini, C.A.; Pimenta, C.B.; Nunes, C.D.M.; Cassetari Neto, D.; Jaccoud Filho, D.S.; Fornarolli, D.A.; Miguel-Wruck, D.S.; Ramos Junior, E.U.; Borges, E.P.; Juliatti, F.C.; Feksa, H.R.; Campos, H.D.; Nunes Junior, J.; Silva, J.R.C.; Costamilan, L.M.; Carneiro, L.C.; Sato, L.N.; Canteri, M.G.; Ito, M.A.; Iamamoto, M.M.; Ito, M.F.; Meyer, M.C.; Costa, M.J.N.; Dias, M.D.; Martins, M.C.; Lopes, P.V.L.; Souza, P.I.M.; Barros, R.; Balardin, R.S.; Igarashi, S.; Silva, S.A.; Furlan, S.H.; Carlin, V.J. **Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2008/09:** resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 8p. (Embrapa Soja. Circular Técnica 69).
- Godoy C.V.; Utiamada C.M.; Silva L.H.C.P.; Siqueri, F.V.; Henning, A.A.; Roesse, A.D.; Forcelini, C.A.; Pimenta, C.B.; Nunes, C.D.M.; Jaccoud Filho, D.S.; Miguel-Wruck, D.S.; Ramos Junior, E.U.; Borges, E.P.; Del Ponte, E.M.; Juliatti, F.C.; Feksa, H.R.; Campos, H.D.; Nunes Junior, J.; Silva, J.R.C.; Navarini, L.; Carneiro, L.C.; Sato, L.N.; Prado, M.D.R.; Canteri, M.G.; Madalosso, M.; Ito, M.A.; Cunha, M.G.; Ito, M.F.; Meyer, M.C.; Melo, R.A.C.; Balardin, R.S.; Igarashi, S.; Silva, S.A.; Furlan, S.H.; Dalla Nora, R.; Carlin, V.J. **Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2009/10:** resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 8p. (Embrapa Soja. Circular Técnica 80).
- Godoy, C.V.; Utiamada, C.M.; Silva, L.H.C.P.; Siqueri, F.V.; Henning, A.A.; Roesse, A.D.; Forcelini, C.A.; Pimenta, C.B.; Jaccoud Filho, D.S.; Ramos Junior, E.U.; Borges, E.P.; Del Ponte, E.M.; Juliatti, F.C.; Feksa, H.R.;

- Campos, H.D.; Nunes Junior, J.; Silva, J.R.C.; Costamilan, L.M.; Lucas, N.; Carneiro, L.C.; Sato, L.N.; Canteri, M.G.; Madalosso, M.; Ito, M.A.; Cunha, M.G.; Ito, M.F.; Meyer, M.C.; Melo, R.A.C.; Balardin, R.S.; Igarashi, S.; Silva, S.A.; Furlan, S.H.; Nora, T.D.; Carlin, V.J. **Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2010/11**: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 8p. (Embrapa Soja. Circular Técnica 87).
10. Godoy, C.V. Risk and management of fungicide resistance in the Asian soybean rust fungus *Phakopsora pachyrhizi*. In: Thind, T.S. **Fungicide Resistance in Crop Protection**: Risk and management. London, UK: CABI, 2012. cap.7, p.87-95.
 11. Mehl, A. (2009) *Phakopsora pachyrhizi*: sensitivity monitoring and resistance management strategies for DMI and QoI fungicides. In: Congresso Brasileiro de Soja, 5., 2009, Goiânia; Mercosoja, 2009, Goiânia. Soja: fator de desenvolvimento do Cone Sul. **Anais**. Londrina: Embrapa Soja, 2009. 1 CD-ROM.
 12. Patil, P.V.; Anahosur, K.H. Control of soybean rust by fungicides. **Indian Phytopathology**, New Delhi, v. 51, p. 265-268, 1998.
 13. Pivonia S.; Yang X.B. Assessment of the potential year-round establishment of soybean rust throughout the world. **Plant Disease**, St Paul, v.88, p.523-529, 2004.
 14. SAS/STAT®Versão 9.1.3 do sistema SAS para Windows, copyright© 1999-2001. Cary: SAS Institute Inc., 2001.
 15. Scherm, H.; Christiano, R.S.C.; Esker, P.D.; Del Ponte, E.M.; Godoy, C.V. Quantitative review of fungicide efficacy trials for managing soybean rust in Brazil. **Crop Protection**, v.8, p.774-782, 2009.
 16. Schmitz, H.K.; Medeiros, C.A.; Craig, I.R.; Stammler, G. Sensitivity of *Phakopsora pachyrhizi* towards quinone-outside-inhibitors, and corresponding resistance mechanisms. **Pest Management Science**, n.70, v.3, p.378-88, 2014.
 17. Sinclair J.B.; Hartman G.L. Management of Soybean Rust. In: Proceedings of the Soybean Rust Workshop, 1, 1995, Urban. Urbana: College of agricultural, Consumer, and Environmental Sciences, National Soybean Research Laboratory Publication, 1996.
 18. Sinclair, J.B.; Hartman, G. L. Soybean rust. In: Hartman, G.L., Sinclair, J.B.; Rupe, J.C. (Eds.) **Compendium of soybean diseases**. 4 ed. St. Paul. American Phytopathological Society, 1999.p. 25-26,
 19. **Tecnologias de produção de soja**: Região Central do Brasil 2014. Londrina: Embrapa Soja, 2013. 266p. (Embrapa Soja. Sistemas de produção, 16).
 20. Wyand, R.A.; Brown, J.K.M. Sequence variation in the *CYP51* gene of *Blumeria graminis* associated with resistance to sterol demethylase inhibiting fungicides. **Fungal Genetics and Biology**, v.42, n.8, p. 726-735, 2005.
 21. Yorinori, J.T.; Paiva, W.M.; Frederick, R.D.; Costamilan, L.M.; Bertagnolli, P.F.; Hartman, G.E.; Godoy, C.V.; Nunes Junior, J. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay. **Plant Disease**, St Paul, v.89, p. 675-677, 2005.