

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

OLAVO CORRÊA DA SILVA

**DANOS CAUSADOS PELO MÍLDIO DA SOJA E USO DE FOSFITOS E
ACIBENZOLAR-S- METHYL NO MANEJO DAS DOENÇAS DA CULTURA**

CURITIBA

2011

OLAVO CORRÊA DA SILVA

DANOS CAUSADOS PELO MÍLDIO DA SOJA E USO DE FOSFITOS E
ACIBENZOLAR-S-METHYL NO MANEJO DAS DOENÇAS DA CULTURA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientadora: Profa. Dra. Louise Larissa May De Mio

Coorientadores: Prof. Dr. Cícero Deschamps

Profa. Dra. Maristella Dalla Pria

CURITIBA

2011

Dedico este trabalho aos meus filhos Natália, Paola e Thiago. A minha esposa, Marineide, e aos meus pais, Walter e Praxedes, pelo carinho e apoio recebido.

AGRADECIMENTO

A Deus que a cada dia ilumina mais meu caminho com luz, força e determinação.

Ao apoio da minha família que esteve presente em todas as etapas deste trabalho.

Minha gratidão a orientadora, professora Louise Larissa May de Mio, aos coorientadores, professor Cícero Deschamps e professora Maristella Dalla Pria, e aos mestres que repartiram comigo seus conhecimentos, aprimorando ainda mais meu trabalho.

Um agradecimento especial a Fundação ABC e a colega Hellen A. dos Santos pelo apoio a este trabalho e a sua participação e colaboração na execução.

Agradeço a Dow AgroSciences pelo apoio que recebi para que pudesse concluir os estudos.

Aos colegas que contribuíram de forma direta ou indireta para melhorar o conteúdo deste trabalho.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Olavo Corrêa da Silva, nascido em Capinzal, SC, em 15 de maio de 1966.

Fez graduação em engenharia Agrônômica, na Universidade Federal do Paraná, Curitiba, nos anos de 1986 a 1990. cursou o mestrado em Crop Sciences na Universidade Wageningen Agricultural University, Wageningen, Holanda de 2000 a 2002.

Iniciou sua vida profissional na Cvale - Cooperativa Agrícola Vale do Piquiri, como responsável pelo Campo Experimental, no período de 1991 a 1995. Após transferiu para a Fundação ABC, para Assistência e Divulgação Técnica Agropecuária, como coordenador de pesquisa de 1996 a 2009. Atualmente trabalha na Dow AgroSciences, atuando como pesquisador e especialista em fungicidas.

Em 2007 ingressou no curso de Doutorado em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, no Departamento de Fitoctenia e Fitossanitarismo no setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, com sua pesquisa voltada aos danos causados pelo míldio da soja e uso de fosfitos e acibenzolar-s-methyl no manejo das doenças da cultura.

| SUMÁRIO | Páginas |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| RESUMO | |
| ABSTRACT | |
| 1 INTRODUÇÃO GERAL | 7 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA | 9 |
| 2.1 Principais doenças da soja..... | 9 |
| 2.1.1 Míldio da soja - <i>Peronospora manshurica</i> | 9 |
| 2.1.2 Ferrugem asiática da soja - <i>Phakopsora pachyrhizi</i> | 11 |
| 2.1.3 Oídio da soja - <i>Microsphaera diffusa</i> | 12 |
| 2.2 Fosfitos no manejo de doenças | 13 |
| 2.2.1 Fosfitos no controle de oomicetes | 14 |
| 2.2.2 Fosfitos no controle de fungos | 15 |
| 2.2.3 Modo de ação dos fosfitos | 16 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 17 |
| 3 ARTIGOS CIENTÍFICOS..... | 24 |
| 3.1 Danos causados pelo míldio em soja | 24 |
| 3.2 Potassium phosphite for the control of downy mildew in soybean | 46 |
| 3.3 Fontes de fosfito e acibenzolar-S-metílico associados a fungicidas para o controle de doenças foliares na cultura da soja | 71 |
| 4 CONCLUSÕES GERAIS | 98 |

RESUMO

O míldio da soja, causada pelo oomicete *Peronospora manshurica* é uma doença amplamente disseminada nas principais regiões produtoras do mundo e do Brasil, no entanto seu dano ainda é pouco estudado. O controle da doença no Brasil, apesar do uso de genótipos suscetíveis em extensa área, tem sido negligenciado devido ao fato de doenças como a ferrugem asiática e oídio estarem a frente como principal alvo para o manejo fitossanitário da cultura. Os fosfitos vêm sendo utilizados no controle de doenças, principalmente causados por oomicetes, em várias culturas devido a sua ação direta e/ou indireta sobre patógenos, na cultura da soja poucos estudos foram realizados. Os objetivos específicos deste trabalho foram estudar, (a) os componentes de rendimento afetados pelo míldio e determinar as equações do coeficiente de dano; (b) o uso do fosfito no controle do míldio e seu efeito sobre a área foliar; (c) a interação do uso do fosfito com a aplicação de fungicida no controle do míldio; (d) efeito dos fosfitos como fonte nutricional; (e) a correlação entre a severidade do míldio nas folhas e a incidência do patógeno nas sementes; (f) fontes comerciais de fosfito e acibenzolar-S-metílico associados à fungicida no controle de míldio, oídio (*Microsphaera diffusa*) e ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*). Foram conduzidos sob condições de campo seis experimentos, cinco em Ponta Grossa, nas safras 2006/2007 e 2007/2008, e um em Castro, 2008/2009, no estado do Paraná, sul do Brasil. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados para os experimentos de danos causados pelo míldio em soja e de fontes de fosfito e acibenzolar-S-metílico em um programa de fungicida da soja. No experimento de fosfito de potássio para o controle de míldio em soja foi utilizado o delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial. O cultivar CD 215, em sistema de semeadura direta, foi utilizado em todos os estudos. Dentre os componentes de rendimento avaliados, somente o peso de 1000 grãos foi afetado significativamente pelo míldio. Foram geradas as equações do coeficiente de dano para peso de 1000 grãos e rendimento. Ocorreu correlação positiva entre severidade do míldio na área foliar e incidência do patógeno nas sementes. Houve redução linear da severidade de míldio com o aumento da dose de fosfito, sendo que foi observado aumento significativo do rendimento para a maior dose de fosfito em uma das safras. Foi observado aumento do índice de área foliar com o uso das maiores doses de fosfito. Não houve diferença entre as fontes de fosfito na redução da área abaixo da curva de progresso do míldio e não foi observado efeito do ácido fosfito sobre o oídio e ferrugem asiática.

Palavras-chave: *Peronospora manshurica*, *Glycine max*, ácido fosforoso

ABSTRACT

Downy mildew of soybean, caused by the oomycete *Peronospora manshurica*, is wide spread throughout world and Brazil however the damage is not well studied. The control of this disease in Brazil has been absented and susceptible cultivars have been used widely. Phosphite has been used on agriculture to control diseases, mainly caused by oomycetes, in several crops through its direct and/or indirect effect on pathogens however in soybean few studies were conducted. The specific goals of this study is to evaluated the following: (a) the components of the yield affected by downy mildew and the coefficient of damage; (b) the use of potassium phosphite on the control of downy mildew; (c) the interaction between the use phosphite and fungicide applications on control of *P. manshurica*; (d) the use of phosphite as nutritional source; (e) a correlation between the severity of downy mildew on leaves and the incidence of pathogens on seed; (f) the commercial sources of phosphate and acibenzolar-S-methyl for the control of downy mildew, powdery mildew (*Microsphaera diffusa*) and Asian soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*). Six field experiments were conducted, five were in Ponta Grossa, during the growing season of 2006/2007 and 2007/2008, and one was in Castro in 2008/2009, in the state of Paraná in southern Brazil. The experimental design consisted of completely randomized block for the studies of the damage caused by downy mildew in soybean and commercial sources of phosphate and acibenzolar-S-methyl for the control of downy mildew. For the study of the use of potassium phosphite for the control of downy mildew, the design used was completely randomized block in a factorial arrangement. The cultivar CD 215, in no tillage system, was used in all studies. Among the yield components assessed only the weight of 1000 grain was affected significantly by downy mildew. The damage equations were generated for yield and grain weight. There was a positive correlation between downy mildew severity on leaves and the incidence of the pathogen on seed. There was a linear reduction in the severity of downy mildew with an increase in the rate of phosphite applied, with yield improvement at highest rate of phosphate in one of the season. The highest rate of phosphite provided improvement of leaf area index. There was not difference among commercial source of phosphite to reduce the AUDPC of downy mildew, however anyone effect on powdery mildew and Asian rust was observed.

Key words: *Peronospora manshurica*, *Glycine max*, phosphorus acid

1. INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil, segundo maior produtor mundial de soja, (*Glycine Max*), semeou 23 milhões de hectares e colheu aproximadamente 65 milhões de toneladas do grão na safra 2009/10 (CONAB, 2010), é esperado um aumento de 6,4% na demanda mundial desta oleaginosa para 2010/11 (USDA, 2010). A soja é afetada por mais de 100 patógenos (SINCLAIR; HARTMAN, 1999), e no Brasil mais de 40 doenças, causadas por fungos, bactérias, nematóides e vírus, têm limitado a produtividade e causado prejuízos financeiros pela necessidade do seu controle (PICININI; FERNANDES, 1995; YORINORI et al., 2005).

No Brasil, o uso de fungicidas tem sido utilizado na cultura da soja no controle principalmente da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) e do oídio (*Microsphaera diffusa*) dentre outras doenças. As aplicações ocorrem de forma calendarizada, com 2,3 aplicações em média, são utilizados fungicidas do grupo das estrobilurinas associadas à triazóis (YORINORI et al., 2005; GODOY et al., 2009). Apesar disto, muitas vezes não são suficientes para impedir epidemias do míldio da soja, causada pelo oomycete *Peronospora manshurica* (Naumov) Syd., nas diferentes regiões produtoras do Brasil (YORINORI; HIROMOTO, 1998).

O míldio da soja é uma doença amplamente disseminada nas principais regiões produtoras do mundo (DUNLEAVY, 1987; LIM, 1989) e também ocorre em todas as regiões brasileiras produtoras de soja (EMBRAPA, 2000). Athow (1973) e Dunleavy (1987) relataram, nos Estados Unidos, míldio causando danos entre 8 e 11,8%, apesar destes relatos os danos ainda são pouco estudados e no Brasil nenhum relato foi encontrado. Os principais mecanismos de sobrevivência do míldio são sementes infectadas, plantas voluntárias e restos culturais contendo oósporos (REIS, 1975). As sementes representam um dos principais meios de disseminação e fonte de inóculo primário do patógeno, o percentual de transmissão semente/plântula foi de até 16% sob condições ideais de ambiente (INABA, 1985). As sementes contaminadas por oósporos apresentaram seu peso e teor de proteína reduzidos (MCKENZIE; WYLLIE, 1971; KORETSKY; KOSHEVSKY, 1998). Sinclair e Shurtleff (1975) recomendaram sementes livres de oósporos como manejo desta doença na cultura da soja, sendo que o controle de *P. manshurica* na área foliar pode representar um importante componente de manejo deste patógeno. A resistência genética é um dos principais métodos de controle do míldio da soja, que dois genes maiores, *Rpm* (ERSEK et al., 1982) e *Rpm₂* (LIM, 1989) conferem a resistência. A resistência genética ao míldio não faz parte dos programas

de melhoramento no Brasil e cultivares suscetíveis são amplamente cultivados e o controle específico para o míldio não é citado na cultura (TECNOLOGIAS, 2008).

Os indutores de mecanismos de defesa de plantas, bióticos ou abióticos, poderiam representar um método alternativo e complementar de controle (WORDELL et al., 2007). Os fosfitos, que possuem ação direta sobre patógenos e ativação de mecanismos de defesas das plantas, como produção de fitoalexinas (SMILLIE et al., 1989), também foram empregados no controle de fungos e oomicetes em diversas culturas (MCDONALD et al., 2001; KATSURAYAMA; BONETI, 2002; SÔNEGO; CZERMAINSKI, 2003; SANTOS, 2008). O termo fosfito é o nome genérico empregado para os sais do ácido fosforoso (H_3PO_3) que apresentam elevada solubilidade e grande seletividade (GUEST; GRANT, 1991). No Brasil, os fosfitos são registrados como adubo foliar (TECNOLOGIAS, 2008), vem sendo utilizados no controle de doenças foliares da soja. Acibenzolar-S-metílico (ASM) é um composto sintético, análogo funcional do ácido salicílico, capaz de ativar defesas de plantas, tais como proteínas relacionadas à patogênese, β ,1-3 glucanase e quitinase (KESSMANN et al., 1995). Dallagnol et al., (2006) e Santos (2008) demonstraram aumento da eficiência de fungicidas quando associados a indutores de mecanismos de resistência de plantas no controle de doenças em soja e trigo, respectivamente.

A ampla disseminação do míldio da soja e a utilização de cultivares suscetíveis podem estar causando prejuízos aos produtores brasileiros. Além do que, as sementes podem estar representando a principal fonte de inóculo primário. Desta maneira o presente trabalho teve como objetivo estudar: (a) os componentes de rendimento afetados pelo míldio e determinar as equações do coeficiente de dano; (b) o uso do fosfito no controle do míldio e seu efeito sobre a área foliar; (c) a interação do uso do fosfito com a aplicação de fungicida no controle do míldio; (d) efeito dos fosfitos como fonte nutricional; (e) a correlação entre a severidade do míldio nas folhas e a incidência do patógeno nas sementes; (f) fontes comerciais de fosfito e acibenzolar-S-metílico associados a fungicida no controle de míldio, oídio (*Microsphaera diffusa*) e ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*).

2. REVISÃO DE LITERATURA

Segundo dados do Departamento de Agricultura dos EUA (United States Department of Agriculture, USDA, 2010), na última safra foram produzidos no mundo cerca de 260 milhões de toneladas de soja. O maior produtor mundial foi EUA, com uma área de 30 milhões de hectares e cerca de 90 milhões de toneladas de soja. O Brasil, segundo maior produtor mundial desta oleaginosa, semeou 23 milhões de hectares e colheu aproximadamente 65 milhões de toneladas do grão na safra 2009/10 (CONAB, 2010). A demanda mundial de soja é crescente e para 2010/11 é esperado um aumento de 6,4%, aproximadamente 255 milhões de toneladas (United States Department of Agriculture, USDA, 2010).

A Cultura da soja, *Glycine max* (L.) Merrill, é afetada por mais de 100 patógenos e quase metade destes têm importância econômica (SINCLAIR; HARTMAN, 2009). No Brasil, aproximadamente 40 doenças causadas por fungos, bactérias, nematóides e vírus, têm limitado a produtividade e causado prejuízos financeiros pela necessidade do seu controle (PICININI; FERNANDES, 1995; YORINORI et al., 2005). A produção nacional de soja tem apresentado perdas anuais entre 15% a 20% causadas por doenças (TECNOLOGIA, 2008).

2.1 Principais doenças da Soja

2.1.1 Míldio da soja - *Peronospora manshurica*

O míldio da soja é uma doença amplamente disseminada nas principais regiões produtoras do Brasil (EMBRAPA, 2000) e do mundo (DUNLEAVY, 1987; LIM, 1989). A enfermidade é causada pelo oomicete *Peronospora manshurica* (Naumov) Syd., patógeno biotrófico pertencente ao reino stramenopila, ordem Peronosporales e família Peronosporaceae. As hifas são cenócíticas e os esporangióforos têm coloração cinza ou violeta claro. Os esporângios são sub-hialinos, levemente elípticos a subglobosos e haustório é formada nas células em cultivares suscetíveis. O míldio da soja tem sido relatado em soja e alfafa (SINCLAIR; HARTMAN, 1999).

As condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento da doença são temperaturas amenas, que variam de 20 a 22°C, e umidade elevada, principalmente na fase vegetativa (PICININI; FERNANDES, 2000). A esporulação ocorre com temperaturas entre 10 a 25°C e cessa acima de

30°C e abaixo de 10°C (SINCLAIR; HARTMAN, 1999). Este oomicete paralisa o seu desenvolvimento na fase reprodutiva do hospedeiro (MCKENZIE; WYLLIE, 1971).

Os primeiros sintomas do míldio aparecem sobre as folhas na forma de pontuações amarelas, que evoluem em diâmetro, podem atingir até 5 mm e mais tarde acabam por necrosar. A doença também atinge a haste, a vagem e a semente da soja. Na face abaxial das folhas com lesões amarelas surgem as estruturas de frutificação do fungo, de aspecto cotonoso e coloração levemente rosada a cinza (SINCLAIR; HARTMAN, 1999). Quando o bordo externo da lesão aparece mais escuro do que o centro, várias lesões podem coalescer, formando áreas de tecido foliar morto (HILDEBRAND; KOCK, 1951). Um grande número de sintomas pode ocorrer em uma mesmo cultivar de soja, resultantes da temperatura, idade da planta e raça fisiológica. Um menor número de lesões e grandes em tamanho ocorre em plantas mais novas do que em velhas (WYLLIE; WILLIAMS, 1965).

Os principais mecanismos de sobrevivência do míldio são sementes infectadas, plantas voluntárias e restos culturais contendo oósporos (REIS, 1975). Os oósporos têm coloração marrom-clara ou amarela, apresentam parede reticulada e podem sobreviver nos restos culturais e sementes por vários anos (SINCLAIR; HARTMAN, 1999). As sementes representam um dos principais meios de disseminação e fonte de inóculo primário do patógeno, o percentual de transmissão semente/plântula foi de até 16% sob condições ideais de ambiente (INABA, 1985). Pathak et al., (1978) detectaram oósporos em sementes de soja em mais de 140 amostras coletadas em 17 países, mesmo em amostras com mais de 20 anos de coleção foi observado 20% de viabilidade do patógeno. As sementes contaminadas por oósporos apresentaram seu peso e teor de proteína reduzidos, somado, ainda, ao retardamento da germinação (MCKENZIE; WYLLIE, 1971; KORETSKY; KOSHEVSKY, 1998). Dunleavy (1987) verificou que a aplicação de metalaxyl em dois cultivares suscetíveis reduziu significativamente a incidência de oósporos nas sementes. Sinclair e Shurtleff (1975) recomendaram sementes livres de oósporos ou tratamento das mesmas com fungicidas como manejo desta doença na cultura da soja, o controle de *P. manshurica* na área foliar pode representar um importante componente de manejo deste patógeno.

A resistência genética é um dos principais métodos de controle do míldio da soja, dois genes maiores, *Rpm* (ERSEK et al., 1982) e *Rpm₂* (LIM, 1989), conferem resistência. As primeiras raças fisiológicas deste patógeno foram relatadas por Geeseman (1950) em cinco variedades diferenciais. No Brasil não existem relatos a respeito da ocorrência de raças fisiológicas, apesar de terem sido descritas mais de 35 raças no mundo (LIM, 1989). Athow (1973) relatou nos Estados Unidos

redução no rendimento de grãos de até 8%. Dunleavy (1987) avaliou dois cultivares suscetíveis, em dois anos de pesquisa nos EUA, com mais de 98% de incidência de *P. manshurica*, e observou dano médio de 11,8%. Os danos estavam relacionados à redução do peso de grãos, semelhantes aos resultados obtidos por Koretsky e Koshevsky (1998). A resistência genética ao míldio não faz parte dos programas de melhoramento no Brasil por ser considerada uma doença de baixo potencial de dano. Cultivares suscetíveis são amplamente cultivados e o controle específico para o míldio é totalmente negligenciado na cultura (TECNOLOGIAS, 2008)

2.1.2 Ferrugem asiática da soja - *Phakopsora pachyrhizi*

A ferrugem asiática foi constatada causando prejuízo pela primeira vez nas Américas no ano de 2001, no Paraguai, e em seguida também no Brasil, no estado do Paraná. A partir da safra 2002/03 apresentou grande expansão atingindo o restante dos estados produtores do Brasil. É uma doença muito severa, que apresenta índices de dano que variam de 10 a 90% (SINCLAIR; HARTMAN, 1999; YORINORI et al., 2005; KUMUDINI et al., 2008). Considerando-se a ocorrência da doença em 80% da área cultivada, a realização média de uma aplicação adicional de fungicida, o somatório dos gastos com o controle químico, os danos e a queda de arrecadação resultaram num custo de U\$ 1,29 bilhões (YORINORI; LAZZAROTTO, 2004). No ano de 2004, a ferrugem asiática foi detectada em campos de soja nos Estados Unidos, o maior produtor mundial de soja onde ainda não havia sido encontrada a doença (YORINORI et al., 2005).

O agente causal da ferrugem asiática é o fungo *Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P.Syd., e produz dois tipos de esporos, os teliósporos e os uredósporos. Teliósporos são produzidos em lesões mais antigas, são unicelulares, de formato oblongo a elipsóide e de coloração marrom-amarelado. Eles parecem não germinar sob condições naturais e não são conhecidos seus hospedeiros alternativos e nem aécia e espermogônia são conhecidas. O uredósporo, responsável pelas epidemias desta doença, tem a forma que varia de ovóide a elipsóide, de coloração amarelo-amarronzadas (SINCLAIR; HARTMAN, 1999). Após a infecção, lesões e pústulas com uredósporos podem aparecer em 7 ou 8 dias. *Phakopsora pachyrhizi* é um fungo biotrófico e existem várias espécies de plantas hospedeiras na qual este patógeno pode sobreviver (YORINORI et al., 2005).

Esta doença pode infectar a cultura a partir dos estádios iniciais de desenvolvimento e as condições ambientais são fundamentais no desenvolvimento das epidemias (SINCLAIR;

HARTMAN, 1999). Períodos de molhamento foliar contínuo de 6 a 12 h e temperatura média ideal entre 22 °C a 24 °C favorecem o rápido desenvolvimento da doença (MELCHING et al., 1989). A intensidade das chuvas tem mostrado correlação com variáveis que afetam o progresso da doença nas condições de campo e, conseqüentemente, os níveis máximos de severidade (DEL PONTE; ESKER, 2007).

Os sintomas mais comuns surgem principalmente na face abaxial das folhas na forma de lesões de 2 a 5 mm de diâmetro, coloração marrom claro a escura e iniciam nas folhas mais baixas do dossel. Em cada lesão existem uma ou várias urédias de forma globosa que produzem um grande volume de uredósporos que são liberados pelo ostíolo circular. Além das folhas, as lesões também podem ser encontradas nos pecíolos, vagens e ramos (SINCLAIR; HARTMAN, 1999). Com o incremento da severidade da doença, ocorrem comumente desfolhas e maturação prematura das plantas atacadas. Lesões mais velhas podem se tornar escuras formando eventualmente teliósporos e (YORINORI et al., 2005).

Existem relatos da existência de quatro genes dominantes controlando a resistência para o fungo *P. pachyrhizi*, denominados Rpp1 a Rpp4 (BROMFIELD; HARTWIG, 1980). Entretanto, a grande variabilidade genética apresentada por este patógeno tem dificultado em muito a obtenção de cultivares resistentes (YORINORI et al., 2005; GODOY et al., 2009). No Brasil, o uso de fungicidas tem viabilizado a cultura da soja, as aplicações ocorrem de forma calendarizada, com 2,3 aplicações em média, e iniciam-se geralmente a partir do florescimento. Os fungicidas utilizados são do grupo das estrobilurinas associadas à triazóis (GODOY et al., 2009).

2.1.3 Oídio da soja - *Microsphaera diffusa*

O oídio tem como agente etiológico o fungo *Microsphaera diffusa* Cooke & Peck, o qual tem como hospedeiro diversas espécies de leguminosas. Esse fungo é um parasita obrigatório que se desenvolve em toda a parte aérea da soja, como folhas, hastes, pecíolos e vagens. O fungo produz cleistotécios de coloração castanho-ferruginoso, hemisféricos e tem comprimento variando de uma a sete vezes esse diâmetro. No interior dos cleistotécios são formadas ascas piriformes. Cada asca contém até oito ascósporos, de coloração amarela. O fungo desenvolve uma massa micelial branca sobre a planta e se nutre através de haustórios intracelulares. Os conídios são produzidos em conidióforos simples que possuem formato de barril (SINCLAIR; HARTMAN, 1999).

O oídio da soja sempre esteve presente em regiões produtoras, principalmente, nas plantas cultivadas em casa de vegetação até a safra 1995/96. Contudo, a partir da safra 1996/97 esta doença apresentou altas taxas de progresso em anos sucessivos, por razões ainda não totalmente esclarecidas (SARTORATO; YORINORI, 2001). As lavouras amplamente atingidas por este patógeno apresentaram danos entre 30% e 40% no Brasil (YORINORI; HIROMOTO, 1998), em outras regiões do mundo foram relatados níveis de dano semelhante (DUNLEAVY, 1987; PHILIPS, 1984). O clima possui influência direta no desenvolvimento da doença, sendo que períodos de estiagem e temperatura entre 20 °C a 25 °C favorecem o desenvolvimento das epidemias (SINCLAIR; HARTMAN, 1999).

O sintoma típico do oídio é uma camada esbranquiçada a cinza, constituída por micélio e esporos pulverulentos, podendo cobrir toda a parte aérea da planta. As folhas secam e caem prematuramente, apresentando uma coloração que vai do castanho-acinzentado ao marrom (SINCLAIR; HARTMAN, 1999). A infecção pode ocorrer em qualquer estágio de desenvolvimento da planta e é disseminada facilmente através do vento. As plantas das bordas das lavouras apresentam níveis mais altos de severidade pela menor duração do molhamento foliar (FORCELINI, 2004).

O método mais eficiente de controle do oídio é através do uso da resistência genética, utilizando cultivares que sejam resistentes (R) a moderadamente resistentes (MR) ao fungo (FORCELINI, 2004). Entretanto, existe grande variação na reação de genótipos entre locais para suscetibilidade ao fungo *M. diffusa*, há possibilidade de existir diferentes raças fisiológicas entre as populações que ocorrem no Brasil (TECNOLOGIAS, 2008). Silva (2002, 2004) relatou o uso de fungicidas em cultivares suscetíveis, aplicados a partir da floração, como um método eficiente no controle deste patógeno. O momento da aplicação de fungicidas depende do nível de infecção e do estágio de desenvolvimento da soja (FORCELINI, 2004).

2.2 Fosfitos no manejo de doenças

O fósforo (P) é um dos principais elementos necessários para o crescimento e desenvolvimento de todas as espécies vivas. O fósforo não ocorre naturalmente como elemento livre, uma vez que é muito reativo, e combina-se rapidamente com outros elementos, como o oxigênio e o hidrogênio. O ciclo global do fósforo ocorre pela oxidação e pela redução de compostos de fósforo por reações de transferências de elétrons (MCDONALD et al., 2001).

O termo fosfito é o nome genérico empregado para os sais do ácido fosforoso (H_3PO_3) e originários de rochas fosfáticas. Os fosfitos possuem na sua molécula um átomo de hidrogênio no lugar do oxigênio, e são formados pela reação de redução entre o ácido fosforoso a uma base, que pode ser hidróxido de potássio, manganês, dentre outros (LOVATT; MIKKELSEN, 2006). Este ácido fosforoso apresenta elevada solubilidade, rápida absorção pelas plantas, grande seletividade, ação sistêmica, com translocação via xilema e floema (GUEST; GRANT, 1991). O caráter sistêmico dos fosfitos permite vários métodos de aplicação, pulverização foliar, rega e pincelamento ou imersão (LOVATT; MIKKELSEN, 2006).

Os fosfitos também são relatados como fonte disponível de fósforo (P), contudo trabalhos demonstraram que é uma fonte pobre de P, devido à necessidade de ser oxidado pelas plantas para que haja sua metabolização e a competição com o fosfato por sítios de transporte (FORSTER et al., 1998; LOVATT; MILKKELSEN, 2006). Forster et al. (1998) relataram sintomas de deficiência de P e redução do crescimento em plantas de tomate e pimenta tratadas com fosfito em solução hidropônica quando comparada com fosfato. A absorção total do fosfito é mais eficiente quando comparada à absorção dos fosfatos e favorece a absorção de elementos como o cálcio, o boro, o zinco, o manganês, o molibdênio, o potássio, dentre outros (VITTI et al., 2005).

É importante salientar que alguns fosfitos podem apresentar problemas sérios quando associados, na mesma calda, aos óleos emulsionáveis, surfactantes e adjuvantes de vários tipos, ao enxofre molhável, estanhados e a ingredientes ativos como dicofol e dimetoato, às formulações alcalinas e derivados de cobre em calda de pH inferior a 6 (BRANDÃO, 2006). No Brasil os fosfitos são registrados como adubo foliar, contudo têm sido utilizados no controle de doenças foliares da soja (TECNOLOGIAS, 2008).

2.2.1 Fosfitos no controle de oomicetes

O fosfito tem sido empregado para o controle de oomicetes como *Pythium* spp., *Phytophthora* spp., *Peronospora* spp. e *Plasmopara* spp. em diversas regiões do mundo (JACKSON et al., 2000; MCDONALD et al., 2001; KATSURAYAMA; BONETI, 2002; SONEGO; CZERMAINSKI, 2003).

Os primeiros trabalhos realizados com os fosfitos ocorreram na Austrália no controle da podridão da raiz do abacateiro, *Phytophthora cinnamomi*, e posteriores estudos com outros oomicetes apontaram os mesmos resultados promissores (WICKS, 1990). No mesmo país, Wicks et

al. (1990) e Reuveni (1997) relataram a eficiência dos fosfitos no controle de *Plasmopara viticola*, com resultados semelhantes ao fungicida padrão metalaxyl + mancozeb.

Este ácido fosforoso também foi utilizado em plantas arbóreas principalmente no controle do gênero *Phytophthora*. Jackson et al. (2000) relataram o controle de *Phytophthora cinnamomi* nas raízes das plantas de *Eucaliptus marginata*, Mark e Keith (2002) observaram controle de *Phytophthora megakarya* tão eficiente quanto metalaxyl e cobre em plantas de cacau. Vawdrey et al. (2004) reduziram em 47% a podridão da raiz causada por *Phytophthora palmivora* na cultura do mamão.

No Brasil, Katsurayama e Boneti (2002) obtiveram na cultura da cebola controle de *Peronospora destructor* com o uso do fosfito de K semelhante ao fungicida padrão mancozeb. Sônego e Czermainski (2003) encontraram resultados semelhantes entre os tradicionais fungicidas e o fosfito de potássio no controle do míldio da videira, *Plasmopara viticola*. Relataram sinergismo entre fosfito de potássio e o fungicida cymoxanil + famoxadone no controle deste patógeno.

O efeito de fosfitos no controle de míldios foi relatado em videira (SÔNEGO; CZERMAINSKI, 2003), em cebola (WORDELL et al., 2007) e milho (PANICKER; GANGADHARAN, 1999), contudo não existem relatos no controle de *P. manshurica* na cultura da soja.

2.2.2 Fosfitos no controle de fungos

O efeito de fosfito sobre oomicetes é conhecido em diversas culturas como videira, batata, cebola, abacateiro, macieira e eucalipto (JACKSON et al., 2000; VALDEBENITO-SANHUEZA, 1991; MCDONALD et al., 2001; KATSURAYAMA; BONETI, 2002; SÔNEGO; CZERMAINSKI, 2003), porém sobre outros patógenos ainda é pouco estudado (LOVATT; MIKKELSEN, 2006).

Araújo et al. (2008) relataram o efeito curativo “*in vivo*” de fosfito aplicado 24 h após inoculação de mancha foliar de gala, causada pelo fungo *Colletotrichum gloeosporioides*, em plântulas de macieira (*Malus domestica*).

Santos (2008) e Meneghetti (2010) não observaram efeito do uso de fosfito associado a fungicida em fungos biotróficos, *Phakopsora pachyrhizi* na cultura da soja e *Puccinia triticina* e *Blumeria graminis* na cultura do trigo. Entretanto, Santos (2008) relatou redução na severidade da

mancha amarela do trigo (*Drechslera tritici-repentis*) e marrom (*Bipolaris sorokiniana*) com o uso de fosfito de potássio, bem como constatou a ação direta dos fosfitos *in vivo*.

Grant (1994) relatou uma forte inibição do fungo *Fusarium oxysporum*, causador do mal do Panamá, na cultura da banana. Também foram observados resultados da ação de fosfito de potássio em podridões pós colheita em Maçãs, cultivar Fugi, podendo substituir o fungicida iprodione (BRACKMANN et al., 2004).

2.2.3 Modo de ação dos fosfitos

O modo de ação direto e indireto dos fosfitos no controle de doenças tem sido muito discutido ao longo dos anos (GUEST; GRANT, 1991). Altas concentrações desse produto exercem ação direta sobre o patógeno, o efeito fungistático, segundo Barchietto et al. (1992). Por outro lado, mesmo ocorrendo à inibição direta pelo fosfito, estresses metabólitos podem ser eliminados e ocorrer indução e ativação de mecanismos de defesas das plantas (GUEST; GRANT, 1991). Plantas tratadas com o ácido fosforoso após inoculação do patógeno *Phytophthora cinnamomi* mostraram mudanças relacionadas à defesa, como hipersensibilidade, migração do núcleo e acúmulo de fitoalexinas ao redor das células desafiadas (GUEST, 1986; GUEST; GRANT, 1991; DANIEL et al., 2005). Também enzimas como fenilalanina-amoniase-liase (FAL) podem sofrer aumento de sua atividade em plantas de tabaco tratadas com fosetil-al e infectadas com *Phytophthora nicotiana* (NEMESTOTHY; GUEST, 1990). Daniel e Guest (2006) demonstraram como ocorreu o processo de indução de defesa em *Arabidopsis thaliana* tratada com fosfito de potássio e inoculada com *Phytophthora palmivora*. A inibição do patógeno foi uma consequência da liberação de superóxidos, seguida de uma reação de hipersensibilidade, e acúmulo de compostos fenólicos, mais do que inibição direta ou ainda devido ao fosfito. Segundo Smillie et al. (1989) a concentração utilizada do fosfito pode determinar o tipo de ação inibitória, ou seja, a ação indireta está relacionada à baixa concentração do produto.

Jackson et al. (2000) observaram ação indireta, acúmulo de fitoalexinas e fenóis, com baixas concentrações de fosfito e ação direta em altas concentrações no controle de *Phytophthora cinnamomi* nas raízes das plantas de *Eucalyptus marginata*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, L.; STADNIK, M. J.; BORSAT, L. C.; VALDEBENITO-SANHUEZA, R. Fosfito de potássio eulvana no controle de mancha foliar da gala em macieira. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 33, p. 48-152, 2008.

ATHOW, K. L. Fungal diseases. In: CALDWELL, B. E. (Ed.) **The soybeans: improvement - production and uses**. Madison American Society of Agronomy, 1973. p. 459-89.

BARCHIETTO, T.; SAINDRENAN, P.; BOMPEIX, G. Physiological responses of Phytophthora citrophthora to a subinhibitory concentration of phosphate. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, Orlando, v. 42, p. 151-166, 1992.

BRACKMANN, A.; GIEHL, R. F. H.; SESTARI, I.; STEFFENS, C. A. Fosfitos para o controle de podridões pós-colheita em maçãs 'Fuji' durante o armazenamento refrigerado. **Ciência Rural**, Santa Maria, vol. 34 n^o. 4, artigo 21, 2004.

BRANDÃO, R. P. Fosfito estimula a defesa das plantas contra doenças fúngicas. **Informativo Grupo Bio Soja**, Lavras, ano II, n. 03, 16 p. jun. 2006.

BROMFIELD, K. R.; HARTWIG, E. E. Resistance to soybean rust and mode of inheritance. **Crop Science**, Madison, v. 20, n. 2, p. 254-255, 1980.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, Brasília: Conab 2010. Disponível em: www.conab.gov.br. Acesso em 25 ago 2010.

DALLAGNOL, L. J.; NAVARINI, L.; UGALDE, M. G.; BALARDIN, R. S.; CATELLANI, R. Utilização de Acibenzolar-S-Methyl para controle de doenças foliares da soja. **Summa Phytopathologica**, Jaguariuna, v. 32, n. 3, p. 255-259, 2006.

DANIEL, R.; WILSON, B. A.; CAHILL, D. The effect of potassium phosphonate on the response of *Xanthorrhoe australis* to infection by *Phytophthora cinnamomi*. **Australasian Plant Pathology**, Toowoomba, v. 3, p. 541-548, 2005.

DANIEL R.; GUEST, D. I. Defence responses induced by potassium phosphonate in *Phytophthora palmivora*-challenged *Arabidopsis thaliana*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London v. 67, p. 194-201, 2006.

DEL PONTE, E. M.; ESKER, P. D. Considerações epidemiológicas na avaliação de risco e manejo da ferrugem asiática da soja. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 32 (suplemento), p. S58-60, 2007.

DUNLEAVY, M. M. Soybean seed yield losses caused by powdery mildew. **Crop Science**, Madison, v. 18, p. 337-339, 1978

DUNLEAVY, J. M. Yield reduction in soybean caused by downy mildew. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 71, p. 1112-1114, 1987.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **A cultura da soja no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2000. 179 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Soja em números (safra 2008/2009)**. Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br>. Acesso em: 29 ago. 2010.

ERSEK, T.; HOLLIDAY, M.; KEEN, N. T. Association of hypersensitive host cell death and autofluorescence with a gene for resistance to *Peronospora manshurica* in soybean. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 72, p. 628-631, 1982.

FORCELINI, A.C. Danos e critérios para o controle químico do oídio. In: REIS, E. M. (Ed.), **Doenças na cultura da soja**. Passo Fundo, Aldeia Norte Editora, 2004, p. 17-123.

FORSTER, H.; ADASKAVEG, J. E.; KIM, D. H.; STANGEHELLINI, M. E. Effect of phosphite on tomato and pepper plants and on susceptibility of pepper to *Phytophthora* root and crown rot in hydroponic culture. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 82, p. 1165-1170, 1998.

GEESEMAN, G. E. Physiologic races of *Peronospora manshurica* on soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v. 42, p. 257-258, 1950.

GODOY, C. V.; FLAUSINO, A. M.; SANTOS, L. C. M.; PONTE, M. D. P. Eficiência do controle da ferrugem asiática da soja em função do momento de aplicação sob condições de epidemia em Londrina, PR. **Tropical Plant Pathology**, v. 34, n. 1, p. 56-61, 2009.

GRANT, B. **Efeito do ácido do phosphorus em controlar a doença de panamá nas bananas**. Rural Industries Research and Development Comporation, Compêndio 1993 – 1994. Disponível em: <http://www.rirdc.gov.au/pub/compendium/93-94/index-b.html>. Acesso em: 29 ago. 2010.

GUEST, D. I. Evidence from light microscopy of living tissue that Fosetyl-Al modifies the defence response in tobacco seedlings following inoculation by *Phytophthora nicotianae* var *nicotianae*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v. 29, p. 251-261, 1986.

GUEST, D. I.; GRANT, B. R. The complex action of phosphonates as antifungal agents. **Biological Review**, Cambridge, v. 66, p. 159-187, 1991.

HILDEBRAND, A. A.; KOCH, L. W. A study of systemic infection by downy mildew of soybean with special reference to symptomatology, economic significance and control. **Scientific Agriculture**, Ottawa, v. 31, n. 12, p. 505-18, 1951.

INABA, T. Seed transmission of downy mildew of spinach and soybean. **Japan Agricultural Research Quarterly**, Tokyo, v. 19, p. 26-31, 1985.

JACKSON, T. J. ; BURGESS, T. ; COLQUHOUN, I. ; FORTE, G. E. S. J. Action of the fungicide phosphite on *Eucalyptus marginata* inoculated with *Phytophthora cinnamomi*. **Plant Pathology**, Oxford, v. 49, p. 147-154, 2000.

KATSURAYAMA, Y.; BONETI, J. I. S. **Avaliação da eficiência do Fitofos-K plus no controle do míldio (*Peronospora destructor*) da cebola**. São Joaquim: Epagri, 2002. 7 p.

KORETSKY, A. P.; KOSHEVSKY, I. I. Yield reduction of soybeans caused infected of seeds by downy mildew. In. EUROPEAN CONFERENCE ON GRAIN LEGUMES, 3. Valladolid, 1998, p. 14-19.

KESSMANN, H.; RYALS, J.; STAUSB, T.; OOSTENDORP, M.; AHA GOY, P.; HOFFMANN, C. J.; FRIEDRICH, L.; DELANEY, T.; LAWTON, K.; RYALS, L.; WEYMANN, K.; LIGON, H.; VERNUIJ, B.; UKNES, S. Mode of action of new plant activator. In: INTERNATIONAL PLANT PROTECTION CONGRESS. The Hague, 1995, p. 2-7.

KUMUDINI, S.; GODOY C. S.; BOARD J. E.; OMIELAN J.; TOLLENAAR M. Mechanisms involved in soybean rust-induced yield reduction. **Crop Science**, Madison, v. 48, p. 2334-2342, 2008.

LIM, S. M. Inheritance of resistance to *Peronospora manshurica* race 2 and race 33 in soybean. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 79, p. 877-879, 1989.

LOVATT, C. J.; MIKKELSEN, R. L. Phosphite fertilizers: What are they? Can they do? **Better Crops with Plant Food**, Atlanta, v. 90, p. 11-14, 2006.

MARK, H.; KEITH, H. **Control of *Phytophthora megakarya* diseases of cocoa with potassium phosphonate**. Cocoa Research Institute of Ghana (CRIG)/ Natural Resources Institute (NRI) / University of Reading., 2002. Disponível em: www.cabi-commodities.org/Cocoa/CocP/CocPCPcmd.htm. Acesso em: 25 ago 2010.

MCDONALD, A. E.; GRANT, B.; PLAXTON, W. C. Phosphite (phosphorus acid): its relevance in the environment and agriculture and influence on plant phosphate starvation response. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 24, p. 1505-1519, 2001.

MCKENZIE, T. R.; WYLLIE, T. D. The effect of temperature and lesions size on the sporulation of *Peronospora manshurica*. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 71, p. 321-326, 1971.

MELCHING, J. S.; DOWLER, W. M.; KOOGLE, D. L.; ROYER, M. H. Effects of durations, frequency and temperature of leaf wetness period on soybean rust. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 73, p. 117-122, 1989.

MENEGHETTI, R. C.; BALARDIN, R. S.; CORTE, G. D.; FAVERA, D. D.; DEBONA, D. Avaliação da atividade de defesa em soja contra *Phakopsora pachyrhizi* em condições controladas. **Ciências Agrotecnicas**, Lavras, v. 34, m. 4, p. 823-829, 2010.

NEMESTOTHY, G. S.; GUEST, D. I. Phytoalexin accumulation, phenylalanine ammonia lyase activity and ethylene biosynthesis in foseetil-al treated resistant and susceptible tobacco cultivars infected with *Phytophthora nicotiana* var. *nicotianae*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v. 37, p. 207-219, 1990.

PANICKER, S.; GANGADHARAN, K. Controlling downy mildew of maize caused by *Peronosclerospora sorghi* by foliar sprays of phosphonic acid compound. **Crop Protection**, Guildford, v. 8, p. 115-118, 1999.

PATHAK, V.; MATHUR, S.; NEERGAARD, P. Detection of *Peronospora manshurica* (Naum.) Syd. in Seeds of Soybean, *Glycine max*. **EPPO Bulletin**, Oxford, v. 8, p. 21-28, 1978.

PICININI, E. C.; FERNANDES, J. M. C. Eficácia de fungicidas no controle de patógenos de sementes de soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 28, 1995, Ilhéus. **Fitopatologia Brasileira**. Brasília, v. 20, p. 339-339, 1995.

PICININI, E. C.; FERNANDES, J. M. C. **Doenças da soja**: aspectos epidemiológicos e controle. 2. ed. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. v. 1, p. 91.

PHILLIPS, D. V. Stability of *Microspora diffusa* and the effect of powdery mildew on yield of soybeans. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 68, p. 953-956, 1984.

REUVENI, M. Post-infection applications of K_3PO_3 , phosphorous acid and dimethomorph inhibit development of downy mildew caused by *Plasmopara viticola* on grapevines. **Journal of Small Fruit & Viticulture**, Beltsville, USA, v. 5, n. 22, p. 27-38, 1997.

REIS, E. M. O míldio da soja. Lavoura Arrozeira, Porto Alegre, **Revista do Instituto Rio Grandense do Arroz**, p. 22-28, 1975.

SANTOS, H. A. A. **Efeito de fosfito no controle de doenças foliares do trigo *in vitro* e *in situ***. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2008.

SARTORATO, A.; YORINORI, J. T. Oídios de leguminosas: feijoeiro e soja. In: STANDNICK, M. J.; RIVERA, M. C. **Oídios**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2001, p. 255-284.

SILVA, O. C. Dano e controle do complexo de doenças foliares da soja. In: ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE DOENÇAS DA CULTURA DA SOJA, 2. **Anais...** Passo Fundo, 2002, p. 55-59.

SILVA, O. C. Danos e controle do complexo de doenças foliares da soja. In: REIS , E. M., (Ed.), **doenças na cultura da soja**. Passo Fundo: Aldeia Norte Editora, 2004. 177 p.

SINCLAIR, J. B.; SHURTLEFF, M. C. (Ed). **Compendium of soybean diseases**. Minnesota: American Phytopathological Society, 1975.

SINCLAIR, J. B.; HARTMAN G. L. Soybean Rust. In In: HARTMAN, G. L.; SINCLAIR, J. B.; RUPE, J. C. (Ed.). **Compendium of soybean diseases**, 4. ed. Saint Paul: APS Press, 1999, p. 25-26

SMILLIE, R.; GRANT, B. R.; GUEST, D. The mode of action of phosphite: evidence for both direct and indirect modes of action on three *Phytophthora* spp. In *Plants. Phytopathology*, Saint Paul, v. 79, p. 921-926, 1989.

SÔNEGO, O. R.; CZERMAINSKI, A. B. C. **Avaliação de fosfitos no controle do mildio da videira**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2003, 16 p.

TECNOLOGIAS de produção de soja – região central do Brasil 2009 e 2010. Londrina:. Embrapa Soja/Cerrados/Agropecuária Oeste, 2008.

VALDEBENITO-SANHUEZA, R. M. Controle químico da podridão de raízes de macieira causada por *Phytophthora cactorum* no Rio Grande do Sul. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 16, p. 25-29, 1991.

VAWDREY, L. L.; GRICE, K. E.; PERERSON, R. A.; De FAVERI, J. The use of metalaxyl and potassium phosphonate, mounds, and organic and plastic mulches, for the management of *Phytophthora* root rot of papaya in far northern Queensland. **Australasian Plant Pathology**, Toowoomba, v. 33, n. 1, p. 103-107, 2004

VITTI, G. C.; LUZ, P. H. C.; OTTO, R.; QUEIROZ, F. E. C.; PACKER, L. A. Utilização de fosfitos em cana-de-açúcar. In. SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR, 2, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba, p. 53-58, 2005.

WICKS, T. J. ; MARGAREY P. A. ; BOER, R. F. Evaluation del fosfito potasico como fungicida en Australia. Conferencia de Brinhton para proteccion de las cosechas, 1990.

WORDELL, F. J. A.; MARTINS, D. A.; STADNIK, M. J. Aplicação foliar de tratamentos para controle de míldio e da podridão-de-escamas de bulbos de cebola. **Horticultura Brasileira**, Campinas, v. 25, n. 4, p. 544-549, 2007.

WYLLIE, T. D.; WILLIAMS, L. F. The effect of temperature and leaf age on the development of lesions caused by *Peronospora manshurica* on soybeans. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 55, p. 166-170, 1965.

YORINORI, J. T.; HIROMOTO, D. M. **Determinação de perdas em soja causadas por doenças fúngicas**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1998. (Doc. 118).

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 (from 2001 to 2003). **Plant Disease**. Saint Paul, v. 89, n. 6, p. 675-677, 2005.

YORINORI, J. T.; LAZZAROTTO, J. J. **Situação da Ferrugem Asiática da Soja no Brasil e na América do Sul**. Londrina: EMBRAPA, 2004. 30 p.

3 ARTIGOS CIENTÍFICOS

3.1 Danos causados pelo míldio em soja

O artigo científico foi escrito segundo as normas da revista *Tropical Plant Pathology*, órgão oficial da Sociedade Brasileira de Fitopatologia, e ainda não foi submetido.

Danos causados pelo míldio em soja

Damage caused by downy mildew in soybean

Olavo C. Silva¹, Hellen A.A. Santos³, Maristella Dalla Pria², Louise L. May De Mio¹

¹Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo da Universidade Federal do Paraná, Rua dos Funcionários 1540, 80035-050, Curitiba-PR; ²Departamento de Fitotecnia e Fitossanidade da Universidade Estadual de Ponta Grossa, Av. Gal. Carlos de Cavalcanti, 4748, 84030-900, Ponta Grossa – PR; ³Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Catarina, Rodovia Municipal Ulisses Gaboardi, Km 3, Fazenda Pessegueirinho, 89520-000, Curitibanos – SC.

Autor para correspondência: Olavo C. Silva, e-mail: ocorrea@dow.com

RESUMO

O míldio da soja é uma doença amplamente disseminada nas principais regiões produtoras do mundo e do Brasil, entretanto o dano por esta doença, ainda é pouco estudado. O objetivo deste trabalho foi estudar os componentes de rendimento afetados pela doença e determinar as equações do coeficiente de dano. Foram conduzidos dois experimentos, um em Ponta Grossa (safra 2007/08) e outro em Castro (safra 2008/09) no Paraná, Brasil. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados com oito tratamentos e cinco repetições em 2007/08 e seis tratamentos e quatro repetições em 2008/09, com a cv. CD 215. Foi gerado um gradiente da severidade do míldio pelo número de aplicações (0 a 6) para obtenção das equações de dano. Os produtos utilizados foram fosfito de potássio ($750 \text{ g i.a. ha}^{-1}$), cloridrato de propamocarbe + fenamidona ($900 \text{ g i.a. ha}^{-1}$) e mancozebe ($2400 \text{ g i.a. ha}^{-1}$). A severidade máxima foi observada no estágio R5.3 e variou entre 5 a 43% entre os tratamentos. As diferentes severidades obtidas foram correlacionadas com o rendimento e seus componentes. Dentre os componentes de rendimento avaliados, o peso de grãos foi afetado pela doença nas duas safras. As equações do coeficiente de dano foram geradas para peso de 1000 grãos e rendimento. Observou-se correlação positiva entre severidade do míldio e incidência do patógeno nas sementes, com $r=0,77$.

Palavras-chave: oósporos, *Peronospora manshurica*, *Glycine max*

ABSTRACT

Downy mildew is wide spread throughout world and Brazil however the damage is not well studied. The objective of this work was to evaluate the components of the yield affected by the disease and to determinate the coefficient of damage. Two field experiments were conducted in Ponta Grossa (2007/08) and Castro (2008/09), state of Paraná, Brazil. The experimental design consisted of completely randomized blocks with eight treatments and five replications in 2007/08 and six treatments and four replications in 2008/09, cv. CD 215. A downy mildew gradient severity was generated by the number of applications (0 to 6) to obtain the equation of damage. The products were potassium phosphite (750 g a.i. ha⁻¹), propamocarb + fenamidon (900 g i.a. ha⁻¹) and mancozeb (2400 g i.a. ha⁻¹). The maximum severity of downy mildew occurred at growth stage R5.3 among the treatments, between 5 to 43%. The severities assessed were correlated with the yield components. The weight of 1000 seed was affected significantly by the pathogen among the yield components assessed. The damage equations were generated for yield and grain weight. There was a positive correlation between downy mildew severity and the incidence of the pathogen on seed, $r=0,77$.

Keywords: oospores, *Peronospora manshurica*, *Glycine Max*.

INTRODUÇÃO

O míldio da soja causado pelo oomicete *Peronospora manshurica* (Naumov) Syd. apresenta-se como uma doença amplamente disseminada nas principais regiões produtoras do mundo (Dunleavy, 1987; Lim, 1989). O patógeno é um parasita obrigatório que infecta sistemicamente folhas, vagens e sementes e pode ocorrer em qualquer estágio desenvolvimento da cultura. As condições ambientais que favorecem são 12h de molhamento foliar e temperaturas entre 20 a 22 °C (Piccinini e Fernandes, 2000). Seus oósporos podem permanecer nos restos culturais e sementes por vários anos e representam os principais mecanismos de sobrevivência do patógeno. Existem mais de 35 raças fisiológicas de míldio no mundo (Lim, 1989), contudo não existem relatos destas raças no Brasil (Embrapa, 2000).

O uso de cultivares resistentes representa a principal forma de controle desta doença, através de dois genes maiores, *Rpm* e *Rpm₂*, associados a hipersensibilidade (Lim, 1989). Contudo a resistência genética ao míldio não faz parte dos programas de melhoramento no Brasil por ser considerada uma doença de baixo potencial de dano, cultivares suscetíveis, tais como CD 215, BRS 232, BRS 255 e Embrapa 48, são amplamente cultivados (Tecnologias, 2008). O controle específico para o míldio é totalmente negligenciado na cultura (Tecnologias, 2008), são utilizados em média 2,3 aplicações de triazóis associados com estrobilurinas direcionados para controle principalmente da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P.Syd.) e demais doenças de final de ciclo (Godoy et al., 2009). Apesar de existirem vários produtos específicos para o controle de oomicetes, alguns autores recomendam o uso de fosfitos como uma opção de controle destes patógenos, em culturas como videira, batata, cebola, abacate, maçã e eucalipto (Jackson et al., 2000; Valdebenito-Sanhueza, 1991; Wicks et al., 1990; McDonald et al., 2001; Katsurayama e Boneti, 2002; Sônego e Czermainski, 2003).

As sementes quando infectadas pelo míldio apresentaram seu peso e teor de proteína reduzida, além de retardar a germinação (McKenzie e Wyllie, 1971; Koretsky e Koshevsky, 1998). O percentual de transmissão do patógeno semente/plântula foi de até 16% e representa a principal fonte de inóculo primário deste organismo (Inaba, 1985).

O míldio pode ser considerado uma doença que raramente causa significativos prejuízos à cultura da soja (Rhane e Ruhl, 2003), contudo existem relatos de danos de 8% a 14% para genótipos suscetíveis que tem sido relacionado principalmente ao peso de grãos (Koretsky e Koshevsky, 1998; Dunleavy, 1987; Ferreira et al., 1981;).

Os modelos de quantificação de danos podem ser obtidos variando a quantidade de doença e correlacionando a severidade com o rendimento. O dano pode, assim, ser obtido por regressão linear simples, onde a intensidade de doença é a variável independente e a redução de produtividade a variável dependente. A equação que correlaciona doença e dano é denominada coeficiente de dano (Zadoks, 1985). A determinação dos danos causados por patógenos é determinante na tomada de decisão de controle de uma doença (Bahatchuk, et al., 2008).

A ampla disseminação do míldio da soja e a utilização de cultivares suscetíveis podem estar causando prejuízos aos produtores brasileiros. As sementes podem representar a principal fonte de inóculo primário. Desta maneira o presente trabalho teve como objetivo estudar os danos do míldio sobre os componentes do rendimento da soja, determinar as equações do coeficiente de dano por meio do gradiente da doença, e avaliar a relação entre a severidade do patógeno na área foliar e a incidência nas sementes.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dois experimentos durante as safras de verão de 2007/08 e de 2008/09, no Campo Experimental da Fundação ABC, no município de Ponta Grossa e de Castro, localizados no Segundo Planalto Paranaense, na região dos Campos Gerais, situados nas coordenadas nas latitudes, 25°0'54'' e 24°51'21'', e longitudes, 50°9'12'' e 49°55'53'', respectivamente. Os solos classificam-se como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico em Ponta Grossa e Latossolo Bruno distrófico húmico em Castro (EMBRAPA, 1999). Nas duas regiões, predomina o clima classificado como Cfb, segundo Köppen (IAPAR, 2000).

O cultivar utilizado foi o CD 215, ciclo precoce, suscetível ao míldio e à ferrugem asiática e moderadamente suscetível ao oídio e doenças de final de ciclo (DFC) (SEPROTEC, 2009). A semeadura da soja foi realizada em sistema de plantio direto, sobre a palhada de aveia preta, em 12/11/07 e 28/10/08, com a população de 35 plantas m⁻². A adubação de base foi realizada na aveia com 250 kg ha⁻¹ do adubo NPK da fórmula comercial 05:25:25. Durante o ciclo da cultura da soja foram realizadas aplicações de manutenção na área, como aplicações de herbicidas e inseticidas, a fim de controlar as interferências de outros organismos a não ser o objeto de estudo deste trabalho.

Para obter as equações de dano foi gerado um gradiente da severidade do míldio (Sah e Mackenzie, 1987) de acordo com o momento e número de aplicações de fosfito e fungicidas, totalizando oito e seis tratamentos, em 2007/08 e 2008/09, respectivamente (Tabela 1). Os tratamentos foram aplicados com auxílio de pulverizador costal (MAE), à pressão constante de 131 kPa, pelo dióxido de carbono comprimido, com seis pontas tipo jato plano “leque” XR11002 espaçadas de 0,5 m e volume de calda de 135 L ha⁻¹, sob condições climáticas adequadas, umidade relativa superior a 60% e temperaturas inferiores a 30°C.

Nos dois experimentos conduzidos foram realizadas cinco aplicações de fungicidas do grupo dos triazóis, cyproconazole (30 g i.a. ha⁻¹) e tebuconazole (100 g i.a. ha⁻¹), e benzimidazóis, carbendazim (500 g i.a. ha⁻¹), para evitar que outras enfermidades foliares ocorressem.

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, com cinco e quatro repetições nas safras 2007/08 e 2008/09, respectivamente. Cada unidade experimental possuía as dimensões de 2,8 x 5,0 m, com sete linhas de semeadura espaçadas de 0,40 m (14 m² de área total e 6,4 m² de área útil).

Na safra 2007/08 foram realizadas sete avaliações de severidade do míldio nos estádios, V6 (cinco trifólios desenvolvidos), V10 (nove trifólios), R1 (início de floração), R2 (plena floração), R4 (vagens com 2 cm), R5.3 (granação de 26% a 50%) e R6 (granação de 100% e folhas ainda verdes). Em 2008/09 foram realizadas cinco avaliações, em V6, V10, R2, R5.3 e R6. Para quantificar a severidade foram coletados vinte trifóliolos na área útil da parcela, dez da metade inferior das plantas e dez na metade superior. A severidade de *P. manshurica* foi quantificada utilizando a escala diagramática proposta por Kowata et al. (2008).

Para rendimento e peso de 1000 grãos, foram colhidas plantas de forma manual na área útil da parcela, em 26/03/2008 e 30/03/2009, e a umidade dos grãos foi corrigida para 13% de umidade. Dos grãos colhidos, separou-se 300 g por parcela para determinar a incidência de míldio nas sementes por meio do método de exame direto das sementes secas (Zambolim, 2005), buscando-se a visualização das estruturas do patógeno na superfície das sementes. No momento da colheita também foram coletadas 25 e 10 plantas por parcela nas safras 2007/08 e 2008/09, respectivamente, para determinação dos componentes de rendimento, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e peso de 1000 grãos.

Verificou-se a normalidade dos dados para utilização da análise de variância (ANOVA). Quando significativo o teste F, a 5% de significância, procedeu-se a análise de regressão entre a variável independente, severidade foliar do míldio em R5.3, e as variáveis dependentes, rendimento

e seus componentes, obtendo-se as equações de coeficiente de dano. As equações obtidas foram ajustadas por 1000 g e tonelada de soja. Utilizou-se o software SAS (Statistical Analysis System) Version 9.1 e JMP 8 para as análises.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas duas safras e locais as condições climáticas favoreceram a infecção e o desenvolvimento do míldio (Figura 1), obtendo-se um gradiente da doença entre 5 a 43% e 3 a 28% de severidade em 2007/08 e 2008/09, respectivamente (Figura 2). Os primeiros sintomas da *P. manshurica* ocorreram no início do estágio vegetativo da cultura V7 (plantas com o 6º trifólio aberto), aos 40 dias após emergência (DAE), e a severidade máxima ocorreu entre o estágio reprodutivo R5.3 (plantas com 50% de enchimentos de grãos), aos 90 DAE. As outras doenças foliares da soja, como ferrugem asiática e oídio, não ocorreram pelo controle de fungicidas realizado, contudo em 2008/09 ocorreu 17% de incidência de plantas com *Sclerotinia sclerotiorum* na fase de enchimento de grãos, sem diferença entre tratamentos (dados apresentados). As avaliações do míldio foram correlacionadas com rendimento e seus componentes, porém em R5.3 obteve-se o maior nível de correlação. As variáveis da função de dano foram estimadas por análise de regressão e as equações, quando significativas, foram ajustadas para fornecer o coeficiente de dano por 1000 g e tonelada de soja para cada 1% de severidade de *P. manshurica* (Tabela 2).

Dos três componentes de rendimento avaliados (Figuras 2 A, B, C e D), o número de grãos por vagem e o número de vagens por planta não foram afetadas pelo míldio nas duas safras avaliadas. Jian e Egli (1993) relataram que o número de vagens por planta foi determinado pela produção de flores por planta e a proporção destas que desenvolvem vagens, e o fator genético foi determinante para o número de grãos por vagens (McBlain e Hume, 1981). Contudo, o peso de 1000 grãos

(P1000g) por planta foi reduzido linearmente com o aumento da severidade da doença nas duas safras (Figuras 2 E e F). Pandey e Torrie (1973) observaram que o peso médio de grãos, além do fator genético, foi fortemente influenciado pelo ambiente e agentes bióticos. Os valores do coeficiente de dano para P1000g variaram entre 1,4 e 1,9 g para cada 1% de severidade foliar, considerando o peso de 1000 g de grãos (Tabela 2). Dunleavy (1987) também relatou reduções do peso de grãos entre 3,9 e 7,2% em três cultivares com mais de 98% de incidência de míldio, neste trabalho a redução de peso de 6,3 e 8,6% pode ser estimada pelo coeficiente de dano para 45% de severidade da doença, em 2007/08 e 2008/09, respectivamente (Tabela 2).

O rendimento foi afetado por *P. manshurica* somente na safra 20007/08, onde o aumento da severidade da doença reduziu linearmente esta variável (Figura 3). Os valores do coeficiente de dano foram de 2,5 Kg para cada 1% de severidade foliar, considerando um rendimento de 1000 kg ha⁻¹ (Tabela 2). Apesar de ser considerado um patógeno de baixo impacto e de raros relatos de danos na soja por Rane e Ruhl (2003), Dunleavy (1987) relatou dano médio de 11,8% em três cultivares suscetíveis com mais de 95% de incidência de míldio, em dois anos de experimentação no EUA. Baseado no coeficiente de dano gerado por este trabalho, os mesmos 12% relatados por Dunleavy podem ser estimados com 45% de severidade da doença. Na safra 2008/09 não houve efeito desta doença para rendimento, muito provavelmente pela ocorrência do mofo branco, doença que causa dano elevado, entre 170 a 335 kg ha⁻¹ para 10% de incidência (Yang et al., 1999), que pode ter limitado o rendimento e eliminado o efeito do míldio. Reis et al. (2007), utilizando um gradiente de intensidade de cercosporiose, causada pelo fungo *Cercospora zea-maydis*, geraram valores de coeficiente de dano para a cultura do milho (*Zea maydis*), com potencial para cálculo do limiar de dano econômico e utilização na decisão do controle químico.

A incrustação branco-opaca de oósporos sobre as sementes de soja representa um dos principais mecanismos de sobrevivência e fonte de inóculo primário desta enfermidade, com taxa

de transmissão semente/plântula de até 16% (Inaba, 1985). Altas taxas de lotes de sementes contaminadas, 73%, foram observadas no EUA por Mckenzie e Wyllie (1971). Neste trabalho a incidência deste patógeno nas sementes foi reduzida linearmente e significativamente com a redução da severidade na área foliar. A correlação positiva entre severidade do míldio na área foliar e incidência do patógeno nas sementes foi de 77% (Figura 4), resultado semelhante foi relatado por Dunleavy (1987) que reduziu em 100% a incidência deste oomicete nas sementes pela aplicação foliar do fungicida metalaxyl. Sinclair e Shurtleff (1975) recomendaram sementes livres oósporos ou tratamento das mesmas com fungicidas como manejo desta doença na cultura da soja, sendo que o controle de *P. manshurica* na área foliar pode representar um importante componente de manejo deste patógeno.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bahatchuk DA, Casa RT, Bogo A, Kuhnem J, Reis EM (2008) Modelo de Ponto crítico para estimar danos de doenças foliares do trigo em patossistema múltiplo. *Tropical Plant Pathology*. 33, p. 363-369.

Dunleavy JM (1987) Yield reduction in soybean caused by downy mildew. *Plant Disease* 71, p. 1112-1114.

EMBRAPA (1999) Manual de análises de solos, plantas e fertilizantes. Embrapa, Brasília.

EMBRAPA (2000) A cultura da soja no Brasil. Embrapa Soja. Londrina, p.179.

Ferreira LP, Lehman PS, Almeida AMR (1981) Moléstias e seu controle. In: Miyasaka S, Medina JC (Eds.) A soja no Brasil. p. 603-638.

IAPAR - INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ (2000) Cartas climáticas do Estado do Paraná. Londrina: IAPAR, 1 CD-ROM. Versão 1.0.

Inaba T (1985) Seed transmission of downy mildew of spinach and soybean. *Japan Agricultural Research Quarterly*. 19, p. 26-31.

Jackson TJ, et al. (2000) Action of the fungicide phosphite on *Eucaliptus marginata* inoculated with *Phytophthora cinnamomi*. *Plant Pathology*, v.49, p.147-154.

Jiang H, Egli DB (1993) Shade induced changes in flower and pod number and flower and fruit abscission in soybean. *Agronomy Journal*, Madison, v. 85, n.2, p. 221-225.

Godoy CV, Flausino AM, Santos LCM, Ponte MDP (2009) Eficiência do controle da ferrugem Asiática da soja em função do momento de aplicação sob condições de epidemia em Londrina, PR. *Tropical Plant Pathology*, v.34, n.1, p. 056-061.

Katsurayama Y, Boneti JIS (2002) Avaliação da eficiência do Fitofos-K plus no controle do míldio (*Peronospora destructor*) da cebola. *Epagri*. p. 7.

Kimati H, Amorim L, Rezende JAM, Bergamin Filho A, Camargo LEA (Eds.) (2005) Manual de Fitopatologia. Vol. 2. Doenças das Plantas Cultivadas. 4ª. Ed. São Paulo SP. Ceres.

Koretsky AP, Koshevsky II (1998) Yield reduction of soybeans caused infected of seeds by downy mildew. Third European Conference on Grain Legumes, Valladolid, Spain, p. 14-19.

Kowata LS, De-Mio LLM, Dalla Pria M, Santos HAA (2008) Escala diagramática para avaliar severidade de míldio na soja. *Scientia Agraria* 9, p. 105-110.

Lim SM (1989) Inheritance of resistance to *Peronospora manshurica* race 2 and race 33 in soybean. *Phytopathology* 79, p. 877-879.

Mcdonald AE, Grant B, Plaxton WC (2001) Phosphite (phosphorous acid): Its relevance in the environment and agriculture and influence on plant phosphate starvation response. *Journal Plant Nutrition* 24, p. 1505-1519.

McBlain BA, Hume DJ (1981) Reproductive abortion, yield components and nitrogen content in three early soybean cultivars, *Canadian Journal of Plant Science*. Ottawa, v.61, n.3, p. 499-505.

Mckenzie TR, Wyllie TD (1971) The effect of temperature and lesion size on the sporulation of *Peronospora manshurica*. *Phytopathology* 71, p. 321-326.

Pandey JP, Torrie JH (1973) Path coefficient analysis of seed yield components in soybean. *Crop Science*, Madison, v.13, n.5, p. 505-507.

Picinini EC, Fernandes JMC (2000) *Doenças da soja: Aspectos epidemiológicos e controle*. 2. ed. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1, p. 91.

Reis EM, Santos JAP, Blum MMC (2007) Critical-point yield model to estimate yield damage caused by *Cercospora zea-maydis* in corn. *Fitopatologia Brasileira*, v.32, n.2, p. 110-113.

Sah D, Mackenzie D (1987) *Crop loss assessment and pest management: methods of generating different levels of disease epidemics in loss experiment*. Saint Paul MN. APS Press. p. 90-95.

Sinclair JB, Shurtleff MC (Eds) (1975) *Compendium of Soybean Diseases*. The American Phytopathological society. Minnesota. USA.

Sônego OR, Czermainski ABC (2003) *Avaliação de fosfitos no controle do míldio da videira*. Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves, p. 16.

Tecnologias de produção de soja – região central do Brasil 2009 e 2010. (2008) Londrina PR. Embrapa Soja. Embrapa Cerrados. Embrapa Agropecuária Oeste.

Valdebenito-Sanhueza RM (1991) Controle químico da podridão de raízes de macieira causada por *Phytophthora cactorum* no Rio Grande do Sul. Fitopatologia Brasileira, v.16, p.25-29.

Wicks TJ, et al. (1990) Evaluation del fosfito potasico como fungicida en Australia. Conferencia de Brinhton para protección de las cosechas. Pestes y Enfermedades.

Yang XB, Lundeen P, Uphoff MD (1999) Soybean varietal response and yield loss caused by *Sclerotinia sclerotiorum*. Plant Disease 83, p. 456-461.

Zadoks JC (1985) On the conceptual basis of crop loss assessment: the threshold theory. Annual Review of Phytopathology 23, p. 455-473.

Zambolim, L (2005) Sementes: qualidade fitossanitária. Viçosa, p. 502.

Recursos da internet

Rhane K, Ruhl G (2003) Soybean. Crop Diseases in corn, soybean and wheat. <http://www.btny.purdue.edu/extension/pathology/CropDiseases/Soybean/Soybean.html>.

Seprotec (2009) Soja ciclo precoce CD 215. http://www.seprotec.com.br/produtos_soja_215.asp.

TABELAS

TABELA 1 – Época de aplicação de fosfito e fungicidas utilizados para gerar um gradiente de severidade de míldio (*Peronospora manshurica*), em soja (*Glycine max*), em Ponta Grossa (2007/08) e Castro (2008/09), cultivar CD 215, Paraná, Brasil.

| | Época de aplicação ¹ | | | | |
|---|---------------------------------|----|------------|----|------|
| | Estádio Fenológico ² | | | | |
| | V3 | V7 | R1 | R3 | R5.1 |
| 1 | | | Testemunha | | |
| 2 | X | X | X | X | X |
| 3 | | X | X | X | X |
| 4 | | | X | X | X |
| 5 | | | | X | X |
| 6 | | | | | X |

¹ Em 2007/08 o produto utilizado foi 750 g i.a. ha⁻¹ de fosfito (P₂O₅ 30% + K₂O 20%). Sendo que a época 2 foi repetida com os produtos, 900 g i.a ha⁻¹ de cloridrato de propamocarbe + fenamidona (37,5% e 7,5%) e 2400 g i.a. ha⁻¹ de mancozebe alternado com cimoxanil + mancozebe 160 + 1280 g i.a. ha⁻¹, totalizando oito tratamentos. Em 2008/09 o produto utilizado foi 900 g i.a ha⁻¹ de cloridrato de propamocarbe + fenamidona (37,5% e 7,5%), totalizando seis tratamentos

² Estádios fenológicos: V3 (2º trifólio desenvolvido), V7 (6º trifólio desenvolvido), R2 (pleno florescimento), R3 (vagens com 2 a 4 cm) e R5.1 (10% de enchimento dos grãos).

TABELA 2 – Equação da função de dano do míldio da soja (*Peronospora manshurica*), para as variáveis com significância, originais e ajustadas, cv. CD 215, em Ponta Grossa (2007/08) e Castro (2008/09), Paraná.

| Variável | Safra | Equação original | P=* | R2 | Equação ajustada** | Dano Estimado (%)*** para 45% sev. de Míldio |
|-----------------|-------|-------------------|--------|----|--------------------|-------------------------------------------------|
| Rendimento | 07/08 | R=4321,15 -10,77S | 0,0414 | 33 | R=1000 - 2,5S | 12,5 |
| Peso 1000 grãos | 07/08 | P=169,5 - 0,23S | 0,0008 | 52 | P=1000 - 1,4S | 6,3 |
| | 08/09 | P=158,73 - 0,3S | 0,0094 | 54 | P=1000 - 1,9S | 8,6 |

* Probabilidade de erro.

** Equação ajustada para tonelada (R=rendimento) e gramas (P=peso de 1000 grãos) para cada 1% de severidade de míldio (S).

*** Dano estimado para 45% de severidade de míldio baseado na equação ajustada para tonelada (Rendimento) e gramas (Peso de 1000 grãos).

FIGURAS

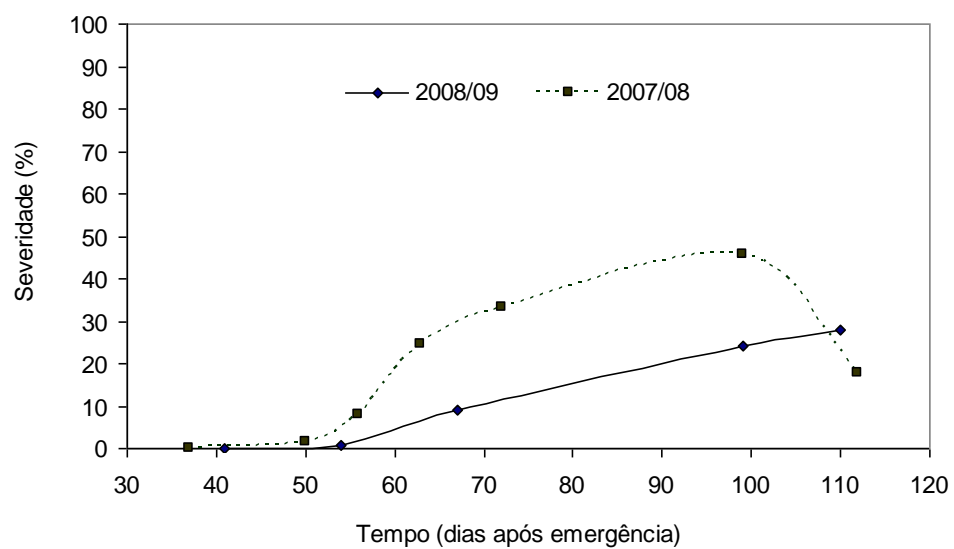


FIGURA 1 – Curva de progresso do míldio da soja (*Peronospora manshurica*), na cultura da soja (*Glycine max*), cultivar CD 215, em Ponta Grossa (2007/08) e Castro (2008/09), Paraná, Brasil.

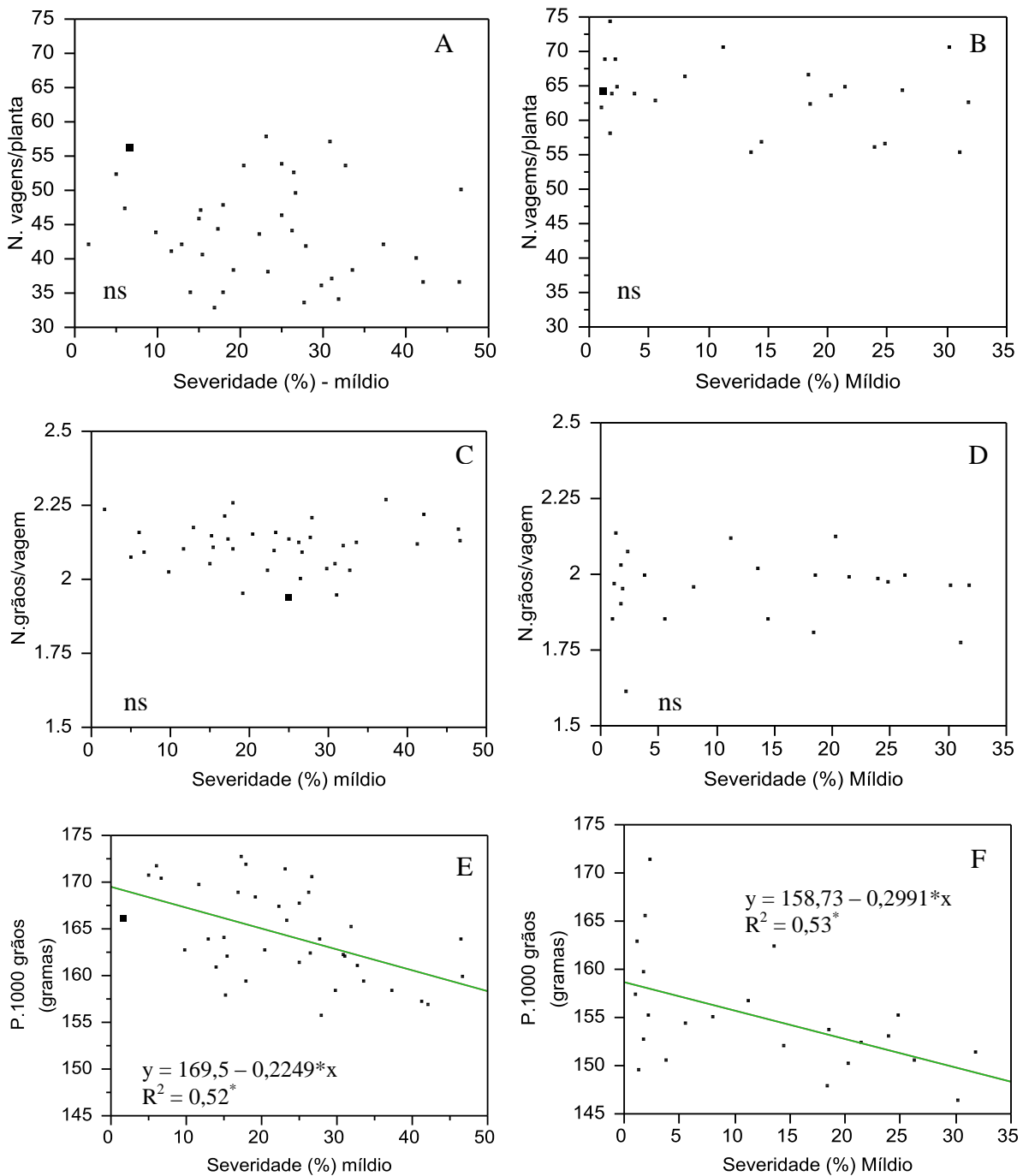


FIGURA 2 – Relação entre componentes de rendimento da soja (*Glycine max*) e severidade de míldio (*Peronospora manshurica*), no estágio de plantas com 50% de enchimento dos grãos (A, C e E 2007/08, Ponta Grossa; B, D e F 2008/09, Castro), cultivar CD 215, PR, Brasil. Modelo de regressão linear: $y=a+bx$, onde “a” é ponto de interseção e “b” é inclinação; (R^2) Coeficiente de determinação.

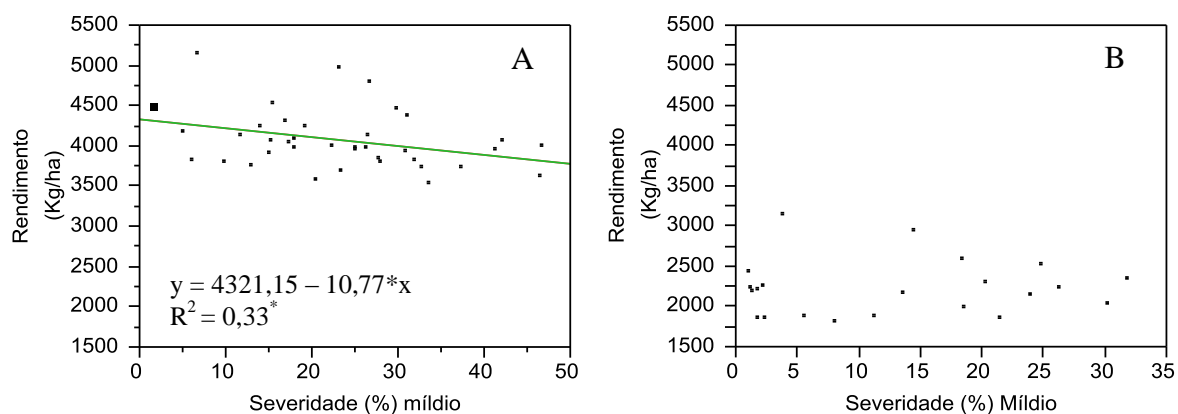


FIGURA 3 – Relação entre rendimento e severidade de mildio da soja (*Peronospora manshurica*), no estágio de plantas de soja (*glycine max*) com 50% de enchimento dos grãos (A. 2007/08, Ponta Grossa; B. 2008/09, Castro), cultivar CD 215, PR, Brasil. Modelo de regressão linear: $y=a+bx$, onde “a” é ponto de interseção e “b” é inclinação; (R^2) Coeficiente de determinação.

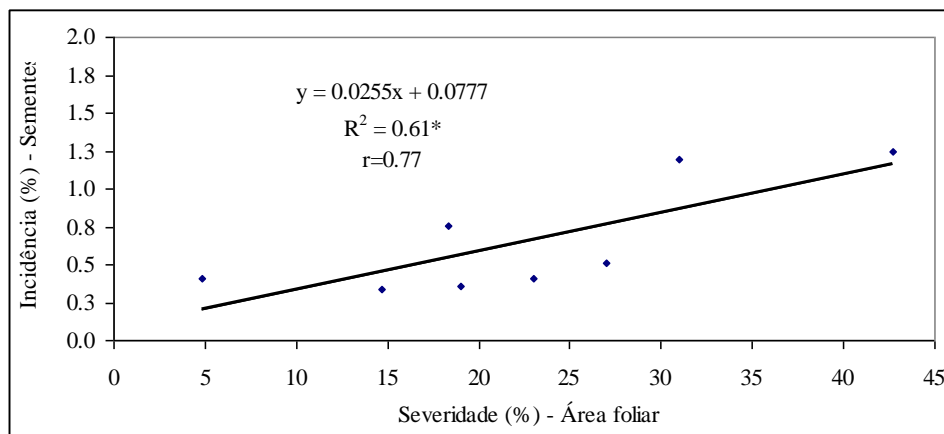


FIGURA 4 – Relação entre incidência de míldio (*Peronospora manshurica*), nas sementes de soja (*Glycine max*) e severidade no estágio de plantas com 50% de enchimento dos grãos, safra 2007/08, cultivar CD 215, Ponta Grossa, PR, Brasil. Modelo de regressão linear: $y=a+bx$, onde “a” é ponto de interseção e “b” é inclinação; (R^2) Coeficiente de determinação; (r) indica correlação.

3.2 Potassium phosphate for the control of downy mildew in soybean

Este artigo foi submetido na Crop protection e em janeiro de 2011 foi aceito. A versão final esta disponível (doi: 10.1016/j.cropo.201.02.015).

Potassium phosphite for the control of downy mildew in soybean

O.C. Silva*, H.A.A. Santos, M. Dalla Pria, L.L. May De Mio

PhD student of Paraná Federal University, R. dos Funcionários, 1540, Curitiba, PR, BR, CEP 80035-050

*Author for contact: Phone/fax: 55 19 30225757; E-mail: ocorrea@dow.com

Abstract

Downy mildew in soybean, caused by *Peronospora manshurica*, is wide spread throughout Brazil. The objective of this study was to evaluate the use of potassium phosphite to control this disease. Field experiments were conducted during the growing season of 2006/2007 and 2007/2008 in the state of Parana in southern Brazil. The experimental design consisted of completely randomized blocks in a factorial arrangement (4x2) with four replications. Four rates of potassium phosphite (0, 375, 750 and 1500 g P₂O₅ + K₂O ha⁻¹) were applied at two growth stages (V6 and R2), followed by one or two applications of pyraclostrobin and epoxiconazole (66.5 + 25 g a.i. ha⁻¹) at R3 or R2 and R5.1, respectively. The fungicide was used for the control of Asian soybean rust and powdery mildew. Field experiments were conducted to quantify the severity of downy mildew on leaves, nutrient content in leaf tissue (N, P and K), leaf area index (LAI), yield and seed weight. The maximum severity of downy mildew was observed at a growth stage of R5.3, with 14% and 46% of the leaf area affected in 2006/2007 and 2007/2008, respectively. There was a linear reduction in the severity of downy mildew with an increase in the rate of phosphite applied. During 2006/2007, a significant yield and LAI improvement were observed due to the application of the highest rate of

phosphite. Two fungicide applications following phosphite application significantly improved the yield and seed weight when compared to a single fungicide application.

Keywords: downy mildew, phosphorus, *Glycine max*, fungicide

1. Introduction

Diseases caused by pathogens in soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) lead to reduced yields and financial losses (Picinini and Fernandes, 1995; Yorinori et al., 2005). The use of fungicide in soybean is a common method for the control of diseases such as powdery mildew (*Microsphaera diffusa* Cooke & Peck), Asian soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P.Syd.) (Forcelini, 2004; Silva, 2002; Silva, 2004) and other late season diseases (*Cercospora kikuchii* Mats. & Tomoy and *Septoria glycines* Hemmi). In different regions of Brazil, more than two fungicide applications are often made to soybean. Despite the application of pesticides, epidemics of downy mildew, caused by an oomycete [*Peronospora manshurica* (Naumov) Syd], are still prevalent. The use of susceptible cultivars and the application of fungicide possessing triazoles that are not effective against oomycetes (Weete et al., 1983) have encouraged the spread of this disease.

Downy mildew in soybean is wide spread throughout Brazil (Rhane and Ruhl, 2003) and the amount of damage caused by this pathogen is between 8% and 14% in susceptible genotypes (Ferreira et al., 1981 and Dunleavy, 1987). Both the occurrence and the aggressiveness of this disease are favored by moist periods (12 h) and temperatures between 20 and 22°C during any stage of crop growth (Piccini and Fernandes, 2000). The seed is the main pathway for dissemination and the source of primary inoculum. Transmission from seed to seedling may reach 16% under ideal conditions (Inaba, 1985). Infected soybean seeds show reduced weight and protein content as well as a delay in germination (McKenzie and Wyllie, 1971; Koretsky and Koshevsky, 1998). Genetic

resistance is one of the most important methods for the control of downy mildew, and two major genes (R_{pm} and R_{pm2}) provide resistance (Lim, 1989). In Brazil, there are no reports related to physiological races (Embrapa, 2000), although 35 races have been described elsewhere (Lim, 1989).

Phosphite has been used to control oomycetes such as *Pythium* spp, *Phytophthora* spp, *Peronospora* spp and *Plasmopara* spp (McDonald et al., 2001; Katsurayama and Boneti, 2002; Sônego and Czermainski, 2003). The term phosphite is a generic name used for salts of phosphorus acid (H_3PO_3). These salts show high solubility, rapid plant absorption, significant selectivity and systemic translocation (Guest and Grant, 1991). Their mode of action is complex and may directly inhibit the pathogen. Alternatively, the defense mechanism of plants may be activated such as secondary metabolites, the phytoalexins (Smillie et al., 1989). Phosphites are a poor source of phosphorus (P) because they require oxidation to be metabolized by the plant and compete with phosphate for transport sites (Foster et al., 1998; Lovatt and Mikkelsen, 2006). In Brazil, phosphites are registered as foliar fertilizers but have been used to control leaf diseases in soybean.

The present study evaluated the following: (1) the effect of phosphite application rates on the control of downy mildew and on the maintenance of leaf area and yield; (2) the interaction of phosphite application and foliar fungicide application; (3) the application of phosphite as a nutritional source of phosphorus and potassium; (4) a correlation between the severity of downy mildew on leaves and the incidence of pathogens on seed.

2. Material and methods

2.1 Field Experiments:

Two field trials were conducted in the ABC Foundation field station during the growing season of 2006/2007 and 2007/2008 in the city of Ponta Grossa, Parana, Brazil, with coordinates of

25°00'48'' latitude S, 50°09'05'' longitude E at an altitude of 890 m. The climate is considered Cfb according to Köppen and the soil is classified as a dystrophic red oxisol with medium texture. Soybean was sown on black oat straw under a no-till system in 11/17/06 and 11/12/07 with a plot density of 35 plants m⁻². The cultivar CD 215 was used in field experiments and is classified as an early cycle soybean that is susceptible to downy mildew and Asian soybean rust, with moderate susceptibility to powdery mildew and late season diseases (Seprotec, 2009).

The experimental design included a completely randomized block in a factorial arrangement with four phosphite rates and two fungicide applications. Each block was replicated four times. Four rates (0, 375, 750 and 1500 g a.i. ha⁻¹) of potassium phosphite (30% P₂O₅ + 20% K₂O), followed by one or two applications of pyraclostrobin and epoxiconazole (66,5 + 25 g a.i. ha⁻¹), were applied. The fungicide was used for the control of Asian soybean rust and powdery mildew. Two phosphite applications were applied at a growth stage of V6 (trifoliolate leaf on the sixth node, unfolded) and R2 (full flowering). One fungicide application was conducted at a growth stage of R3 (beginning of pod development) and two applications were conducted at R2 and R5.1 (10% of pods were ripe). Each experimental unit consisted of seven rows of 5 m long and 0.4 m apart, a total area of 14 m², where a useful area of 6.4 m² (4 lines of 4 m) was used for harvest. The treatments were applied under proper conditions using backpack sprayers (MAE) at a constant pressure of 131 kPa using compressed carbon dioxide with six flat-fan spray tips (XR11002) 0.5 m apart and a water volume of 135 L ha⁻¹.

Downy mildew severity was quantified from a growth stage of V6 to R6 (100% of the pod weight and green leaves) every seven to ten days. Five assessments were conducted in 2006/2007 and seven in 2007/2008 using the diagrammatic scale of Kowata et al. (2008). In this method, twenty trifoliolate leaves were assessed from the useful area of the plot, including ten from the

lower half and ten from the upper half. The area under the curve of disease progression (AUCDP) was calculated based on the equation of Shaner and Finney (1977).

The nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) concentration of plants were determined by collecting 10 trifoliolate leaves per plot two days after phosphite application at a growth stage of R2. The first fully developed trifoliolate leaf was collected from the plant apex (Raij et al., 1996). The Dumas Method was conducted with a Leco® analyzer (FP – 428) for the determination of N. The other elements determination, the nitric-perchloric acid digestion was conducted (Embrapa, 1999).

The determination of leaf area index (LAI) at a growth stage of R7.2 (50 to 75% of leaves were discolored) was achieved using a Linear Ceptometer (accuPAR, LP-80, Decagon USA), which measures photosynthetically active solar radiation. Three measurements were conducted from the useful area of the plot at ± 1.2 m above the soil (over the canopy) and four at ± 0.1 m above the soil.

Plants from the useful area of the plot were collected to determine yield and seed weight where the moisture in seed was estimated at 13%. The number of seeds per 300 g per plot was used to determine the seed weight. The incidence of downy mildew on seeds was determined by direct examination of the pathogen on the surface of the seed (Zambolim, 2005).

2.2. Data analysis:

The normality of the data was analyzed by the Shapiro-Wilk's analysis of variance (ANOVA). When the F test indicated that a factor was significant, the averages of phosphite rate and number of fungicide applications were compared using Tukey's test at a level of 5% significance. Regression models were adjusted for tendency analysis. The optimal model was indicated by the highest determination coefficient (R^2) and the smallest average square of residue.

The effective concentration that inhibited 50% of pathogen germination (EC_{50}) was calculated by the equation generated by the regression model. SAS (Statistical Analysis System) Version 9.1 was used for all statistical analyses.

3. Results

Downy mildew severity differed between the two seasons; 2007/08 showed the most severe epidemic (Fig. 1) when the average temperature was 2.1°C lower throughout the cycle of soybean (Fig. 5). The first symptoms of disease appeared at the beginning of the vegetative stage, V7 (trifoliolate leaf on the 7th node, unfolded), 40 days after emergence (DAE). The maximum severity occurred at a reproductive stage close to R5.3 (50% of pods were ripe) 90 DAE with 14% and 16% of the leaf area affected in 2006/2007 and 2007/2008, respectively. After the reproductive stage R5.3, the severity of the disease declined in both seasons.

The AUCDP of downy mildew (Fig. 2) decreased linearly with an increase in phosphite rate, and control was greater than 50% when the highest rates were applied (750 and 1500 g P_2O_5 + K_2O ha^{-1}) in both trials.

The concentrations of nitrogen and potassium in soybean foliar tissue were not affected by an increase in phosphite rate (Table 1). During 2006/2007, a reduction of phosphorus (P) in foliar tissue was observed with phosphite. However, this was not observed during the following season, when P contents for treated and untreated plants were similar.

There was no interaction between the number of fungicide applications and phosphite rate on the maintenance of leaf area (Table 2). Two applications of fungicide yielded the highest LAI in both trials when compared to one application. The highest phosphite rates 750 and 1500 g P_2O_5 + K_2O ha^{-1} showed a significantly higher LAI in 2006/2007 however no difference was observed among phosphite rates in 2007/2008.

The yield in 2006/2007 was 920 kg ha⁻¹ higher on average than in 2007/08, and no interaction was observed between fungicide application and phosphite rate for yield. The precipitation during the reproductive growth stage in 2006/07 and 2007/08 were 354 and 189 mm, respectively (Fig. 5). Two fungicide applications improved the yield in both trials (Table 2). The highest rate of phosphite provided a significantly higher yield than untreated plants in 2006/2007. However, in the following season, no differences were observed between plants treated with phosphite and untreated plants.

The highest values of the weight of 1000 seed were observed with two fungicide applications in both trials. The phosphite rate had no effect on seed weight (Table 2), and no interaction was observed between phosphite rate and fungicide application for seed weight.

There was a significant linear reduction of the incidence of *P. manshurica* on seed with an increase in phosphite application rate. The highest rate of phosphite reduced 83% of pathogen incidence on seed (Fig. 3). There was a positive correlation (89%) between the severity of downy mildew on leaves and pathogen incidence on seed (Fig. 4). The number of fungicide applications had no effect on the incidence of downy mildew on seed (Table 3).

Asian rust occurred in both seasons at the end of the reproductive cycle (R6) with a severity of 36.7% and 21.8% in the first and second trial, respectively. In 2006/07 the average temperatures throughout the cycle and the precipitation in reproductive stage were higher than 2007/08, 2.1°C and 164 mm, respectively, (Fig. 5). Two fungicide applications were superior to one for the control of Asian soybean rust. Powdery mildew occurred in 2007/2008 at a reproductive stage (R6) with a severity of 17.5% (Table 4). There was no difference between the numbers of fungicide application for the control of powdery mildew.

4. Discussion

Many authors, such as Sônego and Czermainski (2003), who performed studies on grapevine, and Wordell Filho et al. (2007) who investigated onion, report the effectiveness of phosphite in controlling downy mildew. However, the effect of phosphite on soybean downy mildew is not known or reported. In the present work, phosphite was found to reduce downy mildew in soybean.

The direct and indirect mechanisms for the control of diseases by phosphite were discussed by Guest and Grant (1991). High concentrations of phosphite have a direct fungistatic effect on pathogens (Barchietto et al., 1992). However, when phosphite directly inhibits pathogens, metabolic stress occurs in the plant and defense mechanisms become activated (Guest and Grant, 1991). Plants treated with phosphorous acid after pathogen inoculation showed changes related to defense, such as hypersensitivity, migration of the nucleus and phytoalexin accumulation around challenged cells (Guest, 1986; Guest and Grant, 1991; Daniel et al., 2005). Daniel and Guest (2006) showed the mechanism of defense activation in *Arabidopsis thaliana* upon treatment with potassium phosphite and inoculation with *Phytophthora palmivora*. Pathogen inhibition was due to the release of superoxides, hypersensitivity and the accumulation of phenolic compounds, more than by direct inhibition of the pathogen by phosphite. According to Smilie et al. (1989), the concentration of phosphite can determine the mode of inhibitory action; an indirect effect is related to low concentrations of phosphite. In the present study, the AUCDP of downy mildew decreased linearly with increasing phosphite rate. Beside that the lowest phosphite rate (375 g of $P_2O_5 + K_2O \text{ ha}^{-1}$) also showed some effect on reduction of the AUCDP of *P. manshurica*. However, in this study, it was not possible to acknowledge the mode of action of phosphite present on control of downy mildew.

One or two fungicide applications did not show any significant effect on the severity of downy mildew. The first fungicide was applied at the beginning of reproduction when the severity of downy mildew was already 10%. Thus, the product had eradicated action against the pathogen

and its effectiveness may have been substantially reduced (Reis et al., 2007). Epoxiconazole, one of the active ingredients (a.i.) of the fungicide, does not have any effect on oomycetes. Pyraclostrobin, the other active ingredient of the fungicide, is not registered to control *P. manshurica* in soybeans (Andrei, 2009).

Phosphite applications did not improve potassium or phosphorous (P) content in the leaf tissue of soybeans even though these elements are a part of its composition. Although it is absorbed and transported by the plant, phosphorous acid is considered a poor source of P. This compound must be reduced to phosphate in order to be metabolized by the plant, and this process may take months (Guest and Grant, 1991). Additionally, these nutrients were not limited in the soil and the observed foliar concentrations are considered adequate. In 2007/2008, a significant reduction in foliar P was observed with the application of phosphite. According to McDonald et al. (2001), P concentrations can be reduced at the molecular level due to competition between phosphite and phosphate (the most important source of metabolized P) for transport sites. Thus, the observed decrease in P content following phosphite application may be related to competition for transport sites between sources of P, which leads to a reduction in P metabolism by plants.

Two fungicide applications provided a significant increase in LAI at a reproductive stage of R7.2 in both trials, and this may be due to an optimal control of Asian soybean rust and powdery mildew. Both diseases can cause premature defoliation and a reduction in yield (Silva, 2004).

The highest phosphite rate enhanced the LAI only in 2006/2007. This result may not be related to the improvement of downy mildew control because the severity of *P. manshurica* was lower than 2007/2008 as well as the soybean Asian was more aggressive in 2006/2007. There are reports regarding the control of oomycetes with phosphite. However, the effect of phosphite against other pathogens is not well known (Lovatt and Mikkelsen, 2006). In addition, there are no reports in

the literature regarding soybean defoliation caused by *P. manshurica*, although downy mildews cause defoliation in other plant species (Agrios, 1997).

The yield in 2007/2008 was, on average, 920 kg ha⁻¹ less than in 2006/07, which may be due to the lower precipitation during the reproductive growth stage. Crop rotation and soil fertility were similar in both trials. Two applications of the fungicide provided a significant increase in yield and seed weight in both trials due to superior control of Asian rust and powdery mildew. This data confirms the importance of fungicide applications on the control of Asian rust and powdery mildew in Brazil (Yorinori et al., 2005).

The highest rate of phosphite provided a significant increase in yield in 2006/2007, which might be attributed to the control of downy mildew. However in 2007/2008, no difference in yield was observed between soybeans treated with phosphite and untreated soybeans under a much higher disease pressure. Environmental factors that limit yield and the occurrence of diseases that cause more damage (such as Asian rust) likely overshadowed the potential damage of *P. manshurica*. The potential damage of this pathogen in soybeans is considered low (Rhane and Ruhl, 2003). However studies led by Dunleavy (1987) showed damage in soybean up to 11.8% in susceptible cultivars and a reduction in seed weight between 3.9 and 7.2%. In this study, phosphite had no effect on seed weight.

The incidence of *P. manshurica* oospores on soybean seed are the main source of primary inoculum on the field. Inaba (1985) reported a transmission rate of downy mildew from seed to seeding up to 16%, and Mckenzie and Wyllie (1971) demonstrated that 73% of seed lots in the USA were contaminated with this pathogen. In addition, contaminated seed showed reduced weight and protein content as well as a delay in germination (Koretsky and Koshevsky, 1998). This work showed a linear reduction of downy mildew on seed with an increase in phosphite rate in foliar application. A positive correlation (89%) between the severity of this disease on leaves and

incidence on seed was observed. Dunleavy (1987) obtained similar results, in which foliar applications of metalaxyl fungicide for the control of downy mildew reduced the incidence on seeds by 100%.

References

- Agrios, G.N., 1997. Plant Pathology. 4th ed. Academic Press, San Diego.
- Andrei, E., 2009. Compêndio de defensivos agrícolas. 8th ed. Organização Andrei Editora Ltda, São Paulo.
- Barchietto, T., Saindrenan, P., Bompeix, G., 1992. Physiological responses of *Phytophthora citrophthora* to a subinhibitory concentration of phosphite. *Pest Biochem Physiol.* 42, 151-66.
- Daniel R., Guest, D.I., 2006. Defence responses induced by potassium phosphonate in *Phytophthora palmivora*-challenged *Arabidopsis thaliana*. *Physiol Mol Plant Pathol.* 67, 194-201.
- Daniel, R., Wilson, B.A., Cahill, D., 2005. The effect of potassium phosphonate on the response of *Xanthorrhoea australis* to infection by *Phytophthora cinnamomi*. *Australas Plant Pathol.* 3, 541-548.
- Dunleavy, J.M., 1987. Yield reduction in soybean caused by downy mildew. *Plant Dis.* 71, 1112-1114.
- Embrapa. 1999. Manual de análises de solos, plantas e fertilizantes. Embrapa, Brasília.
- Embrapa. 2000. A cultura da soja no Brasil. Embrapa Soja, Londrina.
- Ferreira, L.P., Lehman, P.S., Almeida, A.M.R., 1981. Moléstias e seu controle. In: Miyasaka, S., Medina, J.C., (Eds.), A soja no Brasil. Ital, Campinas.
- Forcelini, A.C., 2004. Danos e critérios para o controle químico do oídio. In: Reis, E.M., (Ed.), Doenças na cultura da soja. Passo fundo, 1, 117-123.
- Forster, H., Adaskaveg, J.E., Kim, D.H., Stanghellini, M.E., 1998. Effect of phosphite on tomato and pepper plants and on susceptibility of pepper to *Phytophthora* root and crown rot in hydroponic culture. *Plant Dis.* 82, 1165-1170.

- Guest, D.I., 1986. Evidence from light microscopy of living tissue that Fosetyl-Al modifies the defence response in tobacco seedlings following inoculation by *Phytophthora nicotianae* var *nicotianae*. *Physiol Mol Plant Pathol.* 29, 251-261.
- Guest, D.I., Grant, B.R., 1991. The complex action of phosphonates as antifungal agents. *Biological Review*, 66, 159-187.
- Inaba, T., 1985. Seed transmission of downy mildew of spinach and soybean. *Jpn Agr Res Q.* 19, 26-31.
- Katsurayama, Y., Boneti, J.I.S., 2002. Avaliação da eficiência do Fitofos-K plus no controle do míldio (*Peronospora destructor*) da cebola. Epagri, São Joaquim.
- Koretsky, A.P., Koshevsky, I.I., 1998. Yield reduction of soybeans caused infected of seeds by downy mildew. Third European Conference on Grain Legumes, Valladolid, Spain, November 1998, 14-19.
- Kowata, L.S., May-De Mio, L.L., Dalla Pria, M., Santos, H.A.A., 2008. Escala diagramática para avaliar severidade de míldio na soja. *Ciencia Agrária* 9, 105-110.
- Lim, S.M., 1989. Inheritance of resistance to *Peronospora manshurica* race 2 and race 33 in soybean. *Phytopathol* 79, 877-879.
- Lovatt, C.J., Mikkelsen, R.L., 2006. Phosphite fertilizers: What are they? Can they do? *Better Crops* 90, 11-14.
- McDonald, A.E., Grant, B., Plaxton, W.C., 2001. Phosphite (phosphorous acid): Its relevance in the environment and agriculture and influence on plant phosphate starvation response. *J Plant Nutr.* 24, 1505-1519.
- McKenzie, T.R., Wyllie, T.D., 1971. The effect of temperature and lesions size on the sporulation of *Peronospora manshurica*. *Phytopathol* 71, 321-326.

- Picinini, E.C., Fernandes, J.M.C., 1995. Eficácia de fungicidas no controle de patógenos de sementes de soja. In: 28º Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 1995, Ilhéus, Fitopatol Bras. 20, 339-339.
- Picinini, E.C., Fernandes, J.M.C., 2000. Doenças da soja: Aspectos epidemiológicos e controle. 2. ed. Embrapa Trigo, Passo Fundo.
- Raij, B. Van., Cantarella, H., Quaggio, J.A., Furlani, A.M.C., 1996. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2 ed. Instituto Agrônômico & Fundação IAC, Campinas.
- Reis, E.M., Forcelini, C.A., Reis, A.C., 2007. Manual de fungicidas: guia para o controle químico de doenças de plantas. 5 ed. UPF, Passo Fundo.
- Rhane, K., Ruhl, G., 2003. Soybean. Crop Diseases in corn, soybean and wheat. <http://www.btny.purdue.edu/extension/pathology/CropDiseases/Soybean/Soybean.html>.
- Shaner, G., Finney, R.E., 1977. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in knox wheat. *Phytopathol.* 67, 1051-1056.
- Seprotec. 2009. Soja ciclo precoce CD 215. http://www.seprotec.com.br/produtos_soja_215.asp.
- Silva, O.C., 2002. Dano e controle do complexo de doenças foliares da soja. II Encontro Brasileiro sobre doenças da cultura da soja. Passo Fundo. 55-59.
- Silva, O.C., 2004. Danos e controle do complexo de doenças foliares da soja. In: Reis, E.M., (Ed.), Doenças na cultura da soja. Passo Fundo.
- Smillie, R.; Grant, B.R.; Guest, D., 1989. The mode of action of phosphite: evidence for both direct and indirect modes of action on three *Phytophthora spp.* in plants. *Phytopathol.* 79, 921-926.
- Sônego, O.R.; Czermainski, A.B.C., 2003. Avaliação de fosfitos no controle do mildio da videira. Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves.
- Wordell Filho, J.A., Martins, D.A., Stadnik, M.J., 2007. Aplicação foliar de tratamentos para o controle do míldio e da podridão-de-escamas de bulbos de cebola. *Hortic. Bras.* 25, 544-549.

Weete, J.D., Sancholle, M.S., Montant, C., 1983. Effects of triazoles on fungi: II Lipid composition on *Taphrina deformans*. *Biochim Biophys Acta*. 752, 19-29.

Yorinori, J.T., Paiva, W.M., Frederick, R.D., Costamilan, L.M., Bertagnolli, P.F., Hartman, G.E., Godoy, C.V., Nunes Junior, J., 2005. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay. *Plant Dis*. 89, 675-677.

Zambolim, L., 2005. Sementes: qualidade fitossanitária. UFV, Viçosa.

Attachments

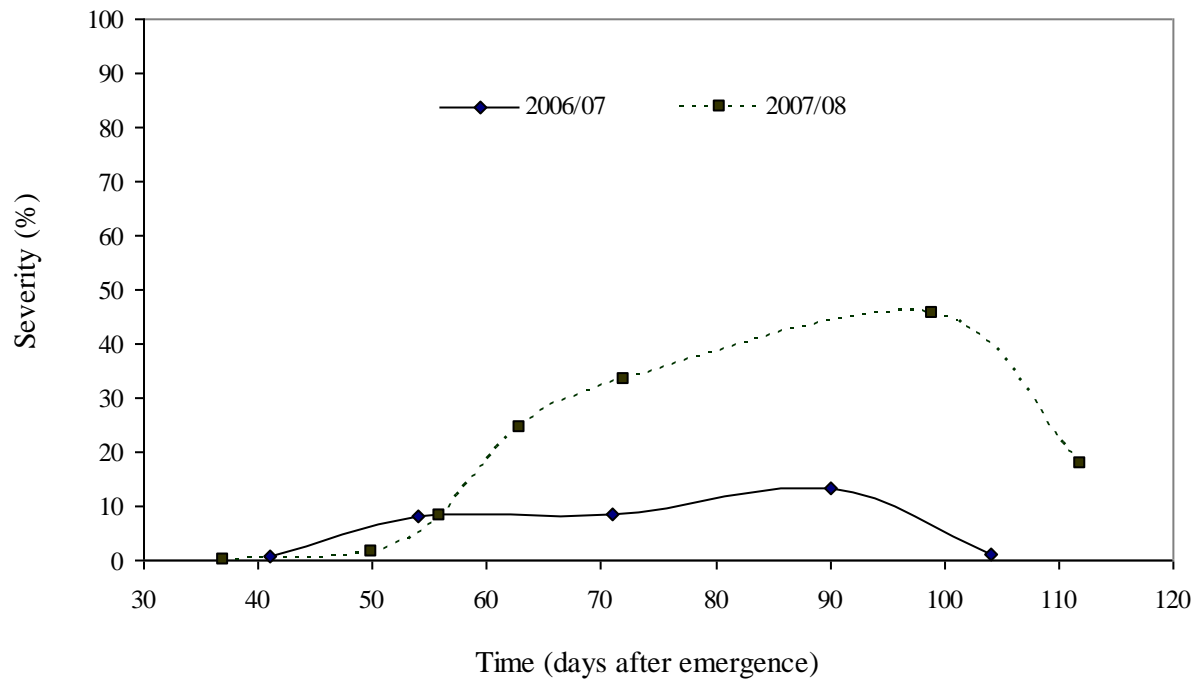


Fig. 1: Progress curve of soybean downy mildew (*Peronospora manshurica*). CD 215 cultivar, growing season 2006/2007 and 2007/2008, Ponta Grossa, PR, Brazil

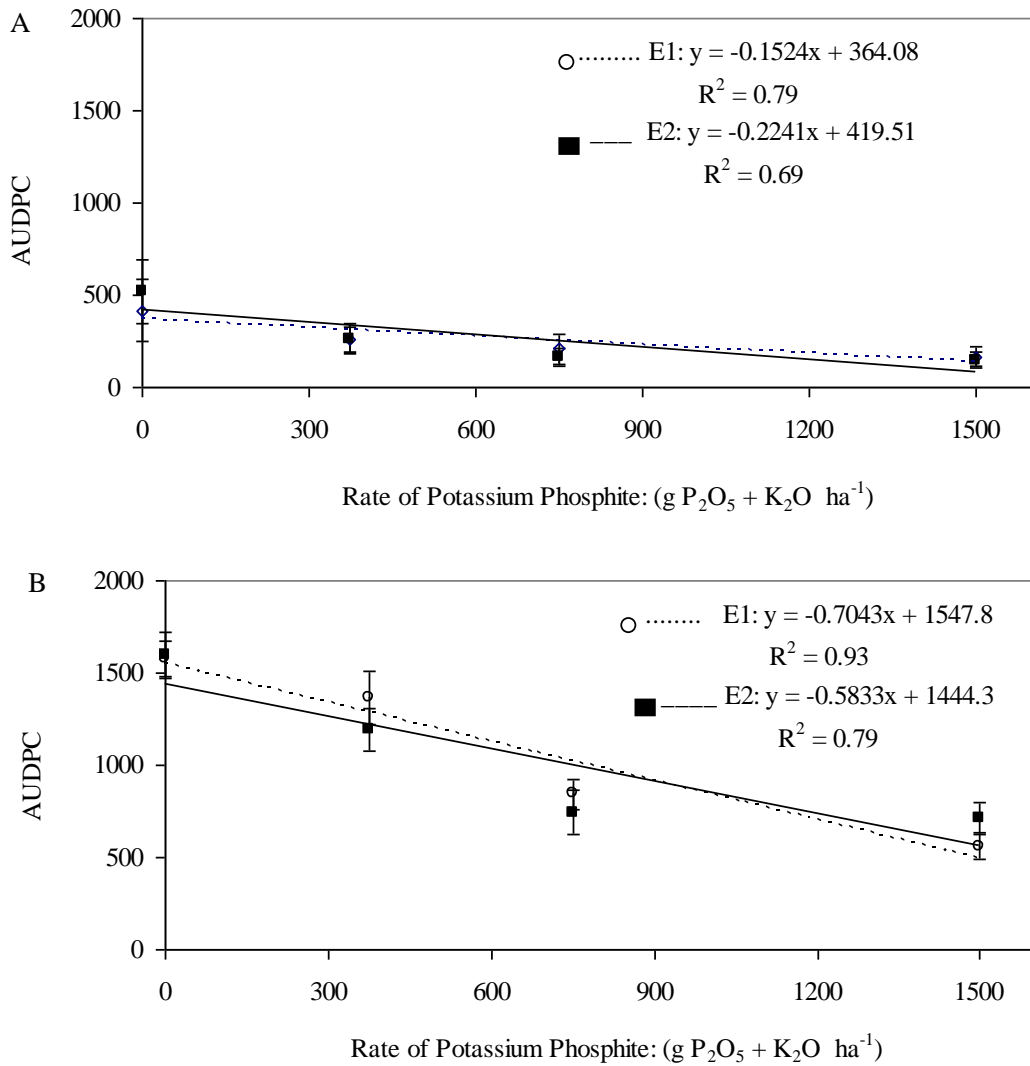


Fig. 2: Area under the progress curve of disease progression (AUCDP) of soybean downy mildew (*Peronospora manshurica*) by potassium phosphite rate in 2006/2007 (A) and 2007/2008 (B), Ponta Grossa, PR, Brazil. Each point represents the average of four replications. The vertical bar represents the standard deviation. E1: one foliar application of pyraclostrobin and epoxiconazole (67 + 25 g a.i. ha⁻¹) at R2. E2: two applications of pyraclostrobin and epoxiconazole at R2 and R5.1. The linear regression model ($y = a + bx$), where a is the intercept and b is the slope. R² is the determination coefficient.

Table 1: Nutrient content (nitrogen, phosphorus and potassium) in leaf tissue of soybean plants (*Glycine max*), CD 215 cultivar, at R2 with increasing potassium phosphite rates in 2006/07 and 2007/08, Ponta Grossa PR, Brazil.

| Potassium phosphite Rate (g P ₂ O ₅ +K ₂ O ha ⁻¹) | Nutrient content in leaf tissue | | | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------|-----------|----------|------------|-----------|
| | 2006/07 | | | 2007/08 | | |
| | Nitrogen | Phosphorus | Potassium | Nitrogen | Phosphorus | Potassium |
| | (g kg ⁻¹) | | | | | |
| 0 | 55.1 a* | 4.3 a | 24.4 a | 54.4 a | 3.2 a | 23.5 a |
| 375 | 53.3 a | 4.0 b | 24.4 a | 52.6 a | 3.2 a | 23.2 a |
| 750 | 53.3 a | 4.0 b | 22.8 a | 55.2 a | 3.3 a | 21.3 a |
| 1500 | 54.1 a | 4.0 b | 22.9 a | 56.3 a | 3.3 a | 23.0 a |
| CV (%) | 3.0 | 4.1 | 7.2 | 2.5 | 5.0 | 10.0 |

¹ Applications at V6 (plants with fifth trifoliolate leaf developed) and R2 (full flowering).

* Means followed by same letters are not statistically different (Tukey's test at 5% probability).

Table 2: Leaf area index (LAI), yield and weight of seed treated with increasing potassium phosphite rates and one or two foliar fungicide applications to control downy mildew (*Peronospora manshurica*) in soybean. CD 215 cultivar, in 2006/2007 and 2007/2008, Ponta Grossa, PR, Brazil.

| Treatments | Applications (Growth stage) ² | 2006/07 | | | 2007/08 | | |
|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| | | LAI ³ | Yield (kg ha ⁻¹) | Weight of 1000 Seed (g) | LAI ³ | Yield (kg ha ⁻¹) | Weight of 1000 Seed (g) |
| Potassium Phosphite | | | | | | | |
| Rate (g P ₂ O ₅ +K ₂ O ha ⁻¹) | | | | | | | |
| 0 | V6 - R2 | 1.3 b | 4356 b | 155.1 a | 2.8 ab | 3445 ⁴ a | 151.1 a |
| 375 | V6 - R2 | 1.6 ab | 4452 ab | 154.8 a | 2.6 b | 3584 a | 153.1 a |
| 750 | V6 - R2 | 1.7 a | 4453 ab | 156.3 a | 3.0 ab | 3602 a | 153.7 a |
| 1500 | V6 - R2 | 1.8 a | 4607 a | 156.3 a | 3.3 a | 3557 a | 153.2 a |
| Leaf Fungicide ¹ | | | | | | | |
| (n° of applications) | | | | | | | |
| 1 | R3 | 1.4 B | 4339 B | 153.3 B | 2.6 B | 3413 B | 149.7 B |
| 2 | R2 - R5.1 | 1.8 A | 4595 A | 157.9 A | 3.3 A | 3677 A | 155.8 A |
| CV (%) | | 17.9 | 3.9 | 1.8 | 13.6 | 4.8 | 2.2 |

¹ Pyraclostrobin and epoxiconazole (67 + 25 g a.i. ha⁻¹) fungicide.

² Application at: R2 (full flowering), R3 (beginning of pod development) and R5.1 (10% of pod filling).

³ Leaf Area Index at growth stage R7.2 (50% a 75% of pod filling).

⁴ Data transformed by SQRT(X + 0.5).

* Means followed by identical letters are not statistically different (Tukey's test at 5% probability).

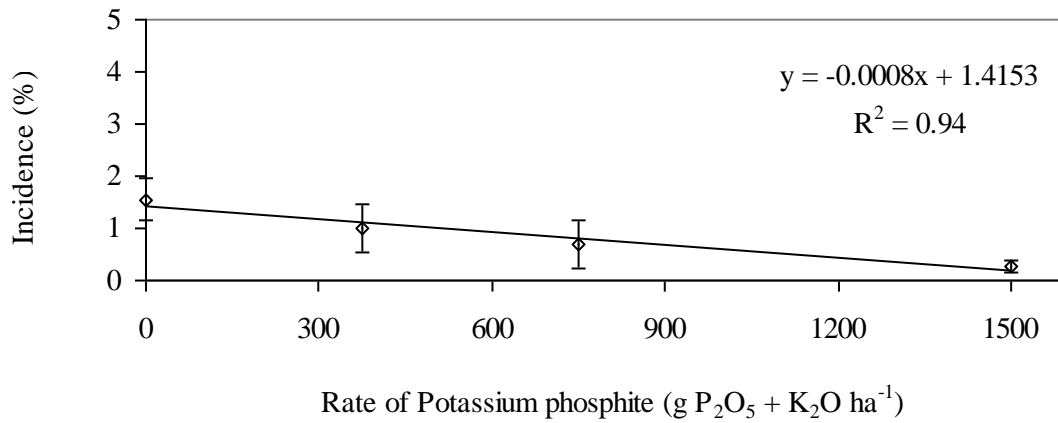


Fig. 3: Incidence of *Peronospora manshurica* on soybean seeds with increasing rates of potassium phosphite in two foliar applications at V6 and R2 in 2007/2008, Ponta Grossa, PR, Brazil. Each point represents the average of 4 replications. The vertical bar represents the standard deviation. The linear regression model ($y = a + bx$), where 'a' is the intercept and 'b' is the slope. R^2 is the determination coefficient.

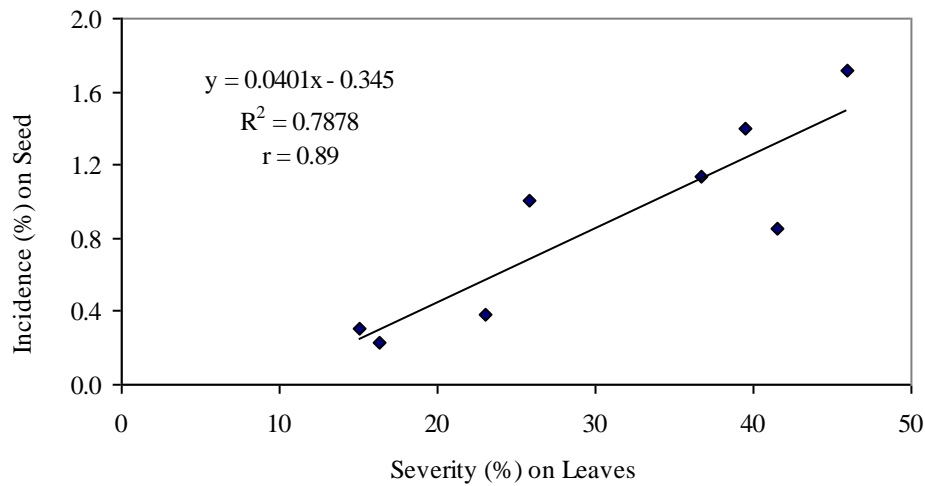


Fig. 4: Relation between incidence of soybean downy mildew (*Peronospora manshurica*) on seed and severity on leaves at R5.3. CD 215 cultivar in 2007/2008, Ponta Grossa, PR, Brazil. Each point represents the average of 4 replications. The linear regression model: $y = a + bx$, where 'a' is the intercept and 'b' is the slope. R^2 is the determination coefficient. (r) indicates correlation.

Table 3: Incidence of *Peronospora manshurica* on soybean seed following one or two foliar fungicide applications. CD 215 cultivar in 2007/2008, Ponta Grossa, PR, Brazil.

| Leaf Fungicide ¹ | Timing of Application | Downy Mildew | |
|---------------------------------|-----------------------------|-------------------|---|
| (N ^o of application) | (Growth Stage) ² | Incidence (%) | |
| 1 | R3 | 0.97 | a |
| 2 | R2 - R5.1 | 0.79 | a |
| CV (%) | | 11.8 ³ | |

¹ Pyraclostrobina and epoxiconazol (67 + 25 g a.i. ha⁻¹) fungicides.

² Applications at R2 (full flowering), R3 (beginning of pod development) and R5.1 (10% of pod filling).

³ Data transformed by SQRT(X + 0.5).

* Means followed by identical letters are not statistically different according to Tukey's test at 5% probability.

Table 4: Severity of Asian soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) and powdery mildew (*Microsphaera diffusa*) at R6 growth stage with one or two foliar fungicide applications in soybean (*Glycine max*), CD 215 cultivar, in 2006/07 and 2007/08, Ponta Grossa, PR, Brazil.

| Leaf Fungicide ¹ | Applications (Growth stage) ² | Soybean Rust ³ | | Soybean Rust ³ | | Powdery Mildew ³ | |
|-----------------------------|------------------------------------------|---------------------------|---|---------------------------|---|-----------------------------|---|
| | | 2006/07 | | 2007/08 | | 2007/08 | |
| | | Severity (%) | | Severity (%) | | Severity (%) | |
| (n° of applications) | | | | | | | |
| 1 | R3 | 36.7 | a | 21.8 | a | 17.5 | a |
| 2 | R2 - R5.1 | 26.2 | b | 9.7 | b | 10.5 | a |
| CV (%) | | 37.0 | | 48.1 | | 48.1 | |

¹ Pyraclostrobin and epoxiconazole (67 + 25 g a.i. ha⁻¹) fungicide.

² Application at: R2 (full flowering), R3 (beginning of pod development) and R5.1 (10% of pod filling).

³ Assessed at growth stage R6 (100% of the pod weight and green leaves).

* Means followed by identical letters are not statistically different (Tukey's test at 5% probability).

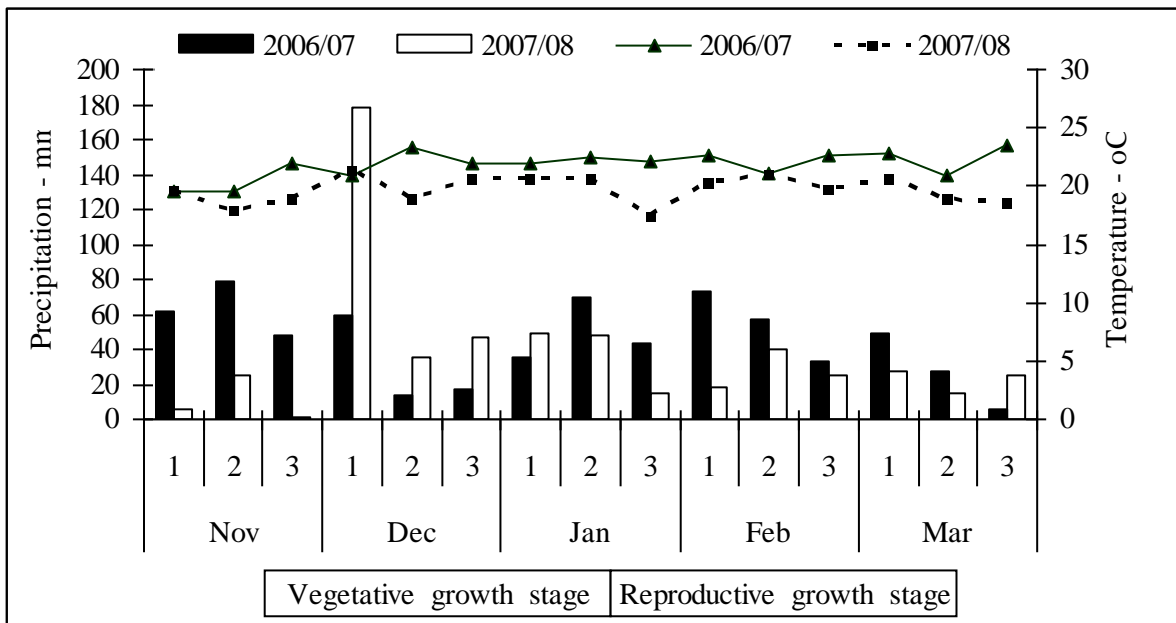


Fig. 5: Climate data every ten days, average temperature and precipitation, on field experiments collected in Ponta Grossa, PR, Brazil, in 2006/07 and 2007/08.

3.3 Fontes de fosfito e acibenzolar-S-metílico associados à fungicidas para o controle de doenças foliares na cultura da soja

O artigo científico foi escrito segundo as normas da revista *Tropical Plant Pathology*, órgão oficial da Sociedade Brasileira de Fitopatologia, e ainda não foi submetido.

Fontes de fosfito e acibenzolar-S-metílico associados à fungicidas para o controle de doenças foliares na cultura da soja

Phosphite sources and acibenzolar-S-methyl associated to fungicides on the control of foliar diseases in soybean

Olavo C. Silva¹, Hellen A.A. Santos², Cícero Deschamps¹, Maristella Dalla Pria³, Louise L. May

De Mio¹

¹Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo da Universidade Federal do Paraná, Rua dos Funcionários 1540, 80035-050, Curitiba-PR; ²Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Catarina, Rodovia Municipal Ulisses Gaboardi, Km 3, Fazenda Pessegueirinho, 89520-000, Curitibanos – SC; ³Departamento de Fitotecnia e Fitossanidade da Universidade Estadual de Ponta Grossa, Av. Gal. Carlos de Cavalcanti, 4748, 84030-900, Ponta Grossa – PR.

Autor para correspondência: Olavo C. Silva, e-mail: ocorrea@dow.com

RESUMO

O uso de indutores de mecanismos de defesas das plantas associados a um programa de fungicidas poderia reduzir o número de aplicações e aumentar o espectro de controle das doenças da soja. O objetivo deste trabalho foi estudar diferentes fontes comerciais de fosfito e acibenzolar-S-metílico (ASM) associados a uma aplicação de fungicida no controle do míldio, do oídio e da ferrugem asiática. Foram conduzidos dois experimentos na região de Ponta Grossa, PR, nas safras 2006/07 e 2007/08. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados com quatro repetições. Os tratamentos foram cinco fontes comerciais de fosfitos de potássio e uma de manganês ($450 \text{ g P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$) e ASM ($12,5 \text{ g i.a. ha}^{-1}$), aplicados em V7 e R2. Os tratamentos com fosfito e ASM receberam uma aplicação do fungicida piraclostrobina + epoxiconazole ($66,5 + 25 \text{ g i.a. ha}^{-1}$) no estádio R3 e foram comparados com uma em R2 e duas aplicações do mesmo fungicida, aplicados em R2 e R5.1, e a testemunha. O uso de fosfito e ASM reduziram significativamente a área abaixo da curva de progresso do míldio e não tiveram efeito sobre o oídio e a ferrugem asiática. O maior número de aplicações do fungicida aumentou o controle dos patógenos biotróficos na maior pressão das doenças.

Palavras-chave: míldio, *Peronospora manshurica*, *Glycine max*.

ABSTRACT

The use of inducers of plant defense mechanisms associated with a fungicide program could reduce the number of fungicide applications and increase the control spectrum of diseases in soybean. The goal of this study was to evaluate the commercial sources of phosphite and acibenzolar-S-metil (ASM) associated with one fungicide application on control of downy mildew, powdery mildew and Asian soybean rust. Two field studies were carried out in Ponta Grossa, in the state of Paraná of Brazil during the growing season of 2006/07 and 2007/08. The experimental design consisted of completely randomized blocks with four replications. The treatments were five sources of potassium phosphite and of manganese ($450 \text{ g P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$) and ASM ($12,5 \text{ g a.i. ha}^{-1}$) applied at V7 and R2 stage. Phosphite and ASM received one application of the fungicide piraclostrobina + epoxiconazole ($66.5 + 25 \text{ g i.a. ha}^{-1}$) at R3 stage and they were compared to two fungicide applications at R2 and R5.1 and untreated. The use of phosphite and ASM reduced significantly the AUDPC of downy mildew and anyone effect on powdery mildew and Asian rust was observed. The higher number of fungicide application increased the control of biotrophic fungus when the diseases pressure were high.

Keywords: downy mildew, *Peronospora manshurica*, *Glycine max*.

INTRODUÇÃO

As doenças bióticas têm reduzido entre 10% a 90% a produtividade da cultura da soja, *Glycine max* (L.) Merrill, e vêm aumentando os custos de produção pela necessidade do seu controle (Picinini e Fernandes, 1995; Yorinori et al., 2005; Godoy, 2009). Dentre as doenças causadas por fungos biotróficos, como o oídio (*Microsphaera diffusa* Cooke e Peck), a ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi* Syd. e P. Syd.) e o míldio (*Peronospora manshurica* (Naumov) Syd. ex Gaum), destacam-se pela importância em diferentes regiões produtoras de soja.

O oídio, a partir da safra 1996/97, ganhou destaque dentre as doenças que afetam a soja e ocorreu em maior intensidade da região sul até o centro-oeste do Brasil (Forcelini, 2004). Temperaturas ao redor dos 20°C, umidade relativa do ar entre 50% a 90%, baixa intensidade de precipitação favorecem o desenvolvimento da doença (Picinini e Fernandes, 2000). Em cultivares suscetíveis e condições climáticas favoráveis podem ocorrer danos entre 30% a 40% (Yorinori e Hiromoto, 1998; Forcelini, 2004; Silva, 2004). Existe grande variação na reação de cultivares entre locais para suscetibilidade ao fungo *M. diffusa*, sendo que há possibilidade de existir diferentes raças fisiológicas entre as populações que ocorrem no Brasil (Tecnologias, 2008). Silva (2002 e 2004) relatou o uso de fungicidas em cultivares suscetíveis, aplicados a partir da floração, como um método eficiente no controle deste patógeno.

A ferrugem asiática é uma das mais agressivas doenças da soja, com dano entre 10% a 90% (Sinclair e Hartman, 1999; Kumudini et al., 2008), e no Brasil vem provocando prejuízos desde 2001/02 pela falta de resistência genética e ampla aérea de semeadura (Yorinori et al., 2005; Godoy et al., 2009). Esta doença pode infectar a cultura a partir dos estádios iniciais de desenvolvimento e as condições ambientais são fundamentais no desenvolvimento das epidemias (Sinclair e Hartman, 1999). Períodos de molhamento foliar contínuo de 6 a 12 h e temperatura média entre 16°C a 28°C

favorecem o rápido desenvolvimento da doença (Alves et al., 2006). No Brasil, o uso de fungicidas na cultura da soja ocorre de forma calendarizada, com 2,3 aplicações em média, e iniciam-se a partir do florescimento. Os fungicidas utilizados são do grupo das estrobilurinas associadas a triazóis (Godoy et al., 2009).

O míldio é uma doença causada por um oomiceto e apresenta-se disseminada nas principais regiões produtoras do mundo (Dunleavy, 1987; Lim, 1989). É uma doença que raramente causa prejuízos à cultura (Rhane e Ruhl, 2003), entretanto Ferreira et al. (1981) e Dunleavy (1987) relataram danos causados por este patógeno entre 8 a 14% para genótipos suscetíveis nos EUA. Condições climáticas ideais, como temperaturas entre 20°C a 22°C e alta umidade, favorecem infecções de míldio (Picinini e Fernandes, 2000). A resistência genética é um dos principais métodos de controle desta enfermidade evidenciada por dois genes maiores, *Rpm* (Ersek et al., 1982) e *Rpm₂* (Lim, 1989) e não existem relatos de raças fisiológicas no Brasil (Embrapa, 2000), apesar de serem descritas mais de 35 raças no mundo (Lim, 1989). Entretanto, cultivares suscetíveis, tais como CD 215, BRS 232, BRS 255, são amplamente cultivados no Brasil, a resistência genética ao míldio não faz parte dos programas de melhoramento. O controle específico para o míldio é totalmente negligenciado na cultura (Tecnologias, 2008).

Os fungicidas utilizados no controle das doenças foliares da soja não são suficientes para impedir epidemias de míldio (Tecnologias, 2008). Os indutores de mecanismos de defesa de plantas, bióticos ou abióticos, podem representar um método alternativo e complementar de controle (Wordell et al., 2007). Acibenzolar-S-metílico (ASM) é um composto sintético, análogo funcional do ácido salicílico, capaz de ativar defesas de plantas, tais como proteínas relacionadas à patogênese, β ,1-3 glucanase e quitinase (Kessmann et al., 1995). Dallagnol et al. (2006) demonstrou aumento da eficácia dos fungicidas com a inclusão de ASM em um programa de controle químico em soja.

Os fosfitos, que possuem ação direta sobre patógenos e promovem ativação de mecanismos de defesas das plantas, como produção de fitoalexinas (Smillie et al., 1989), também foram empregados no controle de fungos e oomicetes em diversas culturas (McDonald et al., 2001; Katsurayama e Boneti, 2002; Sônego e Czermainski, 2003; Santos, 2008). O termo fosfito é o nome genérico empregado para os sais do ácido fosforoso (H_3PO_3) que apresentam elevada solubilidade, rápida absorção pelas plantas, com grande seletividade e translocação via xilema e floema (Guest & Grant, 1991). No Brasil os fosfitos são registrados como adubo foliar (Tecnologias, 2008), mas vêm sendo utilizados no controle de doenças foliares da soja.

Sônego e Czermainski (2003) relataram sinergismo entre fosfito de potássio e o fungicida cymoxanil + famoxadone no controle do míldio da videira. Dallagnol et al.(2006) e Santos (2008) demonstraram aumento da eficiência de fungicidas quando associados a ASM e fosfito no controle de doenças em soja e trigo, respectivamente. Existem no mercado brasileiro diversas marcas de fosfito disponíveis (Tecnologias, 2008). O presente trabalho teve como objetivo estudar o efeito de ASM e diferentes marcas comerciais de fosfito associados a um programa de fungicidas sobre os patógenos biotróficos, peso de 1000 grãos e o rendimento da cultura da soja.

MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos em campo foram conduzidos na estação experimental pertencente à Fundação ABC, nas safras 2006/07 e 2007/08, no município de Ponta Grossa, PR, localizado nas coordenadas de 25°00'48'' latitude S, 50°09'05'' longitude L e altitude de 890 m e com clima classificado como Cfb, segundo Köppen (IAPAR, 2000). O solo é classificado como latossolo vermelho distrófico, textura média (EMBRAPA, 1999).

A cultura da soja foi semeada em sistema de semeadura direta, sobre a palha de aveia preta, em 17/11/06 e 12/11/07, com 250 Kg ha⁻¹ do adubo 05-25-25 e população de 35 plantas m⁻². Utilizou-se o cultivar CD 215, ciclo precoce, suscetível a míldio e ferrugem asiática e moderadamente suscetível a oídio e doenças de final de ciclo (Tecnologias, 2008).

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados com dez tratamentos e com quatro repetições (Tabela 1). Cada unidade experimental possuía sete linhas de semeadura espaçadas de 0,40 m (14 m² de área total e 6,4 m² de área útil). Os tratamentos foram aplicados com auxílio de pulverizador costal (MAE[®]), à pressão constante de 131 kPa, pelo dióxido de carbono comprimido, com seis pontas tipo jato plano “leque” XR11002 espaçadas de 0,5 m e volume de calda de 135 L ha⁻¹, sob condições climáticas adequadas, umidade relativa superior a 60% e temperaturas inferiores a 30°C.

Na safra 2006/07 foram realizadas cinco avaliações de severidade do míldio nos estádios V6 (cinco trifólios desenvolvidos), R2 (plena floração), R4 (vagens com 2 cm), R5.3 (granação de 26% a 50%) e R6 (granação de 100% e folhas ainda verdes). Em 2007/08 foram realizadas sete avaliações, em V6, V9 (oito trifólios), R1 (início de floração), R2, R4, R5.3 e R6. As avaliações de oídio e ferrugem asiática ocorreram nos estádios R5.3 e R6. Para cada data de avaliação de severidade eram coletados vinte trifólios na área útil da parcela, dez da metade inferior das plantas e dez na metade superior. Utilizaram-se as escalas diagramáticas de Mattiazzi (2003) para avaliar a severidade do oídio, de Godoy et al. (2006) para ferrugem asiática e de Kowata et al. (2008) para o míldio. Com os dados da severidade de míldio calculou-se a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), pela equação proposta por Shaner e Finny (1977). O desenvolvimento da cultura da soja foi acompanhado pela escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977).

Para rendimento e peso de 1000 grãos, procedeu-se a colheita das plantas na área útil da parcela (6,4 m²), em 26 de março de 2007 (safra 2006/07) e em 31 de março de 2008 (safra 2007/08), o peso foi corrigido com base em 13% de umidade.

As diferentes marcas comerciais de fosfito foram analisadas no laboratório da fundação ABC pelo método analítico oficial para fertilizantes do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Os teores de P₂O₅ obtidos variaram de 29,07 a 32,66% e confirmaram a regularidade dos valores de registro e bula (dados não publicados).

Para análise estatística procedeu-se a partir da verificação da normalidade dos dados para utilização da análise de variância (ANOVA), quando significativo o teste F, as médias foram comparadas por meio do teste de Tukey a 5% de significância. Utilizou-se o software SAS (Statistical Analysis System) Version 9.1 para todas as análises.

O modelo logístico $y = b_1 / [1 + b_2 * \exp(-b_3 * x)]$, onde y representa severidade, x tempo em dias, b_1 corresponde à assíntota máxima, b_2 está relacionado ao inóculo inicial e b_3 representa a taxa de progresso da doença, foi ajustado a curva de progresso da severidade do míldio, em cada safra. Os ajustes foram feitos por meio de regressões não-lineares, utilizando o programa STATISTICA (Statsoft, Tulsa, USA).

RESULTADOS

No Brasil, existem várias fontes comerciais de fosfitos que são vendidas como fertilizantes foliares, este ácido fosforoso pode estar ligado a uma base de potássio ou manganês (Tecnologia, 2008).

No primeiro experimento realizado em 2006/07 o volume de chuvas durante a fase reprodutiva da cultura foi 164 mm superior ao volume da safra 2007/08 (Figura 1), o que favoreceu o

desenvolvimento da ferrugem asiática (Tabela 2) e o rendimento da cultura, aproximadamente 1000 kg ha⁻¹ superior ao ocorrido em 2007/2008 (Tabela 5). Na safra seguinte, pela menor umidade e temperatura média 2,1°C abaixo da registrada em 2006/07 (Figura 1), o oídio e míldio foram mais severos que a ferrugem asiática (Tabelas 2 e 3).

A severidade do oídio foi diferente para as duas safras, onde o máximo de severidade ocorreu no estágio R6, com 5,7% em 2006/07 e 34,9% em 2007/08 (Tabela 2). Em ambas as safras os tratamentos com fungicida se diferenciaram da testemunha. Em 2006/07, com menor severidade da doença, não ocorreu diferença entre fontes de fosfito + FUNG 1, ASM + FUNG 1 e FUNG 2, com controle variando entre 74% a 90%. Sendo que na safra seguinte duas aplicações de fungicidas foram superiores à aplicação única, 93% e 58% de controle, respectivamente. A aplicação única de fungicida com ou sem fontes de fosfito e ASM não se diferenciaram em ambas as safras.

A maior agressividade da ferrugem asiática foi observada no estágio R6, com severidade de 53,2% na safra 2006/07 e 15,5% em 2007/08 (Tabela 2). Nos dois experimentos todos os tratamentos diferenciaram-se da testemunha. Em 2006/07 com a maior pressão da doença, duas aplicações de fungicida (FUNG 2) foram superiores às aplicações únicas de fungicida (FUNG 1), independente da fonte de fosfito e ASM. A fonte de fosfito F + FUNG 1 foi à única exceção, sendo semelhante a FUNG 2. Em 2007/08, com menor pressão da doença, FUNG 2 foi semelhante a FUNG 1 e FUNG 1 + as fontes de fosfito B, C, F e ASM. Nas duas safras avaliadas a aplicação única de fungicida não se diferenciou no controle da ferrugem asiática, independente das fontes de fosfito ou ASM.

Ocorreram diferenças na severidade do míldio entre as duas safras avaliadas, com severidade máxima de 14,8% em 2006/07 e 43,5% em 2007/08 (Tabela 3). Os primeiros sintomas da doença ocorreram no início do estágio vegetativo da cultura V7 (plantas com o 6º trifólio aberto), aos 40 dias após emergência (DAE), e a severidade máxima ocorreu no estágio reprodutivo R5.3 (granação

de 26% a 50%), aos 90 DAE. Após o estágio R5.3 houve declínio da doença nas duas safras avaliadas. Nos dois experimentos todos os tratamentos com fungicida, fontes de fosfito e ASM se diferenciaram da testemunha (Tabela 3). Com base na AACPM, as fontes de fosfito + FUNG 1 foram semelhantes entre si em ambas as safras e superiores aos tratamentos ASM + FUNG 1, FUNG 1 e FUNG 2 (Tabela 3). Além de que, não ocorreu diferença entre o fosfito F e as demais fontes de fosfito, que diferenciam-se pelo radical de manganês e potássio, respectivamente.

O modelo logístico apresentou melhor ajuste aos dados de severidade de míldio nas safras 2006/07 e 2007/08 e o parâmetro b_1 do modelo foi à única diferença observada entre os tratamentos (Tabela 4). Como as fontes de fosfito foram semelhantes no controle de *P. manshurica*, optou-se por utilizar somente o fosfito A nesta análise de modelos. Nas duas safras a fonte de fosfito A + FUNG 1, FUNG 1 e FUNG 2 diferenciaram-se da testemunha, entretanto em 2007/08 o fosfito A + FUNG 1 foi superior aos demais.

Na safra 2006/07, onde ocorreram os maiores rendimentos, somente o tratamento com duas aplicações de fungicida se diferenciou da testemunha, contudo foi semelhante aos demais. Na safra seguinte onde ocorreram limitações climáticas para o rendimento, todos os tratamentos foram semelhantes entre si (Tabela 5). Nas duas safras não ocorreram diferenças entre as fontes de fosfito e ASM para rendimento.

Todos os tratamentos diferenciaram-se da testemunha para o peso de mil grãos, além do que as fontes de fosfito e ASM foram semelhantes nas duas safras avaliadas. O maior número de aplicações de fungicidas foi superior às fontes de fosfito B, C, F e ASM somente na safra 2007/08 para o peso de grãos (Tabela 5).

DISCUSSÃO

No Brasil são utilizadas em média 2,3 aplicações de fungicidas na cultura da soja, principalmente no controle da ferrugem asiática e do oídio (Godoy et al., 2009). Quando o oídio e ferrugem asiática foram mais severos, duas aplicações de fungicida foram significativamente superiores à aplicação única, independente da fonte de fosfito ou ASM, confirmando a importância do uso de fungicidas na cultura da soja.

O efeito de fosfito sobre oomicetes é conhecido em diversas culturas como videira, batata, cebola, abacate, maçã e eucalipto (Jackson et al., 2000; Valdebenito-Sanhueza, 1991; McDonald et al., 2001; Katsurayama e Boneti, 2002; Sônego e Czermainski, 2003), porém sobre outros patógenos ainda é pouco estudado (Lovatt e Mikkelsen, 2006). São raros e contraditórios os relatos do efeito de fosfitos sobre o oídio da soja e a ferrugem asiática. Meneghetti et al. (2010) não observaram qualquer efeito do uso de fosfitos de potássio isoladamente ou associado a fungicidas sobre a ferrugem asiática da soja em condições controladas. Resultado semelhante foi observado com as fontes de fosfitos associadas a aplicação única de fungicida sobre oídio e ferrugem asiática, exceto para o fosfito F para a ferrugem safra 2006/07. Contudo os fosfitos e ASM foram aplicados na fase vegetativa e início da floração, períodos muito anteriores ao estágio de formação de grãos, onde ambas as doenças ocorreram. Mesmo o ASM, um ativador químico de mecanismos de defesa das plantas e com ação comprovada entre 8 e 12 dias sobre oídio do trigo (Gorlach et al., 1996), não teve efeito sobre o oídio, provavelmente também pela época de aplicação.

O efeito de fosfitos no controle de míldio foi relatado em videira (Sônego e Czermainski, 2003), em cebola (Wordell Filho et al., 2007) e milho (Panicker e Gangadharan, 1999), contudo não existem relatos no controle de *P. manshurica*. Todas as fontes de fosfito tiveram efeito significativo sobre o míldio da soja, apresentando controle médio entre 44% a 59% em ambas as safras. As

fontes de fosfito não se diferenciaram entre si e confirmam a similaridade nos teores do ácido fosforoso entre as marcas comerciais. Não houve efeito das bases de potássio e manganês das fontes de fosfito sobre o míldio.

Ao longo dos anos vêm sendo discutido o modo de ação dos fosfitos, direta ou indireta, no controle de doenças. Segundo Barchieto et al. (1992) altas concentrações de fosfito possuem ação direta sobre o patógeno, efeito fungistático. Guest e Grant (1991) afirmaram que mesmo após inibição direta do fosfito, metabólitos resultantes desta ação são eliminados e podem induzir defesas em plantas. Plantas tratadas com o ácido fosforoso e após inoculação do patógeno, mostraram mudanças relacionadas à defesa, como hipersensibilidade, migração do núcleo e acúmulo de fitoalexinas ao redor das células desafiadas (Guest, 1986 e 1991; Daniel et al., 2005). Sendo que ambos os modos de ação das fontes de fosfito podem estar presentes nos resultados obtidos no controle do míldio.

Acibezolar-S-metílico reduziu significativamente a severidade do míldio em ambas as safras, mas foi inferior às fontes de fosfito. ASM não possui ação fungistática e desenvolve um papel semelhante ao ácido salicílico na via de transdução do sinal que leva à resistência sistêmica adquirida (SAR) (Yamaguchi, 1998) e possui ação comprovada no míldio em fumo (Friedrich et al., 1996) e *Arabidopsis* sp. (Lawton et al., 1996).

O uso do fungicida também reduziu a AACPM significativamente, entretanto a eficácia foi inferior quando utilizado com fosfito e ASM. No momento das primeiras aplicações de fungicida a epidemia de míldio já se encontrava em desenvolvimento, reduzindo assim o efeito no controle desta doença. Além do que, um dos ingredientes ativos do fungicida, epoxiconazole (grupo químico dos triazóis), não possui efeito sobre oomicetes (Andrei, 2009).

Apesar das fontes de fosfito associadas ao fungicida reduzirem significativamente a AACPM nas duas safras, não se diferenciaram da testemunha para rendimento. O dano deste patógeno na

cultura da soja foi considerado baixo por Rane e Ruhl (2003), e Dunleavy (1987) relatou danos de até 11,8% para cultivares suscetíveis. A ocorrência da ferrugem asiática e oídio nos dois experimentos poderia ter ocultado o dano causado pelo míldio, pelo maior potencial de dano destes fungos biotróficos. Além do que, McDonald et al. (2001) demonstraram que o fosfito é uma fonte pobre de fósforo (P), pouco metabolizada pelas plantas e sem efeito sobre o rendimento.

Dunleavy (1987) relatou que o peso de 1000 grãos (PMG) é um dos componentes de rendimento afetados por *P. manshurica*, reduzindo o seu peso entre 3,9% e 7,2%. Nas duas safras as fontes de fosfitos foram superiores à testemunha e semelhantes entre si para estes componentes. Entretanto os fosfitos + FUNG 1 não se diferenciaram do FUNG 1, o que impossibilita atribuir a superioridade no peso de grãos dos fosfitos sobre a testemunha ao controle do míldio.

Duas aplicações de fungicida foi o único tratamento que se diferenciou da testemunha para rendimento na safra 2006/07. O maior rendimento pode estar relacionado ao controle superior de *P. pachyrhizi*, que atingiu 53% de severidade na testemunha. Estes dados confirmam a atual importância do controle da ferrugem asiática por meio do uso de fungicidas, pois a resistência genética não é totalmente efetiva até o momento (Yorinori et al., 2005; Godoy et al., 2009).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves EMPD, Godoy CV, Li XB (2006) Predicting severity of Asian rust epidemic with empirical rainfall models. *Phytopathology* 96, p.797-803.

Andrei, E (2009) *Compêndio de defensivos agrícolas*. São Paulo. Organização Andrei Editora Ltda. p.1380

Barchietto T, Saindrenan P, Bompeix G (1992) Physiological responses of *Phytophthora citrophthora* to a subinhibitory concentration of phosphate. *Pest Biochemistry Physiology* 42, p.151-66.

Dallagnol LJ, Navarini L, Ugalde MG, Balardin RS, Catellani R (2006). Utilização de Acibenzolar-S-Methyl para controle de doenças foliares da soja. **Summa phytopathologica**, v.32, n.3, p.255-259.

Daniel R, Wilson BA, Cahill D (2005) The effect of potassium phosphonate on the response of *Xanthorrhoe australis* to infection by *Phytophthora cinnamomi*. *Australasian Plant Pathology* 3, p.541-548.

Dunleavy JM (1987) Yield reduction in soybean caused by downy mildew. *Plant Disease* 71, p.1112-1114.

EMBRAPA (1999) *Manual de análises de solos, plantas e fertilizantes*. Embrapa, Brasília.

EMBRAPA (2000) *A cultura da soja no Brasil*. Embrapa Soja. Londrina, p.179.

Ersek T, Hollyday M, Keen, NT (1982) Association of hypersensitive host cell death and autofluorescence with a gene for resistance to *Peronospora manshurica* in soybean. *Phytopathology* 72, p.628-631.

Fehr WR, Caviness CE (1977) Stages on soybean development. Ames: Iowa State University/Cooperative Extension Service, p.11 (Special Report, 80).

Ferreira LP, Lehman PS, Almeida AMR (1981) Moléstias e seu controle. In: Miyasaka S, Medina JC (Eds.) a soja no Brasil. p. 603-638.

Forcelini AC (2004) Danos e critérios para o controle químico do oídio. In: Reis EM (Ed.) Doenças na cultura da soja. Passo Fundo. 1, p.117-123.

Friedrich L, Lawton K, Ruess W, Masner P, Specker N, Rella M, Gut M, Meier B, Incher S, Staub T, Uknes S, Metraux JP, Kessmann H, Ryals JA (1996) Benzothiazole derivate induces systemic acquired resistance in Tobacco. *Plant Journal* 10, p.61-70.

Godoy CV, Koga L, Canteri MG (2006) Diagrammatic scale for assessment of soybean rust severity. *Fitopatologia Brasileira* 31, p.63-68.

Godoy CV, Flausino AM, Santos LCM, Ponte MDP (2009) Eficiência do controle da ferrugem Asiática da soja em função do momento de aplicação sob condições de epidemia em Londrina, PR. *Tropical Plant Pathology*, v.34, n.1, p.056-061.

Gorlach J, Volrath S, Knauf-Beiter G, Hengy G, Beckhove U, Kogel KG, Ootendorp M, Status T, Warde E, Kessmann J, Ryals J (1996) Benzothiadiazole, a novel class of inducers of systemic acquired resistance, activates gene expression and disease in wheat. *Plant Cell* 8, p.629-643.

Guest DI (1986) Evidence from light microscopy of living tissue that Fosetyl-Al modifies the defence response in tobacco seedlings following inoculation by *Phytophthora nicotianae* var *nicotianae*. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 29, p.251-261.

Guest DI, Grant BR (1991) The complex action of phosphonates as antifungal agents. *Biological Review* 66, p.159-187.

IAPAR - Instituto Agronômico do Paraná (2000). Cartas climáticas do Estado do Paraná. Londrina: IAPAR, 1 CD-ROM. Versão 1.0.

Jackson TJ, et al. (2000) Action of the fungicide phosphite on *Eucalyptus marginata* inoculated with *Phytophthora cinnamomi*. *Plant Pathology*, v.49, p.147-154.

Katsurayama Y, Boneti JIS (2002) Avaliação da eficiência do Fitofos-K plus no controle do míldio (*Peronospora destructor*) da cebola. *Epagri*. p.7.

Kessmann H, Ryals J, Stausb T, Oostendorp M, Aha Goy P, Hoffmann CJ, Friedrich L, Delaney T, Lawton K, Ryals L, Weymann K, Ligon H, Vernoij B, Uknes S (1995) CGA245704: Mode of action of new plant activator. In: INTERNATIONAL PLANT PROTECTION CONGRESS. The Hague, Netherlands. p.2-7.

Kowata LS, De-Mio LLM, Dalla Pria M, Santos HAA (2008) Escala diagramática para avaliar severidade de míldio na soja. *Scientia Agraria* 9, p.105-110.

Kumudini, S, Godoy CS, Board JE, Omielan J, Tollenaar M (2008) Mechanisms involved in soybean rust- induced yield reduction. *Crop Science* 48, p.2334-2342.

Lawton KA, Friedrich L, Hunt M, Weyman K, Delanney T, Kessmann H, Staub T, Ryals J (1996) Benzothiadiazole induces disease resistance in *Arabidopsis* by activation of the systemic acquired resistance signal transduction pathway. *Plant Journal* 10, p.71-82.

Lim SM (1989) Inheritance of resistance to *Peronospora manshurica* race 2 and race 33 in soybean. *Phytopathology* 79, p.877-879.

Lovatt CJ, Mikkelsen RL (2006) Phosphite fertilizers: What are they? Can they do? *Better Crops* 90, p.11-14.

Mattiazzi P (2003) Efeito do oídio (*M. diffusa*) na produção e duração da área foliar sadia da soja. 49f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, BR.

Mcdonald AE, Grant B, Plaxton WC (2001) Phosphite (phosphorous acid): Its relevance in the environment and agriculture and influence on plant phosphate starvation response. *Journal of Plant Nutrition* 24, p.1505-1519.

Meneghetti RC, Balardin, RS, Corte GD, Favera DD, Debona D (2010) Avaliação da ativação de defesa em soja contra *Phakopsora pachyrhizi* em condições controladas. Ciênc. Agrotec., Lavras, v.34, m.4, p.823-829.

Panicker S, Gangadharan K (1999) Controlling downy mildew of maize caused by *Peronosclerospora sorghi* by foliar sprays of phosphonic acid compound. Crop Protection 8, p.115-118.

Picinini EC, Fernandes JMC (1995) Eficácia de fungicidas no controle de patógenos de sementes de soja. In: 28º Congresso Brasileiro de Fitopatologia, Ilhéus, BA. Fitopatologia Brasileira 20, p.339-339.

Picinini EC, Fernandes JMC (2000) Doenças da soja: Aspectos epidemiológicos e controle. 2. ed. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1, p.91.

Santos HAA (2008) Efeito de fosfito no controle de doenças foliares do trigo *in vitro* e *in situ*. Tese de mestrado. Universidade Estadual de Ponta Grossa, Paraná.

Shaner G, Finney RE (1977) The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in knox wheat. Phytopathology 67, p.1051-1056.

Silva OC (2002) Dano e controle do complexo de doenças foliares da soja. II Encontro Brasileiro sobre doenças da cultura da soja. Passo Fundo, p.55-59.

Silva OC (2004) Danos e controle do complexo de doenças foliares da soja. In: Reis EM (Ed.) Doença na cultura da soja. Passo Fundo, p.177.

Sinclair JB, Hartman GL (1999) Soybean Rust. In: Hartman GL, Sinclair JB, Rupe JC (Eds.). Compendium of Soybean Diseases. 4ed. Saint paul MN. APS Press., p.25-26.

Smillie R, Grant BR, Guest D (1989) The mode of action of phosphite: evidence for both direct and indirect modes of action on three *Phytophthora* spp. In Plants. *Phytopathology* 79, p.921-926.

Sônego OR, Czermainski ABC (2003) Avaliação de algumas marcas comerciais de fosfitos de potássio no controle do míldio da videira. Circular Técnica, Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves, p.16.

Tecnologias da produção de soja – região central do Brasil 2009 e 2010 (2008) Londrina PR. Embrapa Soja. Embrapa Cerrados. Embrapa Agropecuária Oeste.

Valdebenito-Sanhueza RM (1991) Controle químico da podridão de raízes de macieira causada por *Phytophthora cactorum* no Rio Grande do Sul. *Fitopatologia Brasileira*, v.16, p.25-29.

Wordell FJA, Martins DA, Stadnik, MJ (2007) Aplicação foliar de tratamentos para controle de míldio e da podridão-de-escamas de bulbos de cebola. *Horticultura Brasileira*, Campinas, SP, v.25, n.4, p.544-549.

Yamaguchi I (1998) Activators for systemic acquired reistance. In: Hutson D, Myamamamoto J (Eds). *Fungicidalactivity*. New York. Wiley. p.193-121.

Yorinori JT, Paiva WM, Frederick RD, Costamilan LM, Bertagnolli PF, Hartman GE, Godoy CV, Nunes Junior J (2005) Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay. Londrina. Plant Disease 89, p.675-677.

Yorinori, J.T., Hiramoto, D. M. (1998). Determinação de perdas em soja causadas por doenças fúngicas. EMBRAPA-CNPSo, Londrina, doc., p.118.

RECURSOS DA INTERNET

Rhane K, Ruhl G (2003) Soybean Crop Diseases in corn, soybean and wheat. <http://www.btny.purdue.edu/extension/pathology/CropDiseases/Soybean/Soybean.html>.

FIGURAS

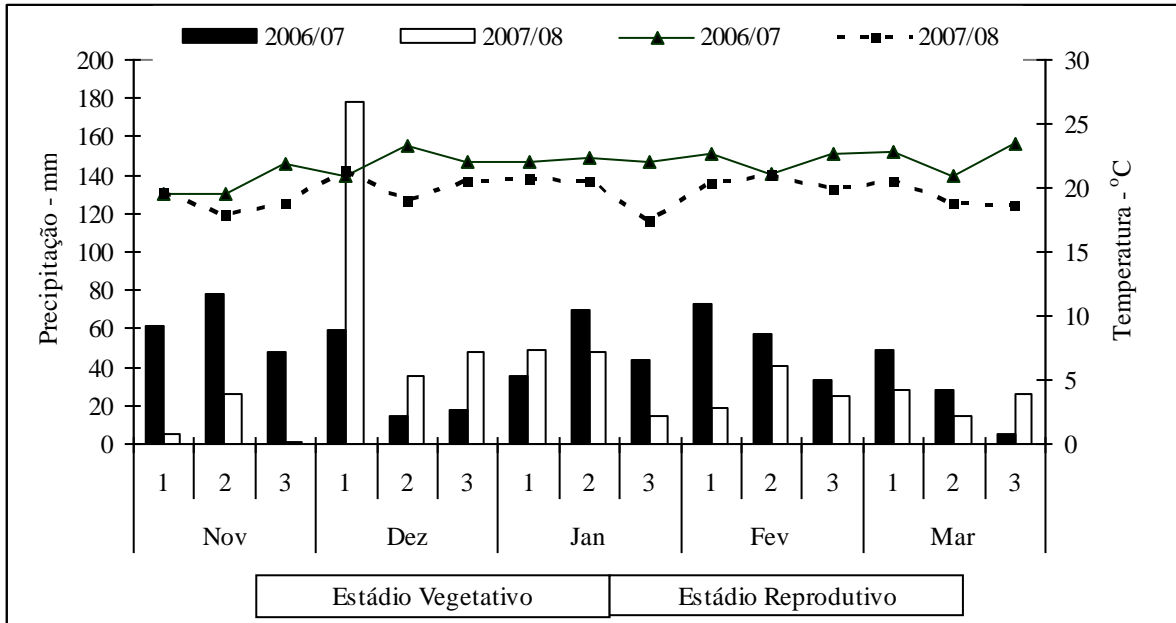


FIGURA 1 – Precipitação e temperatura média por decêndio registrada nos experimentos de campo com a cultura da soja (*Glycine max*) em Ponta Grossa, Paraná, nas safras 2006/07 e 2007/08.

TABELAS

TABELA 1 – Tratamentos, produto comercial, ingrediente ativo, época de aplicação dos indutores e fungicida utilizados nos experimentos com a cultura da soja (*Glycine max*) nas safras 2006/07 e 2007/08, Ponta Grossa, PR, Brasil.

| Tratamentos | Produto Comercial | Ingrediente Ativo (i.a.) | Época de Aplicação | | | | | |
|---------------------------------|-------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------|----|------------------------|----|------|---|
| | | | Indutores ^{1,2} | | Fungicida ³ | | | |
| | | | V7 ⁴ | R2 | R2 | R3 | R5.1 | |
| Testemunha | | | | | | | | |
| Fosfito A ¹ + FUNG 1 | Phytus | 30% P ₂ O ₅ + 20% K ₂ O | X | X | | | X | |
| Fosfito B ¹ + FUNG 1 | Reforce | 30% P ₂ O ₅ + 20% K ₂ O | X | X | | | X | |
| Fosfito C ¹ + FUNG 1 | Starphós | 30% P ₂ O ₅ + 20% K ₂ O | X | X | | | X | |
| Fosfito D ¹ + FUNG 1 | Nutriphite | 30% P ₂ O ₅ + 20% K ₂ O | X | X | | | X | |
| Fosfito E ¹ + FUNG 1 | Mac Safra | 30% P ₂ O ₅ + 20% K ₂ O | X | X | | | X | |
| Fosfito F ¹ + FUNG 1 | Phytogard | 30% P ₂ O ₅ + 9% Mn | X | X | | | X | |
| ASM ² + FUNG 1 | Bion | acibenzolar-S-metil | X | X | | | X | |
| FUNG 1 ³ | Opera | Piraclostrobin+Epoxiconazole | | | | | X | |
| FUNG 2 ³ | Opera | Piraclostrobin+Epoxiconazole | | | | X | | X |

¹ Dose do fosfito utilizada em 2006/07 foi de 300 e 600 g de P₂O₅ ha⁻¹, em V7 e R2, respectivamente. Em 2007/08 utilizou-se 450 g de P₂O₅ ha⁻¹ em V7 e R2.

² Dose de acibenzolar-S-metílico utilizada foi de 12,5 g i.a. ha⁻¹.

³ Dose de piraclostrobin + epoxiconazole foi de 67 + 25 g i.a. ha⁻¹.

⁴ Estádios fenológicos: V7 (6º trifólio desenvolvido), R2 (pleno florescimento), R3 (vagens com 2 a 4 cm) e R5.1 (granação de 10%).

TABELA 2 – Severidade do oídio (*Microsphaera diffusa*) e da ferrugem asiática da soja, (*Phakopsora pachyrizi*) em função de diferentes fontes de fosfito, acibenzolar-S-metílico e número de aplicações de fungicida na cultura da soja (*Glycine max*), cultivar CD 215, nas safras 2006/07 e 2007/08, Ponta Grossa, PR, Brasil.

| Tratamentos | Severidade (%) | | | |
|---------------------------------|---------------------|---------|-------------------|---------|
| | Oídio | | Ferrugem Asiática | |
| | 2006/07 | 2007/08 | 2006/07 | 2007/08 |
| Testemunha | 5,7 ⁵ a* | 34,9 a | 53,2 a | 15,5 a |
| Fosfito A ¹ + FUNG 1 | 1,5 b | 15,6 b | 29,7 b | 6,9 b |
| Fosfito B + FUNG 1 | 1,0 b | 12,5 b | 24,3 bc | 6,2 bc |
| Fosfito C + FUNG 1 | 1,0 b | 13,2 b | 27,1 bc | 5,0 bc |
| Fosfito D + FUNG 1 | 0,5 b | 15,6 b | 27,2 bc | 7,5 b |
| Fosfito E + FUNG 1 | 0,6 b | 17,9 b | 26,1 bc | 6,7 b |
| Fosfito F + FUNG 1 | 1,0 b | 16,7 b | 19,6 cd | 5,1 bc |
| ASM ² + FUNG 1 | 1,0 b | 11,5 b | 21,9 bc | 5,6 bc |
| FUNG 1 ³ | 0,5 b | 12,0 b | 25,1 bc | 3,0 c |
| FUNG 2 ⁴ | 0,6 b | 2,3 c | 11,4 d | 2,6 c |
| C.V.(%) | 66,9 | 58,8 | 44,6 | 77,3 |

¹ Duas aplicações de fosfito realizadas em V7 (6º trifólio desenvolvido) e R2 (pleno florescimento).

² Corresponde a acibenzolar-S-metílico aplicado em V7 e R2.

³ Aplicação única de piraclostrobina + epoxiconazole (67 + 25 g i.a. ha⁻¹) em R3 (vagens com 2 a 4 cm).

⁴ Aplicações de piraclostrobina + epoxiconazole (67 + 25) nos estádios R2 e R5.1 (granação de 10%).

⁵ Dados transformados em SQRT(X+0,5)

* Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

TABELA 3 – Severidade e área abaixo da curva de progresso de míldio (AACPM, *Peronospora manshurica*) em função de diferentes fontes de fosfito, acibenzolar-S-metílico e número de aplicações de fungicida na cultura da soja (*Glycine max*), cultivar CD 215, nas safras 2006/07 e 2007/08, Ponta Grossa, PR, Brasil.

| Tratamentos | Severidade % (R5.3) ⁵ | | | | AACPM | | | |
|---------------------------------|----------------------------------|----|---------|----|---------|----|---------|----|
| | 2006/07 | | 2007/08 | | 2006/07 | | 2007/08 | |
| Testemunha | 14,8 | a | 43,5 | a | 611 | a* | 1807 | a |
| Fosfito A ¹ + FUNG 1 | 6,1 | c | 21,8 | bc | 282 | e | 971 | d |
| Fosfito B + FUNG 1 | 5,0 | c | 20,9 | c | 286 | e | 1010 | cd |
| Fosfito C + FUNG 1 | 5,4 | c | 16,9 | d | 256 | e | 848 | d |
| Fosfito D + FUNG 1 | 6,6 | bc | 20,3 | cd | 250 | e | 900 | d |
| Fosfito E + FUNG 1 | 5,3 | c | 20,0 | cd | 249 | e | 956 | d |
| Fosfito F + FUNG 1 | 5,1 | c | 21,8 | bc | 310 | de | 964 | d |
| ASM ² + FUNG 1 | 7,2 | bc | 24,6 | b | 368 | cd | 1167 | c |
| FUNG 1 ³ | 9,4 | b | 22,0 | bc | 494 | b | 1146 | c |
| FUNG 2 ⁴ | 7,5 | bc | 22,8 | bc | 410 | c | 1361 | b |
| C.V. (%) | 56,4 | | 21,9 | | 31,3 | | 12,7 | |

¹ Duas aplicações de fosfito realizadas em V7 (6º trifólio desenvolvido) e R2 (pleno florescimento).

² Corresponde a acibenzolar-S-metílico aplicado em V7 e R2.

³ Aplicação única de piraclostrobina + epoxiconazole (67 + 25 g i.a. ha⁻¹) em R3 (vagens com 2 a 4 cm).

⁴ Aplicações de piraclostrobina + epoxiconazole (67 + 25) nos estádios R2 e R5.1 (granação de 10%).

⁵ Estádio da cultura R5.3 (granação de 26% a 50%) com máxima severidade de míldio.

* Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

TABELA 4 – Coeficiente de determinação (R^2) e parâmetros estimados pelo modelo logístico $y = b_1/[1+b_2*exp(-b_3*x)]$, onde y representa severidade, x tempo, b_1 corresponde à assíntota máxima, b_2 está relacionado ao inóculo inicial e b_3 representa a taxa de progresso da doença, ajustado aos dados de progresso do míldio (*Peronospora manshurica*) segundo fontes de fosfito, acibenzolar-S-metílico e número de aplicação de fungicidas nas safras 06/07 e 2007/08, Ponta Grossa, PR.

| Tratamentos | Parâmetro do modelo logístico | | | |
|---------------------------------|-------------------------------|-------|-------|-------|
| | b_1 | b_2 | b_3 | R^2 |
| 2006/07 | | | | |
| Testemunha | 14,90 | 0,05 | 0,21 | 75,5 |
| Fosfito A ¹ + FUNG 1 | 6,53* | 0,06 | 0,21 | 80,6 |
| ASM ² + FUNG 1 | 8,06* | 0,01 | 0,41 | 75,2 |
| FUNG 1 ³ | 10,8 | 0,04 | 0,28 | 64,6 |
| FUNG 2 ⁴ | 8,87* | 0,06 | 0,26 | 62,6 |
| 2007/08 | | | | |
| Testemunha | 38,20 | 0,01 | 0,21 | 94,3 |
| Fosfito A ¹ + FUNG 1 | 22,8** | 0,01 | 0,18 | 91,6 |
| ASM ² + FUNG 1 | 27,3* | 0,02 | 0,15 | 84,8 |
| FUNG 1 ³ | 26,4* | 0,01 | 0,28 | 87,6 |
| FUNG 2 ⁴ | 27,8* | 0,01 | 0,25 | 86,4 |

¹ Duas aplicações de fosfito realizadas em V7 (6º trifólio desenvolvido) e R2 (pleno florescimento).

² Corresponde a acibenzolar-S-metílico aplicado em V7 e R2.

³ Aplicação única de piraclostrobina + epoxiconazole (67 + 25 g i.a. ha⁻¹) em R3 (vagens com 2 a 4 cm).

⁴ Aplicações de piraclostrobina + epoxiconazole (67 + 25) nos estádios R2 e R5.1 (granação de 10%).

* Existe diferença entre cada tratamento e a testemunha pelo teste t a 5% de probabilidade.

** Existe diferença entre tratamentos que receberam fosfito, ASM e fungicidas pelo teste t a 5% de probabilidade.

TABELA 5 – Peso de mil grãos (PMG) e rendimento (REN) em função de diferentes fontes de fosfito, acibenzolar-S-metílico e número de aplicações de fungicida na cultura da soja (*Glycine max*), cultivar CD 215, nas safras 2006/07 e 2007/08, Ponta Grossa, PR, Brasil.

| Tratamentos | PMG | | REN | | PMG | | REN | |
|---------------------------------|---------|------------------------|---------|------------------------|---------|------------------------|------|----|
| | 2006/07 | | 2007/08 | | 2007/08 | | | |
| | (g) | (Kg ha ⁻¹) | (g) | (Kg ha ⁻¹) | (g) | (Kg ha ⁻¹) | | |
| Testemunha | 141 | b* | 4087 | b | 137 | c | 2913 | ns |
| Fosfito A ¹ + FUNG 1 | 155 | a | 4607 | ab | 150 | ab | 3390 | |
| Fosfito B + FUNG 1 | 154 | a | 4667 | ab | 149 | b | 3379 | |
| Fosfito C + FUNG 1 | 156 | a | 4679 | ab | 148 | b | 3520 | |
| Fosfito D + FUNG 1 | 154 | a | 4523 | ab | 151 | ab | 3474 | |
| Fosfito E + FUNG 1 | 157 | a | 4543 | ab | 153 | ab | 3515 | |
| Fosfito F + FUNG 1 | 156 | a | 4542 | ab | 149 | b | 3476 | |
| ASM ² + FUNG 1 | 152 | a | 4435 | ab | 150 | b | 3423 | |
| FUNG 1 ³ | 154 | a | 4201 | ab | 152 | ab | 3402 | |
| FUNG 2 ⁴ | 158 | a | 4801 | a | 159 | a | 3552 | |
| C.V. (%) | 1,7 | | 6,3 | | 2,5 | | 7,9 | |

¹ Duas aplicações de fosfito realizadas em V7 (6º trifólio desenvolvido) e R2 (pleno florescimento).

² Corresponde a acibenzolar-S-metílico aplicado em V7 e R2.

³ Aplicação única de piraclostrobina + epoxiconazole (67 + 25 g i.a. ha⁻¹) em R3 (vagens com 2 a 4 cm).

⁴ Aplicações de piraclostrobina + epoxiconazole (67 + 25) nos estádios R2 e R5.1 (granação de 10%).

⁵ Estádio da cultura R5.3 (granação de 26% a 50%) com máxima severidade de míldio.

* Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

4. CONCLUSÕES GERAIS

Danos causados pelo míldio em soja

- O peso de 1000 grãos, dentre os componentes de rendimento da soja, é afetado significativamente pelo míldio.
- As equações do coeficiente de dano geradas para peso de 1000 grãos são $R = 1000 - 1,4S$ e $R = 1000 - 1,9S$, nas safras 2007/08 e 2008/09, respectivamente. A equação de dano para rendimento é $R = 1000 - 2,5S$ em 2007/08.
- Existe correlação positiva entre severidade do míldio na área foliar e incidência do patógeno nas sementes.

Potassium phosphate for the control of downy mildew in soybean

- O aumento da dose do fosfito reduz linearmente a severidade de míldio até $750 \text{ g de } P_2O_5 + K_2O \text{ ha}^{-1}$.
- O maior número de aplicação do fungicida pyraclostrobin + epoxiconazole aumenta significativamente o rendimento e o peso de 1000 grãos devido ao incremento no controle da ferrugem asiática da soja.
- Não houve interação entre fosfito e o número de aplicações do fungicida pyraclostrobin + epoxiconazole no controle do míldio, oídio e ferrugem asiática da soja.
- Há correlação positiva entre severidade do míldio na área foliar e incidência do patógeno nas sementes.

Fontes de fosfito e acibenzolar-S-metílico associados a fungicidas para o controle de doenças foliares na cultura da soja

- Os fosfitos associados à fungicida reduzem significativamente a área abaixo da curva de progresso do míldio.
- Não houve diferença entre as fontes comerciais de fosfito avaliadas no controle do míldio, e estas são superiores a ASM.
- Os fosfitos não apresentam efeito sobre o oídio e ferrugem asiática da soja.