



Silicato de potássio na proteção do cafeeiro contra *Cercospora coffeicola*

Daniel R. Amaral, Mário Lúcio V. Resende, Pedro M. Ribeiro Júnior, Jerônimo C. Borel, Rodrigo E.O. MacLeod & Moisés A. Pádua

Departamento de Fitopatologia, Universidade Federal de Lavras, 37200-000, Lavras, MG, Brasil.

Autor para correspondência: Mário Lúcio V. Resende, e-mail: mlucio@ufla.br

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito de doses de silicato de potássio em condições de casa de vegetação e campo, na proteção do cafeeiro contra *Cercospora coffeicola*, além de avaliar o efeito do silicato de potássio nas atividades de peroxidase, polifenoloxidase, e no conteúdo de pigmentos e lignina solúvel em ácido. Utilizou-se em casa de vegetação o silicato de potássio nas doses de 0,75; 1,5; 3,0; 6,0 mL/L de água. Em casa de vegetação, a dose de 1,5 mL/L proporcionou maior proteção da cercosporiose em mudas de cafeeiro, sendo esta dose utilizada no campo e nas determinações bioquímicas. No campo, o silicato de potássio proporcionou proteção de 31% em relação à testemunha, ao passo que o fungicida epoxiconazole + piraclostrobin proporcionou proteção de 61%. Parte desta proteção conferida por silicato de potássio pode ser explicada pelo aumento nas atividades de peroxidases, polifenoloxidases e o maior acúmulo de lignina.

Palavras-chave: *Coffea arabica*, silício, lignina, manejo de fito doença.

ABSTRACT

Potassium silicate in the induction of resistance in coffee seedlings against *Cercospora coffeicola*

The objective of this work was to study the effect of potassium silicate doses in greenhouse and field conditions, for the protection of coffee seedlings against *Cercospora coffeicola*, and to evaluate the effect of potassium silicate on the activities of peroxidase, polyphenoloxidase and on the content of lignin, carotenoids and chlorophyll a and b. Potassium silicate was tested in greenhouse at doses 0.75, 1.5, 3.0 and 6.0 mL/L of water. In these conditions, the dose of 1.5 mL/L provided greater protection against brown eye spot on coffee seedlings, this dose having been chosen for the field trial and biochemical determinations. In the field, potassium silicate provided protection of 31% in relation to the control, while the fungicide mixture of the epoxiconazole + pyraclostrobin provided 61% of protection. Part of this protection conferred by potassium silicate can be explained by the increase in the activities of peroxidases, polyphenoloxidases and the higher accumulation of lignin.

Keywords: *Coffea arabica*, silicon, lignin, disease management.

INTRODUÇÃO

A cercosporiose ou “mancha-de-olho-pardo”, causada por *Cercospora coffeicola* Berk. & Cooke, constitui-se em uma das principais doenças da cultura do café (*Coffea arabica* L.) desde o viveiro até o campo. As plantas doentes apresentam desfolha, redução no desenvolvimento e raquitismo, levando a uma diminuição na produção do cafeeiro (Chalfoun, 1997).

O principal método de controle da cercosporiose é o químico, no entanto, o uso indiscriminado de fungicidas tem causado danos ao meio ambiente e aos seres vivos. Uma alternativa no manejo de doenças seria a utilização da indução de resistência (Bettiol, 1991). A resistência induzida

se caracteriza pela ativação dos mecanismos latentes de resistência da planta (Hammerschmidt & Dann, 1997) e pode ser obtida pelo tratamento com agentes bióticos ou abióticos, como por exemplo, o acibenzolar S-metil (ASM) e produtos a base de silício (Rodrigues *et al.*, 2003).

Fontes diversas de silício estão entre os muitos produtos indutores de resistência citados na literatura. Alguns desses produtos na forma de silicato de potássio, silicato de cálcio e silicato de sódio entre outras fontes, estão ganhando importância, não somente pela alta eficácia na proteção contra algumas doenças, mas talvez por serem alternativas que, além de conferir resistência também proporcionam benefícios nutricionais e incrementam a produção e qualidade dos produtos agrícolas (Nojosa, 2003).

A resistência induzida pelo silício é expressa de diversas formas localmente no sítio de ataque do patógeno e sistemicamente em partes não infectadas da planta. Os mecanismos de defesa envolvidos incluem a combinação de mudanças físicas tais como lignificação da parede celular,

Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor. Universidade Federal de Lavras. Lavras MG. 2005.

formação de papilas ou indução de várias proteínas de defesa (Chérif *et al.*, 1992; Chérif *et al.*, 1994; Fauteux *et al.*, 2005).

Dentre as enzimas de defesa da planta, a **peroxidase**, uma **proteína relacionada à patogênese muito estudada**, catalisa um grande número de reações. Sua atividade é freqüentemente aumentada em resposta aos estresses, sendo a proteção celular contra reações oxidativas, umas das principais funções destas enzimas (Cakmak & Horst, 1991). A oxidação de alcoóis hidroxicinâmicos, precursores imediatos da lignina, é catalisada por peroxidases, resultando na produção de radicais fenoxi-mesoméricos que reagem espontaneamente durante a deposição de lignina na parede celular, aumentando sua resistência (Peixoto, 1999). Outra importante enzima de defesa, também muito estudada, é a polifenoloxidase. Esta enzima é liberada dos tilacóides após a ruptura da célula pelo processo de penetração do patógeno, oxidando os compostos fenólicos à quinonas, as quais são muito mais tóxicas aos microrganismos do que o próprio fenol original (Cardoso & Garraway, 1977). As polifenoloxidases também participam do processo de lignificação durante a invasão pelo patógeno (Jung *et al.*, 2004). Este trabalho objetivou estudar o efeito de doses de silicato de potássio em condições de casa de vegetação e campo, na proteção de cafeeiro contra *Cercospora coffeicola*, além de avaliar o efeito do silicato de potássio nas atividades de peroxidase, polifenoloxidase, no conteúdo de pigmentos e na lignificação.

MATERIAL E MÉTODOS

Obtenção dos produtos

Os produtos utilizados foram: silicato de potássio, K_2SiO_3 - 23% de SiO_2 (Supa-Potássio[®]) adquirido da Agrichem do Brasil Ltda, Ribeirão Preto, SP, acibenzolar-S-methyl – ASM (Bion[®]), adquirido junto a Syngenta Proteção de Cultivos Ltda (São Paulo, SP), epoxiconazole + piraclostrobin (Opera[®]), adquirido da BASF S.A., São Paulo, SP.

Obtenção do fungo *C. coffeicola* e inoculação em casa de vegetação

O patógeno foi obtido de folhas naturalmente infectadas coletadas em lavoura no campus da UFPA. As folhas foram lavadas superficialmente em água corrente e em seguida transferidas para câmara úmida por três dias. Os conídios formados foram retirados da superfície foliar com pincel de ponta macia. A concentração da suspensão de conídios para as inoculações foi ajustada em câmara de Neubauer, para 15.000 conídios.mL⁻¹. A suspensão de conídios foi pulverizada sobre mudas de cafeeiro, as quais foram mantidas em câmara úmida por 24 h, com temperatura de 22 a 25°C.

Obtenção de mudas de cafeeiro

Mudas de cafeeiro, cultivar Acaiá Cerrado, foram

produzidas em substrato comercial Plantmax[®]-café (Eucatex S.A., São Paulo, SP). As mudas foram adubadas com Iogen[®] (Fertilizantes Mitsui S.A., Poços de Caldas-MG) na dosagem de 4g /L de água em intervalos de 15 dias e com 0,5 g de fertilizante de liberação lenta por muda (formulação 20 - 0 - 20 de NPK) em intervalos de 30 dias (Fertilizantes Heringer S.A., Manhuaçu MG).

Experimentos com silicato de potássio

Foram realizados quatro experimentos com os produtos citados anteriormente para verificação de seus efeitos no controle de *C. coffeicola* e nas respostas de defesa do cafeeiro.

Experimento I: Avaliação da toxidez direta do silicato de potássio a *Cercospora coffeicola*

O primeiro experimento foi conduzido para se verificar o efeito de doses de silicato de potássio no crescimento micelial de *C. coffeicola*. O meio utilizado foi o batata-dextrose-água (BDA). O Supa-Potássio foi esterilizado sob luz ultra-violeta por 30 minutos e, em seguida, adicionado ao meio autoclavado nas dosagens de 0,75; 1,5; 3,0 e 6,0 mL /L de água. Os meios foram distribuídos em placas de Petri e inoculados com disco de meio de cultura de 0,5 cm contendo micélio do fungo. Na testemunha, utilizou-se apenas BDA. As placas foram transferidas para câmara de crescimento com temperatura de 23°C e fotoperíodo de 12 horas.

O ensaio foi montado em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com oito repetições de uma placa cada. As avaliações foram realizadas em intervalos de cinco dias após a inoculação. O índice de crescimento micelial (ICM) foi determinado pela adaptação da fórmula proposta por Maguire (1962) e a análise estatística foi realizada utilizando-se o teste de Scott & Knott (1974) no programa SISVAR[®].

Experimento II: Efeito de silicato de potássio no controle da cercosporiose do cafeeiro em casa-de-vegetação

O segundo experimento foi conduzido no delineamento de blocos casualizados (DBC), com sete tratamentos e três repetições, com unidade experimental de seis plantas. As mudas foram mantidas em casa-de-vegetação à temperatura de 25 ± 3°C até o final do experimento. Os tratamentos foram: A-Testemunha inoculada (plantas de café não pulverizadas com indutores e inoculadas com *C. coffeicola*); B-silicato de potássio 0,75 (plantas de café pulverizadas com 0,75 mL de silicato de potássio/L de água destilada e inoculadas com *C. coffeicola*); C-silicato de potássio 1,50 (plantas de café pulverizadas com 1,5 mL de silicato de potássio/L de água destilada e inoculadas com *C. coffeicola*); D-silicato de potássio 3,0 (plantas de café pulverizadas com 3,0 mL de silicato de potássio/L de água destilada e inoculadas com *C. coffeicola*); E-silicato de potássio 6,0 (plantas de café pulverizadas com 6,0mL de silicato de potássio/L de água destilada e inoculadas com *C. coffeicola*). Além dos tratamentos adicionais: F-ASM (plantas de café pulverizadas com 0,2 g do ASM/L de água

e inoculadas com *C. coffeicola*); G-Testemunha absoluta (plantas de café não inoculadas e não pulverizadas com indutores). Os tratamentos foram aplicados uma única vez, aos sete dias antes da inoculação. As avaliações de severidade da doença foram realizadas quinzenalmente num total de seis avaliações, seguindo escala proposta por Oliveira *et al.*, 2001. Calculou-se a área abaixo da curva de progresso da severidade da doença (AACPS) para cada tratamento seguindo a fórmula de Shaner & Finney (1977). Os dados foram analisados utilizando-se o software SISVAR® e as médias foram comparadas utilizando-se o teste de Scott & Knott ($P \leq 0,05$).

Experimento III: Efeito de silicato de potássio no controle da cercosporiose do cafeeiro no campo

Para o terceiro experimento, utilizou-se o silicato de potássio na dosagem que proporcionou maior proteção à cercosporiose em casa de vegetação. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições e parcela experimental útil composta por quatro plantas. Os tratamentos foram: A-silicato de potássio (1,5 mL/L – aplicações em dezembro de 2006, fevereiro, maio e setembro de 2007); B-Opera (1,5 +1,0 L/ha – aplicações em dezembro de 2006 e fevereiro de 2007) e C-Testemunha.

A avaliação da doença foi realizada a cada 30 dias (fevereiro de 2006 a janeiro de 2007), coletando-se os dados de incidência e de severidade da cercosporiose. A amostragem foi realizada em oito ramos plagiotrópicos escolhidos aleatoriamente no terço médio das plantas, quatro de cada lado da linha de plantio. Em cada ramo foram avaliados o 3º ou 4º par de folhas, totalizando 16 folhas por planta em amostragem não destrutiva. Para avaliação da severidade da cercosporiose foi utilizada a escala diagramática de Oliveira *et al.* (2001). A partir dessas avaliações, foi calculada a área abaixo da curva de progresso da severidade (AACPS) e da incidência (AACPI) para a doença em cada repetição, seguindo a fórmula de Shaner & Finney (1977). Os dados foram analisados conforme descrito no item 2.4.3.

Experimento IV: Mecanismos envolvidos na resposta de defesa do cafeeiro pelo silicato de potássio

Outro experimento foi realizado com mudas, cultivadas sem estresse, utilizando-se apenas como tratamentos os produtos/doses que propiciaram os mais altos níveis de proteção contra *C. coffeicola* no experimento II. Procedeu-se inoculação com *C. coffeicola* 10 dias após a pulverização dos tratamentos. Este experimento foi realizado visando fornecer material foliar para se avaliar a atividade de peroxidases, polifenoloxidasas, pigmentos e o acúmulo de lignina. O delineamento utilizado foi o DBC, com três blocos e unidade experimental composta por três plantas por coleta por parcela. Foram realizadas quatro coletas nos tempos de 5, 10, 15 e 20 dias após a pulverização dos tratamentos.

Determinação da atividade de peroxidases e polifenoloxidasas

O tecido foliar das mudas de café foi macerado em nitrogênio líquido e homogeneizado em almofariz com pistilo em tampão acetato de sódio 50 mM pH 5,2 durante 3 min em banho de gelo. Após a filtração em pano de trama fina, a solução foi centrifugada a 12000 x g (4°C) por 15 min e o sobrenadante foi coletado. A proteína solúvel contida no sobrenadante foi determinada pelo método de Bradford (1976), usando uma curva padrão de albumina sérica bovina (BSA). A atividade de peroxidases de guaiacol foi determinada pela adição de 100µL do extrato enzimático ajustado para 2 mL de uma solução contendo acetato de sódio 50 mM pH 5,2, guaiacol 20mM e peróxido de hidrogênio 60 mM. Após incubação a 30°C por 10 min, a absorbância foi medida a 480 nm (Urbanek *et al.*, 1991). A atividade de polifenoloxidasas foi realizada na ausência de peróxido de hidrogênio e utilizando como substrato catecol. Tanto a atividade peroxidásica, quanto a polifenoloxidásica, foi expressa em atividade por miligrama de proteína por minuto ($\Delta \text{mg P}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$).

Determinação de lignina e pigmentos

O conteúdo de lignina foi determinado pelo ensaio com ácido tioglicólico (TGA) (Monties, 1989), em que 0,2 g de tecido foliar em pó foram incubados em acetona (85%) por 48 horas; e centrifugada a 7500 x g por 15 minutos. O precipitado foi seco e incubado com 5 mL de ácido em HCl 2 N 1:10 (v/v), durante quatro horas, e o sobrenadante foi levado ao espectrofotômetro para determinação dos teores de Clorofila A (664 nm), B (647 nm) e Carotenóides (455 nm) (Arnon, 1949). Posteriormente as amostras em água foram centrifugadas a 7500g por 15 min e os sobrenadantes foram transferidos para novos tubos onde receberam 200 µL de HCl 10 N. Após o banho de gelo por 4 horas e centrifugação a 7500 x g por 30 minutos, o precipitado obtido foi homogeneizado em 5 mL de NaOH 0,5 N e a absorbância foi medida a 280 nm. A quantidade de derivados TGA (lignina ácido-solúvel) formada foi medida pela comparação com uma curva padrão (0,01-0,1 mg de lignina éter 2-hidroxi-propílico mL⁻¹) e os valores expressos em micrograma de lignina por miligrama de matéria fresca (µg mg⁻¹ MF). Todas as determinações foram realizadas em duplicatas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Efeito das doses de silicato de potássio no crescimento micelial de *C. coffeicola*

O crescimento do fungo foi inversamente proporcional ao aumento das doses do produto, ajustando-se a um modelo de regressão linear (Figura 1). Portanto, o desenvolvimento do fungo foi afetado diretamente quando se utilizou silicato de potássio, caracterizando um efeito fungitóxico do produto. Os fungos *Hemileia vastatrix* e *Phoma* sp. também foram afetados diretamente em testes de germinação de esporos e crescimento micelial, quando em contato com silicato ou

fosfito de potássio (Nojosa, 2003).

Geralmente produtos indutores de resistência não atuam sobre o patógeno, contudo, em alguns casos os indutores podem atuar induzindo resistência e afetando o patógeno diretamente (Nojosa, 2003). De acordo com Kataria *et al.*, (1997) indutores de resistência conhecidos, como os ácidos salicílico, nitrosalicílico e ASM inibiram o crescimento micelial de *Rhizoctonia solani*, em diferentes doses.

Doses de silicato de potássio na severidade da doença em casa de vegetação

As áreas abaixo das curvas de progressos da severidade da cercosporiose (AACPS) diferiram entre si para as doses de silicato de potássio utilizadas. Observou-se, através de regressão com modelo quadrático, que houve um decréscimo até a dose de 2,27 mL/L, dose ótima observada como ponto de mínimo, seguida de um aumento na AACPS nas doses maiores (Figura 2).

O decréscimo observado foi da ordem de 47 % da dose 1,5 mL/L para a testemunha. Para as maiores doses de silicato de potássio, foi observada uma maior severidade da doença (Figura 2). Esta maior severidade pode ser explicada pelo aumento do potássio nas plantas. Pozza *et al.* (2001) e Garcia Júnior *et al.* (2003) observaram que o aumento nas doses de potássio proporcionou uma maior incidência e severidade de cercosporiose do cafeeiro. De acordo com Marschner (1995) o K, presente em elevadas quantidades nos tecidos vegetais, pode interferir na translocação e na disponibilidade fisiológica do Mg e do Ca, resultando em desordens metabólicas e levando a maior severidade de doenças.

Comparando-se as doses de silicato de potássio com os tratamentos adicionais, testemunha absoluta e ASM, observou-se que não houve significância para as doses de 0,75 e 1,5 mL de silicato/L e os tratamentos adicionais, pelo teste de Dunnett (Dados não mostrados). Por outro lado, nos tratamentos adicionais ocorreu menor AACPD quando comparado com as doses 3,0 e 6,0 mL de silicato/L de água. De forma semelhante ao que ocorreu em relação a cercosporiose do cafeeiro, para ferrugem do cafeeiro, observou-se que o aumento das doses de silício proporcionou uma diminuição linear da severidade da doença (Martinati *et al.*, 2008).

Efeito do silicato de potássio na severidade e incidência da cercosporiose no campo

Na avaliação do experimento de campo, observou-se pela área abaixo da curva de progresso da severidade (AACPS) que os tratamentos com Opera e silicato de potássio proporcionaram maior proteção ao cafeeiro, não diferindo entre si, mas diferindo da testemunha. Estes tratamentos reduziram a porcentagem da doença em relação à testemunha em 61 e 31%. Para a área abaixo da curva do progresso da incidência (AACPI), somente o tratamento com Opera diferenciou-se dos demais (Figura 3). A porcentagem

de controle em relação testemunha observada para esse tratamento foi de 51%, enquanto que no tratamento silicato, esta porcentagem foi de apenas 9%.

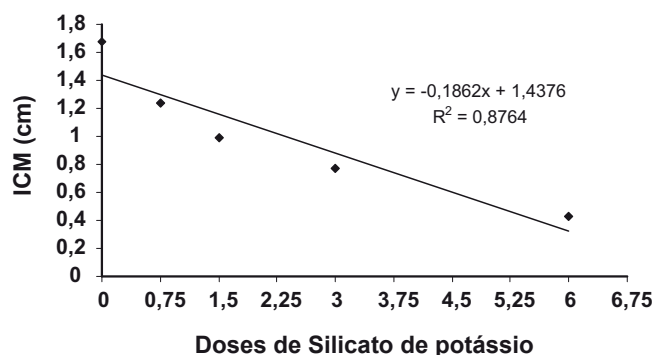


FIG. 1 - Efeito de doses de silicato de potássio no índice de crescimento micelial (ICM) de *Cercospora coffeicola*.

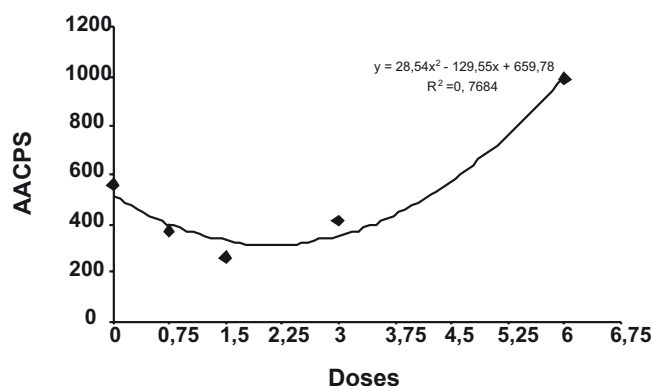


FIG. 2 - Efeito de doses de silicato de potássio na área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD).

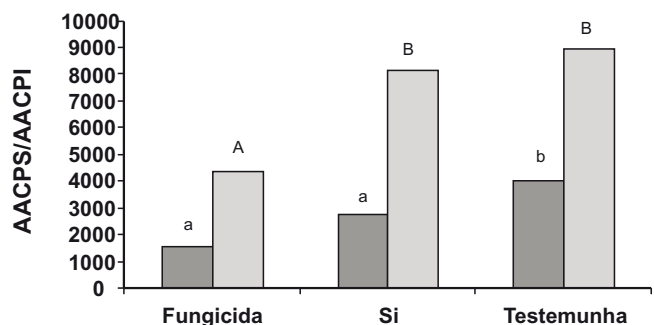


FIG. 3 - Efeito do silicato de potássio (1,5 mL/L) na área abaixo da curva do progresso da severidade (AACPS) e na área abaixo da curva do progresso da incidência da cercosporiose do cafeeiro (AACPI) cultivar 'Topázio'. Médias com mesma letra não diferiram entre si pelo teste de Scott & Knott ($P \leq 0,05$). Barras indicam o desvio padrão da média.

Vários trabalhos relatam a eficiência de silicatos em reduzir a doença, contudo, esses efeitos são mais estudados em plantas acumuladoras de silício, tais como gramíneas e curcubitáceas (Fawe *et al.*, 2001; Epstein, 1999). Já em café, Pozza *et al.* (2004), estudando o efeito de 1 g de silicato de cálcio por quilo de substrato, observaram redução de 63,2% na incidência e 43% na severidade da cercosporiose na cultivar Catuaí.

Atividade de Enzimas

Peroxidases

Plantas pulverizadas com silicato de potássio, sem inoculação com *C. coffeicola*, mostraram aumento significativo na atividade da peroxidase logo aos 5 dias após a pulverização, superior à atividade desta enzima em plantas testemunha e em plantas tratadas com o ASM (Figura 4). Em plantas de pepino cultivadas em solução nutritiva com Si 1,7 mM (100 ppm de Si) e inoculadas com *Pythium sp.*, observou-se que a atividade dessa enzima teve um aumento rápido, a partir de dois dias após a inoculação, e apresentou sua máxima atividade aos quatro dias (Chérif *et al.*, 1994).

A maior atividade de peroxidase foi observada na terceira coleta, aos 15 dias após a pulverização, em plantas de café tratadas com ASM e inoculadas com *C. coffeicola*. Nessa mesma coleta, observou-se também que a atividade de peroxidase em plantas tratadas com silicato de potássio e inoculadas *C. coffeicola*, foi inferior àquela observada em plantas tratadas com ASM e inoculadas, porém maior que a observada nos demais tratamentos (Figura 4).

Tais resultados observados com os tratamentos ASM e silicato de potássio corroboram com os resultados observados por Nojosa (2003). Segundo este autor, a atividade de peroxidase, em tecidos infectados, foi cerca de 11,6 vezes superior àquela encontrada em tecidos saudáveis. Neste mesmo estudo foi constatado que plantas tratadas com os produtos ASM, AS e fosfito de potássio, isoladamente e inoculadas com *H. vastatrix*, apresentaram atividades superiores as testemunha absoluta e inoculada. Em plantas de tomate tratadas com ASM sem inoculação ou inoculadas com *Xanthomonas axonopodis*, o pico de produção dessa enzima ocorreu aos nove dias (Cavalcanti *et al.*, 2006). No patossistema tomate - *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* o pico de atividade de peroxidases foi aos 14 dias (Soylu *et al.*, 2003).

Polifenoloxidase

Para a atividade de polifenoloxidase, verificou-se que os tratamentos com o silicato de potássio, com e sem inoculação com *C. coffeicola*, apresentaram atividades superiores aos demais tratamentos, exceto pelo tratamento com o ASM com inoculação, que apresentou maior atividade desta enzima na coleta 10 dias após pulverização (Figura 5). Tais resultados diferem daqueles encontrados por Chérif *et al.* (1992). Estes autores observaram um rápido aumento na atividade dessa enzima, logo aos dois dias, com pico de atividade aos dois dias após a inoculação com *Pythium spp.*

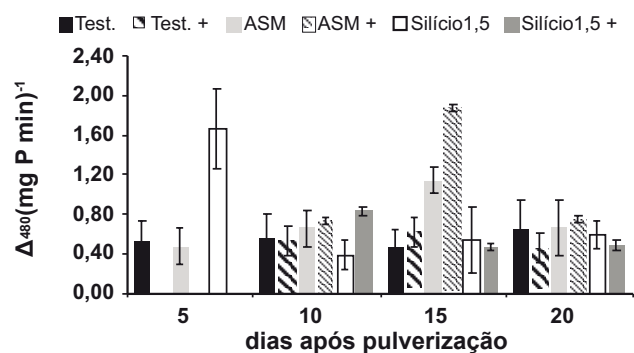


FIG. 4 - Efeito de indutores de resistência sobre a atividade de peroxidases em folhas de cafeeiro. Tratamentos: Test (testemunha); Test+ (testemunha + inoculação com *C. coffeicola*); ASM (acibenzolar-S-metil); ASM+ (acibenzolar-S-metil + inoculação com *C. coffeicola*); Silício 1,5 (silicato de potássio 1,5 mL/L); Silício 1,5 + (silicato de potássio 1,5 mL/L + inoculação com *C. coffeicola*). Barras indicam o desvio padrão da média.

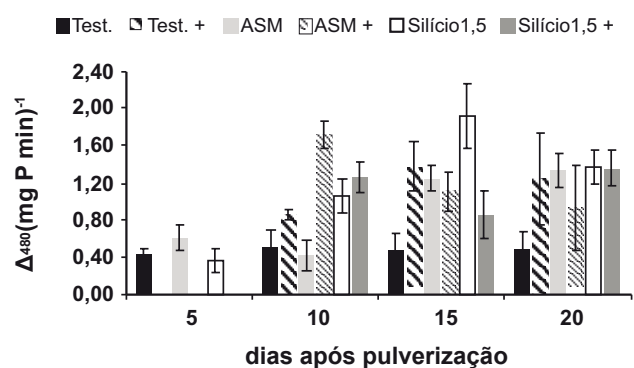


FIG. 5 - Efeito de indutores de resistência sobre a atividade de polifenoloxidases em folhas de cafeeiro. Tratamentos: Test (testemunha); Test+ (testemunha + inoculação com *C. coffeicola*); ASM (acibenzolar-S-metil); ASM+ (acibenzolar-S-metil + inoculação com *C. coffeicola*); Silício 1,5 (silicato de potássio 1,5 mL/L); Silício 1,5 + (silicato de potássio 1,5 mL/L + inoculação com *C. coffeicola*). Barras indicam o desvio padrão da média.

Em plantas tratadas com silicato de potássio e não inoculadas foi observado uma maior atividade de polifenoloxidases aos quinze dias após a pulverização. Em plantas de pepino em solução nutritiva contendo 100 ppm de Si, Chérif *et al.* (1992) observaram que o máximo de atividade dessa enzima ocorreu aos seis dias após a inoculação com *Pythium sp.*

Lignina e Pigmentos

Os teores de lignina dos tratamentos com silicato de potássio, com ou sem inoculação, se sobressaíram dos demais, apresentando maior acúmulo dessa macromolécula (Tabela 1). Não foi observada diferença significativa entre os teores de clorofila *a*. O mesmo ocorreu para carotenóides, onde não se observou diferença no seu teor para os tratamentos. Já

TABELA 1 - Efeito de indutores de resistência nos teores de clorofila ($\mu\text{g g}^{-1}$ de massa fresca) A e B, carotenóides e acúmulo de lignina.

Tratamentos*	Lignina	Clorofila A**	Clorofila B	Carotenóides
Testemunha	7,46 \pm 0,44 c	30,68 \pm 0,32 a	20,5 \pm 1,92 b	4,05 \pm 0,14 a
Testemunha + inoculação	7,68 \pm 0,45 c	30,01 \pm 0,78 a	21,7 \pm 2,36 b	3,93 \pm 1,40 a
ASM	7,68 \pm 0,42 c	30,86 \pm 0,79 a	18,9 \pm 4,95 b	4,48 \pm 0,68 a
ASM +	10,40 \pm 0,44 b	30,48 \pm 0,48 a	26,9 \pm 2,53 a	4,1 \pm 0,28a
Silício 1,5	11,26 \pm 0,31 b	29,93 \pm 0,40 a	29,0 \pm 1,72 a	3,5 \pm 0,51 a
Silício 1,5 +	14,32 \pm 0,40 a	30,96 \pm 0,57 a	26,7 \pm 1,85 a	5,32 \pm 1,16 a

*Tratamentos: Testemunha absoluta; testemunha inoculada com *C. coffeicola*; ASM – acibenzolar-S-metil; ASM+ - acibenzolar-S-metil + inoculação com *C. coffeicola*; Silício 1,5 – silicato de potássio 1,5 mL/L; Silício 1,5+ – silicato de potássio 1,5 mL/L + inoculação com *C. coffeicola*. **Letras seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott, ao nível de 5% de significância.

para a clorofila *b*, pode-se observar aumento significativo para os tratamentos ASM +, silício e silício + inoculação com *C. coffeicola* (Tabela 1).

Os pigmentos como as clorofilas e carotenóides são importantes porque participam dos processos de absorção e conversão da energia luminosa em ATP e poder redutor, que podem ser usados no metabolismo de carboidratos e outros processos energéticos das células (Misaghi, 1982; Malkin & Niyogi, 2000). As doenças causadas por patógenos geralmente diminuem a fotossíntese causando clorose e necrose interferindo dessa forma na área fotossintética e na quantidade de pigmentos (Misaghi, 1982; Agrios, 2005).

O silicato de potássio em casa de vegetação proporcionou maior proteção de cafeeiro contra *Cercospora coffeicola* para a dose de 1,5 mL.L⁻¹ de água. Em condições de campo, observou-se que a dose de 1,5 mL.L⁻¹ de água, selecionada no teste em casa de vegetação, conferiu proteção a plantas de café contra *C. coffeicola*. O que explica parte do efeito do silício na proteção de cafeeiro contra *C. coffeicola* é o aumento nos níveis de peroxidase, polifenoloxidase e lignina observado em plantas de café pulverizado com silicato de potássio e inoculado com *C. coffeicola*.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Agrios GN (2005) Plant Pathology. 5th Ed. Amsterdam. Elsevier Academic Press.

Arnon DI (1949) Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology 24:1-15.

Bettiol W (1991) Controle biológico de doenças de plantas. Jaguariúna SP. EMBRAPA Meio Ambiente.

Bradford MM (1976) A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry 72:248-254.

Cakmak I, Horst JH (1991) Effects of aluminum on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase, and peroxidase

activities in root tips of soybean (*Glycine max*). Physiologia Plantarum 83:463-468.

Cardoso CON, Garraway MO (1977) Bioassay using phenolic compounds and phytoalexins produced in bean plants infected with *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli* (Burk.) Snyder & Hans. Summa Phytopathologica 3:103-116.

Cavalcanti FR, Resende MLV, Carvalho CPS, Silveira JAG, Oliveira JTA (2006) Induced defence responses and protective effects on tomato against *Xanthomonas vesicatoria* by an aqueous extract from *Solanum lycocarpum* infected with *Crinipellis perniciosa*. Biological Control 39:408-417.

Chalfoun SM (1997) Doenças do cafeeiro: importância, identificação e métodos de controle. Lavras MG. UFLA.

Chérif M, Asselin A, Bélanger RR (1994) Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. Phytopathology 84:236-242.

Chérif M, Bélanger RR (1992) Use of potassium silicate amendment in recirculating nutrient solutions to suppress *Pythium ultimum* on long english cucumber. Plant Disease 76:1008-1011.

Epstein E (1999) Silicon. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 50:641-664.

Fauteux FR, Mus-Borel W, Menzies J, Belanger RR (2005) Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. FEMS Microbiology Letters 249:1-6.

Fawe A, Menzies JG, Cherif M, Bélanger R.R (2001) Silicon and disease resistance in dicotyledons. In: Datnoff LE, Snyder GH, Korndörfer GH (Eds.) Silicon in agriculture. Elsevier Science. pp. 159-169.

Ferreira DF (2003) SISVAR. Lavras MG. Brasil. Universidade Federal de Lavras.

Garcia Júnior D, Pozza EA, Pozza AAA, Souza P E, Carvalho JG, Baliero AC (2003) Incidência e severidade da cercosporiose do cafeeiro em função do suprimento de potássio e cálcio em solução nutritiva. Fitopatologia Brasileira 28:286-291.

Hammerschmidt R, Kuc J (1982) Lignification as a mechanism for induced systemic resistance in cucumber. Physiological Plant Pathology 20:61-71.

Jung WJ, Jin YL, Kim YC, Kim KY, Park RD, Kim TH (2004)

- Inoculation of *Paenibacillus illinoisensis* alleviates root mortality, activates of lignification-related enzymes, and induction of the isozymes in pepper plants infected by *Phytophthora capsici*. *Biological Control* 30:645-652.
- Kataría HR, Wilmsmeier B, Buchenauer H (1997) Efficacy of resistance inducers, free-radical scavengers and an antagonist strain of *Pseudomonas fluorescens* for control of *Rhizoctonia solani* AG-4 in bean and cucumber. *Plant Pathology* 46:897-909.
- Maguire JD (1962) Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science* 2:176-177.
- Malkin R, Niyogi K (2000) Photosynthesis. In: Buchanan B, Gruissem W, Jones R (Eds.) *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*. Rockville MD. American Society of Plant Physiologists. pp. 568-628.
- Marschner H (1995) *Mineral nutrition of higher plants*. 2. Ed. New York NY. Kluwer Academic Publishers.
- Martinati JC, Harakava R, Guzzo SD, Tsai M (2008) The Potential Use of a Silicon Source as a Component of an Ecological Management of Coffee Plants. *Journal of Phytopathology* 156:458-463.
- Menzies JG, Ehret DL, Glass ADM, Helmer T, Koch C, Seywerd F (1991) Effects of soluble silicon on the parasitic fitness of *Sphaerotheca fuliginea* on *Cucumis sativus*. *Phytopathology* 81:84-88.
- Misaghi IJ (1982) *Physiology and biochemistry of plant pathology interaction*. New York NY. Plenum Press.
- Monties B (1989) Lignins. In: Dey PM, Harborne JB (Eds.) *Methods in Plant Biochemistry*. New York NY. Academic Press. pp. 113-158.
- Nojosa GBA (2003) Efeito de indutores na resistência de *Coffea arabica* L. a *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. e *Phoma costaricensis* Echanti. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Lavras, Lavras MG.
- Oliveira CA, Pozza EA, Oliveira VB, Santos RC, Chaves ZM (2001) Escala diagramática para avaliação da severidade de cercosporiose em folhas de cafeeiro. In: Resumos, II Simpósio dos cafés do Brasil, Vitória ES. *Embrapa Café*. p. 80.
- Peixoto PHP, Cambraia J, Sant'anna R, Mosquim PR, Moreira MA (1999) Aluminum effects on lipid peroxidation and on the activities of enzymes of oxidative metabolism in sorghum. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal* 11:137-143.
- Pozza AA, Alves E, Pozza E A, Carvalho JG, Montanari M, Guimarães PTG, Santos DM (2004) Efeito do silício no controle da cercosporiose em três variedades de cafeeiro. *Fitopatologia Brasileira* 29:185-188.
- Pozza AAA, Martinez HEP, Pozza EA, Caixeta SL, Zambolim L (2000) Intensidade da mancha de olho pardo em mudas de cafeeiro em função de doses de N e de K em solução nutritiva. *Summa Phytopathologica* 26:29-33.
- Rodrigues FA, Benhamou N, Datnoff LE, Jones JB, Belanger RR (2003) Ultrastructural and cytochemical aspects of silicon-mediated rice blast resistance. *Phytopathology* 93:535-546.
- Scott AJ, Knott M (1974) Cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. *Biometrics* 30:507-512.
- Shaner G, Finney RE (1977) The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox Wheat. *Phytopathology* 67:1051-1056.
- Soylu S, Baysal O, Soyly EM (2003) Induction of disease resistance by the plant activator, acibenzolar-Smethyl (ASM), against bacterial canker (*Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*) in tomato seedlings. *Plant Science* 165:1069-1075.
- Urbanek H, Kuzniak-Gebarowska E, Herka H (1991) Elicitation of defence responses in bean leaves by *Botrytis cinerea* polygalacturonase. *Acta Physiologiae Plantarum* 13:43-50.

Recebido 9 Agosto 2007 - Aceito 17 Dezembro 2008 - TPP 7085
 Editor Associado: Marciel J. Stadnik