

Eficiência de diferentes moléculas na redução dos sintomas da queima das bainhas em arroz e no crescimento de *Rhizoctonia solani* in vitro

Daniel Augusto Schurt¹, Fabrício Ávila Rodrigues², Naiara Fernandes Abreu Souza³, Ricardo Dutra Reis⁴

RESUMO

Este estudo verificou a eficiência da aplicação de diferentes moléculas em reduzir o comprimento relativo da lesão (CRL) da queima das bainhas em arroz. Plantas dos cultivares BR-Irga 409 e Labelle foram cultivadas em solução nutritiva e inoculadas com *Rhizoctonia solani*, no estágio de máximo perfilhamento. Às 24 horas antes da inoculação, as bainhas das plantas foram pulverizadas com soluções de silicato de potássio (SP), silicato de potássio + fósforo (SP+F), Acibenzolar-S-Metil (ASM), fungicida Carbendazim, quitosana desacetilada (QD), etileno (ET) e fosfito de potássio (FP). Plantas cujas bainhas foram pulverizadas com água destilada serviram como testemunhas. O efeito das moléculas contidas nesses produtos no crescimento micelial de *R. solani* foi testado in vitro. Para BR-Irga 409, o CRL foi menor com a aplicação do FP, em relação aos demais tratamentos, exceto o Carbendazim. A aplicação do Carbendazim reduziu em 86,1% o CRL, em relação à testemunha. O CRL foi significativamente menor no cultivar BR-Irga 409 do que no 'Labelle', com aplicação do FP. O crescimento micelial de *R. solani* foi reduzido apenas pelo FP e Carbendazim, em comparação com os demais tratamentos. Não houve diferença significativa entre os tratamentos testemunha, SP e SP+F para a concentração de Si nas bainhas das plantas dos dois cultivares.

Palavras-chave: indução de resistência, indutores, *Oryza sativa*, *Rhizoctonia solani*, silicatos.

ABSTRACT

Efficiency of different molecules on the reduction of sheath blight symptoms in rice and on *Rhizoctonia solani* growth in vitro

This study aimed to test the efficiency of different molecules on the reduction of the relative lesion extension (RLE) of sheath blight in rice. Plants of cultivars BR-Irga 409 and Labelle were grown in nutrient solution and inoculated with *Rhizoctonia solani* at the maximum tillering stage. At 24 hours before inoculation, sheaths of plants were sprayed with solutions of potassium silicate (PS), potassium silicate + phosphorus (PS+P), Acibenzolar-S-Methyl (ASM), Carbendazim fungicide, deacetylated chitosan (DC), ethylene (ET) and potassium phosphite (PP). Sheaths from plants sprayed with water served as the control treatment. The effect of these products on *R. solani* mycelia growth was also studied in vitro. For BR-Irga 409, the RLE was lower with the application of PP compared with the other treatments, except the Carbendazim. The application of Carbendazim reduced in 86.1% the RLE in comparison with the control. The RLE was lower for BR-Irga 409 than for Labelle with the application of PP. Mycelia growth of *R. solani* was inhibited only by PP and Carbendazim in comparison with the other treatments. There was no significant difference among the treatments control, PS, and PS+P for silicon concentration on sheaths of plants of the two cultivars.

Key words: induced resistance, inducers, *Oryza sativa*, *Rhizoctonia solani*, silicates.

Recebido para publicação em 11/01/2012 e aprovado em 21/02/2013.

Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

¹Engenheiro-Agrônomo, Doutor. Departamento de Fitopatologia, Universidade Federal de Viçosa, Campus Viçosa, Avenida Peter Henry Rolfs, s/n, 36570-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. d_schurt@yahoo.com.br

²Engenheiro-Agrônomo, Ph.D. Departamento de Fitopatologia, Universidade Federal de Viçosa, Campus Viçosa, Avenida Peter Henry Rolfs, s/n, 36570-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. fabricio@ufv.br (autor correspondente).

³Engenheira-Agrônoma. Departamento de Fitopatologia, Universidade Federal de Viçosa, Campus Viçosa, Avenida Peter Henry Rolfs, s/n, 36570-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. naianandes@yahoo.com.br

⁴Engenheiro-Agrônomo. Departamento de Fitopatologia, Universidade Federal de Viçosa, Campus Viçosa, Avenida Peter Henry Rolfs, s/n, 36570-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. ricardo.reis@mda.gov.br

INTRODUÇÃO

A queima das bainhas, cujo agente etiológico é *Rhizoctonia solani* Kühn (*Thanatephorus cucumeris* (A. B. Frank) Donk) (Hashiba & Kobayashi, 1996), é uma das principais doenças fúngicas do arroz [*Oryza sativa* L.] (Ou, 1985). As plantas tornam-se infectadas quando os microescleródios entram em contato com as bainhas, germinam e o micélio forma inúmeras almofadas de infecção na superfície delas (Matsuura, 1986), originando lesões circulares e ou arredondadas, de coloração acinzentada com bordas marrom-escura (Ou, 1985). Ao coalescerem, as lesões causam a seca parcial ou total das bainhas e das folhas, o acamamento das plantas, uma maior percentagem de glumas vazias e uma redução no número de perfilhos (Rush & Lee, 1992).

Considerando-se o custo de produção, a sustentabilidade, a segurança ambiental e a qualidade final dos grãos de arroz, a busca por métodos alternativos para o manejo integrado da queima das bainhas vem sendo intensificada. Dentre essas alternativas, cita-se o uso de produtos contendo silício (Si) solúvel e indutores de resistência, alguns deles com ação hormonal. Sabe-se que a aplicação de Si, seja via foliar, ou via solo, é uma alternativa que está sendo adotada para reduzir a intensidade de inúmeras doenças fúngicas e bacterianas, em várias culturas de importância comercial (Datnoff *et al.*, 2007). Em arroz, a aplicação foliar de silicato de potássio reduziu a severidade da mancha parda e o número de lesões em 37 e 47%, respectivamente, mas a redução desses dois componentes de resistência foi maior quando as plantas absorveram o Si pelas raízes (Rezende *et al.*, 2009). A ativação de mecanismos de defesa em plantas, que afetam o processo infeccioso de vários patógenos, é sinalizada pelos hormônios ácido salicílico (AS), ácido jasmônico (AJ) e etileno (ET) (Kachroo & Kachroo, 2007). A aplicação de benzotriazolazole, um análogo do AS, a partir das 24 horas antes da inoculação das bainhas de plantas de arroz com *R. solani*, reduziu a severidade da queima das bainhas (Rohilla *et al.*, 2001). O crescimento micelial de *Pyricularia grisea* e o número de conídios produzidos por esse fungo nas lesões foram negativamente afetados pela aplicação de quitosana (Rabea *et al.*, 2005). O etileno também tem uma participação importante na resistência de algumas espécies de plantas a patógenos. Plantas mutantes de soja, deficientes na produção de etileno, foram mais susceptíveis ao crestamento bacteriano, causado por *Pseudomonas syringae* pv. *glycinea*, do que as plantas responsivas a esse hormônio (Weingart *et al.*, 2001). A aplicação de fosfito também tem-se mostrado promissora no controle de algumas doenças em plantas de interesse comercial. Houve menor incidência do mofo azul, causado por *Penicillium expansum*, em maçãs pulverizadas com fosfito de potássio (Blum *et al.*, 2007).

Dessa forma, este trabalho objetivou comparar a eficiência de diferentes moléculas na redução dos sintomas da queima das bainhas, em dois cultivares de arroz, além do seu efeito *in vitro*, no crescimento micelial de *R. solani*.

MATERIAL E MÉTODOS

Sementes de arroz dos cultivares BR-Irga 409 e Labelle, susceptíveis a *R. solani*, foram esterilizadas em hipoclorito de sódio 10% (vol/vol), por 2 min., lavadas em água destilada, por 3 min., e colocadas para germinar em papel germiteste umedecido. Os rolos de papel germiteste foram colocados em câmara de germinação, a 25 °C, por seis dias. As plântulas retiradas desses rolos foram postas a crescer em vasos plásticos com solução nutritiva, a meia força, por sete dias. Após esse período, as plantas foram transferidas para vasos plásticos, contendo cinco litros de solução nutritiva modificada de Hoagland & Arnon (1950), até aos 60 dias após o transplantio (estádio de máximo perfilhamento). A solução nutritiva foi constituída de: 1,0 mM KNO₃ L⁻¹; 0,25 mM NH₄H₂PO₄ L⁻¹; 0,1 mM NH₄Cl L⁻¹; 0,5 mM MgSO₄·7H₂O L⁻¹; 1,0 mM Ca(NO₃)₂·4H₂O L⁻¹; 0,30 μM CuSO₄·5H₂O L⁻¹; 0,33 μM ZnSO₄·7H₂O L⁻¹; 11,5 μM H₃BO₃ L⁻¹; 3,5 μM MnCl₂·4H₂O L⁻¹; 0,1 μM (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O L⁻¹; 25 μM FeSO₄·7H₂O L⁻¹ e 25 μM EDTA bisódico L⁻¹. A solução nutritiva, sem aeração, foi trocada a cada quatro dias. O pH da solução foi monitorado diariamente e mantido em 5,5, utilizando-se soluções 1 M de NaOH ou HCl, quando necessário.

As bainhas das plantas dos dois cultivares foram pulverizadas com soluções de: silicato de potássio (26,7% SiO₂ e 13,1% K₂O) na dose de 10 g/L; silicato de potássio + fósforo (12% de P₂O₅, 27% de K₂O e 27% de SiO₂) na dose de 2 ml/L; Acibenzolar-S-Metil (130 mg i.a./L); fungicida Carbendazim (500 mg i.a./L); quitosana desacetilada a 85% (500 mg i.a./L); etileno (1,5 ml/L) e fosfito de potássio (27% de P₂O₅ e 27% de K₂O) na dose de 6 ml/L utilizando-se um atomizador De Vilbs n°15. As plantas não foram removidas dos vasos durante as pulverizações. O pH das soluções de silicato de potássio e de fosfito de potássio foram ajustados para 6,0, utilizando-se, respectivamente, soluções 1 M de HCl e NaOH. A testemunha foi constituída por plantas dos dois cultivares de arroz, cujas bainhas foram pulverizadas com água destilada.

As bainhas das plantas foram inoculadas com *R. solani*, após 24 horas da pulverização das soluções dos produtos mencionados acima. Utilizou-se o isolado de *R. solani* CNPAF Rs-1 (AG-1 IA). Após o crescimento do fungo, em meio de cultura batata-dextrose-ágar (BDA), transferiram-se discos do meio, contendo micélio, para novas placas de Petri, contendo BDA e pedaços de palito de dente (≈ 1 cm de comprimento), previamente autoclavados por 20 min em frascos contendo BDA

(Rodrigues *et al.*, 2001). Os pedaços de palito de dente serviram como suporte para o crescimento do fungo. As placas permaneceram em câmara de crescimento (25 °C, fotoperíodo de 12 h luz) por cinco dias. A segunda bainha do perfilho principal de cada planta foi inoculada, colocando-se, com auxílio de uma pinça estéril, um pedaço de palito colonizado pelo fungo, sem causar nenhum ferimento. Amarraram-se as bainhas inoculadas, aos perfilhos das plantas, com fitilhos. Imediatamente após a inoculação, transferiram-se as plantas para câmara de nevoeiro, com temperatura de 25 ± 2 °C e umidade relativa de $90 \pm 5\%$. Plantas cujas bainhas haviam sido pulverizadas com etileno permaneceram em câmara de nevoeiro diferente daquela onde se encontravam as plantas que receberam os demais tratamentos, para evitar qualquer efeito do etileno nas plantas dos demais tratamentos. Após 96 horas da inoculação, avaliou-se o comprimento da lesão em cada bainha inoculada, com auxílio de um paquímetro digital. O comprimento relativo da lesão (CRL) foi calculado, dividindo-se o comprimento da lesão (cm) pelo comprimento da bainha (cm) $\times 100$.

Após o término do experimento, as bainhas das plantas das repetições dos tratamentos testemunha, silicato de potássio e silicato de potássio + fósforo foram coletadas, secadas em estufa, a 65 °C, até atingirem massa constante e moídas em moinho tipo Wiley para determinar a concentração de Si (Rezende *et al.*, 2009).

O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 8×2 , com cinco repetições. Os fatores estudados foram: pulverização das plantas com os sete produtos, mais a testemunha, e dois cultivares de arroz. Cada repetição foi constituída por um vaso plástico, contendo duas plantas de arroz. O experimento foi repetido e os dados das variáveis CRL e concentração de Si na bainha foram combinados, após a homogeneidade de variância ser confirmada pelo teste de Bartlett. Os dados das variáveis foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas no programa SAS 9.0 (SAS Institute Inc., Cary, NC).

Os mesmos produtos utilizados na pulverização das bainhas foram testados na inibição do crescimento micelial de *R. solani in vitro*. Esses produtos foram incorporados ao meio BDA fundente, nas mesmas doses descritas acima, e, no centro de cada placa de Petri, colocou-se um disco de micélio (1 cm de diâmetro) do fungo. O crescimento micelial foi medido às 48 horas e expresso em cm^2 , com base em duas medidas obtidas diametralmente. A adição de água deionizada esterilizada ao meio de cultura serviu como testemunha. O experimento foi instalado em DIC, com oito tratamentos (sete produtos e a testemunha) e cinco repetições. Cada repetição foi constituída

por uma placa de Petri. O experimento foi repetido e os dados das variáveis avaliadas foram combinados, após a homogeneidade de variância ser confirmada pelo teste de Bartlett.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve diferença significativa devido à interação cultivares \times pulverização das plantas com os sete produtos, mais a testemunha, para o CRL. Diferença significativa entre cultivares BR-Irga 409 e Labelle ocorreu apenas quando as plantas foram pulverizadas com fosfito de potássio (Tabela 1). Nas bainhas das plantas do cultivar BR-Irga 409, o CRL foi significativamente superior nos tratamentos testemunha, silicato de potássio + fósforo e quitosana desacetilada em relação aos demais tratamentos (Tabela 1). Os resultados dos tratamentos ASM, silicato de potássio + fósforo e etileno foram significativamente diferentes daqueles da testemunha. O CRL foi significativamente menor, com aplicação do Carbendazim, em relação ao da testemunha e aos dos demais tratamentos. Quanto ao CRL nas bainhas das plantas do cultivar Labelle, não houve diferença significativa ($p = 0,05$) entre os tratamentos Acibenzolar-S-Metil, fosfito de potássio, silicato de potássio, silicato de potássio + fósforo e quitosana desacetilada em relação ao da testemunha (Tabela 1). Houve redução significativa de 41,2 e 86,1%, respectivamente, no CRL, com a aplicação do etileno e do Carbendazim em relação à da testemunha (Tabela 1). Sabe-se que para ocorrer redução nos sintomas de uma doença, o etileno deve ser aplicado antes que as plantas sejam expostas ao patógeno (Abeles *et al.*, 1992). Assim, o tempo de exposição da planta ao etileno estimulará ou reduzirá a resistência da planta a um determinado patógeno (Van Loon *et al.*, 2006). As plantas de arroz, principalmente do cultivar Labelle, que receberam a aplicação do etileno, apresentaram-se mais resistentes à queima das bainhas, o

Tabela 1. Comprimento relativo da lesão (CRL) da queima nas bainhas de plantas de dois cultivares de arroz submetidos à aplicação de diferentes produtos visando a reduzir os sintomas da queima das bainhas

Tratamentos	CRL (%) ¹	
	BR-Irga 409	Labelle
Água destilada (testemunha)	35,7 aA	29,6 aA
Etileno	25,1 bA	17,4 bA
Acibenzolar-S-metil	23,1 bA	29,3 aA
Fosfito de potássio	13,5 cA	23,2 aB
Silicato de potássio	24,8 bA	29,7 aA
Silicato de potássio + fósforo	30,8 aA	29,2 aA
Quitosana desacetilada	30,1 aA	28,4 aA
Carbendazim	1,1 dA	4,1 cA

¹ Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

que pode ser confirmado pelos menores valores do CRL. Plantas de soja deficientes na percepção do etileno apresentaram a mesma susceptibilidade a *R. solani* que as plantas do tipo selvagem (Hoffman *et al.*, 1999). Plantas de couve-flor apresentaram redução na severidade do míldio, causado por *Peronospora parasitica*, quando pulverizadas com sais de fosfito, na concentração de 7 ml/L (Bécot *et al.*, 2000).

A ineficiência do Acibenzolar-S-Metil em reduzir o CRL apenas para a cultivar Labelle pode estar relacionada com a dose utilizada, ou, até mesmo, com o tempo necessário para que as plantas dos cultivares testados pudessem ativar a resistência sistêmica adquirida. De acordo com Rohilla *et al.* (2001), o Acibenzolar-S-Metil foi mais eficiente em reduzir a severidade da queima das bainhas em arroz quando mais cedo as plantas foram expostas a esse produto antes da inoculação.

Embora a quitosana seja capaz de induzir respostas de defesa em diferentes espécies de plantas a vários patógenos (Vander *et al.*, 1998), neste trabalho, observou-se ineficiência desse indutor em reduzir o CRL, o que pode ser explicado pela dose utilizada, pelo grau de desacetilação do produto utilizado ou, talvez, pelo curto tempo decorrido entre a aplicação do produto e a inoculação com o patógeno. Sabe-se que o grau de polimerização, o nível de desacetilação e a distribuição das cargas no polímero afetam a atividade biológica da quitosana (Muzzarelli, 1996). Em arroz, o pré-tratamento de sementes e a pulverização das plantas com quitosana e quitosana hidrolisada, nas concentrações de 100 a 1000 mg/L, reduziu a severidade da brusone (Rodríguez *et al.*, 2007). De acordo com Lin *et al.* (2005), quanto menor o peso molecular da quitosana pulverizada nas plantas de arroz, maior foi a redução na severidade da brusone.

De acordo com Rush & Lee (1992), o fungicida Carbendazim é eficiente em reduzir os sintomas da queima

das bainhas, o que também foi comprovado neste trabalho, pois o CRL nas bainhas das plantas dos dois cultivares foi significativamente menor ($p < 0,05$) em relação ao da testemunha. O fosfito de potássio apresentou efeito intermediário em reduzir o CRL em relação à testemunha e o fungicida Carbendazim.

O crescimento micelial de *R. solani* foi significativamente ($p < 0,05$) inibido pelo fosfito de potássio e Carbendazim contidos nos meios de cultura, em comparação com os dos demais tratamentos (Figura 1). Sabe-se que o Acibenzolar-S-Metil tem efeito fungitóxico reduzido a *R. solani* (Rohilla *et al.*, 2001), porém não existe informação na literatura sobre o efeito dos demais produtos testados no crescimento micelial desse fungo em testes *in vitro*. Postula-se que um possível efeito osmótico, devido à concentração salina dos produtos fosfito de potássio, silicato de potássio e silicato de potássio + fósforo tenha afetado o crescimento micelial de *R. solani*.

Não houve diferença significativa ($P = 0,05$) entre os dois cultivares para a concentração de Si na bainha. As concentrações de Si nas bainhas das plantas dos cultivares BR-Irga e Labelle foram de 1; 2,2 e 1,2% e de 0,8; 0,7 e 0,8%, respectivamente, para os tratamentos testemunha, silicato de potássio e silicato de potássio + fósforo, mas sem diferença significativa ($P = 0,05$) entre esses tratamentos, independentemente do cultivar. Sabe-se que as espécies de plantas diferem quanto à capacidade em absorver o Si do solo e translocá-lo, de forma eficiente, para a parte aérea (Mitani & Ma, 2005). O arroz, a cana-de-açúcar e outras gramíneas, eficientes na absorção de Si, chegam a apresentar até 5% de Si na matéria seca da parte aérea (Datnoff *et al.*, 2007). A pulverização do silicato de potássio e silicato de potássio + fósforo nas bainhas das plantas de arroz não fez decrescerem os valores do CRL. Isso indica uma ineficiência das plantas em absorver o Si solúvel contido nesses dois produtos, independentemente

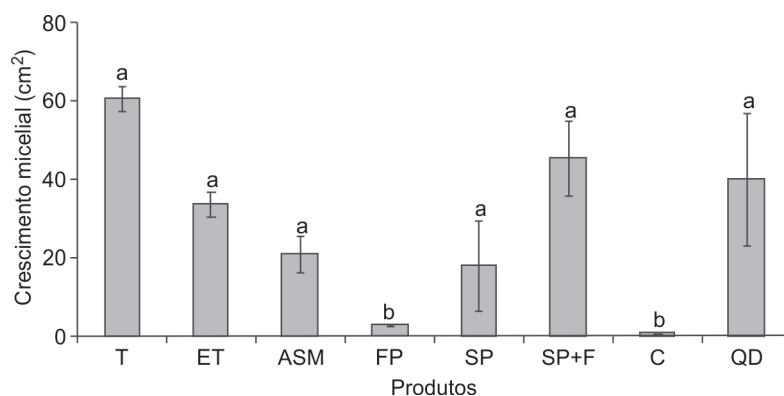


Figura 1. Efeito de diferentes produtos no crescimento micelial de *Rhizoctonia solani* em meio de cultura. A inibição do crescimento micelial foi avaliada às 48 horas após a adição dos produtos ao meio de cultura. T = água destilada esterilizada (testemunha); ET = etileno; ASM = Acibenzolar-S-Metil; FP = fosfito de potássio; SP = silicato de potássio; SP+F = silicato de potássio + fósforo; C = Carbendazim e QD = quitosana desacetilada. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

do tempo decorrido entre a aplicação e a inoculação com *R. solani* e, conseqüentemente, depositá-lo nos tecidos da bainha para reduzir a expansão da lesão causada por *R. solani*. Salienta-se, contudo, que a resposta poderia ser diferente, caso esses produtos tivessem sido fornecidos via raiz. De acordo com Rezende *et al.* (2009), a concentração foliar de Si foi maior quando as plantas de arroz absorveram esse elemento pelas raízes; ao contrário do observado, quando foi realizada a aplicação foliar do silicato de potássio, usado como a fonte desse elemento, o que garantiu redução significativa na severidade da mancha parda. Em plantas de cultivares de arroz susceptíveis e moderadamente resistentes, crescidas em solo contendo silicato de cálcio, houve redução na severidade da queima das bainhas (Rodrigues *et al.*, 2001).

CONCLUSÕES

Apenas o fosfito de potássio e o Carbendazim foram eficientes em reduzir o CRL da queima das bainhas da folhas do cultivar BR-Irga 409 e o etileno, o Acibenzolar-S-Metil e o Carbendazim no cultivar Labelle.

O fosfito de potássio e o Carbendazim reduziram o crescimento micelial de *R. solani* *in vitro*.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela bolsa de produtividade; à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, pela bolsa de Doutorado; à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, ao CNPq e à FAPEMIG, pelo recurso financeiro. Também agradecem às empresas Agrichem do Brasil Ltda, PQ Silicas Brasil Ltda e Syngenta, pelo fornecimento dos produtos.

REFERÊNCIAS

Abeles FB, Morgan PW & Saltveit JRM (1992) Ethylene in Plant Biology. Elsevier, Academic Press. 2nd Ed., 414 p.

Bécot S, Pajot E, Le Corre D, Monot C & Silué D (2000) Phytogard® (K₂HPO₃) induces localized resistance in cauliflower to downy mildew of crucifers. *Crop Protection*, 9:417-425.

Blum LEB, Amarante CVT, Dezanet A, Lima EB, Neto PH, Ávila RD & Siega V (2007) Fosfitos aplicados em pós-colheita reduzem o mofo-azul em maçãs 'Fuji' e 'Gala'. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 29:265-268.

Datnoff LE, Rodrigues FA & Seebold KW (2007) Silicon and Plant Nutrition. In: Datnoff LE, Elmer WH & Huber DM (Eds.) *Mineral Nutrition and Plant Disease*. Saint Paul, APS Press. p. 233-246.

Hashiba T & Kobayashi T (1996) Rice diseases incited by *Rhizoctonia* species. In: Sneh B, Jabahi-Hare S, Neate S & Dijkstra G. (Eds.) *Rhizoctonia* species: taxonomy, molecular biology, ecology, pathology, and disease control. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. 331 p.

Hoagland R & Arnon I (1950) The water culture method for growing plants without soil. *Circular of the California Agricultural Experiment Station*, 347:1-32.

Hoffman T, Scott-Schmidt J, Zheng X & Bent AF (1999) Isolation of ethylene-insensitive soybean mutants that are altered in pathogen susceptibility and gene-for-gene disease resistance. *Plant Physiology*, 119:935-949.

Kachroo A & Kachroo P (2007) Salicylic acid-, jasmonic acid- and ethylene-mediated regulation of plant defense signaling. *Genetic Engineering*, 28:55-83.

Lin W, Hu X, Zhang W, Rogers WJ & Cai W (2005) Hydrogen peroxide mediates defense responses induced by chitosans of different molecular weights in rice. *Journal of Plant Physiology*, 162:937-44.

Matsuura K (1986) Scanning electron microscopy of the infection process of *Rhizoctonia solani* in leaf sheaths of rice plants. *Phytopathology*, 76:811-814.

Mitani N & Ma JF (2005) Uptake system of silicon in different plant species. *Journal of Experimental Botany*, 56:1255-1261.

Muzzarelli RAA (1996) Chitosan-based dietary foods. *Carbohydrate Polymers*, 29:309-316.

Ou SH (1985) *Rice Diseases*. 2nd Ed., Kew, Surrey, England, Commonwealth Mycological Institute, 380 p.

Rabea EI, Badawy ME, Rogge TM, Stevens CV, Höfte M, Steurbaut W & Smaghe G (2005) Insecticidal and fungicidal activity of new synthesized chitosan derivatives. *Pest Management Science*, 61:951-960.

Rezende DC, Rodrigues FA, Carré-Missio V, Schurt DA, Kawamura IK & Korndörfer GH (2009) Effect of root and foliar applications of silicon on brown spot development in rice. *Australasian Plant Pathology*, 38:67-73.

Rodrigues FA, Datnoff LE, Korndörfer GH, Seebold KW & Rush MC (2001) Effect of silicon and host resistance on sheath blight development in rice. *Plant Disease*, 85:827-832.

Rodríguez AT, Ramírez MA, Cárdenas RM, Hernández AN, Velázquez MG & Bautista S (2007) Induction of defense response of *Oryza sativa* L. against *Pyricularia grisea* (Cooke) Sacc. by treating seeds with chitosan and hydrolyzed chitosan. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 89:206-215.

Rohilla R, Singh US & Singh RL (2001) Mode of action of acibenzolar-S-methyl against sheath blight of rice, caused by *Rhizoctonia solani* Kühn. *Pest Management Science*, 58:63-69.

Rush MC & Lee FN (1992) Sheath blight. In: Webster RK & Gunnell PS (Eds.) *Compendium of Rice Diseases*. The American Phytopathological Society, St. Paul. p. 22-23.

Van Loon LC, Geraats BPJ & Linthorst HJM (2006) Ethylene as a modulator of disease resistance in plants. *Trends in Plant Science*, 11:184-191.

Vander P, Varum KM, Domard A, Eddine EL, Gueddari N & Moerschbacher BM (1998) Comparison of the ability of partially N-acetylated chitosans and chitoooligosaccharides to elicit resistance reactions in wheat leaves. *Plant Physiology*, 118:1353-1359.

Weingart H, Ullrich H, Geider K & Völksch B (2001) The role of ethylene production in virulence of *Pseudomonas syringae* pvs. *glycinea* and *phaseolicola*. *Phytopathology*, 91:511-518.