TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE SILÍCIO NO CONTROLE DE NEMATOIDES EM SOJA

João Manuel Hernandes Dorce Domingues (PIC/ITAM/UEM), Simone de Melo Santana-Gomes (Coorientadora), Cláudia Regina Dias-Arieira (Orientadora). E-mail: crdarieira@uem.br
Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Agronomia, Maringá, PR.

Ciências Agrárias/ Fitopatologia

Palavras-chave: *Meloidogyne javanica*; Silicato; Enzimas.

RESUMO

A soja (*Glycine max*) é uma das culturas mais importantes do agronegócio mundial, mas sofre severas perdas causadas por nematoides do gênero *Meloidogyne*. O silício surge como alternativa promissora por atuar como indutor de defesa vegetal, embora a tecnologia de aplicação mais eficiente e os mecanismos bioquímicos de ação ainda não estejam totalmente esclarecidos. Objetivou-se avaliar tecnologias de aplicação de silício no controle de *Meloidogyne javanica* em soja e investigar seu efeito na ativação de enzimas de defesa. Foram conduzidos dois experimentos em delineamento inteiramente casualizado, em casa de vegetação. O primeiro comparou tratamento de sementes, aplicação em sulco e aplicação em parte aérea quanto à reprodução do nematoide; enquanto o segundo avaliou, em plantas inoculadas e não inoculadas, tratadas e não tratadas com silício, a atividade de peroxidase, fenilalanina amônia-liase e superóxido dismutase, e o teor de proteínas totais, aos 3, 6 e 9 dias após a inoculação. No primeiro experimento, o tratamento de sementes e a aplicação em sulco reduziram significativamente a população do nematoide, ao contrário da aplicação em parte aérea. No segundo, o silício aumentou a peroxidase aos 9 dias e manteve estável a superóxido dismutase, que aumentou expressivamente sem o elemento. Já a fenilalanina amônia-liase apresentou queda aos 6 dias apenas nas plantas inoculadas e não tratadas com silício. Conclui-se que a eficiência do silício depende da tecnologia de aplicação, sendo o tratamento de sementes e a aplicação em sulco mais efetivos, e que o elemento modula as respostas enzimáticas de defesa da planta.

INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max*) destaca-se entre as culturas mais importantes do agronegócio mundial, mas tem sua produtividade comprometida por nematoides do gênero *Meloidogyne*, responsáveis por elevadas perdas econômicas. Entre as alternativas de manejo, o silício vem se destacando como nutriente indutor de resistência, depositando-se nos tecidos vegetais e contribuindo para o fortalecimento estrutural das células, o que forma barreiras físicas que dificultam a penetração e o estabelecimento dos nematoides (YU *et al*., 2022). Contudo, as tecnologias de aplicação mais eficientes e os mecanismos bioquímicos de ação do silício ainda não estão totalmente esclarecidos. Diante disso, objetivou-se avaliar tecnologias de

aplicação de silício no controle de *M. javanica* em soja e investigar sua atuação na ativação de enzimas de defesa vegetal.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação e no laboratório de Nematologia da Universidade Estadual de Maringá. No primeiro experimento foram conduzidos dois ensaios, em delineamento inteiramente casualizado com quatro tratamentos e oito repetições, avaliou-se a eficiência de três tecnologias de aplicação de silício: tratamento de sementes, aplicação em sulco de semeadura e aplicação em parte aérea, na reprodução de *M. javanica* em soja, usando plantas não tratadas como controle. As plântulas foram inoculadas com 2.000 ovos e eventuais juvenis do nematoide e avaliadas 60 dias após a inoculação quanto à população do nematoide na raiz. Já no segundo experimento, avaliou-se a atividade de enzimas de defesa em plantas inoculadas e tratadas (IT), não inoculadas e tratadas (NIT), inoculadas e não tratadas (INT) e não inoculadas e não tratadas (NINT) com silício aplicado em tratamento de semente. Amostras de parte aérea e raiz foram coletadas aos 3, 6 e 9 dias após a inoculação, em quatro repetições por tratamento. O teor de proteínas totais foi determinado pelo método de Bradford (1976), e a atividade de peroxidase (POX) foi obtida pela conversão do guaiacol em tetraguaiacol na presença de peróxido de hidrogênio (LUSSO e PASCHOLATI, 1999). Também foi avaliada a atividade de fenilalanina amônia-liase, além da superóxido dismutase (UDALOVA, 2022). Os dados foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade, com médias comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No primeiro experimento, o tratamento de sementes e a aplicação em sulco reduziram significativamente a população de *M. javanica* em soja, enquanto a aplicação em parte aérea não diferiu da testemunha, tanto para o número total de nematoides quanto para a densidade populacional (nematoide por grama de raiz) (Tabela 1). No segundo ensaio, todos os tratamentos diferiram da testemunha. Esse padrão está de acordo com o mecanismo de ação do silício, que ao se depositar nos tecidos vegetais forma barreiras físicas que dificultam o estabelecimento do nematoide (YU *et al.*, 2022), efeito que se mostra mais evidente quando o elemento é disponibilizado próximo ao sistema radicular.

Tabela 1. Número total de *Meloidogyne javanica* (Mj total) e por grama de raiz (Mj g^{-1} raiz) em plantas de soja submetidas a diferentes tecnologias de aplicação de silício, em dois ensaios.

Tratamentos	Mj total		Mj g^{-1} raiz	
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 1	Ensaio 2
Testemunha	109756 a	50442 a	2745 a	3445 a
Tratamento de sementes	51322 b	26771 b	1359 b	1814 b
Aplicação em sulco	41667 b	19734 b	1120 b	1121 b
Aplicação em parte aérea	118289 a	17837 b	3264 a	981 b
CV (%)	72,91	46,31	70,65	53,87

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). CV, Coeficiente de variação.

Para a peroxidase (POX), os tratamentos com silício (T1 e T2) apresentaram atividade significativamente superior aos tratamentos sem silício (T3 e T4) aos 9 dias após a inoculação, com médias de 34,46 e 44,42 U mg^{-1} proteína, comparados a 13,20 e 22,91 U mg^{-1} proteína, respectivamente (Tabela 2). Esse comportamento é semelhante ao observado em arroz inoculado com *Meloidogyne graminicola*, no qual o silício intensificou a sinalização da via do etileno nos estágios iniciais do ataque, estimulando bioquimicamente a planta para uma resposta mais rápida diante do parasita (ZHAN *et al.*, 2018). O aumento da atividade de POX também no tratamento não inoculado (T2) sugere que, neste trabalho, o silício pode ter atuado diretamente sobre essa enzima, independentemente do contato com o nematoide.

Na análise da fenilalanina amônia-liase (FAL), o tratamento inoculado e não tratado (T3) apresentou a menor atividade aos 6 dias após a inoculação (0,11 U mg^{-1} proteína), diferindo dos demais tratamentos, que não diferiram entre si (Tabela 2). Esse padrão é semelhante ao relatado em tomateiro, no qual plantas inoculadas com *M. javanica* sem indução de resistência apresentaram menor ativação da FAL do que plantas tratadas com um indutor (MOSTAFANEZHAD, SAHEBANI e ZARGHANI, 2014), reforçando o papel do silício na manutenção da atividade dessa enzima diante do parasitismo.

Para a superóxido dismutase (SOD), os tratamentos com silício (T1 e T2) mantiveram atividade estável ao longo do tempo, enquanto os tratamentos sem silício (T3 e T4) apresentaram aumento expressivo aos 9 dias, atingindo 12,64 e 19,84 U mg^{-1} proteína, respectivamente (Tabela 2). Resultado semelhante foi observado em tomateiro infestado por *M. incognita*, no qual plantas tratadas com nanopartículas de silício apresentaram menor atividade de SOD nas fases iniciais do parasitismo, favorecendo a formação de espécies reativas de oxigênio capazes de inibir o nematoide (UDALOVA, 2022).

Tabela 2. Atividade de peroxidase (POX), fenilalanina amônia-liase (FAL) e superóxido dismutase (SOD) (U mg proteína^{-1}) em plantas de soja submetidas a diferentes combinações de inoculação com *Meloidogyne javanica* e tratamento com silício, nas épocas de maior diferença estatística entre tratamentos.

Tratamentos	9 dias		6 dias
	POX	SOD	FAL
T1 – Inoculado e tratado	34,46 a	7,02 c	2,54 a
T2 – Não inoculado e tratado	44,42 a	6,12 c	0,82 a
T3 – Inoculado e não tratado	13,20 b	12,64 b	0,11 b
T4 – Não inoculado e não tratado	22,91 b	19,84 a	0,94 a
CV (%)	69,24	39,83	58,98

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). Dados da FAL transformados por raiz quadrada. CV, Coeficiente de Variação.

CONCLUSÕES

A eficiência do silício no controle de *M. javanica* em soja depende da tecnologia de aplicação, sendo o tratamento de sementes e a aplicação em sulco mais efetivos do que a aplicação em parte aérea. Além disso, o silício demonstrou atuar na modulação das respostas enzimáticas de defesa da planta, evidenciando seu potencial como ferramenta complementar no manejo do fitonematoide.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Iniciação Científica da UEM e ao Instituto Tecnológico de Agropecuária de Maringá (ITAM) pelo apoio financeiro concedido ao desenvolvimento do projeto.

REFERÊNCIAS

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, p. 248-254, 1976.

LUSSO, M. F. G.; PASCHOLATI, S. F. Activity and isoenzymatic pattern of soluble peroxidases in maize tissues after mechanical injury or fungal inoculation. **Summa Phytopathologica**, v. 25, p. 244-249, 1999.

MOSTAFANEZHAD, H.; SAHEBANI, N.; ZARGHANI, S. N. Induction of resistance in tomato against root-knot nematode *Meloidogyne javanica* with salicylic acid. **Journal of Crop Protection**, v. 3, n. 4, p. 499-508, 2014.

UDALOVA, Z. V. Effects of silicon nanoparticles on the activity of antioxidant enzymes in tomato roots invaded by *Meloidogyne incognita* (Kofoid et White, 1919) Chitwood, 1949. **Doklady Biochemistry and Biophysics**, v. 506, p. 191-194, 2022.

YU, J. et al. Silicon mediated plant immunity against nematodes: summarizing the underline defence mechanisms in plant nematodes interaction. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 22, p. 14026, 2022.

ZHAN, L. P.; PENG, D. L.; WANG, X. L.; KONG, L. A.; PENG, H.; LIU, S. M.; LIU, Y.; HUANG, W. K. Priming effect of root-applied silicon on the enhancement of induced resistance to the root-knot nematode *Meloidogyne graminicola* in rice. **BMC Plant Biology**, v. 18, n. 50, 2018.