

SILÍCIO ATENUA O EFEITO FITOTÓXICO DE HERBICIDAS EM ARROZ

Inácio João Barbosa¹; Gabriel Machado Dias²; Pablo Przyczynski Rauber²; Matheus Cosme Neumann²; Aldo Merotto Junior³

Palavras-chave: *Oryza sativa*, estresse abiótico, mitigação de injúria

Introdução

Os herbicidas inibidores da enzima acetil-CoA carboxilase (ACCase), como o fenoxaprop-P-etílico e o profoxidim, constituem uma importante ferramenta no controle de plantas daninhas da família Poaceae nas áreas de lavouras de arroz (*Oryza sativa L.*). Os inibidores da ACCase bloqueiam a enzima responsável pela etapa inicial da biossíntese de ácidos graxos nas plantas, impedindo a conversão de acetil-CoA em malonil-CoA, comprometendo a integridade estrutural e funcional das células, especialmente nos meristemas, levando à paralisação do crescimento, clorose e necrose nos tecidos jovens, culminando na morte da planta. Os inibidores da ACCase podem produzir efeitos fitotóxicos na cultura do arroz, especialmente em cultivares sensíveis, principalmente em condições ambientais que desfavorecem a detoxificação de herbicidas, o que pode levar a reduções no rendimento de grãos (Zhou et al., 2024).

O silício (Si), um elemento benéfico para as plantas, tem ganhado destaque na agricultura dada sua capacidade de atenuar estresses abióticos. Estudos recentes sugerem que a aplicação de Si fortalece a estrutura celular, melhora a defesa antioxidante e reduz os danos causados por herbicidas (Soares et al., 2021; Jain et al., 2021). Além disso, o silício pode modular a metabolização dos herbicidas e atuar na eliminação das espécies reativas de oxigênio por meio da atividade dos agentes antioxidantes. Diante disso, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do silício na mitigação dos danos causados pelos herbicidas fenoxaprop-P-etílico e profoxidim em cultivares de arroz com distintas características relacionadas à tipo genético indica e japônica.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial tríplo ($4 \times 5 \times 3$), com cinco repetições. O fator A consistiu na aplicação dos herbicidas profoxidim (Aura 200) nas doses de 200 e 300 g ha⁻¹, com adjuvante Dash® (óleo mineral emulsionável) a 5% v/v, e fenoxaprop-P-etílico (Starice) nas doses de 110,4 e 220,8 g ha⁻¹, com adjuvante Aureo® (óleo metilado de soja) a 5% v/v. As doses dos herbicidas foram estabelecidas com base em experimentos preliminares. O fator B foi composto por doses de silício (sem aplicação, 2 e 4 mM de Si da nano-sílica e 2 e 4 mM de Si do silicato de sódio); e o fator C pelas cultivares de arroz japônica Nipponbare e indica SC 121 CL e IRGA 424 RI. O arroz foi pré-germinado na câmara de crescimento a 28 °C e 12 h de luz por 9 dias, sendo as plântulas posteriormente transplantadas para vasos de 200 mL e mantidas em ambiente com luz e temperatura controlados durante o período experimental. Os herbicidas foram aplicados no estádio V3. O silício foi aplicado via foliar um dia após a aplicação dos herbicidas. Ambas as aplicações foram realizadas utilizando a câmara de aplicação pressurizada por CO₂. O equipamento foi calibrado para pulverizar um volume de calda de 200 L ha⁻¹. A injúria causada pelos herbicidas nas plantas de arroz foi avaliada utilizando a escala percentual visual, na qual 0% corresponde à ausência da injúria e 100% à morte da planta. As avaliações decorreram aos 14 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA). A massa fresca da parte aérea (MFPA) foi determinada aos 14 DAA e, em seguida, a parte aérea das plantas foi acondicionada em sacos

¹ Aluno de Doutorado. PPG Fitotecnia, UFRGS, Avenida Bento Gonçalves, 7712, inacio.barbosa@ufrgs.br

² Aluno de Agronomia, UFRGS, m.diasga@gmail.com; pablo.przyczynski@gmail.com; matheusneumann@gmail.com

³ Professor, UFRGS, aldo.merotto@ufrgs.br

de papel e colocadas para secar na estufa de circulação forçada de ar a 60 °C por 7 dias para a determinação da massa seca da parte aérea (MSPA). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e a teste de Shapiro-Wilk para normalidade dos resíduos. Com os pressupostos atendidos, aplicou-se o teste F a 5% de probabilidade e, quando significativo, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey, também ao nível de 5% de significância. As análises estatísticas foram realizadas no software RStudio, utilizando o pacote ExpDes.pt. As figuras foram elaboradas no programa SigmaPlot, versão 16.0.

Resultados e Discussão

A aplicação do herbicida profoxidim causou elevados níveis de fitotoxicidade nas plantas de arroz, com diferenças evidentes entre as cultivares, doses do herbicida e fontes de silício (Figura 1). Na dose de 200 g ha⁻¹ (Figura 1A), os maiores sintomas foram observados nas testemunhas com herbicida, cujos valores variaram de 77,2% a 85,8%. A adição de silício promoveu significativa redução da injúria, especialmente em Nipponbare, onde o silicato de sódio a 2 mM de Si reduziu a fitotoxicidade para 16,0%. Em SC121CL, o melhor desempenho foi obtido com silicato de sódio a 4 mM, com redução para 58 % de injúria. Para a cultivar IRGA 424 IR, os menores níveis de injúria foram obtidos com silicato de sódio a 4 mM de Si (36%) e com nano silício a 2 mM (41,0%). Na maior dose de profoxidim, 300 g ha⁻¹ (Figura 1B), a injúria foi ainda mais acentuada nas testemunhas com herbicida, com valores acima de 96% para todas as cultivares. Mesmo nessa condição, o silício apresentou efeito atenuador. Na cultivar Nipponbare, o silicato de sódio a 2 mM de Si reduziu a injúria para 63,0%, enquanto em SC121CL, o melhor resultado foi obtido com silicato de sódio a 2 mM de Si (79,0%). Para IRGA 424 IR, a maior redução foi observada com silicato de sódio a 2 mM de Si (50,0%). Os tratamentos com nano silício apresentaram respostas intermediárias, variando de 74,0% a 88,4%, a depender da cultivar e da dose.

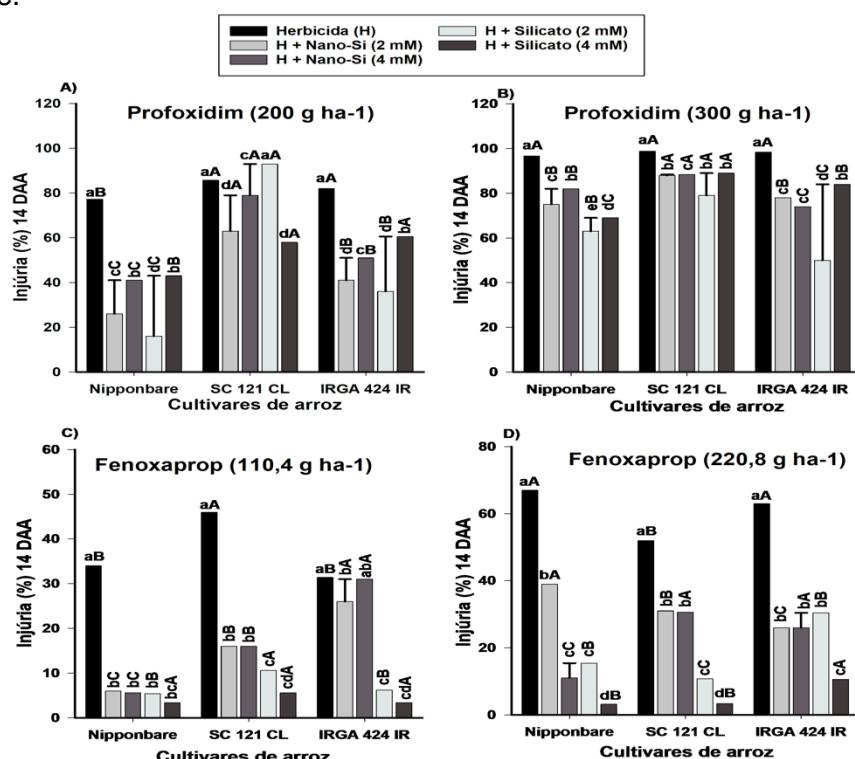


Figura 1: Porcentagem da injúria visual em cultivares de arroz tratadas com herbicidas profoxidim e fenoxaprop avaliada aos 14 DAA: profoxidim nas doses de 200 (A) e 300 g ha⁻¹ (B), e fenoxaprop nas doses de 110,4 (C) e 220,8 g ha⁻¹ (D). Os dados apresentados são média ± erro padrão da média. Letras minúsculas diferentes acima das barras indicam diferenças estatísticas significativas entre as doses de Si dentro das cultivares (Tukey: $p \leq 0,05$). Letras maiúsculas diferentes acima das barras indicam diferenças estatísticas significativas entre as cultivares (Tukey: $p \leq 0,05$).

A aplicação do herbicida fenoxaprop promoveu sintomas visuais de injúria nas plantas de arroz, sendo mais acentuados na dose de 220,8 g ha⁻¹ (Figura 1-D). Na dose de 110,4 g ha⁻¹ (Figura 1-C), as testemunhas tratadas apenas com o herbicida apresentaram injúrias de até 46% em SC121CL, seguidas de 34% em Nipponbare e 31,4% em IRGA 424 IR. A aplicação de silício reduziu significativamente a injúria em todas as cultivares. O silicato de sódio a 4 mM de Si foi o tratamento mais eficiente, com reduções expressivas em SC121CL (5,6%), IRGA 424 IR (3,4%) e Nipponbare (3,4%). O nano silício, especialmente na dose de 4 mM de Si também apresentou desempenho satisfatório, com destaque para Nipponbare (6,0%), embora com variabilidade entre as cultivares. Na dose de 220,8 g ha⁻¹, as testemunhas com herbicida apresentaram valores de injúria superiores a 50%, com destaque para SC121CL (52,0%), IRGA 424 IR (63,0%) e Nipponbare (67,0%). Mesmo diante dessa maior severidade, o uso do silício reduziu os danos, especialmente o silicato de sódio a 4 mM de Si, que promoveu reduções superiores a 83% em SC121CL (3,4%) e Nipponbare (3,2%), e de 83,2% em IRGA 424 IR (10,6%). O nano silício (4 mM de Si) também teve efeito positivo, com reduções expressivas principalmente em Nipponbare (11,0%) e IRGA 424 IR (26%).

A massa fresca da parte aérea (MFPA) foi afetada pela aplicação de profoxidim e fenoxaprop, independentemente da dose, com os menores valores observados nas testemunhas tratadas apenas com herbicida. Para o profoxidim, as testemunhas sem herbicida apresentaram valores entre 11,29 e 13,41 g, enquanto com herbicida os valores foram inferiores a 1,9 g. O si, especialmente na forma de silicato de sódio a 4 mM de Si, promoveu aumentos de até 85% (Nipponbare), 74% (SC121CL) e 78% (IRGA 424 IR) na dose de 200 g ha⁻¹, e de 67,1%, 80,0% e 88,6%, respectivamente, na dose de 300 g ha⁻¹. O nano silício também teve efeito positivo, com variações entre cultivares e doses. No caso do fenoxaprop, a aplicação reduziu a massa seca para valores entre 6,86 e 6,94 g nas cultivares tratadas apenas com o herbicida, frente a 11,29–13,41 g nas testemunhas. O silicato de sódio a 4 mM de Si elevou a MFPA para até 12,66 g, com ganhos de até 84,4% na menor dose (110,4 g ha⁻¹), e até 9,40 g na maior dose (220,8 g ha⁻¹), com incrementos de até 60,9%, indicando que além de reduzir a injúria visual, o silício contribui efetivamente para a manutenção do acúmulo de biomassa. O efeito benéfico do Si na redução da ocorrência da injúria nas cultivares de arroz pode ser atribuído ao seu papel na indução de sistemas antioxidantes, aumento da integridade das paredes celulares e regulação do estresse oxidativo (Tripathi et al., 2020). Além disso, o silício pode atuar como uma barreira física ao movimento de compostos tóxicos e modular vias de sinalização de defesa em nível celular (Soares et al., 2021; Li et al., 2022).

No que se refere à MFPA, a aplicação do silício favoreceu a recuperação do crescimento, com aumentos de MFPA superiores a 80% em algumas cultivares, indicando que além de reduzir a injúria visual, o silício contribui efetivamente para a manutenção do acúmulo da biomassa vegetal. O nano silício, embora tenha apresentado efeito positivo, foi menos consistente entre cultivares e doses, o que pode estar relacionado à menor estabilidade da formulação ou à disponibilidade diferencial de absorção. Dessa forma, os resultados demonstram que o silício, principalmente na forma de silicato de sódio, é eficiente na mitigação da injúria causada por inibidores da ACCase em arroz, confirmando seu potencial como ferramenta complementar no manejo de estresses químicos em sistemas agrícolas.

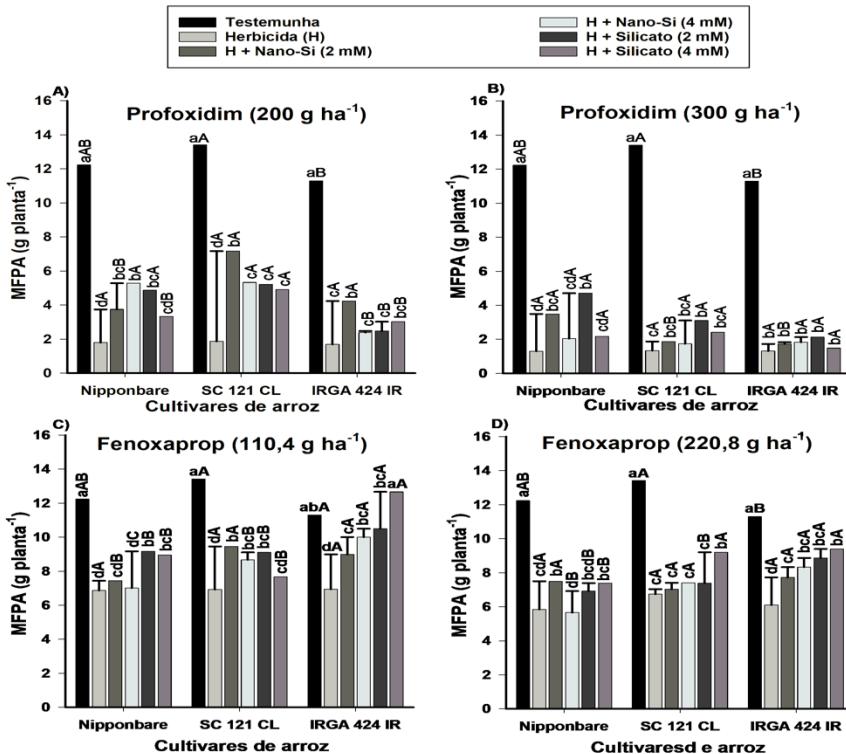


Figura 2: Massa fresca da parte aérea (MFPA) de cultivares de arroz tratadas com herbicidas profoxidim e fenoxaprop: (A e B) profoxidim nas doses de 200 e 300 g ha⁻¹ e (C e D) fenoxaprop: nas doses de 110,4 e 220,8 g ha⁻¹, respectivamente. Os dados apresentados são média ± erro padrão da média. Letras minúsculas diferentes acima das barras indicam diferenças estatísticas significativas entre as doses de Si dentro das cultivares (Tukey: $p \leq 0,05$). Letras maiúsculas diferentes acima das barras indicam diferenças estatísticas significativas entre as cultivares (Tukey: $p \leq 0,05$).

Conclusões

As altas doses utilizadas dos herbicidas inibidores da ACCase profoxidim e fenoxaprop causaram elevado efeito de injúria com destaque para a intensidade dos sintomas nas cultivares sensíveis (SC 121 CL e IRGA 424 IR). A aplicação de silício, especialmente na forma de silicato de sódio, reduziu o efeito dos herbicidas profoxidim e fenoxaprop, indicando efeito promissor para a utilização como forma de mitigação da injúria desses produtos na cultura do arroz.

Referências

- Jain, S. et al. (2021). Exogenous addition of silicon alleviates metsulfuron methyl induced stress in wheat seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 167, 705-712.
- Li, Y. et al. (2022). Toxicity and tissue accumulation characteristics of the herbicide pendimethalin under silicon application in ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *Environmental Science and Pollution Research*, 1-13.
- Soares, C. et al. (2021). Silicon improves the redox homeostasis to alleviate glyphosate toxicity in tomato plants—are nanomaterials relevant?. *Antioxidants*, 10(8), 1320.
- Tripathi, D. K. et al. (2020). Silicon tackles butachlor toxicity in rice seedlings by regulating anatomical characteristics, ascorbate-glutathione cycle, proline metabolism and levels of nutrients. *Scientific reports*, 10(1), 14078.
- Zhou, Z. et al. (2024). Differential Resistance to Acetyl-CoA Carboxylase Inhibitors in Rice: Insights from Two Distinct Target-Site Mutations. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 72(21), 12029-12044.