

## Teor e acúmulo de fenóis em plantas de milho submetidas a estresse por alumínio e aplicação de silício <sup>(1)</sup>.

**Lucas Barbosa de Freitas<sup>(2)</sup>; Liana Rodrigues Tavares Costa<sup>(3)</sup>; Dirceu Maximino Fernandes<sup>(4)</sup>.**

<sup>(1)</sup> Trabalho executado com recursos da CAPES.

<sup>(2)</sup> Doutorando; Departamento de Solos e Recursos Ambientais, Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), Universidade Estadual Paulista (Unesp), Botucatu, SP, lucasbf@fca.unesp.br; <sup>(3)</sup> Doutora; Departamento de Solos e Recursos Ambientais, FCA/UNESP, lianatavares@hotmail.com; <sup>(4)</sup> Professor Assistente Doutor – Bolsista CNPq; Departamento de Solos e Recursos Ambientais, FCA/UNESP, dmfernandes@fca.unesp.br.

**RESUMO:** O Si é um elemento mineral benéfico para as plantas, seu efeito mais evidente é observado em cultivos sob condições de estresse, entre eles o estresse por  $Al^{3+}$ . Estudos demonstram que o Si pode aumentar a resistência das plantas de milho contra a toxidez por  $Al^{3+}$  aumentando a exudação de compostos fenólicos, que conduzem a desintoxicação do Al. O objetivo do trabalho foi avaliar o teor e acúmulo de fenóis na parte aérea e raiz de plantas de milho submetidas a estresse por  $Al^{3+}$  e aplicação de Si. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com três repetições, constituindo-se de fatorial 4x2, com quatro doses de Si (0, 1, 2 e 4  $mmol L^{-1}$ ) e dois cultivares de milho (Exceler - sensível e AG8060 – tolerante ao  $Al^{3+}$ ). O Si proporciona maior produção de fenóis pela planta da cultivar tolerante ao  $Al^{3+}$  (AG8060), melhorando sua tolerância ao  $Al^{3+}$ .

**Termos de indexação:** raiz, parte aérea, nutrição de plantas

### INTRODUÇÃO

A acidez do solo é reconhecida como uma das principais causas das limitações da cultura do milho (Borgonovi et al., 1987). O primeiro sintoma de toxidez causado por  $Al^{3+}$  nas plantas, que acontece inclusive em variedades tidas como tolerantes, porém em menor grau, é a inibição do crescimento e desenvolvimento das raízes, a qual ocorre cerca de 1 a 2 horas após a exposição ao  $Al^{3+}$  (Kochian, 1995), consequentemente, influenciando negativamente também a absorção radicular de água e nutrientes (Wang et al., 2006). As raízes se tornam atrofiadas em função da morte ou injúria do meristema radicular e aumenta a rigidez da parede celular (Schlindwein et al., 2003). Especificamente, a parte distal da zona de transição no ápice das raízes, onde as células estão entrando em fase de alongamento, é o sítio da ação tóxica primária do  $Al^{3+}$  (Wang et al., 2006; Hartwig, et al., 2007). Dessa forma, as plantas afetadas apresentam

redução de crescimento e consequentemente produtividade.

O Si é considerado benéfico (Epstein, 1999; Korndörfer, 2006), nas plantas seu efeito mais evidente é observado em cultivos sob condições de estresse (Ma, 2004). Isto ocorre porque o Si é capaz de proteger as plantas contra vários estresses bióticos e abióticos (Lux et al., 2002; Ma & Yamaji, 2006), entre eles o estresse por  $Al^{3+}$ . Porém, a interação entre Si ( $H_4SiO_4$ ) e  $Al^{3+}$  ainda é pouco conhecida, onde há diversas hipóteses para a amenização do  $Al^{3+}$  pelo Si, mas nenhuma conclusiva.

Uma das hipóteses é sugerida por Kidd et al. (2001), da qual citam que o aumento na exudação de compostos fenólicos que conduzem a desintoxicação do  $Al^{3+}$  é responsável pelo Si aumentando a resistência das plantas de milho. Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar o teor e acúmulo de fenóis na parte aérea e raiz de plantas de milho submetidas a estresse por  $Al^{3+}$  e aplicação de Si.

### MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em Casa de Vegetação do Departamento de Solos e Recursos Ambientais, Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Campus de Botucatu (SP).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados em esquema fatorial 4x2, com três repetições. Os tratamentos foram constituídos de dois cultivares de milho Exceler (suscetível ao  $Al^{3+}$ ) e AG8060 (tolerante ao  $Al^{3+}$ ) e quatro doses de silício (0, 1, 2 e 4  $mmol L^{-1}$ ).

A solução nutritiva utilizada foi baseada na solução descrita por Magnavaca (1982), modificada de acordo com cada tratamento (T0 – 0; T1- 1; T2 - 2 e T4 - 4  $mmol L^{-1}$  de Si). A fonte de silício utilizada foi o silicato de potássio líquido, contendo 477,86  $mg L^{-1}$  de silício e 131,82  $mg L^{-1}$  de potássio. A fonte de alumínio utilizada foi o  $AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$

recomendada por Furlani e Furlani (1988). Foram utilizados vasos de 4 L, com 4 plantas por vaso.

O pH da solução foi diariamente monitorado e ajustado quando necessário. A solução nutritiva de cada vaso foi trocada a cada sete dias evitando dessa forma a redução da condutividade elétrica.

As plantas de milho ficaram 18 dias em solução nutritiva contendo Si (sem o Al) e mais 10 dias contendo  $Al^{3+}$  (sem Si) totalizando 28 dias até sua colheita.

Após a colheita, amostras das raízes e parte aérea das plantas de milho foram coletadas e submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar, a 65°C, moídas e posteriormente analisadas para determinação dos teores de fenóis solúveis totais (Dawra et al., 1988). Através dos dados de produção da massa seca e dos teores de fenóis solúveis totais, da raiz e da parte aérea, foi determinada a quantidade acumulada no sistema radicular e na parte aérea, respectivamente.

Os resultados do experimento foram submetidos à análise de variância. Os efeitos de doses de Si foram avaliados por meio de análise de regressão, adotou-se como critério para escolha do modelo a magnitude dos coeficientes de regressão significativos a 5% de probabilidade pelo teste t. As médias do experimento referentes aos cultivares foram comparadas pelo teste t (DMS) a 5% de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de fenóis na raiz da cultivar Exceler modificou com os tratamentos adicionados (**Figura 1A**). Houve aumento do teor de fenóis conforme aumentou-se as doses de Si. O maior teor foi encontrado na dose de 3,23 mmol L<sup>-1</sup> de Si. Em compensação, a cultivar AG8060 não apresentou diferença significativa para teor de fenóis na raiz quando os tratamentos foram aplicados.

Quanto ao acúmulo de fenóis na raiz, não houve diferença com aplicação de Si para ambas cultivares (**Figura 1B**).

Houve influencia no teor e acúmulo de fenóis da cultivar tolerante ao  $Al^{3+}$  (**Figura 1C e D**). Houve comportamento quadrático, sendo o maior teor e acúmulo de fenóis obtido na dose de 2,21 mmol L<sup>-1</sup> e 2,15 mmol L<sup>-1</sup> de Si, respectivamente. Isso leva a crer que o Si pode induzir a planta produzir maior quantidade de fenóis, assim, contribuindo para a amenização da toxidez por  $Al^{3+}$ .

Ainda, é importante notar que há decréscimo no teor e acúmulo de fenóis na parte aérea nas doses 3 e 4 mmol L<sup>-1</sup> de Si, isso ocorreu pois provavelmente houve precipitação do Si em solução nas doses citadas. Segundo Oliveira

(2010), a partir de uma concentração de 2,0 mmol L<sup>-1</sup> de Si ocorre precipitação do Si.

Os tratamentos não influenciaram o teor e acúmulo de fenóis, na parte aérea, da cultivar Exceler. Dessa forma o Si pode agir aumentando a produção de fenóis apenas em cultivar tolerante ao  $Al^{3+}$ , no entanto, será necessário novos estudos com maior quantidade de cultivares para confirmação.

O teor e acúmulo de fenóis na parte aérea não apresentou diferença significativa entre as cultivares (**Tabela 1**).

Em contrapartida, o teor de Fenóis na raiz apresentou diferença significativa entre as cultivares. A cultivar Exceler apresentou maior teor quando comparado com a cultivar AG8060 (**Tabela 1**), mostrando uma eficiência dessa cultivar em produzir fenóis, mesmo em condições adversas. O tempo de exposição em solução com Si no experimento foi suficiente para mostrar a diferença entre as cultivares. No entanto, o acúmulo de fenóis na raiz não apresentou diferença significativa entre as cultivares.

## CONCLUSÕES

O Si proporciona maior produção de fenóis pela planta da cultivar tolerante ao  $Al^{3+}$  (AG8060), melhorando sua tolerância ao  $Al^{3+}$ .

## AGRADECIMENTOS

À agência CNPq pela concessão de bolsa ao terceiro autor.

## REFERÊNCIAS

- BORGONOV, R. A.; SCHAFFERT, R. E.; PITTA, G. V. E.; MAGNAVACA, R.; ALVES, V. M. C. Aluminum tolerance in sorghum. In: GABELMAN, H. W.; LOUGNMAN, B. C., ed. Genetics aspects of plant mineral nutrition. Dordrecht: Martinus Nijhoff, 1987. p.213-221.
- DAWRA, R. K.; MAKAR, H. P. S.; SINGH, B. Protein-binding capacity of microquantities of tannins. Analytical Biochemistry, 170:50-53, 1988.
- EPSTEIN, E. Silicon. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 50:641-664, 1999.
- FURLANI, P. R. & FURLANI, A. M. Composição de pH de solução nutritiva para estudos fisiológicos e seleção de plantas em condições nutricionais adversas. Campinas: Instituto Agrônomo, 1988. p. 21-26. (Boletim técnico, 121).
- HARTWIG, I.; OLIVEIRA, A. C.; CARVALHO, F. I. F.; BERTAN, I.; SILVA, J. A. G.; SCHMIDT, D. A. M.;

VALÉRIO, I. P.; MAIA, L. C.; FONSECA, D. A. R. & REIS, C. E. S. Mecanismos associados à tolerância ao alumínio em plantas. *Semina Ciência Agrária*, 28:219-228, 2007.

KIDD, P. S.; LLUGANY, M.; POSCHENRIEDER, C.; GUNSE, B.; BARCELÓ J. The role of root exudates in aluminum resistance and silicon-induced amelioration of aluminum toxicity in three varieties of maize (*Zea mays* L.). *Journal of Experimental Botany*, 52:1339-1352, 2001.

KORNDÖRFER, G. H. Elementos benéficos. In: FERNANDES, M. S. ed. *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.355-374.

LUX, A.; LUXOVÁ, M.; HATTORI, T.; INANAGA, S.; SUGIMOTO, Y. Silicification in sorghum (*Sorghum bicolor*) cultivars with different drought tolerance. *Plant Physiology*, 115:87-92, 2002.

MA, J. F. Role of silicon in enhancing the resistanc of plants to biotic and abiotic stresses. *Soil Science of Plant Nutrition*, 50:11-18, 2004.

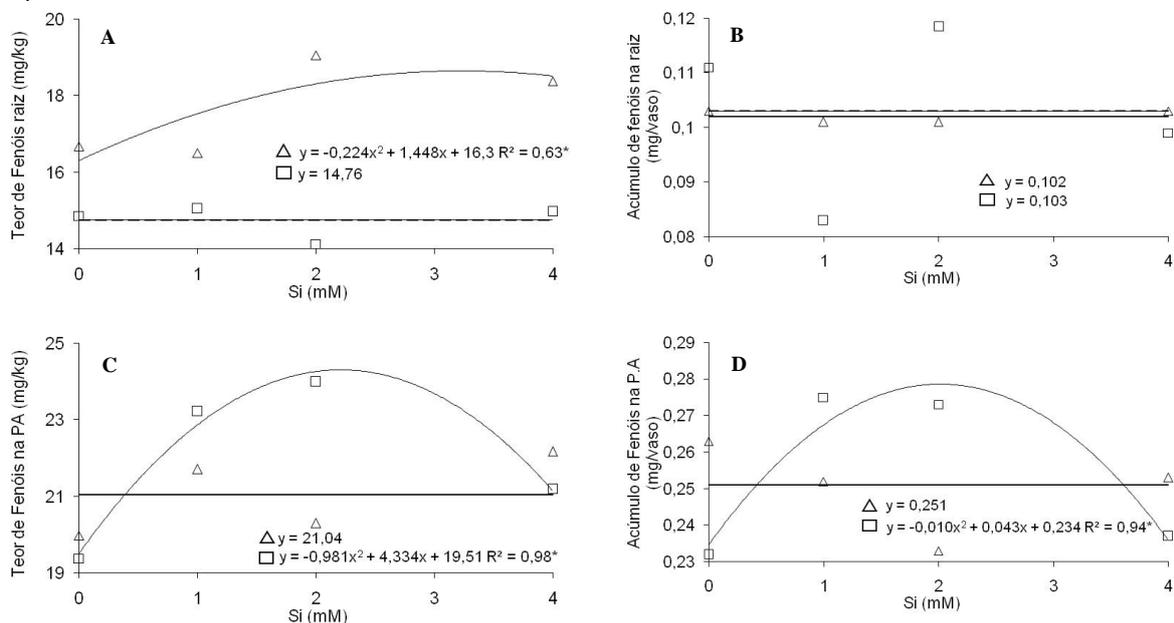
MA, J. F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends Plant Science*, 11:392-397, 2006.

MAGNAVACA, R. Genetic variability and the inheritance of aluminum tolerance in maize (*Zea mays* L.). 1982. 139 p. Tese (Doutorado) University of Nebraska, Lincoln, 1982.

OLIVEIRA, P. M. Cinética de absorção de silício por cultivares de cana-de-açúcar e de arroz. 2010. 67 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas - Unesp, Botucatu, 2010.

SCHLINDWEIN, J. A.; NOLLA, A.; ANGHINONI, I.; MEURER, E. J. Redução da toxidez de alumínio em raízes de soja por culturas antecessoras no sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Agrociência*, 9:85-88, 2003.

WANG, J.; RAMAN, H.; ZHANG, G.; MENDHAM, N.; ZHOU, M. Aluminum tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.): physiological mechanisms, genetics and screening methods. *Journal Zhejiang University Science*, 7:769-787, 2006.



**Figura 1.** Teor (A) e acúmulo (B) de fenóis na raiz e teor (C) e acúmulo (D) de fenóis na parte aérea em função da aplicação de doses de Si nas duas cultivares de milho (Δ) Exceler (sensível ao  $Al^{3+}$ ) e (□) AG8060 (tolerante ao  $Al^{3+}$ )



**Tabela 1.** Teor e acúmulo de fenóis na parte aérea e raiz em função da aplicação de doses de Si nas duas cultivares de milho

Cultivares	Teor de fenóis		Acúmulo de fenóis	
	Parte aérea	Raiz	Parte aérea	Raiz
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----		----- mg vaso <sup>-1</sup> -----	
Exceler*	21,04 a	17,67 a	0,250 a	0,102 a
AG 8060*	21,94 a	14,76 b	0,254 a	0,103 a
CV%	7,09	5,71	7,84	6,17

Médias seguidas de letras diferentes, na coluna, diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade