

Interação silício e alumínio no sistema radicular de plantas de milho ⁽¹⁾.

Luciana de Arruda Garcia ⁽²⁾; Liana Rodrigues Tavares Costa ⁽³⁾; Dirceu Maximino Fernandes ⁽⁴⁾; Lucas Barbosa de Freitas ⁽⁵⁾; Aline da Silva Sandim ⁽⁵⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

⁽²⁾ Mestranda do Curso de Pós-Graduação em Agricultura; Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"; Botucatu, SP; ldagarcia@fca.unesp.br; ⁽³⁾ Doutora pelo Curso de Pós-Graduação em Agricultura; Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"; Botucatu, SP; ⁽⁴⁾ Professor Assistente Doutor – Bolsista CNPq - Departamento de Solos e Recursos Ambientais - Faculdade de Ciências Agrônomicas (FCA), Universidade Estadual Paulista (UNESP), Botucatu, SP; ⁽⁵⁾ Pós-graduandos do Curso de Pós-Graduação em Agricultura; Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"; Botucatu, SP.

RESUMO: O silício é considerado como elemento benéfico para as plantas, possuindo papel de resistência a estresses bióticos e abióticos, o que tem sido particularmente atribuído à modificação nas propriedades da parede celular trazendo benefícios contra a ação deletéria do alumínio. Assim o objetivo deste trabalho foi verificar o possível efeito de doses crescentes de silício contra a ação deletéria do alumínio (Al^{3+}) no sistema radicular de duas cultivares de milho, modificando o tempo de exposição das raízes em solução nutritiva contendo silício (Si). Foram conduzidos dois experimentos em solução nutritiva. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com três repetições, constituindo-se de um fatorial 4x2, com quatro doses (0, 1, 2 e 4 mmol L⁻¹ de Si) e as variedades, Exceler - sensível e AG8060 – tolerante ao Al^{3+} . Após cada período de contato com Si, o Al^{3+} foi adicionado em solução permanecendo por dez dias. A cultivar Exceler em contato com Al^{3+} em solução apresentou menor desenvolvimento radicular quando comparada com a cultivar AG8060 mesmo sob influência do Si. A maior massa fresca e seca na raiz foi encontrada na cultivar AG8060, mesmo sendo sensível ao Al^{3+} .

Termos de indexação: Solução nutritiva, comprimento radicular, massa seca.

INTRODUÇÃO

A ocorrência de toxidez por alumínio (Al^{3+}) é bastante representativa nos solos brasileiros, que além de altos índices de acidez, apresentam baixos teores de P, Ca e Mg (Olmos & Camargo, 1976). O papel do Si na resistência da planta contra o estresse biótico e abiótico tem sido particularmente atribuído à modificação nas propriedades da parede celular (Lux et al., 2002). Ma et al. (1997) sugeriram que a melhoria no efeito do Si na toxicidade do Al^{3+} é devido a formação do complexo Al-Si que resulta em um decréscimo na concentração do Al^{3+} tóxico na solução.

Um dos melhores índices para avaliar a tolerância ao Al^{3+} em milho tem sido definido pelo crescimento da raiz seminal de plântulas desenvolvidas em solução nutritiva. O teste de solução nutritiva é conveniente, pois permite maior controle experimental e apresenta as seguintes vantagens: rapidez, menor custo operacional, maior facilidade de avaliação e satisfatória eficiência (Furlani et al., 2000). Assim o objetivo deste trabalho foi verificar o possível efeito de doses crescentes de Si contra a ação deletéria do Al^{3+} no sistema radicular de milho, modificando o tempo de exposição das raízes em solução nutritiva contendo silício.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dois experimentos foram conduzidos em solução nutritiva, em casa de vegetação, pertencente ao Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus de Botucatu.

O delineamento experimental utilizado nos dois experimentos 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 nos dois experimentos 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). As fontes de Si e Al^{3+} foram, silicato de potássio líquido, contendo 477,86 mg L⁻¹ de silício e 131,82 mg L⁻¹ de potássio e $AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ respectivamente, recomendadas por Furlani & Furlani (1988).

As sementes de ambas as cultivares foram germinadas em papel filtro. As plântulas foram selecionadas quanto à uniformidade, e transferidas para vasos de 4,5 litros de solução. Cada vaso continha uma tampa com quatro furos, com o auxílio de um pedaço de espuma foram afixadas duas

plantas por furo, de forma que apenas as raízes ficassem em contato com a solução. O pH da solução foi diariamente monitorado e ajustado quando necessário e receberam diariamente água desmineralizada para reposição por perdas ocorridas por evapotranspiração.

Os dois experimentos receberam a mesma solução nutritiva, modificando apenas o período de permanência das plantas em solução com a presença do Si e sem a presença do Al seguindo, no entanto, os tratamentos pré-estabelecidos.

As plantas de milho no primeiro experimento ficaram 18 dias em solução nutritiva contendo Si (sem o Al) e mais 10 dias contendo Al (sem Si) totalizando 28 dias e, no segundo experimento ficaram 9 dias em solução contendo Si (sem o Al) e mais 10 dias contendo Al (sem Si) no total de 19 dias até sua colheita.

Os parâmetros avaliados nas duas cultivares de milho foram: comprimento inicial e final da raiz, massa fresca e seca da raiz, nas duas cultivares de milho.

Os dados obtidos, nos dois experimentos, de todos os parâmetros avaliados foram submetidos à análise de variância. Os efeitos das doses de Si foram analisados por meio de análise de regressão a 5% de probabilidade e as médias referentes as cultivares foram comparadas pelo teste de Tukey a 5%, com o auxílio do programa estatístico SISVAR.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A variação no comprimento das raízes no período inicial (com Si e sem Al) apresentou diferença significativa entre as duas cultivares nos dois experimentos realizados. A cultivar Exceler (sensível) apresentou maior comprimento da raiz quando comparada com a cultivar AG8060 (tolerante) (**Tabela 1**). A variação no tempo de exposição em solução contendo silício nos dois experimentos não interferiu no comportamento das cultivares.

No comprimento das raízes no período final (sem Si e com Al) não foi verificada diferença significativa entre as duas cultivares nos dois experimentos (**Tabela 1**). No entanto, observa-se uma diminuição no comprimento da raiz nas duas cultivares após a aplicação do Al. Giongo & Bohnem (2011) avaliando as interações que ocorrem entre alumínio, cálcio e silício no crescimento de dois genótipos de milho, tolerante e sensível à toxidez do alumínio, verificaram que o genótipo tolerante ao alumínio teve menor redução do comprimento das raízes no tratamento com alumínio quando comparado com o genótipo sensível.

Tabela 1. Comprimento durante o período inicial da raiz (com Si e sem Al) e final (com Al e sem Si) da raiz, no experimento I e II, em função da aplicação de doses de Si nas duas cultivares de milho.

Cultivares	Comprimento no período inicial (raiz)		Comprimento no período final (raiz)	
	Experimento I	Experimento II	Experimento I	Experimento II
Exceler*	34,18 a	24,93 a	6,92 a	12,66 a
AG 8060*	29,80 b	9,30 b	8,20 a	13,08 a
CV%	8,39	10,19	32,91	10,19

Médias seguidas de letras diferentes, na coluna, diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *Exceler (sensível Al³⁺) e *AG8060 (tolerante Al³⁺). Experimento I (18 dias com Si) e Experimento II (9 dias com Si).

Os tratamentos com Si influenciaram significativamente o comprimento da raiz no período inicial nas duas cultivares, no primeiro experimento (**Figura 1A**), aumentando o comprimento com o aumento da dose de Si até atingir seu ponto máximo na dose de 1,43 mmol L⁻¹ para a cultivar Exceler, e na dose de 2,4 mmol L⁻¹ para a cultivar AG8060. Os tratamentos também influenciaram o comprimento da raiz no período inicial na cultivar AG8060, no segundo experimento (**Figura 1B**), não influenciando a cultivar Exceler.

Neste experimento houve uma queda no comprimento da raiz com o aumento da dose de Si, e o menor comprimento foi observado quando a maior dose foi aplicada. A diferença observada quanto ao comprimento das raízes nos dois experimentos (**Figura 1A e 1B**), pode ter ocorrido devido ao tempo de exposição que as raízes ficaram em solução contendo Si, já que no primeiro experimento, as cultivares ficaram quase dez dias a mais em solução contendo Si e sem o Al, gerando comportamento diferente nas cultivares.

O aumento na dose de Si não influenciou o comprimento da raiz no período final do primeiro experimento (**Figura 1C**), não concordando com a hipótese levantada. A hipótese era que a planta suprida com Si amenizaria o efeito tóxico do Al³⁺, com isso o crescimento de raiz não seria inibido, conforme citado por Kochian (1995), como primeiro sintoma da toxidez por Al³⁺. Mas, influenciou significativamente no segundo experimento (**Figura 1D**).

As cultivares apresentaram diferença na massa fresca e seca da raiz no primeiro experimento, mas não apresentaram diferença significativa no segundo experimento (**Tabela 3**). A cultivar AG8060, no primeiro experimento, adquiriu maior massa fresca e seca quando comparado com a cultivar Exceler. Essa diferença significativa, no primeiro experimento, pode ter ocorrido devido ao maior tempo de exposição na solução com Si, quando comparado com o segundo experimento, proporcionando maior tempo para as cultivares

mostrarem seu potencial. Segundo Korndörfer (2006) dentro da mesma espécie existe uma variabilidade genética podendo ocorrer diferentes respostas à toxidez de Al, explicando as diferenças encontradas entre os genótipos sensível e tolerante.

Tabela 3. Massa fresca e seca da raiz, no experimento I e II, em função da aplicação de doses de Si nas duas cultivares de milho.

Cultivares	Massa fresca (raiz)		Massa seca (raiz)	
	Experimento I	Experimento II	Experimento I	Experimento II
	g vaso ⁻¹		g vaso ⁻¹	
Exceler*	60,65 b	25,01 a	6,25 b	3,25 a
AG 8060*	82,13 a	26,20 a	7,29 a	3,25 a
CV%	12,30	9,83	7,22	5,59

Médias seguidas de letras diferentes, na coluna, diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *Exceler (sensível Al³⁺) e *AG8060 (tolerante Al³⁺). Experimento I (18 dias com Si) e Experimento II (9 dias com Si).

A massa fresca e seca da raiz das duas cultivares no primeiro experimento não apresentaram diferença significativa com as doses de Si aplicadas (**Figura 3A e 3C**), mas apresentaram diferença no segundo experimento (**Figura 3B e 3D**). A cultivar Exceler no segundo experimento apresentou aumento na massa fresca e seca da raiz nas primeiras doses de Si aplicadas, alcançando a maior massa, na dose de 2,55 mmol L⁻¹ e 2,58 mmol L⁻¹, respectivamente.

A cultivar resistente ao Al reduziu linearmente sua massa fresca e seca com o aumento da dose de Si, não concordando com a hipótese levantada, sendo que, o esperado era um aumento na massa com o aumento da dose de Si. Talvez não tenha dado tempo da cultivar AG8060 se beneficiar com o Si, devido ao menor tempo de exposição em solução com Si, quando comparado com o primeiro experimento.

CONCLUSÕES

A cultivar Exceler em contato com Al³⁺ em solução apresentou menor desenvolvimento radicular quando comparada com a cultivar AG8060 mesmo sob influência do Si;

A maior massa fresca e seca na raiz foi encontrada na cultivar AG8060 mesmo modificando o tempo de exposição das raízes dos cultivares em solução nutritiva com a presença do Si.

AGRADECIMENTOS

Aos seguintes órgãos de fomento à pesquisa: CNPq, CAPES e FAPESP pela concessão de bolsas aos autores e co-autores.

REFERÊNCIAS

FURLANI, A. M. C. & FURLANI, P. R. Composição e pH de soluções nutritivas para estudos fisiológicos e seleção de plantas em condições nutricionais adversas. Boletim Técnico IAC, Campinas, SP, 121, 1-34, 1988.

FURLANI, P. R. et al. Tolerância ao alumínio em cultivares de milho. In: DUARTE, A. P. & PATERNIANI, M. E. A. G. Z. Fatores bióticos e abióticos em cultivares de milho e estratificação ambiental: avaliação AC/CATI/Empresas – 1999-2000. Campinas: Instituto Agrônomo, 2000.p. 19-29.

DUARTE, A. P. & PATERNIANI, M. E. A. G. Z. Fatores bióticos e abióticos em cultivares de milho e estratificação ambiental: avaliação/CATI/Empresas – 1999-2000. Campinas: Instituto Agrônomo, 2000. p. 19-29.

GIONGO, V. & BOHNEN, H. Relação entre alumínio e silício em genótipos de milho resistente e sensível a toxidez de alumínio, Bioscience Journal, Uberlândia, MG, v. 27, n. 3, p. 348-356, 2011.

HORST, W. J. The role of the apoplast in aluminium toxicity and resistance of higher plants: a review. Z. Pflanzenernahr Bodenkd, Weinheim, v. 158, p. 419-428, 1995.

KOCHIAN, L. V. Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, Palo Alto, v. 4, p. 237-260, 1995.

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

LUX, A. et al. Silicification insorghum (Sorghum bicolor) cultivars with different drought tolerance. Physiology Plant, Campos dos Goytacazes, RJ, v. 115, p. 87-92, 2002.

MA, J. F. et al. Al-induced inhibition of root elongation in corn, Zea mays L. is overcome by Si addition. Plant and Soil, Dordrecht, v. 188, p. 171-176, 1997.

MAGNAVACA, R. Genetic variability and the inheritance of aluminum tolerance in maize (Zea mays L.). Lincoln, University of Nebraska, 1982. 135p. Tese (Ph.D.)

OLMOS, I. R. & CAMARGO, M. N. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. Ciência e Cultura, São Paulo, SP, v. 28, n. 2, p. 171-180, 1976.

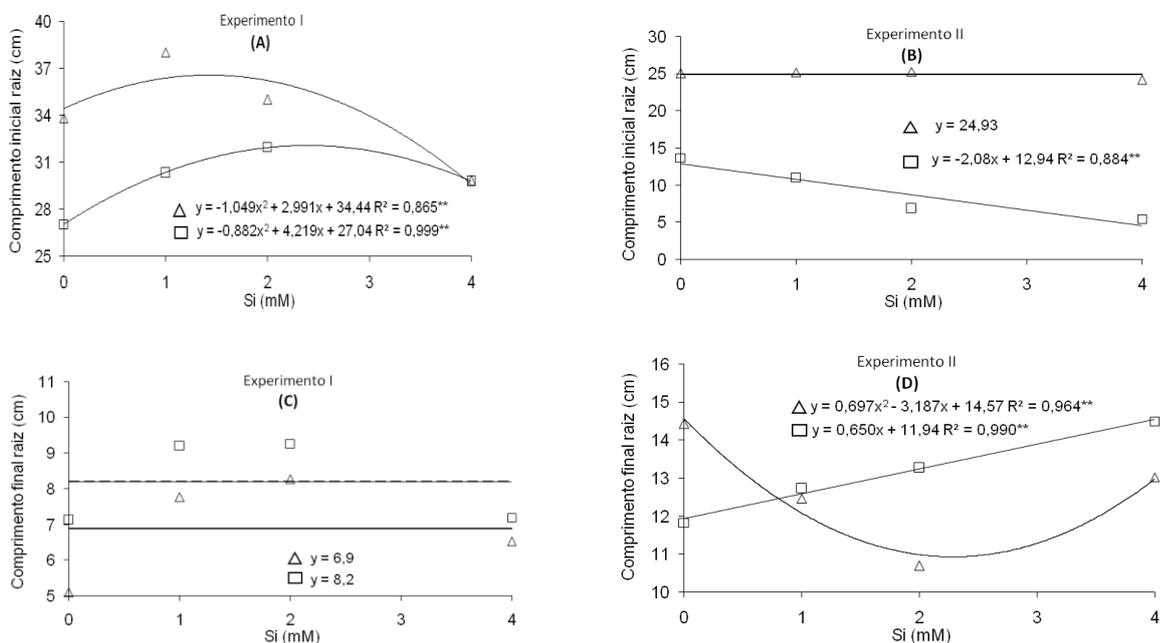


Figura 1. Comprimento da raiz no período inicial ((A) e (B)) e final ((C) e (D)), nos experimentos I e II, em função da aplicação de doses de Si nas duas cultivares de milho (Δ) Excelsa (sensível Al^{3+}) e (\square) AG8060 (tolerante Al^{3+}). Experimento I (18 dias com Si) e Experimento II (9 dias com Si).

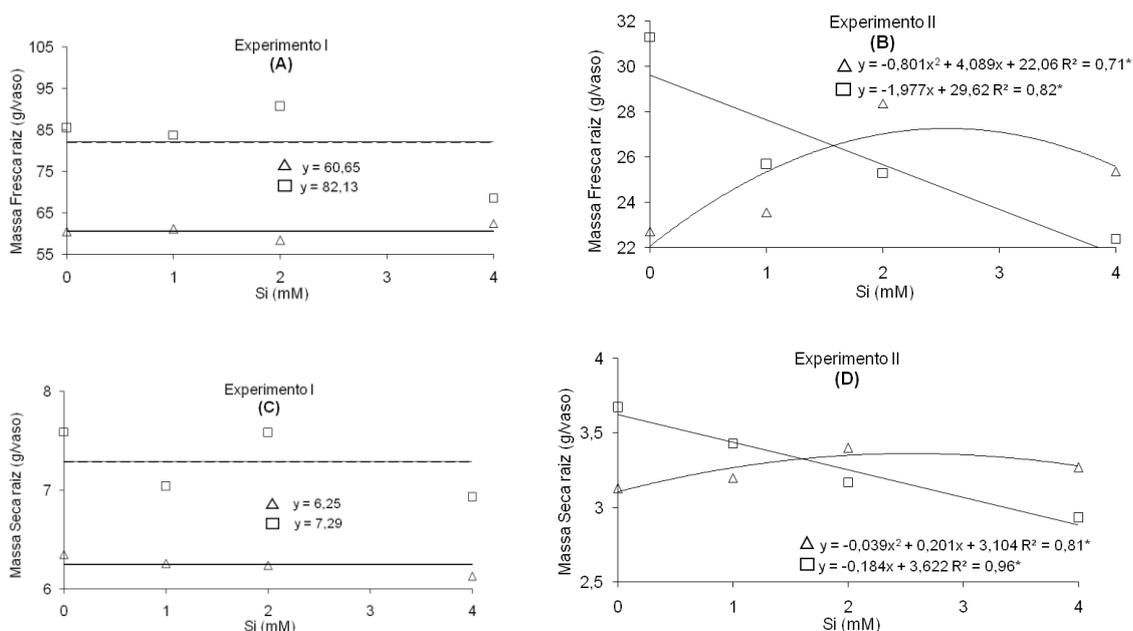


Figura 3. Massa fresca ((A) e (B)) e seca ((C) e (D)) da raiz, nos experimentos I e II, em função da aplicação de doses de Si nas duas cultivares de milho (Δ) Excelsa (sensível ao Al^{3+}) e (\square) AG8060 (tolerante ao Al^{3+}). Experimento I (18 dias com Si) e Experimento II (9 dias com Si).