

Silício minimiza os efeitos deletérios da salinidade no crescimento do arroz

Tâmara Pontes Abreu⁽¹⁾; Carlos Ribeiro Rodrigues⁽²⁾; Maria Alice Vasconcelos da Silva⁽³⁾; Rosana Souza Silva⁽⁴⁾; Marcos Gustavo Kemmerich Chagas⁽⁴⁾ Tatiana Michlovská Rodrigues⁽⁵⁾.

⁽¹⁾Estudante de Agronomia, Bolsista de Iniciação Científica (PIBIC/IF Goiano); Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde-GO; carlos.rodrigues@ifgoiano.edu.br; ⁽²⁾Professor; Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde-GO; ⁽³⁾Bolsista PNPd; Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Garanhuns. ⁽⁴⁾Estudante de Agronomia, Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde-GO ⁽⁵⁾Doutoranda CAPES/ Instituto Federal Goiano Rio Verde

RESUMO: O experimento objetivou avaliar o efeito do silício (Si) sobre o crescimento do arroz submetidos ao estresse salino em diferentes fases de crescimento das plantas e produção de grão. As plantas foram cultivadas em casa de vegetação. Para a análise de crescimento o delineamento experimental foi em blocos ao acaso em esquema fatorial 5x4x2 sendo cinco concentrações de Si na solução nutritiva (0, 1, 2, 3e 4 mmol L⁻¹ de Si), quatro épocas de coleta (15, 42, 85 e 139 dias após a aplicação dos tratamentos) e com e sem estresse (0 a 40 mmol L⁻¹ de NaCl) no meio com quatro blocos. Foi avaliada a massa seca de parte aérea (MSPA), raiz (MSR) e total (MST) e relação parte aérea:raiz (MSPA:MSR) e a produção de grãos e peso de mil grãos. As plantas cultivadas sob estresse salino obtiveram o menor crescimento independente da época avaliada e concentração de Si no meio. Para as plantas cultivadas sob estresse o Si proporcionou redução dos efeitos deletérios e aumento da produção de grãos até 1,8 mmol L⁻¹ de Si. As plantas sem estresse obtiveram incremento no crescimento e produção até 2,15 mmol L⁻¹ de Si no meio. Logo estes resultados em altas concentrações de Si podem estar relacionados com a precipitação de sílica junto às células guardas e bulbiformes reduzindo as trocas gasosas. Pode-se concluir que o Si reduziu os efeitos deletério da salinidade mantendo o potencial produtivo das plantas, todavia, inferior à produção obtida pelas plantas cultivadas na ausência do estresse.

Palavras-chave: *Oryza sativa* cv. Princesa; cloreto de sódio, silicato de potássio

INTRODUÇÃO

O silício (Si) ainda não é considerado um elemento essencial para as plantas (Malavolta, 2006). Todavia, segundo Ma et al. (2001) a aplicação de silício tem proporcionado aumento da resistência das plantas à condições de estresse bióticos e abióticos como ataque de fitopatógenos, estresse hídrico, osmótico, salino, metais pesados, alta luminosidade e radiação

UV, com mecanismos de resistência semelhantes para ambas as condições de estresse. Os mecanismos ativados pelo Si para aumento de resistência das plantas são citados por Fawe et al. (2001) para estresse bióticos e por Liang et al. (2007) para estresses abióticos.

Em geral, os trabalhos avaliando o efeito do Si sobre a indução de resistência em plantas também avaliam o efeito sobre a atividade fotossintética, visto que é um dos metabolismos chave da planta e que segundo Taiz & Zeinger (2004) estão envolvido diretamente nos mecanismos de indução de resistência em plantas. Assim, alguns trabalhos têm avaliada a interação entre o Si e a atividade fotossintética em plantas sob condições de estresse como toxidez de manganês (Feng et al., 2009); estresse osmótico (Hattori et al., 2008); ataque de fitopatógenos (Gao et al., 2010), estresse hídrico (Lobato et al., 2009), chuva ácida (Xie et al., 2008) e salinidade (Liang et al., 2007). Isso se justifica pelo fato do Si proporcionar aumento da atividade fotossintética e crescimento das plantas somente quando expostas à condição de estresse. Em consequência da manutenção da atividade fotossintética das plantas há manutenção do crescimento, mesmo sob condições de estresse.

Assim, no presente trabalho estudou o efeito do Si sobre o crescimento e a produção do arroz cultivado em solução nutritiva com e sem NaCl.

MATERIAL E MÉTODOS

As plantas foram cultivadas em casa de vegetação em vasos com capacidade para seis litros contendo solução nutritiva de Hoagland (Hoagland & Arnon, 1950) com os tratamentos e recebendo aeração constante.

Para a análise de crescimento o delineamento experimental foi em blocos ao acaso em esquema fatorial 5x4x2 sendo cinco concentrações de Si na solução nutritiva (0, 1, 2, 3e 4 mmol L⁻¹ de Si), quatro épocas de coleta (15, 42, 85 e 139 dias após a aplicação dos



tratamentos) e com e sem estresse (0 a 40 mmol avaliação da produção de grãos o delineamento foi em blocos ao acaso em esquema fatorial 5x2 sendo, cinco concentrações de Si no meio e sem e com estresse e quatro blocos.

As sementes de arroz cv. Princesa foram semeadas em bandejas contendo área lavada e irrigadas com água destilada. Após emissão da primeira folha definitiva as plântulas foram transferidas para vasos contendo 40 L de solução Hoaglan a 25% da concentração inicial. A concentração foi aumentada a cada 2 dias. Após dois dias em solução básica de Hoagland a 100% as plântulas foram transferidas para vasos contendo 6 L de solução básica de Hoagland mais os tratamentos.

No período de cada coleta as plantas foram separadas em parte aérea e raízes, lavadas com água destilada, secas em papel toalha e acondicionadas em sacos de papel previamente identificados e secos em estufa com circulação forçada de ar a 65-70°C até peso constante. Em seguida o material foi pesado e descontando o peso dos sacos foi obtido a massa seca de parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) e estimados a massa seca total por somatória da MSPA+MSR (MST) e relação parte aérea:raiz (MSPA:MSR). Na última coleta foi retirado os grãos secos e obtida a produção de grãos e peso de mil grãos.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e teste de média (Scott Knott a 5% de prob.) para o efeito do estresse e ajuste de modelos matemáticos em função do Si e épocas para os dados de crescimento e em função do Si para os dados de produção de grãos e peso de mil grãos com auxílio do programa R (R TEAM, 2013). Os modelos matemáticos ajustados para com e sem NaCl no meio foram comparadas a identidade conforme proposto por Regazzi & Silva (2010).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis de crescimento apresentaram variação significativa em função das fontes de variação e suas interações com exceção da interação Si*NaCl*Épocas para a massa seca de raiz (MSR) e relação massa seca de parte aérea:massa seca de raiz (MSPA:MSR).

Independente das épocas de avaliação e das concentrações de Si no meio, as plantas cultivadas com NaCl obtiveram os menores valores de massa seca de parte aérea (MSPA), MSR, massa seca total (MST) e maior relação MSPA:MSR (Tabela 1). Com esses resultados pode-se inferir que sob o estresse pelo NaCl

L-1 de NaCl) no meio com quatro blocos. Para além da redução do crescimento, há menor investimento de crescimento de massa seca de parte aérea. As plantas cultivadas com NaCl no meio apresentaram maior morte de raízes e formação constante de novas raízes. Assim, o menor crescimento de parte aérea pode ser atribuído ao dreno de fotoassimilado para crescimento de raízes para repor os tecidos mortos.

A análise do efeito do Si nas diferentes épocas de avaliação foi realizada através da análise de regressão multivariadas das variáveis de crescimento em função das concentrações de Si no meio e das épocas de coleta. Em geral observa-se para todas as variáveis de crescimento com ou sem NaCl no meio não houve interação entre as épocas de coleta e as concentrações de Si na solução. Isso porque, a resposta das variáveis de crescimento em função do Si foi o mesmo independente da época de coleta (Tabela 2).

Tabela 1 – Crescimento médio do arroz, cv. Princesa, em solução nutritiva com e sem NaCl de avaliações aos 15, 42, 85 e 139 dias após a semeadura e nas diferentes concentrações de Si no meio.

NaCl	MSPA	MSR	MST	MSPA:MSRR
0 ¹	12,7 ₂	5,5 a	19,1 a	2,5 b
40	4,9 b	2,1 b	7,2 b	3,5 a

¹mmol L⁻¹ de NaCl na solução nutritiva.

²médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott (5% de prob.).

As plantas cultivadas sob estresse pelo NaCl só apresentaram efeito do Si sobre a MSR, que influenciou significativamente a MST, ou seja, a MSR e MST apresentaram o mesmo ajuste matemático em função do Si e das épocas de coleta (Tabela 2). A ausência do efeito do Si sobre a parte aérea das plantas sob estresse já foi justificado anteriormente. Assim, pode-se afirmar que sob o estresse pelo NaCl a manutenção de crescimento e da produção do arroz nutrido com o Si foi devido a manutenção do sistema radicular ativo e que para isso houve grade dreno de metabolitos para manter a produção constante de novas raízes. Com base no modelo ajustado para a MSR sob estresse (Tabela 2) a concentração de Si que proporcionou a máxima produção (0,32; 2,54; 4,14 e 2,8 g planta⁻¹, aos 15, 42, 85 e 139 dias após o transplante, respectivamente) foi de 1,67 mmol L⁻¹. A máxima MST (2,15; 5,72; 10,13 e 9,81 g planta⁻¹, aos 15, 42, 85 e 139 dias após o transplante, respectivamente) foram obtidas com 1,86 mmol L⁻¹ de Si na solução nutritiva. A



relação MSPA:MSR não variou em função do Si e épocas de coleta (Tabela 2).

Tabela 2: Modelos multivariados ajustados para as variáveis de crescimento em função das concentrações de Si na solução nutritiva (Si) e das épocas de coleta (E) com e sem NaCl no meio.

NaCl	Modelo
MSPA (g planta⁻¹) = y	
0 ¹	$y = 2,99 + 4,48Si + 0,1E - 1,03Si^2$ (R ² =76*)
40	$y = -0,049 + 0,136E + 9,99.10^{-5}E^2$ (R ² =71*)
MSR (g planta⁻¹) = y	
0	$y = -0,84 + 1,59Si + 0,16E - 0,40Si^2 - 8,3.10^{-4}E^2$ (R ² =60*) a ²
40	$y = -1,83 + 0,61Si + 0,12E - 0,18Si^2 - 6,4.10^{-4}E^2$ (R ² =65*) b
MST (g planta⁻¹) = y	
0	$y = 4,06 + 6,59Si + 0,16E - 1,57Si^2$ (R ² =80*)
40	$y = -2,58 + 1,40Si + 0,24E - 0,38Si^2 - 0,0012E^2$ (R ² =77*)
MSPA:MSR = y	
0	y = 3,5
40	y = 2,5

¹Concentração de NaCl na solução em mmol L⁻¹.

* e ** - significativo a 1 e 5%, respectivamente, pelo teste de F.

²Equações seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de identidade de modelos matemáticos conforme Regazzi & Silva (2010).

Para as plantas cultivadas na ausência do estresse houve ajuste quadrático em função do Si e linear para as épocas de coleta (Tabela 2). A MSR apresentou ajuste quadrático em função do Si e das épocas (Tabela 2). O ajuste quadrático da MSR em função das épocas se justifica pela morte de parte das raízes com o final do ciclo da cultura. A máxima MSPA, MSR e MST foram obtidos com 2,15; 2,0 e 2,1 mmol L⁻¹ de Si na solução nutritiva.

As plantas cultivadas com NaCl no meio obtiveram produção e peso de mil grãos inferior significativamente (16,9 g planta⁻¹ e 18,8 g 1000grãos⁻¹, respectivamente) em relação às plantas sem NaCl no meio (46,3 g planta⁻¹ e 24 g 1000grãos⁻¹, respectivamente).

A produção de grãos com e sem NaCl no meio obtiveram ajuste quadrático em função das concentrações de Si ($y = -4,1x^2 + 17,07x + 36,78$ R² = 96,8* e $y = -6,42x^2 + 21,92x + 11,65$ R² = 68,1*, respectivamente). A máxima produção de grãos (54,5 e 30,36 g planta⁻¹) foi obtida com 2,08 e 1,71 mmol L⁻¹ de Si na solução para os

tratamentos com e sem NaCl, respectivamente. Esses resultados corroboram com vários trabalhos realizados com a cultura do arroz e, também com outras culturas, que a concentração de 2 mmol L⁻¹ de Si na solução nutritiva é a que obtêm os melhores resultados de resposta das plantas ao Si (Zanão Júnior et al., 2010). Acima dessa concentração há redução da produção pela redução das trocas gasosas provocada pelo excesso de sílica depositada junto às células guardas dos estômatos ou mesmo de células bulbiformes como em gramíneas (Melo et al., 2010). Outro resultado que corrobora com o obtido em literatura (Liang et al., 2007) e que o Si foi capaz de minimizar os efeitos deletérios do estresse pelo NaCl mantendo o crescimento e até a produção das plantas. Todavia, essa produção foi inferior à obtida pelas plantas cultivadas sem o estresse.

O peso de mil grãos não apresentou ajuste de modelo matemático em função das concentrações de Si no meio.

CONCLUSÕES

Em geral, com os resultados obtidos pode-se concluir que: o Si reduz os efeitos deletérios do estresse salino, mantendo o crescimento e a produção das plantas, todavia inferior ao obtido pelas plantas cultivadas sem estresse; nas plantas sem estresse houve incremento da produção com até 2,08 mmol L⁻¹ de Si na solução.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à FACEPE e ao CNPq pelo financiamento do projeto e ao IF Goiano pela concessão da Bolsa de Iniciação Científica.

REFERÊNCIAS

FAWE, A.; MENZIES, J.G.; CHÉRIF, M.; BÉLANGER, R.R. **Silicon and disease in dicotyledons**. In: DATNOFF, L.E.; SYNDER, G.H.; KORNDORFER, G.H. Silicon in Agriculture. Amsterdam: ELSEVIER. 2001. P.159-169

FENG, J.; SHI, Q.; WAG, X. Effects os exogenous silicon on photosynthetic capacity and antioxidant enzyme activities in chloroplast of cucumber seedlings under excess manganese. **Agricultural Sciences in China**, v.8, p.40-50, 2009.

GAO, D.; CAI, K.; CHEN, J.; LUO, S.; ZENG, R.; YANG, J.; ZHU, X.; Silicon enhances photochemical efficiency and adjusts mineral nutrient absorption in Magnaporthe oryzae infected rice plants. **Acta**



Physiology Plant, published online: 07 september, 2010.

HATTORI, T.; SONOBE, K.; INANAGA, S.; AN, P.; MORITA, S. Effects of silicon on photosynthesis of young cucumber seedlings under osmotic stress. **Journal of Plant Nutrition**, v.31, p.1046-1058, 2008.

LIANG, Y.; SUN, W.; ZHU, Y.; CHRÍSTIE, P. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review. **Environmental Pollution**, v.47, p.422-428, 2007.

LOBATO, A.K.S.; COIMBRA, G.K.; NETO, M.A.M.; COSTA, R.C.L.; SANTOS FILHO, B.G.; OLIVEIRA NETO, C.F.; LUZ, L.M.; BARRETO, A.G.T.; PEREIRA, B.W.F.; ALVES, G.A.R.; MONTEIRO, B.S.; MAROCHIO, C.A. Protective action of silicon on water relations and photosynthetic pigments in pepper plants induced to water deficit. **Research Journal of Biology Sciences**, v.4, p.617-623, 2009b.

MA, J.F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. **Silicon as a beneficial element for crop plants**. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. Silicon in Agriculture. Amsterdam: ELSEVIER. 2001.p.17-40.

MALAVOLTA E. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**. Piracicaba: CERES. 638p. 2006.

MELO, S.P. de; MONTEIRO, F.A.; BONA, F.D. de. Silicon distribution and accumulation in shoot tissue of the tropical forage grass *Brachiaria brizantha*. **Plant and Soil**, v.336. p.241-249. 2010.

REGAZZI, A.J.; SILVA, C.H.O. Testes para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear em dados de experimento com delineamento em blocos casualizados. **Revista Ceres**, v.57, n.3, p.315-320, 2010.

TAIZ L; ZEIGER E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: ARTMED. 719p. 2004.

XIE, Y.F.; YANG, W.H.; LU, M.R.; CAI, X.L.; ZHOU, J. Effects of silicon on photosynthetic characteristics of *Indocalamus barbatus* under simulated acid rain stress. **Ying Yong Sheng Tai Xue Bao**, v.19, p.1179-1184, 2008.

ZANÃO JÚNIOR, L.A; FONTES, R.L.F.; NEVES, J.C.L.; KORNDORFER, G.H.; ÁVILA, V.T. de. Rice grown in nutrient solution with doses of manganese and silicon. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1629-1639, 2010.