



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbccs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Brasil

Lacerda, C. F.; Cambraia, J.; Oliva, M. A.; Ruiz, H. A.

**INFLUÊNCIA DO CÁLCIO SOBRE O CRESCIMENTO E SOLUTOS EM PLÂNTULAS DE SORGO
ESTRESSADAS COM CLORETO DE SÓDIO**

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 28, núm. 2, 2004, pp. 289-295

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214034007>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

INFLUÊNCIA DO CÁLCIO SOBRE O CRESCIMENTO E SOLUTOS EM PLÂNTULAS DE SORGO ESTRESSADAS COM CLORETO DE SÓDIO⁽¹⁾

C. F. LACERDA⁽²⁾, J. CAMBRAIA⁽³⁾, M. A. OLIVA⁽⁴⁾ & H. A. RUIZ⁽⁵⁾

RESUMO

O aumento da concentração de Ca no ambiente radicular tem sido indicado para reduzir os efeitos deletérios da salinidade sobre o crescimento das plantas. Neste trabalho, plântulas de dois genótipos de sorgo forrageiro [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], um tolerante (CSF 20) e outro sensível (CSF 18) à salinidade, foram expostas a duas concentrações de Na⁺ (0 e 75 mmol L⁻¹) e duas de Ca²⁺ (0,65 e 2,6 mmol L⁻¹), em solução nutritiva, em arranjo fatorial 2 x 2 x 2. Após sete dias de tratamento, foram determinados a produção de matéria seca e os teores de Cl⁻, Na⁺, K⁺, Ca²⁺ e de prolina em folhas e raízes. O estresse salino reduziu a produção de matéria seca nas duas partes das plântulas dos dois genótipos, principalmente do sensível, enquanto o aumento na concentração de Ca²⁺ no meio de cultivo amenizou parcialmente este efeito, principalmente na parte aérea do genótipo tolerante. O estresse salino também acarretou aumento nos teores de Na⁺ e de Cl⁻ e redução nos teores de K⁺ nas duas partes das plântulas dos dois genótipos, especialmente do sensível. Adicionalmente, observou-se redução nos teores de Ca²⁺, bem como aumento nos teores de prolina, mas apenas nas folhas. O aumento na concentração de Ca²⁺ amenizou estes efeitos, reduzindo os teores de Na⁺ e Cl⁻ e aumentando os teores de K⁺, principalmente nas folhas do genótipo tolerante. Este genótipo apresentou uma relação Na⁺/K⁺ bem inferior à observada no genótipo sensível, diferença esta que se acentuou ainda mais com o aumento da concentração de Ca²⁺ na solução nutritiva. O aumento na concentração de Ca²⁺ no meio nutritivo resultou em aumento nos teores de Ca²⁺ em folhas e raízes dos dois genótipos, porém as plântulas estressadas não foram capazes de manter as mesmas concentrações desse íon observadas nas plântulas-controle. O Ca²⁺ não teve qualquer efeito significativo sobre o acúmulo de prolina nas plântulas, submetidas ou não a estresse salino.

Termos de indexação: salinidade, *Sorghum bicolor*, crescimento, Cl⁻, Na⁺ e K⁺.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor, submetida à Universidade Federal de Viçosa – UFV. Trabalho financiado pela FAPEMIG e CNPq. Recebido para publicação em dezembro de 2002 e aprovado em janeiro de 2004.

⁽²⁾ Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará – UFC. CEP 60021-970 Fortaleza (CE). E-mail: cfeitosa@ufc.br;

⁽³⁾ Professor Titular do Departamento de Biologia Geral, Universidade Federal de Viçosa – UFV. CEP 36570-000 Viçosa (MG). Bolsista do CNPq. E-mail: cambraia@ufv.br

⁽⁴⁾ Professor Titular do Departamento de Biologia Vegetal, UFV. Bolsista do CNPq. E-mail: molina@ufv.br

⁽⁵⁾ Professor Titular do Departamento de Solos, UFV. Bolsista do CNPq. E-mail: hruiz@ufv.br

SUMMARY: *CALCIUM EFFECTS ON GROWTH AND SOLUTE CONTENTS OF SORGHUM SEEDLINGS UNDER NaCl STRESS*

*Increased Ca²⁺ concentrations in the root environment have been suggested to minimize salinity effects on plant growth. In this work, seedlings of two forage sorghum genotypes (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), one salt tolerant (CSF 20) and the other salt sensitive (CSF 18), were exposed to two Na⁺ (0 and 75 mmol L⁻¹) and two Ca²⁺ (0.65 and 2.60 mmol L⁻¹) levels in nutrient solution, in a 2 x 2 x 2 factorial design. After seven days of salt treatment, the shoot and root dry matter as well as Cl⁻, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, and proline concentration were measured. Salt stress reduced shoot and root dry matter yield in both genotypes, especially in the salt sensitive genotype. An increase in Ca²⁺ concentration in the nutrient solution partially reduced the salt effects, mainly in the shoots of the salt tolerant genotype. The salt stress also increased leaf and root Na⁺ and Cl⁻ concentration but reduced that of K⁺ in both genotypes, especially in the sensitive one. Additionally, a reduction in Ca²⁺ and an increase in proline concentration were observed, though only in the leaves. The increase in the Ca²⁺ concentration in solution partially alleviated the salt effects by reducing Na⁺ and Cl⁻ and increasing K⁺ contents, especially in the leaves of the salt tolerant genotype. This genotype presented a much lower Na⁺/K⁺ ratio than the sensitive one, and this difference between genotypes increased along with the increasing Ca²⁺ concentration in the nutrient solution. Increased Ca²⁺ concentrations in the nutrient solution also increased leaf and root Ca²⁺ contents of both genotypes, but salt stressed seedlings were not able to maintain the same tissue concentrations of these ions of unstressed control seedlings. Calcium had no significant effect on proline accumulation in the plants, either in the absence or presence of salt stress.*

Index terms: salinity, *Sorghum bicolor*, seedling growth, Cl⁻, Na⁺, K⁺ contents.

INTRODUÇÃO

A salinidade dos solos é um dos problemas mais limitantes da produção agrícola em regiões áridas e semi-áridas do mundo (Gheyi, 2000; Munns, 2002). Na maioria dessas regiões, a salinização destes solos ocorre com o acúmulo de determinadas espécies iônicas, principalmente Na⁺ e Cl⁻. A predominância destas espécies iônicas no meio de crescimento, além de causar toxidez, quando se acumulam nos tecidos vegetais, pode acarretar mudanças na capacidade da planta em absorver, transportar e utilizar os íons essenciais ao seu crescimento.

Estudos em solos com problema de salinidade têm mostrado que o aumento na concentração de Na⁺ é acompanhado pelo decréscimo na concentração de Ca²⁺ trocável, resultando em um desequilíbrio iônico que pode afetar o crescimento das plantas. Cereais, como, por exemplo, sorgo, milho, arroz e cevada, são particularmente sensíveis à elevação na relação Na⁺/Ca²⁺ em solos afetados por sais, exibindo redução no crescimento e deficiências de Ca²⁺ (Grieve & Maas, 1988).

A elevação da concentração de Ca²⁺ no ambiente radicular tem sido apontada como uma alternativa para minorar os efeitos negativos da salinidade sobre o crescimento das plantas (Rengel, 1992; Lacerda, 1995). Este íon, além de reduzir a absorção de íons potencialmente tóxicos, como o Na⁺, favorece a

absorção de íons essenciais, como o K⁺ (Colmer et al., 1996) e o próprio Ca²⁺ (Maas & Grieve, 1987). Recentemente admitiu-se que o Ca²⁺ também promove o acúmulo de solutos orgânicos, como a prolina (Läuchli et al., 1994; Colmer et al., 1996) e a glicinabetaina (Girija et al., 2002), os quais possibilitariam o estabelecimento de um equilíbrio osmótico no citoplasma mais compatível com o metabolismo celular, favorecendo o crescimento das plântulas sob condições de estresse salino.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência do Ca²⁺ sobre o crescimento e sobre os teores de Cl⁻, Na⁺, K⁺, Ca²⁺ e de prolina em plântulas de dois genótipos de sorgo submetidos ao estresse salino.

MATERIAL E MÉTODOS

Dois genótipos de sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), um tolerante (CSF 20) e outro sensível (CSF 18) à salinidade (Lacerda et al., 2001), obtidos do banco de germoplasma da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, foram utilizados nos experimentos. As sementes, selecionadas quanto ao tamanho e forma, foram esterilizadas superficialmente com solução de

hipoclorito de sódio 2 % durante 10 minutos. Depois de lavadas em água corrente e desmineralizada, foram colocadas para germinar em rolos de papel 'germtest', mergulhados parcialmente em solução de Clark (Clark, 1975), pH 5,5, com um quinto de sua força iônica original (Lacerda et al., 2001). Após sete dias, as plântulas foram transferidas para vasos de polietileno que continham 2,5 L das soluções de tratamento e mantidas em uma sala de crescimento com temperatura de 25 ± 3 °C, fluxo de fôtons de $230 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e fotoperíodo de 16 h, sob arejamento contínuo.

As soluções de tratamento consistiram de soluções de Clark modificadas para conter duas concentrações de Na^+ (0 e 75 mmol L⁻¹) e duas de Ca^{2+} (0,65 e 2,6 mmol L⁻¹). As concentrações dos íons Na^+ , Ca^{2+} e Cl^- , os potenciais osmóticos e as condutividades elétricas resultantes encontram-se no quadro 1. O tratamento salino foi obtido pela adição de Na^+ em incrementos de 25 mmol L⁻¹ a cada 12 h, na forma de NaCl, até atingir a concentração final de 75 mmol L⁻¹. As soluções nutritivas foram trocadas após quatro dias, sendo o seu nível mantido pela adição diária de água desmineralizada e o pH ajustado diariamente para 5,5. Completados sete dias do início da adição de NaCl, as plântulas foram colhidas, separando-se a parte aérea e as raízes, e colocadas em estufa a 80 °C para obtenção de peso constante.

Os solutos foram determinados em extratos aquosos, obtidos pela incubação de 300 mg de matéria fresca de folhas e de raízes em 15 mL de água desmineralizada com 0,03 mL de tolueno em banho-maria a 30 °C, durante 1 h. A extração foi repetida mais duas vezes e o volume completado para 50 mL com água desmineralizada (Weimberg et al., 1984). Nesse extrato, foram determinados os teores de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} (Allan, 1969), de Cl^- (Gaines et al., 1984) e de prolina (Bates et al., 1973).

O experimento seguiu um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial

(2 x 2 x 2), com três repetições. Os resultados foram submetidos à análise de variância, e as médias comparadas pelo teste de Tukey com $P \leq 0,05$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estresse salino, de modo geral, reduziu o crescimento das plântulas dos dois genótipos de sorgo, tendo sido a inibição do crescimento da parte aérea maior do que a das raízes (Quadro 2). As reduções na produção de matéria seca da parte aérea e das raízes causadas pelo estresse salino foram de 33 e 41 % e de 8 e 14 % nos genótipos tolerante e sensível, respectivamente. Esses resultados confirmam as diferenças no grau de tolerância à salinidade entre os dois genótipos estudados, as quais são crescentes com o tempo de exposição ao estresse, e evidenciam a maior sensibilidade da parte aérea à salinidade, conforme demonstrado por Lacerda et al. (2001 e 2003).

O aumento na concentração de Ca^{2+} na solução nutritiva favoreceu o crescimento somente da parte aérea das plântulas do genótipo tolerante, independentemente do estresse salino aplicado (Quadro 2). O efeito benéfico do Ca^{2+} no crescimento das plântulas submetidas ao estresse salino, entretanto, foi maior do que no das plântulas-controle. Efeitos similares têm sido observados em outras espécies vegetais e parecem estar relacionados com a redução nas concentrações de íons tóxicos, principalmente de Na^+ nas folhas (Rengel, 1992). O aumento na concentração de Ca^{2+} , entretanto, não teve efeito significativo sobre a produção de matéria seca das raízes no genótipo tolerante, mas resultou em redução de cerca de 11 % no genótipo sensível (Quadro 2). Os efeitos do Ca^{2+} sobre o crescimento radicular de plantas submetidas a estresse salino têm-se mostrado bastante variáveis, podendo ir desde pequenas reduções, como as

Quadro 1. Potencial osmótico (Ψ_s), condutividade elétrica (CE) e concentração de alguns íons presentes nas soluções dos tratamentos^(1,2)

Tratamento	Ψ_s	CE	Concentração (mmol L⁻¹)		
			Na^+	Ca^{2+}	Cl^-
Controle	-MPa	dS/m		$\text{Ca}^{2+} 0,65 \text{ mmol L}^{-1}$	
	0,056	1,300	3,90	0,65	0,00
Salino	0,375	7,273	75,00	0,65	71,10
				$\text{Ca}^{2+} 2,60 \text{ mmol L}^{-1}$	
Controle	0,062	1,513	3,90	2,60	3,90
	0,385	7,470	75,00	2,60	75,00

⁽¹⁾ As concentrações dos íons foram estimadas com base nos sais utilizados, enquanto os valores do potencial osmótico e da condutividade elétrica foram medidos experimentalmente. ⁽²⁾ Os demais íons componentes da solução de Clark não foram modificados e suas concentrações foram: N-NO₃⁻: 7,0; N-NH₄⁺: 1,0; K: 1,8; P: 0,138; Mg: 0,6; S: 0,65; FeEDTA: 0,045; B: 0,019; Zn: 0,002; Cu: 0,0005; Mn: 0,007 e Mo: 0,0006 mmol L⁻¹.

Quadro 2. Produção de matéria seca de plântulas de dois genótipos de sorgo, sob duas concentrações de Ca²⁺, submetidos ou não a estresse salino

Genótipo	Tratamento	Matéria seca ⁽¹⁾			
		Parte aérea		Raiz	
		Ca ²⁺ 0,65 mmol L ⁻¹	Ca ²⁺ 2,60 mmol L ⁻¹	Ca ²⁺ 0,65 mmol L ⁻¹	Ca ²⁺ 2,60 mmol L ⁻¹
g					
Tolerante	Controle	0,462 aA	0,516 aA	0,185 aB	0,185 aA
	Salino	0,300 bA	0,351 bA	0,172 aA	0,167 bA
Sensível	Controle	0,364 aB	0,384 aB	0,209 aA	0,188 aA
	Salino	0,215 bB	0,227 bB	0,179 bA	0,160 bA

⁽¹⁾ Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas entre genótipos para cada tratamento e nível de Ca, pelas mesmas letras minúsculas entre tratamentos para cada genótipo e nível de Ca e pelas mesmas letras minúsculas subscritas à esquerda entre níveis de Ca, para tratamento e genótipo, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, com P ≤ 0,05.

observadas no presente estudo, até aumentos bastante significativos, dependendo da espécie, das condições experimentais e de outros fatores (Cramer et al., 1986).

O estresse salino resultou em aumento bastante elevado nos teores de Na⁺ e de Cl⁻ nas folhas, principalmente no genótipo sensível (Quadro 3), o que explica, pelo menos em parte, a maior sensibilidade desse genótipo ao estresse salino (Lacerda et al., 2003). Com o aumento na concentração de Ca²⁺ na solução nutritiva, observou-se redução nos teores de Na⁺ de cerca de 47 e 30 % nas folhas dos genótipos tolerante e sensível, respectivamente, porém apenas em plântulas sob estresse salino. Esta redução se deve, provavelmente, ao melhor controle na absorção radicular e no transporte de Na⁺ para a parte aérea que ocorre em níveis adequados de Ca²⁺ no meio de nutrição (Läuchli, 1990) e tem sido apontada como um dos principais efeitos benéficos do Ca²⁺ em plantas sob condições de estresse salino (Rengel, 1992). Tal redução nos teores de Na⁺ nas folhas, contudo, nem sempre parece estar relacionada com melhoria no crescimento vegetativo de plantas sob estresse salino (Lacerda, 1995). De acordo com Reid & Smith (2000), o aumento na concentração de Ca²⁺ no meio de nutrição não afeta igualmente o crescimento vegetativo e a absorção de Na⁺. Segundo eles, a concentração de Ca²⁺ requerida para afetar o crescimento é menor do que a necessária ao controle da absorção de Na⁺, em plantas sob estresse salino. Aparentemente, os efeitos benéficos do Ca²⁺ na redução da toxidez do Na⁺ podem ser sobrepujados pelos efeitos osmóticos associados com o aumento da concentração total de sais.

Reduções nos teores de Cl⁻, com o aumento na concentração de Ca²⁺, ocorreram nas folhas dos dois genótipos, porém foram usualmente menores do que as de Na⁺ (Quadro 3). Vale salientar que as concentrações de Cl⁻ na solução nutritiva, em razão dos ajustes nas concentrações de Na⁺ e Ca²⁺, não foram exatamente as mesmas em todos os tratamentos (Quadro 1).

Os teores de Na⁺ e de Cl⁻ aumentaram nas raízes com o estresse salino, tendo sido os aumentos maiores no genótipo sensível (Quadro 3). Sob estresse salino, os teores de Cl⁻ não se modificaram, enquanto os de Na⁺ reduziram com o aumento na concentração de Ca²⁺ na solução nutritiva em cerca de 32 e 26 % nos genótipos analisados, tolerante e sensível, respectivamente. Isto se deve, provavelmente, ao fato de ser o Ca²⁺ essencial para a seletividade de canais de cátions na plasmalema de células das raízes, tendo, consequentemente, efeito sobre o influxo passivo de Na⁺ (Davenport et al., 1997).

Sob estresse salino, observou-se redução nos teores de K⁺ nas folhas dos dois genótipos, independentemente da concentração de Ca²⁺ (Quadro 3). O genótipo tolerante manteve sempre maiores teores de K⁺ nas folhas, o que pode ter contribuído para a maior tolerância desse genótipo ao estresse salino, conforme sugerem Taleisnik & Grunberg, (1994), Bernstein et al. (1995) e Lacerda et al. (2001). Em geral, o aumento na concentração de Ca²⁺ na solução nutritiva resultou em aumento nos teores de K⁺ nas folhas do genótipo tolerante, mas praticamente não influiu nos teores deste íon nas folhas do genótipo sensível. Por ser o K⁺ extremamente importante ao metabolismo das plantas, a manutenção de teores foliares mais elevados deste íon foi fundamental para a maior produção de matéria seca observada no genótipo tolerante (Quadro 2).

Nas raízes, sob estresse salino, observou-se redução nos teores de K⁺ nas plântulas dos dois genótipos, independentemente da concentração de Ca²⁺ (Quadro 3). Em todos os tratamentos, entretanto, o genótipo sensível foi capaz de manter teores mais elevados deste íon, embora isto não tenha resultado em maior produção de matéria seca de raízes neste genótipo (Quadro 2). O aumento na concentração de Ca²⁺ resultou em aumentos nos teores de K⁺ nas raízes dos dois genótipos, exceto nas plântulas-controle do genótipo sensível.

Quadro 3. Teores de íons e prolina em folhas e raízes de plântulas de dois genótipos de sorgo, sob duas concentrações de Ca^{2+} , submetidos ou não a estresse salino

Genótipo	Tratamento	Folha		Raiz	
		$\text{Ca}^{2+} 0,65 \text{ mmol L}^{-1}$	$\text{Ca}^{2+} 2,60 \text{ mmol L}^{-1}$	$\text{Ca}^{2+} 0,65 \text{ mmol L}^{-1}$	$\text{Ca}^{2+} 2,60 \text{ mmol L}^{-1}$
mmol kg ⁻¹ MS ⁽¹⁾					
Tolerante	Controle			Cl^-	
	Salino	a205,3 bA a436,1 aB	a239,1 bA b356,1 aB	a163,8 bA a428,3 aB	a204,0 bA a429,6 aB
				Na^+	
	Controle	a48,5 bA a438,6 aB	a24,0 bA b233,8 aB	a104,1 bA a868,1 aB	a75,6 bA b593,1 aB
	Salino			K^+	
	Controle	b500,3 aA b366,1 bA	a551,5 aA a432,7 bA	b778,8 aB b572,5 bB	a913,8 aB a662,2 bB
	Salino			Ca^{2+}	
	Controle	b33,9 aB b31,8 aA	a63,8 aB a44,4 bB	a24,3 aA a24,6 aA	a37,6 aB a29,3 aB
	Salino			Prolina	
	Controle	a4,4 bA a12,8 aB	a5,0 bA a13,5 aB	b4,1 aB a4,8 aA	a5,6 aA a4,7 aA
	Salino			Cl^-	
Sensível	Controle	a192,9 bA a551,9 aA	a230,6 bA b428,4 aA	a186,3 bA a626,3 aA	a223,4 bA a645,8 aA
	Salino			Na^+	
	Controle	a67,4 bA a675,5 aA	a52,2 bA b470,5 aA	a132,3 bA a1014,3 aA	a122,7 bA b750,0 aA
	Salino			K^+	
	Controle	a495,8 aA a337,7 bA	a464,5 aB a342,4 bB	a1009,8 aA b658,3 bA	a1012,6 aA a774,9 bA
	Salino			Ca^{2+}	
	Controle	b53,9 aA b38,3 bA	a100,0 aA a70,8 bA	b31,5 aA b36,4 aA	a58,2 aA a51,2 aA
	Salino			Prolina	
	Controle	a5,7 bA a33,3 aA	a7,2 bA a36,7 aA	a5,5 aA a5,3 aA	a5,9 aA a5,2 aA
	Salino				

⁽¹⁾ Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas entre genótipos para cada tratamento e concentração de Ca, pelas mesmas letras minúsculas entre tratamentos para cada genótipo e concentração de Ca e pelas mesmas letras minúsculas subscritas à esquerda entre concentrações de Ca, para cada tratamento e genótipo, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, com $P \leq 0,05$.

O estresse salino não influenciou os teores de Ca^{2+} nas raízes, porém reduziu os seus teores nas folhas, principalmente no genótipo sensível (Quadro 3). No tratamento com a concentração mais elevada de Ca^{2+} , observou-se aumento nos teores tissulares deste íon nos dois genótipos, principalmente nas plântulas-controle. Sob estresse salino, entretanto, as plântulas não foram capazes de manter as mesmas concentrações foliares de Ca^{2+} , apresentando, em média, teores 30 % mais baixos do que nas plântulas-controle. Segundo tais resultados, as concentrações de Ca^{2+} utilizadas no presente experimento, mesmo na mais elevada, que

corresponde à concentração deste íon na solução de Clark, não foram suficientemente altas para atingir a chamada “concentração limite” defendida por Reid & Smith (2000), que permitiria às plantas manterem sob estresse salino teores tissulares adequados de Ca^{2+} .

Acúmulo de prolina resultante do estresse salino somente foi observado nas folhas, principalmente no genótipo sensível, e mostrou-se independente da concentração de Ca^{2+} do meio nutritivo (Quadro 3). Embora os aumentos percentuais de prolina com o estresse salino tenham sido elevados, os teores deste soluto orgânico, entretanto, permaneceram sempre muito baixos, comparativamente aos dos íons e

foram mais elevados no genótipo sensível, mostrando a inexistência de uma participação efetiva deste soluto nos mecanismos de tolerância à salinidade em sorgo, pelo menos, nas condições deste experimento.

Aparentemente, a salinidade, ao influenciar diferencialmente as absorções de Na^+ e de K^+ e, provavelmente, a translocação deles para a parte aérea, controla o estabelecimento de diferentes relações Na^+/K^+ entre os órgãos das plantas e entre os genótipos (Quadro 4). Nas folhas, o genótipo tolerante apresentou uma relação Na^+/K^+ bem inferior à observada no genótipo sensível, diferença esta que foi ainda mais marcante na concentração mais elevada de Ca^{2+} na solução nutritiva. Este efeito do Ca^{2+} correlacionou-se com maior produtividade das plântulas do genótipo tolerante sob as mesmas condições experimentais (Quadro 2). Resultados como este evidenciam que um dos principais papéis do Ca^{2+} em plantas cultivadas em ambientes salinos pode ser o controle da absorção radicular de Na^+ e de K^+ , atuando na membrana celular e favorecendo a manutenção de teores mais adequados desses íons nos tecidos fotossintetizantes. O Ca^{2+} , portanto, tem influência decisiva na manutenção da seletividade K^+/Na^+ , como sugerida por outros autores (Colmer et al., 1996), devendo ser suas concentrações nos meios de cultivos claramente definidas quando a relação K^+/Na^+ for utilizada como indicador da tolerância de plantas à salinidade.

CONCLUSÕES

1. O Ca^{2+} foi fundamental para a manutenção de teores mais adequados de íons nos tecidos vegetais, principalmente nas folhas do genótipo tolerante, tendo o aumento na sua concentração no meio de cultivo reduzido parcialmente os efeitos da salinidade sobre a produção de matéria seca apenas da parte aérea do genótipo tolerante de sorgo.

Quadro 4. Relação Na^+/K^+ em folhas e raízes de plântulas de dois genótipos de sorgo, sob duas concentrações de Ca^{2+} , submetidos ou não a estresse salino⁽¹⁾

Genótipo	Tratamento	Relação Na^+/K^+			
		Folha		Raiz	
		$\text{Ca}^{2+} 0,65 \text{ mmol L}^{-1}$	$\text{Ca}^{2+} 2,60 \text{ mmol L}^{-1}$	$\text{Ca}^{2+} 0,65 \text{ mmol L}^{-1}$	$\text{Ca}^{2+} 2,60 \text{ mmol L}^{-1}$
Tolerante	Controle	a0,05 bA	a0,04 bA	a0,13 bA	a0,08 bA
	Salino	a1,09 aB	a0,40 aB	a1,52 aA	a0,90 aA
Sensível	Controle	a0,10 bA	a0,07 bA	a0,13 bA	a0,12 bA
	Salino	a1,99 aA	a1,37 aA	a1,54 aA	a0,97 aA

⁽¹⁾ Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas entre genótipos para cada tratamento e concentração de Ca, pelas mesmas letras minúsculas entre tratamentos para cada genótipo e concentração de Ca e pelas mesmas letras minúsculas subscritas à esquerda entre concentrações de Ca, para cada tratamento e genótipo, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, com $P \leq 0,05$.

2. Na presença de Ca^{2+} , as folhas do genótipo tolerante apresentaram sob estresse salino uma relação Na^+/K^+ mais baixa do que do sensível e maior produção de matéria seca.

3. As plantas sob estresse salino não foram capazes de manter teores tissulares adequados de Ca^{2+} mesmo quando cultivadas na concentração mais elevada deste íon no meio de cultivo.

4. Não se detectou correlação entre as concentrações de Ca^{2+} na solução nutritiva e o acúmulo de prolína em folhas e raízes de plantas sob estresse salino.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEMIG, CAPES e CNPq, pelo suporte financeiro dado para a realização deste trabalho, e ao Dr. José Nildo Tabosa (IPA-Pe), pelas sementes dos materiais genéticos utilizados neste estudo.

LITERATURA CITADA

- ALLAN, J.E. The preparation of agricultural samples for analysis by atomic absorption spectroscopy. Varian Techtron, 1969. 15p. (Bulletin 12/69)
- BERNSTEIN, N.; SILK, W.K. & LÄUCHLI, A. Growth and development of sorghum leaves under conditions of NaCl stress: possible role of some mineral elements in growth inhibition. Planta, 196:699-705, 1995.
- BATES, L.S.; WALDREN, R.P. & TEARE, I.D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant Soil, 39:205-207, 1973.
- CLARK, R.B. Characterization of phosphatase of intact maize roots. J. Agric. Food Chem., 23:458-460, 1975.
- COLMER, T.D.; FAN, T.W.M.; HIGASHI, R.M. & LÄUCHLI, A. Interactive effects of Ca^{2+} and NaCl stress on the ionic relations and proline accumulation in the primary root tip of *Sorghum bicolor*. Physiol. Plant., 97:421-424, 1996.

- CRAMER, G.; LÄUCHLI, A. & EPSTEIN, E. Effects of NaCl and CaCl₂ on ion activity in complex nutrient solution and root growth of cotton. *Plant Physiol.*, 81:792-797, 1986.
- DAVENPORT, R.J.; REID, R.J. & SMITH, F. A sodium-calcium interactions in two wheat species differing in salinity tolerance. *Physiol. Plant.*, 99:323-327, 1997.
- GAINES, T.P.; PARKER, M.B. & GASCHO, G.J. Automated determination of chlorides in soil and plant tissue by sodium nitrate. *Agron. J.*, 76:371-374, 1984.
- GHEYI, H.R.. Problemas de salinidade na agricultura irrigada. In: OLIVEIRA, T., ASSIS JR., R.N., ROMERO, R.E. & SILVA, J.R.C., eds. *Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido*. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000, p.329-345.
- GIRIJA, C.; SMITH, B.N. & SWAMY, P.M. Interactive effects of sodium chloride and calcium chloride on the accumulation of proline and glycinebetaine in peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Environ. Exp. Bot.*, 47:1-10, 2002.
- GRIEVE, C.M. & MAAS, E.V. Differential effects of sodium/calcium ratio on sorghum genotypes. *Crop Sci.*, 28:659-665, 1988.
- LACERDA, C.F. Efeitos da salinidade no desenvolvimento e composição mineral do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e utilização do Ca²⁺ como meio para minorar tais efeitos. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, 1995, 87p. (Tese de Mestrado)
- LACERDA, C.F.; CAMBRAIA, J.; CANO, M.A.O. & RUIZ, H.A. Plant growth and solute accumulation and distribution in two sorghum genotypes, under NaCl stress. *R. Bras. Fisiol. Veg.*, 13:270-284, 2001.
- LACERDA, C.F.; CAMBRAIA, J.; CANO, M.A.O.; RUIZ, H.A. & PRISCO, J.T. Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. *Env. Exp. Bot.*, 49:107-120, 2003.
- LÄUCHLI, A. Calcium, salinity and the plasma membrane. In: LEONARD, R.T. & HEPLER, P.K., eds. *Calcium in plant growth*. Rockville, The American Society of Plant Physiologist, 1990. p.26-35.
- LÄUCHLI, A.; COLMER, T.D.; FAN, T.W. & HIGASHI, R.M. Solute regulation by calcium in salt-stressed plants. In: CHERRY, J.H., ed. *Biochemical and cellular mechanisms of stress tolerance in plants*. Berlin, Springer-Verlag, 1994. p.443-461. (NATO ASI Series, H86)
- MAAS, E.V. & GRIEVE, C.M. Sodium-induced calcium deficiency in salt stressed corn. *Plant, Cell Environ.*, 10:559-564, 1987.
- MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell Environ.*, 25:239-250, 2002.
- REID, R.J. & SMITH, A. The limits of sodium/calcium interactions in plant growth. *Aust. J. Plant Physiol.*, 27:709-715, 2000.
- RENGEL, Z. The role of calcium in salt toxicity. *Plant, Cell Environ.*, 15:625-632, 1992.
- TALEISNIK, E. & GRUNBERG, K. Ion balance in tomato cultivars differing in salt tolerance. I. Sodium and potassium accumulation and fluxes under moderate salinity. *Physiol. Plant.*, 92:528-534, 1994.
- WEIMBERG, R.; LERNER, H.R. & POLJAKOFF-MAYBER, A. Changes in growth and water soluble concentrations in *Sorghum bicolor* stressed with sodium and potassium salts. *Physiol. Plant.*, 62:472-480, 1984.

