

AGRÁRIA

Revista Brasileira de Ciências Agrárias
ISSN (on line): 1981-0997
v.6, n.4, p.602-608, out.-dez., 2011
Recife, PE, UFRPE. www.agraria.ufrpe.br
DOI:10.5039/agraria.v6i4a1257
Protocolo 1257 – 10/12/2010 *Aprovado em 20/06/2011

Francisco A. L. Alves¹

Sérgio L. Ferreira-Silva²

Joaquim A. G. da Silveira^{2,4}

Vanda L. A. Pereira³

Efeito do Ca²⁺ externo no conteúdo de Na⁺ e K⁺ em cajueiros expostos a salinidade

RESUMO

Objetivando avaliar o efeito do Ca²⁺ externo na absorção e transporte de Na⁺ e K⁺ em plântulas de cajueiro anão precoce, expostas a altos níveis de NaCl, sementes do clone de cajueiro, CCP 06, foram germinadas e cultivadas em vermiculita dentro de casa de vegetação. Plântulas com aproximadamente 8 folhas foram transferidas para condições controladas de temperatura a 25±2 °C, U.R 80%, fotoperíodo de 12 h e 240 µmol m⁻² s⁻¹, onde elas foram divididas em dois ensaios. No primeiro as raízes foram destacadas da parte aérea e imersas em soluções de NaCl (0; 100; 200; 300; 400 mM) + CaCl₂ (0,0; 0,3; 5,0 mM). No segundo ensaio plântulas intactas foram imersas em soluções de NaCl (0; 200 mM) + CaCl₂ (0; 3 mM). As plântulas permaneceram nas soluções acima por um período de 48 horas. O NaCl aumentou a absorção e acúmulo de Na⁺ nos diversos órgãos das plântulas, além de reduzir o conteúdo de K⁺ nas raízes e caules. A presença de Ca²⁺ externo no meio contendo NaCl aumentou ainda mais a absorção e acúmulo de Na⁺ nos diversos órgãos das mudas e também manteve o conteúdo de K⁺ nos órgãos ao nível de tratamentos controles. O efeito do Ca²⁺ no aumento da absorção e transporte de Na⁺ permanece desconhecida. No entanto, esse efeito em plântulas de cajueiro submetidas a altas doses de NaCl está bem evidente.

Palavras-chave: *Anacardium occidentale* L., estresse salino, relação K⁺/Na⁺.

Effect of external Ca²⁺ in the Na⁺ and K⁺ content in cashew exposed to salinity

ABSTRACT

To evaluate the effect of external Ca²⁺ on Na⁺ and K⁺ absorption and transport in dwarf cashew seedlings exposed to high levels of NaCl, seeds of the cashew clone, CCP 06, were germinated and grown in vermiculite inside a greenhouse. Seedlings with about 8 leaves were transferred to controlled temperature conditions at 25±2°C, RH 80%, 12 h photoperiod and 240 µmol m⁻² s⁻¹, where they were divided into two trials. In the first one, the roots were detached from the shoot and immersed into NaCl solutions (0; 100; 200; 300; 400 mM) + CaCl₂ (0.0; 0.3; 5.0 mM). In the second trial, intact seedlings were immersed in NaCl solutions (0; 200 mM) + CaCl₂ (0; 3 mM). The seedlings remained in the solutions above for 48 hours period. The NaCl increased the Na⁺ absorption and accumulation in different organs of the seedlings and reduced the K⁺ content in the roots and stems. The presence of external Ca²⁺ in the environment with NaCl increased even more the Na⁺ absorption and accumulation in different organs of the seedlings and it also retained the K⁺ content in the organs at the level of the control treatments. The effect of Ca²⁺ in increasing the Na⁺ absorption and transport remains unknown. However, this effect on cashew plants seedlings exposed to high doses of NaCl is very evident.

Key words: *Anacardium occidentale* L., salt stress, K⁺/Na⁺ relation

¹ Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), Escritório Municipal de Pedra, Rua Major Lourenço Diniz, 111, Centro, CEP 55280-000, Pedra-PE, Brasil. Fone/Fax: (87) 3858-2924. E-mail: abel.alves@ipa.br

² Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular, Campus do Pici, Bloco 907, Laboratório de Metabolismo do Estresse em Plantas, 1080, Pici, CEP 60451-970, Fortaleza-CE, Brasil. Caixa Postal 6020. Fone: (85) 3366-9821/Ramal 9821. E-mail: agrosergol@yahoo.com.br; silveira@ufc.br

³ Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), Estação Experimental de Arcoverde, BR 232, km 253, CEP: 56500-000, Arcoverde-PE, Brasil. Fone/Fax: (87) 3822-3900. E-mail: vanda.arcanjo@ipa.br

⁴ Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq

INTRODUÇÃO

A produção de várias culturas é reduzida severamente devido à salinização do solo. Dos 1,5 bilhões de hectares cultivados, cerca de 5% ou 77 milhões de hectares são afetados pela salinização (Munns & Tester, 2008).

As maiores extensões de solos salinizados estão localizadas na América do Norte, nas regiões sul e nordeste da América do Sul, na região norte da África, no Oriente Médio, na Ásia Central e na Austrália. No Brasil, solos salinizados são encontrados ao longo da costa, com exceção dos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, mas a maior extensão de solos salinizados ocorre em regiões semiáridas do Nordeste, conhecidas como Polígono das Secas (Dantas et al., 2002).

Nestas regiões, a salinidade do solo é aumentada por fatores climáticos, como altas temperaturas, baixa pluviosidade e intensa evaporação, além de irrigação e adubação inadequadas (Dantas et al., 2002).

Os efeitos da salinidade sobre o crescimento das plantas são consequências de fatores osmóticos e iônicos. O efeito osmótico resulta das elevadas concentrações de sais dissolvidos na solução do substrato, os quais reduzem o potencial osmótico e hídrico dessa solução, diminuindo, conseqüentemente, a disponibilidade de água e nutrientes para as plantas. O efeito iônico refere-se aos íons absorvidos pelas plantas, principalmente o Na^+ e o Cl^- , os quais podem provocar desequilíbrios iônicos e/ou efeitos tóxicos ao metabolismo vegetal (Munns & Tester, 2008).

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) é uma espécie amplamente cultivada no semiárido do Nordeste brasileiro, onde representa uma importante fonte de geração de empregos e renda para as comunidades rurais que têm poucas opções econômicas para oferecer a sua população.

As plantas de cajueiro têm desenvolvido vários mecanismos de adaptações fisiológicas e genéticas para superar as condições de estresse ambiental. Embora a resistência do cajueiro à salinidade tenha sido atribuída a estes mecanismos, existe um crescimento de evidências sugerindo que o estresse salino afeta severamente as fases de germinação (Voigt et al., 2009), crescimento inicial (Ferreira-Silva et al., 2008), enxertia (Bezerra et al., 2002) e prefloração (Carneiro et al., 2007), além de induzir distúrbios metabólicos relacionados à mobilização de reservas (Voigt et al., 2009), à fotossíntese (Bezerra et al., 2007), ao metabolismo do nitrogênio (Viégas et al., 2004) e à homeostase iônica (Alves et al., 2008).

Os relatos têm demonstrado que o estresse salino afeta drasticamente o balanço nutricional do cajueiro, ocorrendo um forte acúmulo dos íons Na^+ e Cl^- em todos os órgãos da planta e promovendo significativa redução do conteúdo de potássio radicular da espécie (Alves et al., 2008). Interações competitivas entre os íons Na^+ e K^+ durante a fase de absorção iônica pelo sistema radicular de plantas é um fenômeno bastante citado na literatura, e é atribuído às similaridades físico-químicas, raio iônico hidratado e carga elétrica dos dois íons (Apse & Blumwald, 2007).

Algumas práticas agrícolas são citadas por minimizarem os danos causados pelo excesso de Na^+ no meio radicular, no desenvolvimento das plantas. A elevação da concentração de Ca^{2+} no ambiente radicular é apontada como uma alternativa para minimizar os efeitos negativos da salinidade sobre o crescimento e desenvolvimento das culturas (Miranda et al., 2008).

Esse íon, além de reduzir a absorção de Na^+ , favorece a absorção de íons, principalmente o K^+ (Wieneke & Läuchli, 2007). Entretanto, o papel do Ca^{2+} exógeno na adaptação da planta aos efeitos negativos do estresse salino é complexo e indefinido. Efeitos positivos foram citados por Ebert et al. (2002) e Miranda et al. (2008), e negativos são citados por Silva et al. (2003).

A elucidação e a utilização dos mecanismos de resistência ao estresse salino, presentes em plantas de importância econômica, poderão consistir em abordagens mais viáveis e estratégicas para reduzir os impactos da salinidade sobre a produtividade das culturas. Nesse sentido, o trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do Ca^{2+} externo na absorção e transporte de Na^+ e K^+ em plântulas de cajueiro anão precoce, expostas a altos níveis de NaCl .

MATERIAL E MÉTODOS

A fase de germinação e desenvolvimento inicial das mudas foi conduzida em casa de vegetação no campus do Pici, base física pertencente à Universidade Federal do Ceará-UFC, Fortaleza-Ceará, Brasil (latitude $3^\circ 44' \text{ S}$, longitude $38^\circ 33' \text{ W}$), temperatura de 28 a 36°C durante o dia, e de 24 a 27°C durante a noite e umidade relativa de 40 a 80% (dia/noite).

A radiação fotossintética ativa máxima nas proximidades das folhas foi aproximadamente $1.200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, mensurada com um “quantum sensor” acoplado a um porômetro (LI-1600 steady state porometer, Li-Cor, USA).

As sementes de cajueiro anão precoce, *Anacardium occidentale* L., progênies do clone CCP 06, foram superficialmente esterilizadas em uma solução comercial de hipoclorito de sódio a 10% (v/v), com aeração contínua durante 10 minutos, lavadas com água da torneira e posteriormente com água destilada para remover os resíduos do agente esterilizante. Em seguida, foram imersas em água destilada por um período de 24 horas com o objetivo de acelerar o processo de germinação (Alves et al., 2009).

As castanhas foram postas para germinar em vasos plásticos de 800 mL contendo vermiculita, e foram irrigadas diariamente com água destilada até a queda dos cotilédones (30 dias após o plantio), quando passaram a receber solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950) modificada, apresentando a seguinte composição de macronutrientes (mM): 2,5 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; 1,0 NH_4Cl ; 0,5 K_2HPO_4 ; 0,5 MgSO_4 e 2 KNO_3 , e micronutrientes (μM) 40 H_3BO_3 ; 9 MnCl_2 ; 3 CuSO_4 ; 7 ZnMoO_4 ; 0,1 Na_2MoO_4 ; 100 Fe-EDTA , com ajuste do pH para 6,0.

Aos 40 dias após o plantio, plântulas com aproximadamente oito folhas foram divididas em dois ensaios: o primeiro para verificar a influência do Ca^{2+} externo na

absorção de Na^+ , em que as raízes foram destacadas da parte aérea e as plântulas transferidas para copos de 250 mL, contendo soluções de NaCl (0; 100; 200; 300; 400 mM) + CaCl_2 (0,0; 0,3; 5,0 mM); e o segundo ensaio para verificar a influência do Ca^{2+} externo no transporte de Na^+ pelos órgãos da planta, em que plântulas foram transferidas para erlenmeyer de 250 mL, contendo soluções de NaCl (0; 200 mM) + CaCl_2 (0; 3 mM).

Todas as soluções foram tamponadas em pH 6,0 com o tampão HEPES - Ácido 2-[4-(2-hidroxiethyl)1-piperazinil]-etanosulfônico (10 mM). As raízes destacadas da parte aérea e as plântulas intactas permaneceram nas soluções acima por um período de 48 horas.

Os ensaios foram mantidos em condições controladas, (temperatura de 25 ± 2 °C, umidade relativa 80%, fotoperíodo de 12 horas e radiação fotossintética ativa de $240 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Após 48 horas de exposição a tais doses de NaCl e CaCl_2 , o material vegetal foi coletado, separado em raízes, caules, folhas velhas e folhas novas, seco em estufa a 70°C por 72 horas, moído, e foi determinada a concentração de Na^+ e K^+ no material.

As concentrações de sódio e potássio no tecido das folhas, caules e raízes foram preparadas conforme Alves et al. (2009).

Amostras do material vegetal de folhas, caules e raízes previamente secas em estufa, foram maceradas e transformadas em farinha (50 mg), colocadas em tubos de ensaio e, em seguida, foi adicionado 20 mL de água deionizada. Os tubos foram colocados em banho-maria a 100°C por 1 hora. Após, o extrato foi filtrado e no sobrenadante foram feitas leituras em fotometria de chama, através do qual os conteúdos de Na^+ e K^+ foram obtidos com base em curva padrão de NaCl e KCl, respectivamente.

Os tratamentos foram dispostos em um delineamento inteiramente casualizados. Foi utilizado o arranjo fatorial (5x3), representando cinco níveis de NaCl (0; 100; 200; 300; 400 mM) e três níveis de CaCl_2 (0,0; 0,3; 5,0 mM), respectivamente, com quatro repetições, além do arranjo fatorial (2x2), representando dois níveis de NaCl (0; 200 mM) e dois níveis de CaCl_2 (0; 3 mM), respectivamente, também com quatro repetições.

As parcelas experimentais consistiram de um copo ou erlenmeyer contendo uma raiz ou plântula. Os dados foram submetidos à análise de variância, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A absorção de Na^+ pelas raízes com o incremento nos níveis de NaCl no meio externo teve uma tendência a uma curva polinomial. Com um ponto de saturação na concentração de NaCl 200 mM. O aumento no acúmulo de Na^+ no tecido radicular foi de 270%, 400%, 430% e 500% para as doses de NaCl (100, 200, 300 e 400 mM), respectivamente, em comparação à dose controle (ausência de NaCl) (Figura 1A).

A presença de CaCl_2 no meio contendo NaCl aumentou ainda mais a absorção de Na^+ pelas raízes em comparação aos tratamentos que continham apenas NaCl. O aumento dessa

absorção foi quase que linear em comparação ao tratamento controle, em que o aumento no acúmulo de Na^+ no tecido radicular foi de 70%, 60%, 160%, 140% para as doses de NaCl (100, 200, 300 e 400 mM), respectivamente, em comparação aos tratamentos que continham apenas NaCl (Figura 1A). Não foram observadas diferenças significativas na absorção de Na^+ nos tratamentos que continham 0,3 ou 5,0 mM de CaCl_2 externo.

A absorção de Na^+ pelas raízes das plantas é mediado por vias sensíveis e insensíveis a Ca^{2+} (Apse & Blumwald, 2007). Provavelmente, a absorção de Na^+ pelas raízes de cajueiro possa ser mais pronunciada por vias insensíveis a Ca^{2+} , já que a aplicação de Ca^{2+} exógeno não reduziu a absorção de Na^+ .

Além disso, a aplicação de Ca^{2+} no meio radicular aumentou o influxo de Na^+ em plântulas de cajueiro, um mecanismo ainda não bem conhecido em plantas. No entanto, há uma tendência no aumento da absorção de Na^+ pelas raízes na presença de doses crescentes de Ca^{2+} no meio de cultivo, em plântulas de goiabeira submetidas à salinidade com NaCl (Ebert et al., 2002).

Nos mamíferos, já é bem conhecida uma proteína transportadora antiporte de $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ na membrana plasmática de células do coração e de outros músculos, principalmente esqueléticos e lisos, na qual a proteína transportadora é um importante regulador da contractilidade e, ao enviar por transporte ativo secundário 1 íon de Ca^{2+} para fora da célula, trocando-o por 3 íons de Na^+ para dentro, permite uma redução da $[\text{Ca}^{2+}]_{\text{int}}$ e um aumento da $[\text{Na}^+]_{\text{int}}$ e, conseqüentemente, o relaxamento do músculo (Dipolo & Beaugé, 2006).

As vias de absorção de Na^+ insensíveis a Ca^{2+} podem envolver canais retificadores de entrada de K^+ (KIRCs) da família AKT/KAT e transportadores de K^+ das famílias KT/HAK/KUP e HKT, além de NSCCs (Apse & Blumwald, 2007).

O aumento da dose de NaCl no meio externo causou redução quase que linear no acúmulo de K^+ nas raízes. Essa redução foi de 20%, 30%, 60% e 60% para as doses de NaCl (100, 200, 300 e 400 mM), respectivamente, em comparação à dose controle (ausente de NaCl). Não foram observadas diferenças significativas no acúmulo de K^+ entre as doses de NaCl (100 e 200 mM) e entre as doses de (300 e 400 mM) (Figura 1B).

Apesar de a presença de NaCl externo reduzir o acúmulo de K^+ radicular independentemente da dose, observamos que a dose crítica, na qual as células do tecido radicular resiste ao efluxo de K^+ , é até a dose de 200 mM. A partir dessa concentração há um grande efluxo desse íon para o meio externo.

A presença de CaCl_2 externo manteve o acúmulo de K^+ ao nível de controle, independentemente da dose de NaCl externo. Não foi observada diferença significativa entre os tratamentos que continham 0,3 ou 5,0 mM de CaCl_2 , no acúmulo de K^+ entre as doses de NaCl (Figura 1B).

As respostas das plantas expostas a salinidade, com NaCl, à aplicação de Ca^{2+} externo resulta em aumento no grau de resistência a esse estresse em muitas espécies, principalmente quando se comparam relações $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ muito contrastantes. Resultados mostrados por Lacerda et al. (2004) em plântulas

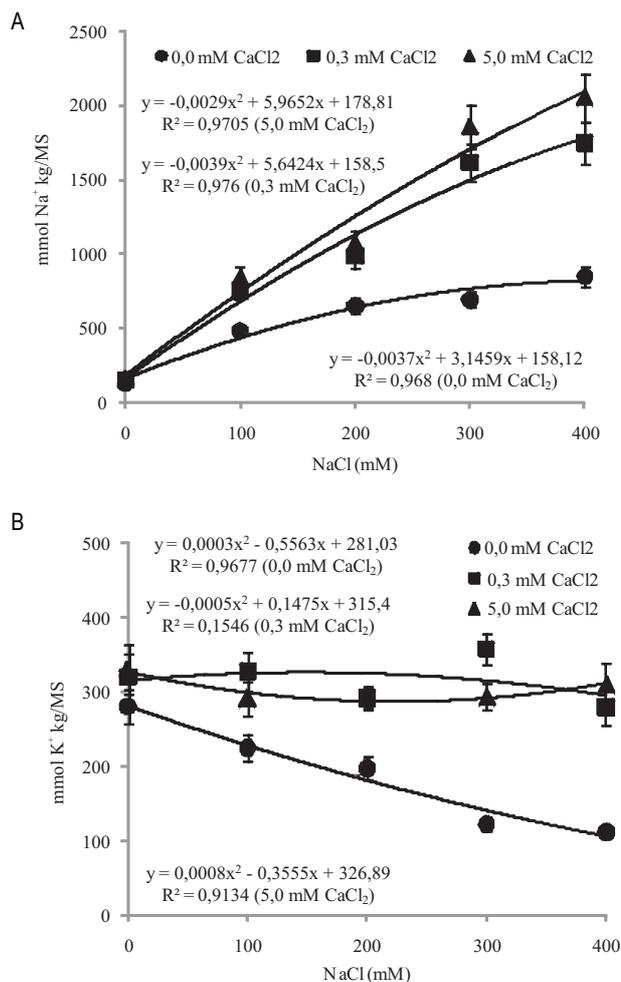


Figura 1. Absorção de Na⁺ (A) e conteúdo de K⁺ (B) em raízes de plântulas de cajueiro anão precoce, clone CCP 06, expostas ao NaCl (0; 100; 200; 300; 400 mM) na presença de CaCl₂ (0,0; 0,3; 5,0 mM) durante 48 horas. Os pontos representam média ± desvio-padrão de quatro repetições

Figure 1. Na⁺ absorption (A) and K⁺ content (B) in roots of dwarf cashew seedlings, clone CCP 06, exposed to NaCl (0; 100; 200; 300; 400 mM) in the presence of CaCl₂ (0.0; 0.3; 5.0 mM) for 48 hours. The dots represent mean ± standard deviation of four replicates

de sorgo submetidas ao NaCl na presença de Ca²⁺ externo indicam um aumento na concentração de K⁺ nos tecidos foliares e radiculares.

Um dos mecanismos de resistência à salinidade em plantas é manter uma adequada nutrição potássica nos tecidos vegetais. A seletividade do sistema radicular para o K⁺ sobre o Na⁺ deve ser suficiente para satisfazer os teores de K⁺ requeridos para os processos metabólicos, regulação do transporte de íons e para o ajustamento osmótico (Munns & Tester, 2008). Nesse sentido o Ca²⁺ externo manteve o conteúdo de K⁺ interno no tecido radicular, evitando seu efluxo para o meio de cultivo.

Um dos efeitos benéficos da adição de cálcio no ambiente radicular de plantas expostas à salinidade está associado à manutenção da integridade das membranas das células, favorecendo um melhor controle na absorção e manutenção do K⁺ radicular (Lacerda et al., 2004).

Como esperado, a presença de NaCl 200 mM no meio de cultivo aumentou o acúmulo de Na⁺ nos diversos órgãos das plântulas de cajueiro. O aumento nesse acúmulo foi de 500%, 300%, 190% e 68%, respectivamente para raízes, caules, folhas velhas e folhas novas, em comparação ao tratamento controle (ausentes de NaCl) (Figura 2A).

A presença de CaCl₂ 3,0 mM nos tratamentos que continham NaCl 200 mM aumentou ainda mais o acúmulo de Na⁺ nos diversos órgãos das plântulas, nos quais esse aumento foi de 50%, 300%, 160% e 90%, respectivamente para raízes, caules, folhas velhas e folhas novas, em relação ao tratamento que continham apenas NaCl (Figura 2A).

Melloni et al. (2000) estudando o Ca²⁺ externo como amenizador dos efeitos da salinidade sobre a nutrição mineral, em mudas de aroeira, verificou um aumento no conteúdo de Na⁺ nas folhas e caules quando eram submetidas a doses de NaCl na presença de Ca²⁺ no meio de cultivo.

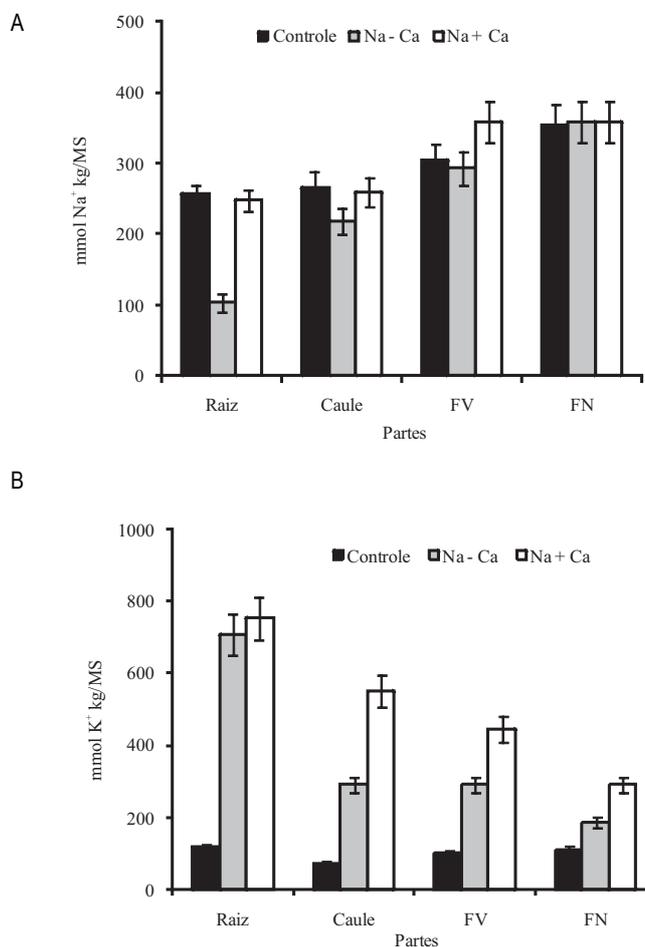


Figura 2. Conteúdo de Na⁺ (A) e K⁺ (B) em raízes, caules, folha velha (FV) e folhas novas (FN) de plântulas de cajueiro anão precoce, clone CCP 06, expostas ao NaCl (0 e 200 mM) e ao CaCl₂ (0 e 3 mM) durante 48 horas. Tratamentos com letras iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste Tukey

Figure 2. Na⁺ (A) and K⁺ (B) contents in roots, stems, old leaf (FV) and young leaves (FN) of dwarf cashew seedlings, clone CCP 06, exposed to NaCl (0 and 200 mM) and CaCl₂ (0 and 3 mM) for 48 hours. Treatments with the same letters do not differ at 5% probability by Tukey's test

O aumento no conteúdo de Na^+ na parte aérea das plântulas tratadas com NaCl e CaCl_2 está possivelmente relacionado com uns dos mecanismos de transporte de Na^+ para a parte aérea, através dos canais retificadores externos, em que esses canais exercem um importante papel no transporte de Na^+ para as células do xilema. Esses canais abrem-se durante a despolarização da membrana plasmática (i.e., mudança no potencial elétrico, diferenças para valores mais positivos), mediando, desta forma, o influxo de Na^+ e o efluxo de K^+ (Apse & Blumwald, 2007).

Um número elevado desses canais tem sido identificado. Um desses canais, conhecido como NORC (non-selective outward-rectifying conductance), não discrimina entre os cátions e é ativado por concentrações aumentadas de Ca^{2+} citosólico (Apse & Blumwald, 2007).

O conteúdo de K^+ nas raízes e caules foi significativamente reduzido na presença de NaCl . Essa redução foi respectivamente de 60% e 18%, em relação ao tratamento controle (Figura 2B). A presença de CaCl_2 3 mM no meio contendo NaCl 200 mM manteve o acúmulo de K^+ nas raízes e caules ao nível de controle (ausentes de NaCl). Nas folhas, não observamos diferenças no conteúdo de K^+ entre os tratamentos, exceto nas folhas velhas do tratamento que continham NaCl e CaCl_2 (Figura 2B).

Ebert et al. (2002), estudando os efeitos de concentrações de Ca^{2+} externo na absorção de nutrientes, em plântulas de goiabeira submetidas ao NaCl , verificaram um aumento na concentração de K^+ na parte aérea com o aumento das concentrações de Ca^{2+} no meio de cultivo.

Tabela 1. Relação K^+/Na^+ em raízes de cajueiro anão precoce, clone CCP 06, expostas a concentrações crescentes de NaCl e ao CaCl_2 (0,0; 0,3; 5,0 mM) por 48 horas

Table 1. K^+/Na^+ relation in dwarf cashew roots, clone CCP 06, exposed to increasing concentrations of NaCl and CaCl_2 (0.0; 0.3; 5.0 mM) for 48 hours

| Tratamento | NaCl (mM) | | | | |
|------------------------|-----------|------|------|------|------|
| | 0 | 100 | 200 | 300 | 400 |
| 0,0 mM CaCl_2 | 2,15 | 0,46 | 0,30 | 0,18 | 0,13 |
| 0,3 mM CaCl_2 | 2,16 | 0,44 | 0,30 | 0,22 | 0,16 |
| 5,0 mM CaCl_2 | 2,12 | 0,34 | 0,27 | 0,16 | 0,15 |

Tabela 2. Relação K^+/Na^+ em raízes de cajueiro anão precoce, clone CCP 06, expostas ao NaCl (0; 200 mM) e ao CaCl_2 (0,0; 3,0 mM) por 48 horas

Table 2. K^+/Na^+ relation in dwarf cashew roots, clone CCP 06, exposed to NaCl (0; 200 mM) and CaCl_2 (0.0; 3.0 mM) for 48 hours

| Tratamento | Partes | | | |
|--------------------------------|--------|-------|-------------|------------|
| | Raiz | Caule | Folha velha | Folha nova |
| Controle | 2,21 | 3,82 | 3,08 | 3,22 |
| $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+}$ | 0,15 | 0,75 | 1,01 | 1,93 |
| $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+}$ | 0,33 | 0,47 | 0,80 | 1,24 |

Shabala et al. (2005), estudando o efeito do Cálcio externo no fluxo de íons em cevada, verificaram que a suplementação de Ca^{2+} não se limita a um único sistema de transporte de íons ou local específico da planta. A suplementação de Ca^{2+} atua na regulação do transporte de K^+ através da membrana plasmática dos diversos órgãos da planta. Esses autores verificaram um aumento nas concentrações de K^+ nas folhas com o aumento da suplementação de Ca^{2+} no meio de cultivo.

A relação K^+/Na^+ nas raízes e diversos órgãos das plântulas foi significativamente reduzida na presença de NaCl no meio de cultivo (Tabelas 1 e 2). Nas raízes, essa relação ficou em torno de 2,0 e na parte aérea em torno de 3,0 para os tratamentos controles (ausentes de NaCl).

A presença de concentrações crescentes de NaCl no meio radicular reduziu essa relação nas raízes em 78%, 86%, 92% e 94%, respectivamente, para as concentrações de NaCl (100, 200, 300 e 400 mM), em comparação ao controle. Não foram observados aumentos nesta relação quando as plântulas foram submetidas ao CaCl_2 externo no meio contendo NaCl (Tabela 1).

A presença da concentração de NaCl 200 mM reduziu a relação K^+/Na^+ nos órgãos em 93%, 80%, 60% e 40%, respectivamente para raízes, caules, folhas velhas e folhas novas, em relação às plantas controle. Quando as plântulas foram expostas ao NaCl na presença de CaCl_2 3 mM, observamos um pequeno aumento nesta relação de aproximadamente 8% nas raízes em comparação ao tratamento que continha apenas NaCl .

No entanto, a presença de CaCl_2 externo diminuiu essa relação em 7%, 7% e 20%, respectivamente, para caules, folhas velhas e folhas novas, em relação aos tratamentos que continham apenas NaCl (Tabela 2).

A maior redução da relação K^+/Na^+ em plântulas de cajueiro expostas ao NaCl na presença de CaCl_2 aconteceu por conta do aumento da absorção de Na^+ ocasionada pelo Ca^{2+} no meio de cultivo, já que a presença desse íon manteve o conteúdo de K^+ ao nível de tratamentos controle.

Vários autores têm correlacionado a resistência à salinidade com uma adequada nutrição potássica nos tecidos vegetais, podendo a relação K^+/Na^+ ser utilizada como critério de seleção de materiais sensíveis e/ou resistentes ao estresse salino (Munns & Tester, 2008).

Uma relação K^+/Na^+ próxima de 1 é considerada o valor mínimo necessário para manter as funções metabólicas dependentes de K^+ e máxima resistência a concentrações de Na^+ (Munns & Tester, 2008). Isso aconteceu nas folhas das plântulas de cajueiro expostas ao NaCl . A seletividade do sistema radicular para o K^+ sobre o Na^+ deve ser suficiente para satisfazer os teores de K^+ requeridos para os processos metabólicos, regulação do transporte de íons e para o ajustamento osmótico (Munns & Tester, 2008).

O efeito benéfico da suplementação de Ca^{2+} no meio de cultivo em plantas expostas ao estresse salino está em aumentar a relação K^+/Na^+ das plantas. A suplementação de cálcio no ambiente radicular aumenta a absorção e transporte de K^+ , principalmente para os órgãos fotossintetizantes, além de reduzir a absorção e transporte de Na^+ para esses mesmos órgãos (Shabala et al., 2005).

Lacerda et al. (1995), estudando o efeito do Ca^{2+} e meio ambiente na composição mineral da parte aérea de plantas de feijão submetidas ao estresse salino, constataram que no ambiente com umidade relativa mais alta houve um aumento no conteúdo de Na^+ , não havendo diferença no conteúdo de K^+ na parte aérea destas plantas expostas a salinidade e suplementadas com Ca^{2+} .

No mesmo estudo quando plantas foram cultivadas em ambiente com umidade relativa mais baixa, a suplementação de Ca^{2+} diminuiu os níveis de Na^+ e aumentou o nível de K^+ na parte aérea destas plantas. Assim, os autores concluíram que o uso do Ca^{2+} como agente amenizador dos efeitos da salinidade depende, entre outros fatores, das condições ambientais nas quais as plantas são cultivadas.

CONCLUSÕES

A presença de Ca^{2+} externo no meio contendo NaCl aumenta a absorção e acúmulo de Na^+ nos diversos órgãos das plântulas de cajueiro anão precoce, além de a manter o conteúdo de K^+ nos órgãos das plântulas de cajueiro ao nível de tratamentos controles (ausentes de NaCl).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação Cearense de Amparo à Pesquisa (FUNCAP) pelo apoio financeiro destinado ao desenvolvimento dessa pesquisa, e à Embrapa Agroindústria Tropical, pelo fornecimento de parte do material vegetal utilizado.

LITERATURA CITADA

- Alves, F.A.L.; Silva, S.L.F.; Silva, E.N.; Silveira, J.A.G. Clones de cajueiro-anão precoce expostos ao estresse salino e ao acúmulo de potássio e sódio. *Revista Ciência Agronômica*, v.39, n.3, p.422-428, 2008.
- Alves, F.A.L.; Silva, S.L.F.; Silveira, J.A.G.; Pereira, V.L.A. Mecanismos fisiológicos envolvidos com a diminuição de K^+ em raízes de cajueiro causada por NaCl. *Revista Ciência Agronômica*, v.40, n.4, p.588-595, 2009.
- Apse, M.P.; Blumwald, E. Na^+ transport in plants. *FEBS Letters*, v.581, n.12, p.2247-2254, 2007.
- Bezerra, I.L.; Cheyi, H.R.; Fernandes, P.D.; Santos, F.J. De S.; Gurgel, M.T.; Nobre R.G. Germinação, formação de porta-enxertos e enxertia de cajueiro anão precoce, sob estresse salino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n.3, p.420-424, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662002000300007>
- Bezerra, M.A.; Lacerda, C.F.; Filho, E.G.; Abreu, C.E.B.; Prisco, J.T. Physiology of cashew plants grown under adverse conditions. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v.19, n.4, p.449-461, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S1677-04202007000400012>
- Carneiro, P.T.; Cavalcanti, M.L.F.; Brito, M.E.B.; Gomes, A.H.S.; Fernandes, P.D.; Gheyi, H.R. Sensibilidade do cajueiro anão precoce ao estresse salino na pré-floração. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.2, n.2, p.150-155, 2007.
- Dantas, J.P.; Marinho, F.J.L.; Ferreira, M.M.M.; Amorim, M.S.N.; Andrade, S.I.O.; Sales, A.L. Avaliação de genótipos de caupi sob salinidade. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n.3, p.425-430, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662002000300008>
- Dipolo, R.; Beaugé, L. Sodium/calcium exchanger: influence of metabolic regulation on ion carrier interactions. *Physiological Reviews*, v.86, n.1, p.155-203, 2006. <http://dx.doi.org/10.1152/physrev.00018.2005>
- Ebert, G. Eberle, H.; Ali-Dinar, H.; Lüdders, P. Ameliorating effects of $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ on growth, mineral uptake and photosynthesis of NaCl-stressed guava seedlings (*Psidium guajava* L.). *Scientia Horticulturae*, v.93, n.2, p.125-135, 2002. [http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4238\(01\)00325-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4238(01)00325-9)
- Ferreira-Silva, S.L.; Silveira, J.A.G.; Voigt, E.L.; Soares, L.S.P.; Viégas, R.A. Changes in physiological indicators associated with salt tolerance in two contrasting cashew rootstocks. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v.20, n.1, p.51-59, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S1677-04202008000100006>
- Hoagland, D.R., Arnon, D.I. The water culture method for growing plants without soil. Berkeley: University of California, 1950. 31p. (Circular, 347).
- 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*, v.28, n.2, p.289-295, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000200007>
- Lacerda, C.F.; Silva, J.V.; Prisco, J.T. Efeito do Ca^{2+} e do meio ambiente na composição mineral da parte aérea de plantas de feijão de corda submetidas a estresse salino. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 25., 1995, Viçosa. Anais... Viçosa: SBCS, 1995. v.2, p.553-555.
- Melloni, R.; Silva, F.A.M.; Carvalho, J.G. Cálcio, Magnésio e Potássio como amenizadores dos efeitos da salinidade sobre a nutrição mineral e o crescimento de mudas de Aroeira (*Myracrodruon urundeuva*). *Cerne*, v.6, n.2, p.35-40, 2000.
- Miranda, M.F.A.; Pessoa, L.G.M.; Freire, M.B.G.S.; Freire, F.J. Correção de solo salino-sódico com soluções de cloreto de cálcio cultivado com sorgo sudanense. *Revista Caatinga*, v.21, n.5, p.18-25, 2008.
- Munns, R.; Tester, M. Mechanisms of Salinity Tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, v.59, p.651-681, 2008. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- Shabala, S.; Shabala, L.; Volkenburgh, E.V.; Newman, L. Effect of divalent cations on ion fluxes and leaf photochemistry in salinized barley leaves. *Journal of Experimental Botany*, v. 56, n.415, p.1369-1378, 2005. <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/eri138>
- Silva, J.V.; Lacerda, C.F.; Costa, P.H.A.; Filho, J.E.; Gomes-Filho, E.; Prisco, J.T. Physiological responses of NaCl stressed cowpea plants grown in nutrient solution supplemented with CaCl_2 . *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v.15, n.2, p.99-105, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S1677-04202003000200005>

- Viégas, R.A.; Silveira, J.A.G.; Silva, L.M.M.; Viégas, P.R.A.; Queiroz, J.E.; Rocha, I.M. Redução assimilatório de NO_3^- em plantas de cajueiro cultivados em meio salinizados. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.8, n.2-3, p.189-195, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662004000200005>
- Voigt, E.L.; Almeida, T.D.; Chagas, R.M.; Ponte, L.F.A.; Viégas, R.A.; Silveira, J.A.G. Source-sink regulation of cotyledonary reserve mobilization during cashew (*Anacardium occidentale*) seedling establishment under NaCl salinity. *Journal of Plant Physiology*, v.166, n.1, p.80-89, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jplph.2008.02.008>
- Wieneke, J.; Läuchli, A. Effects of salt stress on distribution of Na^+ and some other cations in two soybean varieties differing in salt tolerance. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, v.143, n.1, p.55-67, 2007. <http://dx.doi.org/10.1002/jpln.19801430108>