



Revista Ciência Agronômica

ISSN: 0045-6888

ccarev@ufc.br

Universidade Federal do Ceará

Brasil

Lemos Alves, Francisco Abel; Ferreira-Silva, Sérgio Luiz; Batista Dutra Araújo, Antônia Tathiana;

Arcanjo Pereira, Vanda Lúcia; Gomes da Silveira, Joaquim Albeníssio

Cinética de absorção de K⁺ na ausência e presença de Na⁺ em raízes de cajueiro

Revista Ciência Agronômica, vol. 43, núm. 3, julio-septiembre, 2012, pp. 439-445

Universidade Federal do Ceará

Ceará, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=195322286004>

- ▶ 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

Cinética de absorção de K⁺ na ausência e presença de Na⁺ em raízes de cajueiro¹

Kinetics of K⁺ absorption in the absence and presence of Na⁺ in roots cashew tree

Francisco Abel Lemos Alves², Sérgio Luiz Ferreira-Silva³, Antônia Tathiana Batista Dutra Araújo³, Vanda Lúcia Arcanjo Pereira⁴ e Joaquim Albeníssio Gomes da Silveira^{3*}

RESUMO - Um dos efeitos da salinidade causado por excesso de Na⁺ nos solos é a redução dos níveis de K⁺ nos tecidos vegetais. O trabalho objetivou caracterizar as vias de absorção de K⁺ de alta e baixa afinidade em raízes de cajueiro na ausência e presença de concentrações de Na⁺. Os estudos de cinética de absorção de K⁺ na ausência e presença de NaCl foram realizados com raízes destacadas de plântulas de cajueiro cultivadas sob privação de K⁺. O excesso de Na⁺ no meio externo causou redução da absorção de K⁺ pelos sistemas de alta e de baixa afinidade. A redução da absorção de K⁺, causada pelo excesso de Na⁺ no meio, nas raízes de cajueiro ocorre por mecanismo competitivo. Esse tipo de competição foi evidenciado pelo aumento dos valores de K_m para a absorção de K⁺ induzido pelo Na⁺ externo, sem alterar os valores de V_{máx}. Os resultados mostram que a salinidade pode comprometer a aquisição e a utilização de K⁺ em plantas de cajueiro.

Palavras-chave: Cajú. Plantas-efeito do sal. Plantas-efeito do potássio.

ABSTRACT - One effect of the salinity caused by an excess of Na⁺ in soils, is the reduction in levels of K⁺ in plant tissue. The study aimed to characterize the process of high and low-affinity absorption of K⁺ in cashew roots, in both the absence and presence of concentrations of Na⁺. Studies of the kinetics of K⁺ absorption in the absence and presence of NaCl were carried out using detached roots from cashew seedlings grown under K⁺ deprivation. The excess of Na⁺ in the external environment caused a reduction in K⁺ absorption by both the high and low-affinity systems. The reduction in the absorption of K⁺ in the roots of the cashew tree, caused by the excess Na⁺ in the environment, happens through competitive means. This type of competition was evidenced by the increase in Km values for the K⁺ absorption induced by the external Na⁺, without changing the values of Vmax. The results show that salinity may affect the acquisition and use of K⁺ in cashew plants.

Key words: Cashew. Plants-effect of salt. Plants-effect of potassium.

* Autor para correspondência

¹Recebido para publicação em 02/10/2010; aprovado em 13/01/2012

Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioquímica, CC/UFC

²Instituto Agrônomo de Pernambuco-IPA, Escritório Municipal de Pedra, Rua Major Lourenço Diniz, 111, Centro, Pedra-PE, Brasil, 55.280-000, abel.alves@ipa.br

³Laboratório de Metabolismo do Estresse em Plantas, Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular, Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, Brasil, agrosergol@yahoo.com.br; tathianadutra@yahoo.com.br; silveira@ufc.br

⁴Instituto Agrônomo de Pernambuco-IPA, Estação Experimental de Arcoverde, Arcoverde-PE, Brasil, vanda.arcanjo@ipa.br

INTRODUÇÃO

A salinidade dos solos é um dos principais fatores ambientais que limita a produtividade agrícola. O aumento do conteúdo de Na^+ no tecido foliar pode afetar processos fisiológicos e bioquímicos dependentes de K^+ , como a abertura estomática, a fotossíntese, a respiração e a síntese de proteínas, devido à similaridade físico-química entre esses dois íons (APSE; BLUMWALD, 2007). Esses distúrbios são reflexos da toxicidade iônica e estão associados com alterações nas proporções de nutrientes no tecido, principalmente na razão K^+/Na^+ , que afetam a homeostase iônica celular (ZHU, 2003).

Além de causar toxicidade iônica, concentrações elevadas de Na^+ no meio de crescimento podem restringir a absorção de K^+ pelo sistema radicular (FERREIRA-SILVA *et al.*, 2008), comprometendo as funções metabólicas desse nutriente (AMORIM *et al.*, 2010). A restrição da absorção de K^+ em raízes sob salinidade está relacionada aos sistemas de transporte de K^+ na plasmalema (MARTINEZ-CORDERO; MARTINEZ; RUBIO, 2005). O influxo de K^+ nas células ocorre por dois sistemas específicos, denominados de alta e de baixa afinidade (MAATHUIS; SANDERS, 1994). O sistema de baixa afinidade é responsável pela absorção de K^+ em meios em que a concentração de K^+ é relativamente elevada (faixas de mM), enquanto que o de alta afinidade é responsável pela absorção em baixas concentrações (faixa de μM) de potássio (EPSTEIN; RAINS; ELZAM, 1963).

Por sua vez, o influxo do Na^+ na célula ocorre principalmente por canais de cátions não seletivos (TESTER; DAVENPORT, 2003), mas pode competir pelos sistemas de absorção de K^+ , principalmente com aquele de alta afinidade (MÁSER *et al.*, 2002; ZHU, 2003). O influxo de Na^+ pelo sistema de alta afinidade para a absorção de K^+ ocorre devido à similaridade do raio iônico desses dois cátions (ZHU, 2003), e representa uma das bases da toxicidade iônica da salinidade para as plantas (MAATHUIS; AMTMANN, 1999). Embora o sistema de alta afinidade possua uma maior seletividade K^+/Na^+ durante a absorção, em meios com concentração elevada de Na^+ essa via pode permitir significativo influxo de Na^+ (ZHU, 2003).

Sob condições fisiológicas normais, a concentração citosólica de K^+ na célula vegetal é de cerca de 150 mM (HIGINBOTHAM, 1973), enquanto a concentração de Na^+ é relativamente baixa (1–10 mM) (CARDEN *et al.*, 2003). No entanto, a acumulação excessiva de Na^+ no citosol (ZHU, 2000) pode levar à redução significativa da relação K^+/Na^+ , o que está diretamente associada com a sensibilidade ao estresse

(DASGAN *et al.*, 2002). A perda de K^+ celular induzida pela salinidade é resultado de uma despolarização da membrana e ativação de canais associados com o efluxo de K^+ da célula (SHABALA *et al.*, 2003).

O conteúdo de K^+ em raízes de plântulas de cajueiro é severamente reduzido sob condições de salinidade, o que ocorre associado a uma forte restrição do crescimento desse órgão (PONTE *et al.*, 2011). Essa restrição de crescimento da raiz imposta pelo estresse salino também está associado com aumento da relação Na^+/K^+ , indicando desbalanço nutricional (PONTE *et al.*, 2011). Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da salinidade, induzida por NaCl , nas vias de absorção de baixa e de alta afinidade de potássio em raízes de cajueiro.

MATERIAL E MÉTODOS

As plântulas de cajueiro foram obtidas em casa de vegetação do Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE. No interior da casa de vegetação, a temperatura variou de 28 a 36 °C durante o dia, e de 24 a 27 °C durante a noite, e a umidade relativa do ar variou de 40 a 80%. A radiação fotossintética ativa máxima foi de 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).

Sementes de cajueiro anão-precoce (*Anacardium occidentale* L.), clone CCP 06, foram desinfetadas em solução de hipoclorito de sódio comercial a 10% (v/v) durante 10 minutos, seguido de lavagem com água destilada para remover os resíduos do esterilizante. Após a lavagem, as sementes foram embebidas em água destilada por 24 horas e em seguida foram semeadas em vermiculita, em vasos de 800 mL, e irrigadas diariamente com água destilada por 30 dias. Para os ensaios de cinética de absorção de K^+ as plântulas foram pré-expostas por 15 dias à solução nutritiva com restrição de K^+ . Essa estratégia foi utilizada visando aumentar a capacidade de absorção de K^+ pelas raízes durante os ensaios de curto tempo (100 minutos).

Aos 30 dias após o plantio, plântulas homogêneas (com oito folhas expandidas) foram transferidas para sistema de crescimento hidropônico, em vasos de 900 mL, contendo solução nutritiva sem potássio, com a seguinte composição: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 750 μM ; NH_4Cl 250 μM ; $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 62,5 μM ; MgSO_4 125 μM ; H_3BO_3 10 μM ; MnCl_2 2,25 μM ; CuSO_4 0,75 μM ; ZnMoO_4 1,75 μM ; Na_2MoO_4 0,025 μM e Fe-EDTA 25 μM , com pH 6,0. O volume da solução foi completado diariamente com água destilada ao final

da tarde, e a solução foi trocada a cada cinco dias. As plântulas permaneceram por 15 dias sob essas condições de cultivo e não apresentaram nenhum sintoma visível de deficiência de K⁺ durante esse período.

Os experimentos de cinética para a absorção de K⁺, na ausência e presença de NaCl, foram realizados utilizando raízes isoladas (destacadas) das plântulas. Para esses ensaios, as raízes foram destacadas das plântulas e imediatamente imersas em solução de CaCl₂ 1,5 mM, em temperatura ambiente durante 20 minutos. Em seguida, as raízes foram transferidas para Balão de Erlenmeyer de 250 mL contendo 100 mL de solução de CaCl₂ 1,5 mM, contendo diferentes concentrações de NaCl e KCl, conforme ensaios descritos abaixo. Todos os ensaios foram realizados em banho-maria à temperatura de 30 °C, e os meios líquidos utilizados nos ensaios foram tamponados com tampão MES 1,0 mM e TRIS 0,5 mM em pH 6,0. As concentrações de K⁺ foram determinadas em fotômetro de chama e estimadas utilizando curva padrão de KCl. Os dados de absorção foram utilizados para estimar as constantes cinéticas V_{máx} e K_m pelo modelo de Michaelis-Menten, seguido da transformação linear pelo método de Lineweaver-Burk (gráfico duplo recíproco, pela relação entre 1/[K⁺] do meio *versus* 1/absorção de K⁺).

Foram realizados cinco ensaios para caracterizar a absorção de K⁺ na ausência e presença de Na⁺, usando KCl (fonte de K⁺) e NaCl (fonte de Na⁺). A redução da concentração de K⁺ nos meios de incubação foi monitorada em cada ensaio pela medida da concentração de K⁺ em alíquotas retiradas dos meios de incubação. Os dados foram utilizados para caracterizar o padrão cinético de absorção de K⁺ pelas raízes nos diferentes ensaios. No primeiro ensaio foi avaliada a capacidade de absorção de K⁺ pelas raízes, pela incubação da raiz ($\pm 3,0$ g de massa fresca) em meio contendo K⁺ 100 μM por 100 minutos. No segundo ensaio foi avaliada a cinética de absorção de K⁺ em concentrações na faixa de absorção do sistema de alta afinidade. As raízes foram incubadas em concentrações crescente de K⁺ (0; 10; 20; 30; 40; 50 μM de KCl), faixa de alta afinidade, por 60 minutos.

No terceiro ensaio as raízes foram expostas a concentrações crescentes de K⁺ (0; 100; 200; 400; 600; 800; 1000 μM de KCl) na ausência e presença de NaCl, dentro da faixa de absorção de alta afinidade, por 60 minutos. No quarto ensaio foi avaliado o efeito do K⁺ do meio na redução de absorção de Na⁺, pela incubação das raízes em concentrações crescentes de NaCl (0; 25; 50; 75; 100 mM) na presença de KCl 100 μM, por 100 minutos. No quinto ensaio foi avaliada a restrição induzida pelo Na⁺ na absorção de K⁺ nas raízes na faixa de absorção de baixa afinidade por K⁺. As raízes foram submetidas a níveis crescentes de K⁺ (0; 2; 4; 6; 8 e 10

mM de KCl), faixa de baixa afinidade, na ausência e presença de NaCl 100 mM por 60 minutos.

Os cinco ensaios foram realizados em delineamento inteiramente casualizado com três repetições por tratamento, com cada repetição representada pelo meio de incubação contendo uma raiz ($\pm 3,0$ g de massa fresca planta⁻¹). Os resultados foram analisados estatisticamente com base na análise de tendência das médias, através de curvas ajustadas por regressão polinomial, e a análise de variância pelo teste de Durbin-Watson em 1% de significância. O desenho experimental de cada ensaio foi realizado conforme descrição a seguir.

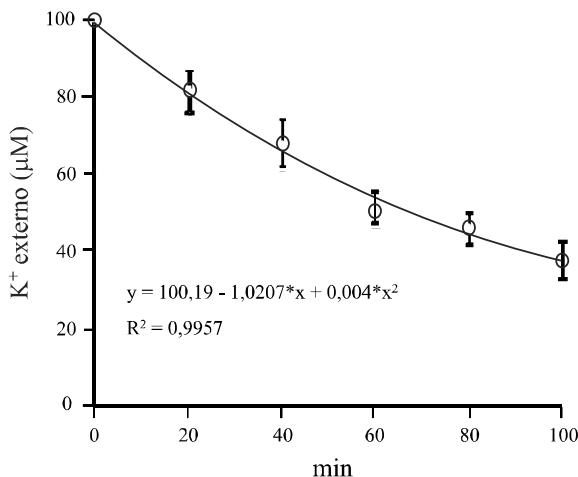
No primeiro ensaio os tratamentos consistiram de seis tempos de incubação em KCl 100 μM (seis tratamentos). No segundo ensaio as raízes foram incubadas em 0; 10; 20; 30; 40; 50 μM de KCl (seis tratamentos). O terceiro ensaio foi realizado em fatorial 2 x 7, dois níveis de NaCl (0 e 100 mM) e sete níveis de KCl (0; 100; 200; 400; 600; 800 e 1.000 μM), com quatorze tratamentos. No quarto ensaio, os tratamentos consistiram de um nível de KCl (100 μM) e cinco de NaCl (0; 25; 50; 75; 100 mM), com cinco tratamentos, e o quinto ensaio foi em fatorial 2 x 6, dois níveis de NaCl (0 e 100 mM) e seis níveis de KCl (0; 2; 4; 6; 8 e 10 mM), com doze tratamentos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As raízes destacadas de plântulas de cajueiro, cultivadas sob privação de potássio, apresentaram significativa absorção de K⁺ do meio de incubação, promovendo uma redução de 60% da concentração inicial (100 μM) em apenas 100 minutos (Figura 1). A quantidade de K⁺ absorvida pelo tecido radicular nesse intervalo de tempo aumentou progressivamente e atingiu valores máximos de 19 μmol g⁻¹ MS a partir dos 80 minutos (Figura 5). Resultados similares foram obtidos com raízes de plantas de cevada (SANTA-MARÍA; DANNA, CZIBENER, 2000), de trigo (SANTA-MARÍA; EPSTEIN, 2001), de arroz (BAÑUELOS *et al.*, 2002), de pimenta (MARTÍNEZ-CORDERO; MARTÍNEZ; RUBIO, 2005), de tomate (NIEVES-CORDONES *et al.*, 2007), de eucalipto (LIMA *et al.*, 2005), de milho (HORN *et al.*, 2006) e feijão Caupi (VOIGT, 2008), onde as mesmas foram capazes de absorver significativas quantidades de K⁺ do meio externo.

Esse ensaio de absorção utilizando uma concentração de K⁺ na faixa de absorção de alta afinidade (100 μM) demonstra a atividade desse sistema

Figura 1 - Redução da concentração de K⁺ no meio de incubação devido à absorção pelas raízes isoladas em diferentes tempos de incubação durante 100 minutos. A concentração inicial de K⁺ no meio de incubação foi de 100 µM e a redução de concentração durante o ensaio foi obtida por medidas da concentração K⁺ em alíquotas coletadas a cada 20 minutos. Os dados representam médias de três repetições. * Coeficientes significativos a 1



para o influxo de K⁺, e mostra que as raízes destacadas representam um bom modelo para o estudo de absorção de K⁺. Os dois ensaios de absorção utilizando duas faixas de concentração externa de K⁺ correspondentes a absorção de alta afinidade, uma com concentrações entre 0 e 50 µM e outra variando de 0 a 1.000 µM na ausência e presença de NaCl, foram utilizados para estimar as constantes cinéticas V_{máx} e K_m (Figura 2 e 3). Os valores de V_{máx} e K_m calculados na ausência do NaCl pelo modelo Michaelis-Menten foram de 0,093 µmol K⁺ g⁻¹ MS min⁻¹ e 35 µM, faixa de 0 a 50 µM, e de 0,87 µmol K⁺ g⁻¹ MS min⁻¹ e 583 µM, faixa de 0 a 1.000 µM, respectivamente (Tabela 1).

Na presença do NaCl 100 mM no meio de incubação, a cinética de absorção de K⁺ pelas raízes na faixa de concentração de K⁺ entre 0 e 1.000 µM revelou uma interferência do Na⁺ na absorção do K⁺ (Figura 3). A adição do Na⁺ no meio não causou mudanças na V_{máx} para a absorção de K⁺, porém provocou um aumento de K_m de 583 µM para 774 µM, acréscimo de 32% (Tabela 1). Em seguida, a análise cinética da absorção de K⁺ na faixa de concentrações de K⁺ correspondente à baixa afinidade revelou que o excesso de Na⁺ no meio também afetou esse sistema de transporte. O aumento do conteúdo de K⁺ no tecido da raiz foi proporcional ao aumento da concentração de K⁺ no meio externo, na ausência e presença do NaCl (Figura 4). No entanto, na ausência do NaCl foi observado um acúmulo máximo

de 1,7 µmol K⁺ g⁻¹ MS após 60 minutos de incubação na presença de KCl 10 mM, enquanto na presença do NaCl 100 mM esse conteúdo foi de apenas 1,0 µmol K⁺ g⁻¹ MS, redução de 41% (Figura 4).

Os resultados obtidos demonstram claramente que a presença de NaCl no meio de crescimento pode

Figura 2 - Absorção de K⁺ (influxo líquido) por raízes isoladas de cajueiro em resposta ao aumento da concentração de K⁺ no meio externo dentro de uma faixa correspondente ao sistema de absorção de alta afinidade para K⁺ (0-50 µM). Os dados representam médias de três repetições. * Coeficientes significativos a 1%

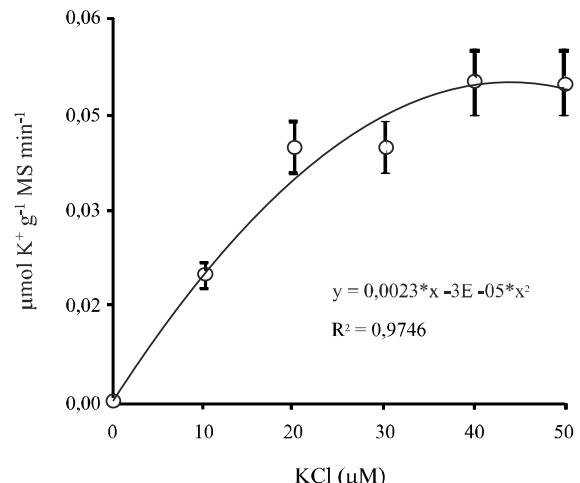


Figura 3 - Efeito da concentração externa de K⁺ sobre o influxo líquido de K⁺, na faixa de alta afinidade de absorção, na ausência e presença de NaCl, em raízes de plântulas de cajueiro, cultivadas sob privação de K⁺. * Coeficientes significativos a 1%

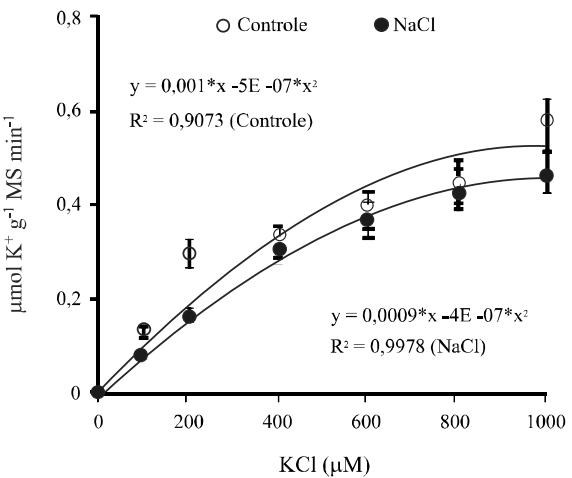
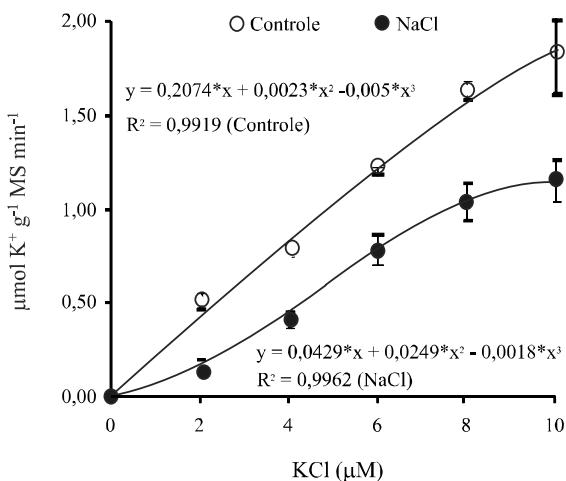


Tabela 1 - Valores médios de K_m e V_{máx} estimados para a absorção de K⁺ via sistemas de alta e de baixa afinidade para raízes isoladas de plântulas cajueiro, na ausência e presença de NaCl. As raízes utilizadas nos ensaios foram destacadas de plântulas pré-cultivadas sob privação de potássio durante 15 dias

KCl (Faixa)	NaCl (mM)	V _{máx}	K _m
0-50 µM	0	0,093 µmol g ⁻¹ MS min ⁻¹	35 µM
0-1000 µM	0	0,87 µmol g ⁻¹ MS min ⁻¹	583 µM
0-1000 µM	100	0,84 µmol g ⁻¹ MS min ⁻¹	774 µM
0-10 mM	0	3,19 µmol g ⁻¹ MS min ⁻¹	11 mM
0-10 mM	100	2,80 µmol g ⁻¹ MS min ⁻¹	12 mM

Figura 4 - Efeito da concentração externa de K⁺ sobre o influxo líquido de K⁺, na faixa de baixa afinidade de absorção, em raízes de cajueiro, cultivados sob privação de K⁺. * Coeficientes significativos a 1%



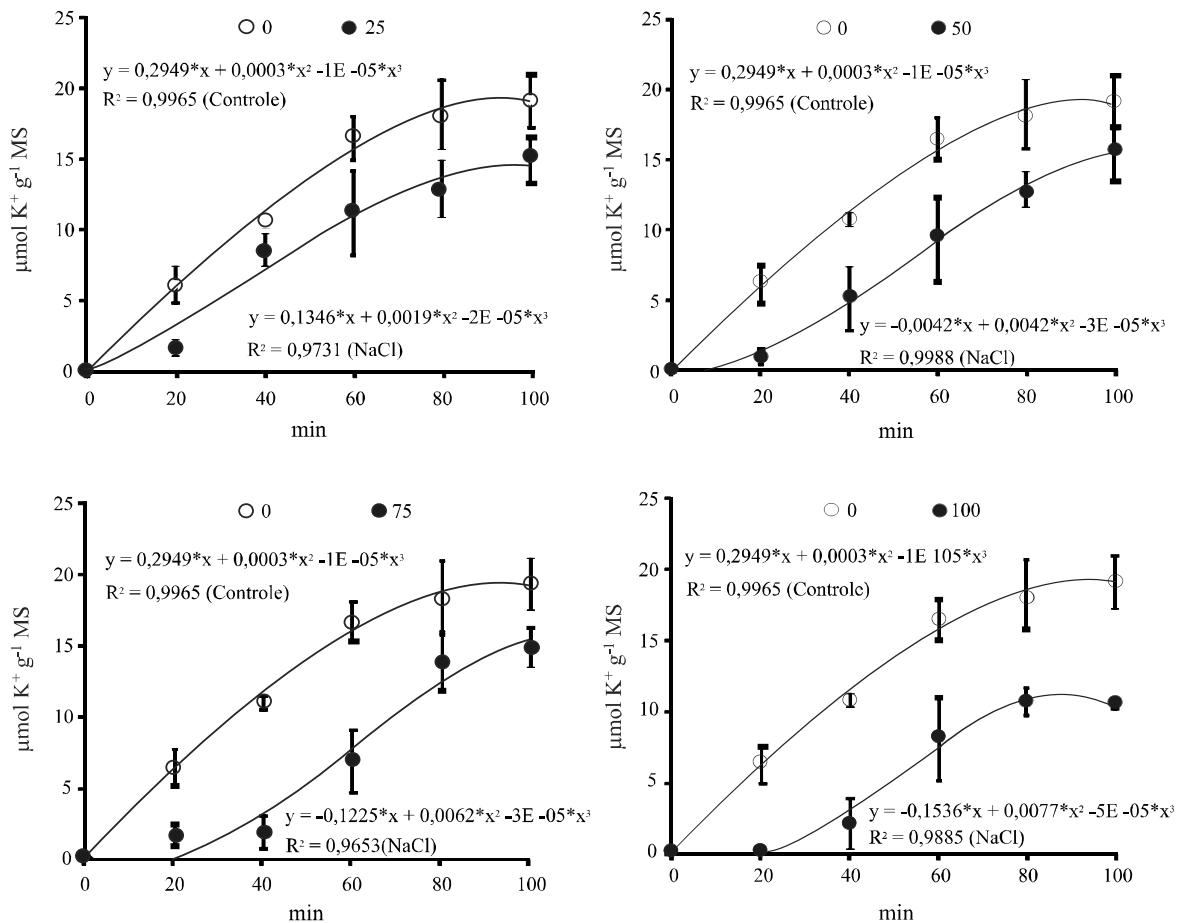
comprometer os sistemas de absorção de K⁺ nas faixas de concentração de K⁺ correspondentes aos sistemas de alta e de baixa afinidade. Esses resultados podem ainda explicar em parte a forte redução do conteúdo de K⁺ em raízes de plantas de cajueiro quando cultivadas sob condições de salinidade (FERREIRA-SILVA *et al.*, 2008). Com relação à cinética de absorção de K⁺ em concentrações correspondentes a faixa de absorção de baixa afinidade, os resultados mostram que a presença do Na⁺ no meio não afetou a V_{máx} de absorção, porém levou a um aumento do valor de K_m, de 11 mM na ausência do NaCl para 12 mM na presença (Tabela 1). A restrição à absorção de K⁺ pelas raízes em concentração de K⁺ equivalentes ao sistema de alta afinidade foi proporcional ao aumento do NaCl no meio externo. A redução do influxo de K⁺ foi mais

significativa nos primeiros 20 minutos, com reduções de 83; 70; 78 e 97%, para os tratamentos com NaCl 25; 50; 75 e 100 mM, respectivamente (Figura 5).

Valores aproximados de K_m aos obtidos aqui foram observados em milho, variando de 30 a 39 µM (HORN *et al.*, 2006), e Arabidopsis, cerca de 44 µM (FU; LUAN, 1998). Os valores ressaltados na literatura de K_m para a absorção de K⁺ de alta afinidade, em diversas culturas, variaram entre 10 e 130 µM (SZCZERBA, 2008). Em relação ao V_{máx} os valores encontrados na literatura variam de 0,03 a 34 µmol g⁻¹ min⁻¹ (SZCZERBA, 2008). Os valores observados de 0,093 e 0,87 µmol g⁻¹ MS min⁻¹, são inferiores aos encontrados para pimenta, de 1,72 µmol g⁻¹ MS min⁻¹ (MARTÍNEZ-CORDERO; MARTÍNEZ; RUBIO, 2005) e para arroz, de 3,2 µmol g⁻¹ MS min⁻¹ (BAÑUELOS *et al.*, 2002). O valor observado de 0,87 µmol g⁻¹ MS min⁻¹ também foi reportado para cultivares de trigo (SANTA-MARÍA; EPSTEIN, 2001) e milho (HORN *et al.*, 2006), valores próximos foram encontrados, de 1,0 µmol g⁻¹ MS min⁻¹ para clones de eucaliptos (LIMA *et al.*, 2005) e de 1,39 µmol g⁻¹ MS min⁻¹ para feijão caupi (VOIGT, 2008).

Os resultados do presente estudo indicam o tipo de inibição da absorção de K⁺ desencadeada pelo Na⁺. Em ambos os casos, em baixa e alta afinidade, a presença do NaCl no meio de incubação não afetou a velocidade máxima de absorção (V_{máx}), porém resultou em aumento dos valores de K_m. Esse padrão de alteração nas constantes cinéticas, com aumento de K_m sem alterar a V_{máx}, demonstra que o tipo de interferência exercida pelo Na⁺ sobre ambos os sistemas de absorção de K⁺ em raízes de cajueiro corresponde a uma inibição do tipo competitiva (LEHNINGER; NELSON; COX., 2006). Nesse tipo de inibição os dois íons (Na⁺ e K⁺) competem pelos sítios de ligação nas proteínas envolvidas com o transporte de K⁺ na plasmalema de células da raiz.

Figura 5 - Efeito das concentrações crescentes de NaCl externas sob o influxo líquido de K⁺, na faixa de alta afinidade de absorção, em raízes de cajueiro, cultivados sob privação de K⁺. * Coeficientes significativos a 1%



CONCLUSÕES

1. A salinidade reduz o conteúdo de K⁺ no sistema radicular de plântulas de cajueiro devido à restrição da absorção pelas raízes;
2. O excesso de Na⁺ no meio restringe a absorção de K⁺ pelos sistemas de alta e de baixa afinidade responsáveis pela absorção de K⁺ por mecanismo competitivo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à 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 (sementes) utilizado nesse estudo.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, A. V. *et al.* Respostas fisiológicas de plantas adultas de cajueiro anão precoce à salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 1, p. 113-121, 2010.
- APSE, M. P.; BLUMWALD, E. Na⁺ transport in plants. **FEBS Letters**, v. 581, n. 1, p. 2247-2254, 2007.
- BAÑUELOS, M. A. *et al.* Inventory and Functional Characterization of the HAK Potassium Transporters of Rice. **Plant Physiology**, v. 130, n. 2, p. 784-795, 2002.
- CARDEN, D. E. *et al.* Single cell measurements of the contributions of cytosolic Na⁺ and K⁺ to salt tolerance. **Plant Physiology**, v. 131, n. 2, p. 676-683, 2003.

- DASGAN, H. Y. *et al.* Determination of screening techniques to salinity tolerance in tomatoes and investigation of genotype responses. **Plant Science**, v. 163, n. 4, p. 695-703, 2002.
- EPSTEIN, E.; RAINS, D. W.; ELZAM, O. E. Resolution of dual mechanisms of potassium absorption by barley roots. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 49, n. 5, p. 684-692, 1963.
- FERREIRA-SILVA, S. L. *et al.* 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.
- FU, H.; LUAN, S. AtKUP1: dual-affinity K⁺ transporter from Arabidopsis. **The plant Cell**, v. 10, n. 1, p. 63-73, 1998.
- HORN, D. *et al.* Parâmetros cinéticos e morfológicos da absorção de nutrientes em cultivares de milho com variabilidade genética contrastante. **Revista Brasileira de ciência dos Solos**, v. 30, n. 1, p. 77-85, 2006.
- HIGINBOTHAM, N. Electropotentials of plant cells. **Annual Reviews of Plant Physiology**, v. 24, n. 1, p. 25-46, 1973.
- LEHNINGER, A. L.; NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de Bioquímica**. 4. ed. São Paulo: Sarvier, 2006. 1232 p.
- LIMA, A. M. N. *et al.* Cinética de absorção e eficiência nutricional de K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ em plantas jovens de Quatro Clones de Eucalipto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 29, n. 6, p. 903-909, 2005.
- MÁSER, P. *et al.* Altered shoot/root NaR distribution and bifurcating salt sensitivity in Arabidopsis by genetic disruption of the NaR transporter AtHKT1. **FEBS Letter**, v. 161, n. 1, p. 531-157, 2002.
- MAATHUIS, F. J. M.; SANDERS, D. Mechanisms of high potassium uptake in roots of *Arabidopsis thaliana*. **Proceeding of the National Academy of Sciences**, v. 91, n. 20, p. 9272-9276, 1994.
- MAATHUIS, F. J. M.; AMTMANN, A. K⁺ Nutrition and Na⁺ Toxicity: Bases of Cellular K⁺/Na⁺ Ratios. **Annals of Botany**, v. 84, n. 2, p. 123-133, 1999.
- MARTINEZ-CORDERO, M.; MARTINEZ, V.; RUBIO, F. High-affinity K⁺ uptake in pepper plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 56, n. 416, p. 1553-1562, 2005.
- NIEVES-CORDONES, M. *et al.* An NH₄⁺-sensitive component dominates high-affinity K⁺ uptake in tomato plant. **Plant Science**, v. 172, n. 2, p. 273-280, 2007.
- PONTE, L. F. A. *et al.* Variabilidade de indicadores fisiológicos de resistência à salinidade entre genótipos de cajueiro-anão e gigante. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 1, p. 1-8, 2011.
- SANTA-MARÍA, G. E.; DANNA, C. H. CZIBENER, C. High-affinity potassium transport in barley roots. Ammonium-sensitive and - insensitive pathways. **Plant Physiology**, v. 123, n. 1, p. 297-306, 2000.
- SANTA-MARÍA, G. E.; EPSTEIN, E. Potassium/sodium selectivity in wheat and the amphiploid cross wheat X *Lophopyrum elongatum*. **Plant Science**, v. 160, n. 3, p. 523-534, 2001.
- SHABALA, S. Regulation of potassium transport in leaves: from molecular to tissue level. **Annals of Botany**, v. 92, n. 5, p. 627-634, 2003.
- SZCZERBA, M. W. **Physiology of potassium nutrition in cereals: Fluxes, Compartmentation, and Ionic interactions**. 2008. 224 f. Tese (Doutorado em Filosofia) - University of Toronto, Toronto, 2008.
- TESTER, M.; DAVENPORT, R. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. **Annals Botany**, v. 91, n. 5, p. 503-527, 2003.
- VOIGT, E. L. **Transporte e homeostase Na⁺/K⁺ sob condições de sodicidade em feijão caupi**. 2008. 124 f. Tese (Doutorado em Bioquímica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.
- ZHU, J. K. Genetic analysis of plant salt tolerance using Arabidopsis. **Plant Physiology**, v. 124, n. 3, p. 941-948, 2000.
- ZHU, J.K. Regulation of ion homeostasis under salt stress. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 6, n. 5, p. 441-445, 2003.