



Temperaturas elevadas afetam a distribuição de íons em plantas de feijão caupi pré-tratadas com NaCl¹

Antonia T. B. Dutra², Evandro N. Silva², Cícera R. F. Rodrigues², Suyanne A. Vieira²,
Rafael M. Aragão² & Joaquim A. G. Silveira²

RESUMO

Objetivou-se com este trabalho caracterizar o efeito de diferentes temperaturas sobre a distribuição de Na⁺, Cl⁻ e K⁺ em raízes, caules e folhas de feijão caupi pré-tratadas com NaCl. Após o período de aclimação as plantas foram divididas em 2 grupos: 0 NaCl e 100 mM de NaCl por 2 dias. Posteriormente, as plantas foram divididas em 4 subgrupos e submetidas a temperaturas crescentes de 27, 32, 37 e 42 °C, separadamente, por um fotoperíodo de 12 h para cada temperatura. O tratamento sem NaCl a 27 °C foi adotado como referência. As concentrações de Na⁺ e Cl⁻ nos diferentes órgãos foram aumentadas pelo pré-tratamento com NaCl e esta acumulação foi intensificada com a exposição a altas temperaturas. Nas raízes, por exemplo, observou-se que na temperatura de 42 °C as concentrações de Na⁺ foram 4 vezes maiores do que nas folhas, enquanto o Cl⁻ se acumulou principalmente nas folhas, tendo um aumento de 20 vezes na concentração deste íon em relação às plantas referência. Inversamente, as concentrações de K⁺ foram reduzidas em todos os órgãos analisados. Desta forma, conclui-se que temperaturas elevadas afetam a distribuição de íons nos diferentes órgãos afetando diretamente a homeostase iônica das plantas.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*, estresse salino, calor

High temperatures affect ion distribution in NaCl-pretreated cowpea plants

ABSTRACT

The purpose of this study was to characterize the effect of temperature on the distribution of Na⁺, Cl⁻ and K⁺ in roots, stems and leaves of cowpea pre-treated with NaCl. After the acclimation period, plants were divided into two groups: 0 NaCl and 100 mM NaCl for 2 days. Subsequently, the plants were divided into 4 sub-groups and subjected to increasing temperatures of 27, 32, 37 and 42 °C, separately, for a photoperiod of 12 hours at each temperature. The treatment without NaCl at 27 °C was used as reference. The concentrations of Na⁺ and Cl⁻ in different organs were increased by pretreatment with NaCl and this accumulation was intensified by exposure to high temperatures. In roots, for example, at temperature of 42 °C concentrations of Na were four times higher than in leaves. While Cl⁻ accumulated mainly in leaves, with a 20-fold increase in the concentration of this ion in relation to reference plants. Inversely, K⁺ concentrations were reduced in all organs analyzed. Thus, it is concluded that high temperatures affect the distribution of ions in different organs directly affecting ion homeostasis in plants.

Key words: *Vigna unguiculata*, salt stress, heat

INTRODUÇÃO

Estresses abióticos, como salinidade e altas temperaturas, são exemplos de diferentes fatores ambientais responsáveis por perdas significativas da produção agrícola, em diversas partes do mundo (Munns & Tester, 2008). Esses estresses afetam severamente importantes aspectos fisiológicos e bioquímicos da maioria das espécies vegetais, particularmente das culturas agrícolas e, por esta razão, são intensamente estudados (Wahid et al., 2007).

A salinidade pode causar dois tipos de estresse nos tecidos e órgãos das plantas superiores: déficit hídrico, como resultado de uma alta concentração de solutos no ambiente radicular, e estresse iônico, o qual decorre, em grande parte, de alterações nas relações Na^+/K^+ e de concentração excessiva de íons salinos (Na^+ , Cl^-) em especial nas folhas, que são prejudiciais ao metabolismo celular (Horie & Schroeder, 2004).

Desta forma, em condições de estresse salino a manutenção do equilíbrio iônico celular (“homeostase” iônica) se torna ainda mais relevante (Zhu, 2003). Dentre outros efeitos da salinidade tem-se à redução na taxa de transpiração. Este fato pode estar associado ao fechamento parcial dos estômatos devido à redução da condutividade hidráulica do sistema radicular, provocada pela salinidade (Guimarães, 2005; Sousa, 2006), causando redução no fluxo de água, através das plantas.

Temperaturas elevadas podem afetar diferentes processos metabólicos, incluindo fotossíntese, respiração, relações hídricas, fluidez e estabilidade dos sistemas de membranas, além de modular os níveis de hormônios e de metabólitos primário e secundário (Wahid et al., 2007). Em geral, as plantas exibem diferentes respostas em função da temperatura ambiental em que se encontram.

Algumas dessas respostas são rápidas enquanto outras ocorrem em resposta a estímulos cumulativos da temperatura, variando desde dias até semanas, como quebra de dormência e vernalização. Além disto, o calor pode causar incremento de biomassa, aumento na taxa de transpiração que funciona como mecanismo fisiológico de dissipação de calor, evitando o aquecimento foliar (Rizhsky et al., 2002), alongamento excessivo de entrenós, autossombreamento e alterações na partição de fotoassimilados (Hall, 1992).

Os efeitos aditivos de plantas pré-tratadas com NaCl e expostas a altas temperaturas podem ocasionar o aumento da condutância estomática, resultando no incremento da taxa de absorção e do fluxo desses íons para a parte aérea das plantas promovendo, assim, um aumento da concentração iônica no tecido vegetal e, conseqüentemente, toxicidade iônica (Mittler, 2006).

Estudos recentes mostraram que espécies como o cajueiro apresentaram, quando submetidas aos estresses de salinidade e temperatura elevada, redução de 50% e aumento de 300%, respectivamente, na transpiração. Contudo, quando expostas à combinação desses estresses não foram observadas mudanças na taxa transpiratória (Ferreira-Silva, 2008).

O feijão caupi é uma leguminosa de alto valor protéico que, a cada dia, conquista maior valor agroeconômico, graças à sua característica de adaptabilidade às condições adversas (Carvalho et al., 2000; Dantas et al., 2002). No Nordeste brasileiro

é uma espécie muito cultivada representando um dos alimentos básicos da população dessa região (Freitas, 2006), além de possuir características adaptativas, intrínsecas à região Nordeste, como suportar altas temperaturas e locais com limitações hídricas (Sousa, 2006).

Desta maneira, o presente estudo propôs avaliar o efeito de diferentes temperaturas sobre a distribuição de Na^+ , Cl^- e K^+ em raízes, caules e folhas de feijão caupi pré-tratadas com NaCl.

MATERIAL E MÉTODOS

Preparo das sementes

A germinação das sementes foi conduzida em sistema de rolo (Vieira & Carvalho, 1994). Para tanto, as sementes foram desinfetadas com NaClO 0,2% (m/v) durante 5 min sob agitação eventual, lavadas três vezes e embebidas, por 30 min, em água destilada deionizada; em seguida, as sementes foram distribuídas em folhas de papel Germitest® (280 × 380 mm) umedecidas com água destilada deionizada na proporção de duas vezes e meia a massa do papel.

Dez sementes foram distribuídas em fileira no terço superior de duas folhas sobrepostas; outra folha foi utilizada para cobrir as sementes e as três folhas foram enroladas; três rolos, contendo 10 sementes cada uma, foram enrolados com uma folha adicional; este sistema foi envolvido com dois sacos plásticos transparentes desinfetados com etanol 70% (v/v), os quais foram dispostos em direções contrárias e fixados com atilho; enfim, as sementes foram mantidas em condições controladas ($240 \mu\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$, fotoperíodo de 12 h, $27 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$) durante quatro dias.

Condução dos experimentos e tratamentos

Após atingirem o estágio de gancho plumular (quatro dias após germinação), as plântulas foram transferidas para vasos individuais de 900 mL, com duas plantas cada um, e solução nutritiva de Hoagland & Arnon (1950) modificada, diluída quatro vezes a pH 6,0. As plantas foram crescidas, inicialmente, por sete dias, em casa de vegetação cujas condições ambientais foram: temperatura média de $28 \text{ }^\circ\text{C}$, umidade relativa do ar média de 78% e radiação fotossinteticamente ativa média de $700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Após este período a solução nutritiva foi substituída por uma sem diluição e as plantas foram divididas em dois grupos, em que o primeiro grupo era de plantas não supridas com NaCl e o segundo se compunha de plantas que receberam a adição de 100 mM de NaCl aplicados diretamente na solução nutritiva, de maneira parcelada ($50 \text{ mmol L}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) para evitar choque osmótico nas plantas.

Após dois dias de tratamento com NaCl as plantas foram divididas em quatro subgrupos (diferentes temperaturas); em seguida, foram transferidas para uma câmara de crescimento BOD (CIENETEC/modelo 708), e submetidas a temperaturas crescentes de 27, 32, 37 e $42 \text{ }^\circ\text{C}$, separadamente, por um fotoperíodo de 12 h.

A cada dia as plantas eram colocadas na BOD, às 6 h e retiradas às 18 h a determinada temperatura, inicialmente a $27 \text{ }^\circ\text{C}$ e em seguida a 32, 37 e $42 \text{ }^\circ\text{C}$, respectivamente, durante

quatro dias consecutivos (Patel & Hall, 1990). O tratamento representado pelas plantas não pré-tratadas com NaCl e submetidas a 27 °C, foi adotado como referência.

Ao final de cada dia foram realizadas medidas de transpiração e coletados os materiais (folhas, caules e raízes) que foram colocados para secar em estufa a 75 °C, por 48 h, visando à determinação da massa seca total das plantas e das concentrações de sódio, cloreto e potássio nos diferentes órgãos estudados.

Medidas de transpiração

Ao final dos dias de tratamento foram realizadas leituras de transpiração em folhas totalmente expandidas do terço médio das plantas, utilizando-se um porômetro portátil Licor 1600 (Licor-USA). As leituras foram feitas em condições de casa de vegetação entre 9 e 10 h.

Determinação das concentrações de sódio, potássio e cloreto em folhas, caules e raízes

As determinações das concentrações de sódio e potássio foram realizadas conforme descrito por Silva et al. (2009a). A extração foi feita utilizando-se 50 mg de material moído com 20 mL de H₂O deionizada em banho-maria a 100 °C por 1 h. O extrato obtido foi centrifugado e seu sobrenadante analisado em fotômetro de chama (Micronal, modelo B462). A determinação da concentração de cloreto foi obtida pelo método da titulação com nitrato de prata (Malavolta et al., 1997).

Delineamento estatístico e análise dos dados

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em um esquema fatorial (2×4), representado por dois níveis de NaCl (0 e 100 mM) e quatro temperaturas (27, 32, 37 e 42 °C), com cinco repetições, sendo cada parcela experimental representada por um vaso contendo duas plantas. A análise comparativa entre as médias dos tratamentos foi feita pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Massa seca total e transpiração

Os dados apresentados neste estudo mostram que plantas de feijão caupi pré-tratadas com NaCl e induzidas aos tratamentos crescentes de calor apresentaram redução na massa seca total em relação àquelas sem NaCl. Esta redução é observada já a partir da temperatura de 32 °C e aumenta gradativamente com o aumento da temperatura (Tabela 1). Por

Tabela 1. Conteúdo de massa seca total e transpiração em plantas de feijão caupi pré-tratadas com NaCl e induzidas a tratamentos crescentes de calor, por 12 h

Tratamento (°C)	Massa seca total* (g)		Transpiração* ($\mu\text{gH}_2\text{O cm}^{-1} \text{s}^{-2}$)	
	0	NaCl (100 Mm)	0	NaCl (100 Mm)
27	1,38 a	1,34 a	9,92 d	8,03 d
32	1,39 a	1,23 ab	11,01 c	9,45 c
37	1,39 a	1,16 bc	12,48 b	10,50 b
42	1,41 a	1,06 c	14,60 a	13,31 a

* As médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si a $p > 0,05$

exemplo, quando a temperatura atingiu 37 e 42 °C, a massa seca total foi reduzida em 16 e 25%, respectivamente, em relação às plantas não pré-tratadas com NaCl.

Os resultados aqui apresentados demonstram que a redução do crescimento se dá pela ação do sal e não pelo aumento da temperatura. Na verdade, reduções e/ou inibições constatadas no crescimento dos vegetais, à medida que eram submetidas à salinidade, são atribuídas ao efeito osmótico, à toxicidade pela absorção excessiva dos íons Na⁺ e Cl⁻ e ao desequilíbrio nutricional causado pelos distúrbios na absorção dos nutrientes essenciais (Silva et al., 2009a; 2009b).

Adicionalmente, as medidas de transpiração aumentaram linearmente com o aumento da temperatura, tanto em plantas sem NaCl como em plantas pré-tratadas. Este aumento atingiu 47 e 65% na temperatura de 42 °C para plantas sem NaCl e pré-tratadas com NaCl, respectivamente em relação àquelas expostas a 27 °C (Tabela 1).

Altas temperaturas, tal como a combinação sal+calor estimularam o processo respiratório. Este aumento pode estar relacionado à ação direta do potássio, uma vez que este íon é conhecido por ser muito solúvel e desempenhar papel osmorregulatório chave nas células-guarda e, da mesma forma, na manutenção do turgor (Shabala & Cuin, 2007).

Acúmulo de íons e homeostase K⁺/Na⁺

As mudanças nas concentrações dos íons sódio, cloreto e potássio em todos os órgãos analisados, foram influenciadas tanto pelo pré-tratamento com NaCl como pela interação sal e altas temperaturas (Tabela 2).

As concentrações de sódio aumentaram significativamente ($p < 0,05$) em todas as partes das plantas, tanto em função do NaCl, na solução nutritiva, como da temperatura de exposição (Figura 1). Em condições de referência (plantas expostas a 27 °C sem NaCl), os teores de sódio nas folhas, caules e nas raízes, foram de aproximadamente 90, 160 e 270 mmol Na⁺ kg⁻¹ MS, respectivamente.

Observou-se, porém, um acréscimo na concentração deste íon em função do pré-tratamento salino seguido de exposição ao calor. Plantas expostas a temperatura de 42 °C e pré-tratadas com 100 mM de NaCl, mostraram aumento de 7, 7 e 8 vezes na concentração de sódio em folhas, caules e raízes, respectivamente, quando comparadas com plantas referência (Figura 1A, B e C).

Comparando-se as três partes, observou-se que o feijão caupi apresentou maiores concentrações de Na⁺, nas raízes do que em folhas e caules (Figura 1). No entanto, pode-se sugerir que a boa retenção desse íon nas raízes, associada a outros mecanismos de proteção como, por exemplo, a produção de altos níveis de antioxidantes (Ashraf & Ahmad, 2000), pode contribuir para sua maior tolerância à salinidade.

No tratamento mais severo de temperatura (42 °C), as concentrações de Na⁺ nas raízes foram quatro vezes maiores do que as concentrações observadas nas folhas. Esses resultados são bons indicativos da capacidade dessa espécie de reter parte dos íons potencialmente tóxicos, em especial o Na⁺ no sistema radicular evitando, assim, seu excesso nos tecidos fotossintetizantes (Trindade et al., 2006).

Tabela 2. Resumo da análise de variância com os quadrados médios, os níveis de significância e os coeficientes de variação (CV) para as variáveis estudadas em plantas de feijão caupi pré-tratadas com NaCl e induzidas a tratamentos crescentes de calor, por 12 h

Fonte de variação		Quadrado médio			
		Na	K	Cl	K/ Na
NaCl	Raiz	35.889.997,76**	100.541,93**	12.101.375,03**	239,09**
	Caule	7.933.939,02**	215.686,67**	9.485.260,09**	652,18**
	Folha	22.264.266,73**	101.032,65**	102.799.495,12**	1.880,63**
Temp,	Raiz	109.123,15**	53.902,97**	11.691,39**	0,21**
	Caule	33.767,18**	318.999,21**	100.327,28**	4,11**
	Folha	120.829,16**	300.568,03**	326.184,04**	27,05**
NaCl X Temp,	Raiz	105.671,74**	41.342,31**	11.888,26**	0,06*
	Caule	26.699,79**	140.673,53**	86.863,73**	0,95**
	Folha	111.626,71**	39.817,48**	314.571,85**	21,31**
Resíduo	Raiz	661,14	1.209,28	413,32	0,02
	Caule	174,85	2.985,52	673,90	0,15
	Folha	914,36	801,60	67.103,84	0,05
CV%	Raiz	2,10	2,34	2,73	4,80
	Caule	2,14	3,55	3,09	7,20
	Folha	3,59	1,98	14,37	2,97

(*) significativo e (ns) não significativo ($p > 0,05$); (**) significativo ($p > 0,01$)

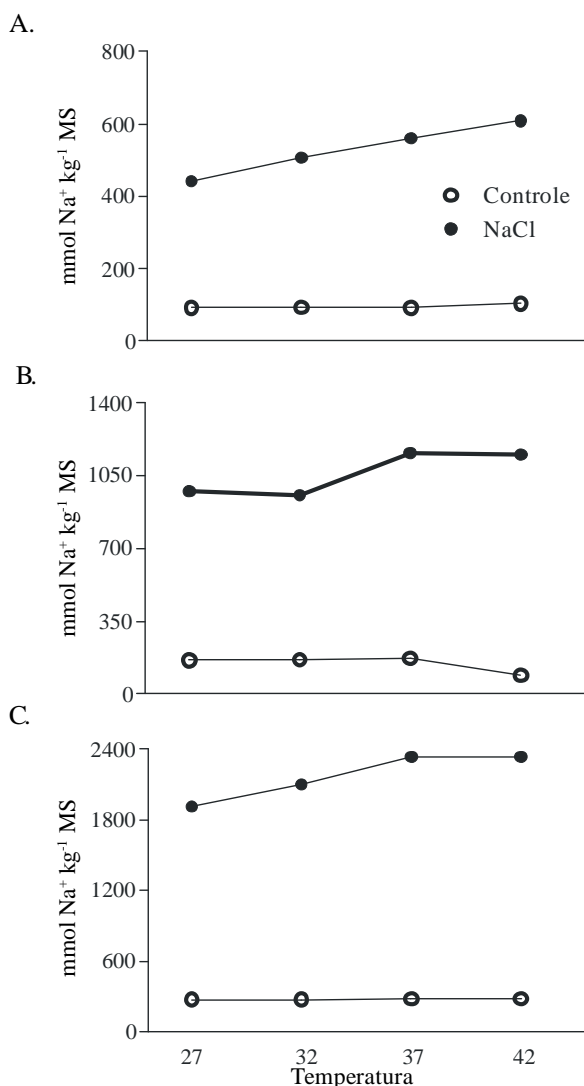


Figura 1. Concentração de sódio em folhas (A), caule (B) e raízes (C) de plantas de feijão caupi pré-tratadas com NaCl e induzidas a tratamentos crescentes de calor, por 12 h

Inversamente, as concentrações de K⁺ foram reduzidas em plantas pré-tratadas com NaCl e expostas a altas temperaturas em comparação com as referências em todos os órgãos analisados (Figura 2). No tratamento de calor mais severo e sob condições salinas, as concentrações do íon foram reduzidas de 8, 40 e 36% em folhas, caules e raízes, respectivamente, em comparação com as plantas submetidas a 27 °C e sem NaCl (condição referência) (Figura 2A; B e C).

Plantas expostas somente a salinidade (100 mM de NaCl - 27 °C), não mostraram mudanças na concentração do potássio em relação às referências. Diferentes resultados têm sido encontrados na literatura sobre a acumulação de potássio em plantas de feijão caupi expostas à salinidade. Há relatos de acúmulo do íon em alguns genótipos e redução em outros (Costa et al., 2003).

A redução tem sido apontada com uma resposta comum em plantas submetidas ao estresse salino, podendo estar relacionada ao antagonismo entre Na⁺ e K⁺ durante o processo de absorção (Silva et al., 2009a; 2009b; 2010), enquanto o acúmulo pode estar associado à redução na translocação desse íon em função da menor demanda para o crescimento das plantas sob condições de estresse (Lacerda et al., 2006).

Na realidade, alguns autores têm observado a existência de múltiplos sistemas de absorção com diferentes seletividades para Na⁺ e K⁺ o que pode refletir a necessidade da planta para coordenar o influxo desses cátions (Schachtman & Liu, 1999).

As concentrações de Cl⁻ aumentaram significativamente ($p < 0,05$) em todos os órgãos estudados, tanto em função do NaCl, na solução nutritiva, como da temperatura de exposição (Figura 3). Sob condições de referência as concentrações de Cl⁻ nas folhas, caules e raízes, foram de aproximadamente 65, 340 e 190 mmol Cl⁻ kg⁻¹ MS, respectivamente. O aumento nas concentrações de Cl⁻ nos órgãos analisados mostrou-se expressivo com a aplicação do NaCl e foi mais intensificado com a exposição a altas temperaturas.

Dessa forma, observou-se que em folhas, as plantas pré-tratadas com NaCl e expostas a temperatura de 42 °C

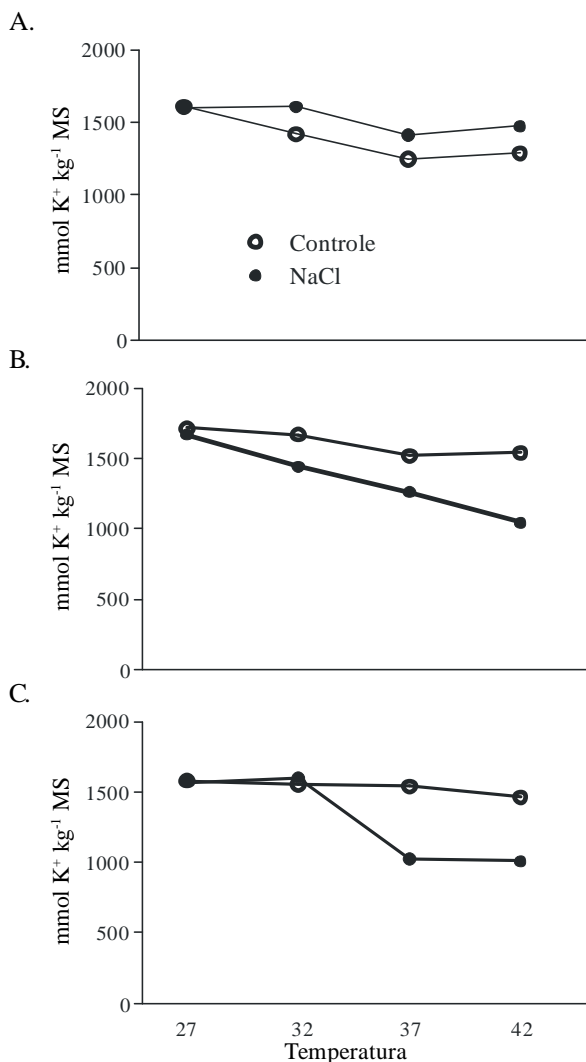


Figura 2. Concentração de potássio em folhas (A), caule (B) e raízes (C) de plantas de feijão caupi pré-tratadas com NaCl e induzidas a tratamentos crescentes de calor por 12 h

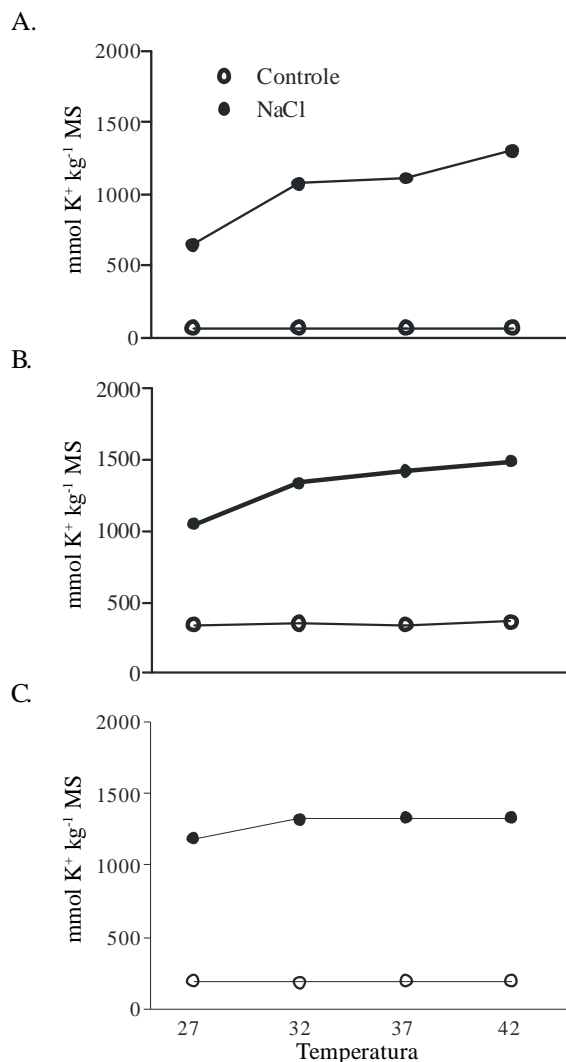


Figura 3. Concentração de cloreto em folhas (A), caule (B) e raízes (C) de plantas de feijão caupi pré-tratadas com NaCl e induzidas a tratamentos crescentes de calor, por 12 h

apresentaram um aumento de 20 vezes na concentração de Cl⁻ em relação às referências (Figura 3A). Por outro lado, nos caules e nas raízes este aumento atingiu valores quatro e sete vezes maiores, respectivamente, em relação às plantas não estressadas (Figuras 3B e C)

Entre os órgãos estudados as folhas apresentaram as maiores concentrações de cloreto, seguidas das raízes e, por último, dos caules (Figura 3). Desta forma, o acúmulo de cloreto pode favorecer a manutenção da absorção de água pela planta devendo estar, provavelmente, associado a um mecanismo de compartimentalização vacuolar, que previne ou reduz a toxidez desse íon no citoplasma das células. Resultados semelhantes foram encontrados por Sousa et al. (2007).

Como se observa, nas Figuras 3A e C, na faixa de temperatura de 27 a 32 °C a absorção de cloreto cresce de modo praticamente linear, com a elevação da temperatura, pelo fato de que, dentro desses limites, aumenta a intensidade respiratória (Tabela 1). O efeito da interação de temperatura costuma, entretanto, ser mais acentuado na absorção de ânions, como o cloreto (Figura 3), do que de cátions (Figura 1 e 2).

Dessa forma, a corrente transpiratória que no xilema conduz o nutriente para a parte aérea, pode aumentar a tensão pelo transporte dos elementos contidos nos espaços intercelulares e na parede celular da raiz proporcionado, assim, maior transpiração e, conseqüentemente, maior fluxo de massa para a raiz (Santos et al., 2009).

Os resultados obtidos neste estudo sugerem ter havido após o processo de absorção, um mecanismo eficiente de exclusão apenas para o sódio, resultando em um acúmulo maior no sistema radicular, em detrimento da parte aérea preservando, então, os tecidos fotossintéticos. Por outro lado, o cloreto mostrou maior acumulação nos tecidos fotossintetizantes em relação ao sistema radicular. Esta resposta concorda com Munns & Tester (2008) que afirmaram que algumas espécies glicófitas possuem maior afinidade pelo cloreto do que pelo sódio. Nas raízes, o aumento das concentrações de Na⁺ e Cl⁻ em plantas pré-tratadas com NaCl e submetidas a altas temperaturas coincidiu com uma redução mais acentuada nas concentrações de potássio, o que pode estar relacionado à exposição direta das raízes ao sal, possível de provocar

alterações na integridade e permeabilidade seletiva da membrana plasmática (Alves et al., 2008; Silva et al., 2009a).

Os sistemas de absorção de K^+ são altamente seletivos na zona radicular, mas esses transportadores podem ser utilizados para a absorção de Na^+ quando este íon se encontra em excesso em relação ao K^+ (Nieves-Cordones et al., 2000; Horie & Schroeder, 2004; Martínez-Cordero et al., 2005). Adicionalmente, tem-se sugerido que o efluxo de K^+ provocado pelo acúmulo excessivo de Na^+ na zona radicular é resultante do deslocamento do Ca^{2+} das membranas (Alves et al., 2008).

Em condições de salinidade a relação K^+/Na^+ foi significativamente diminuída ($p < 0,05$) em todos os órgãos analisados, quando comparadas as plantas não pré-tratadas com NaCl (Figura 4A e C); no entanto, o efeito do aumento crescente da temperatura só provocou mudanças bruscas nesta relação nas folhas de plantas não pré-tratadas com NaCl, sugerindo que o aumento nas concentrações de sódio nos diferentes órgãos pode estar relacionado à baixa seletividade dos sistemas de absorção de potássio. Portanto, aumento na seletividade do K^+ pode representar um importante mecanismo para incrementar a tolerância das plantas de feijão caupi pré-tratadas com NaCl.

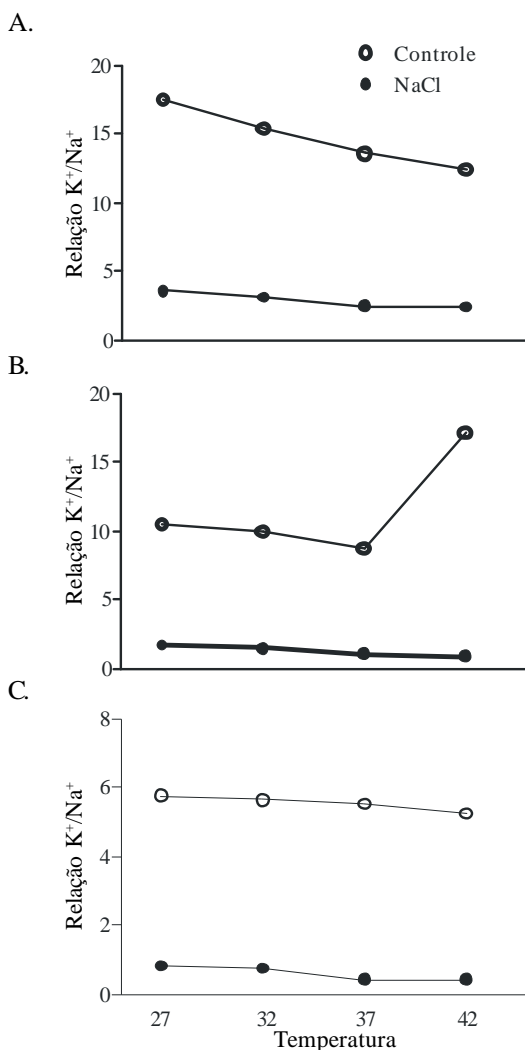


Figura 4. Relação K^+/Na^+ em folhas (A), caule (B) e raízes (C) de plantas de feijão caupi pré-tratadas com NaCl e induzidas a tratamentos crescentes de calor por 12 h

Quando a relação K^+/Na^+ alcança valores menores que 1,0 é indício de um desequilíbrio nutricional e reforça a maior intensidade de toxicidade iônica (Ferreira-Silva et al., 2009). Na verdade, diversos autores têm correlacionado a resistência a estresses ambientais com a manutenção de uma nutrição potássica adequada dentro da planta podendo este parâmetro, em alguns casos, ser utilizado como critério de seleção de materiais sensíveis e resistentes a determinado tipo de estresse (Maathuis & Amtmann, 1999).

CONCLUSÕES

1. Os dados permitem concluir que em plantas de feijão caupi pré-tratadas com NaCl, temperaturas elevadas induzem a um acúmulo maior do íon Na^+ , em relação ao Cl^- nas raízes. Por outro lado, no caule e nas folhas ocorre maior acumulação de Cl^- em detrimento do Na^+ .

2. As concentrações de potássio foram reduzidas em todos os órgãos analisados proporcionando menor relação K^+/Na^+ ; conseqüente, uma condição de desbalanço na homeostase iônica.

LITERATURA CITADA

- Alves, F. A. L.; Ferreira-silva, S. L.; Lima, J. P. S.; Silveira, J. A. G. Efeitos do KCl e CaCl₂ na absorção e transporte de Na^+ em cajueiro exposto a salinidade. *Revista Ciência Agronômica*, v.39, p.287-294, 2008.
- Ashraf, M.; Ahamad, S. Influence of sodium chloride on ion accumulation yield components and fibre characteristics in salt-tolerant and salt-sensitive lines of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Field Crops Research*, v.66, p.115-127, 2000.
- Carvalho, J. A.; Pereira, G. M.; Andrade, M. J. B.; Roque, M. W. Efeito do déficit hídrico sobre o rendimento do feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). *Ciência e Agrotecnologia*, v.24, p.710-717, 2000.
- Costa, P. H. A.; Silva, J. V.; Bezerra, M. A.; Enéas Filho, J.; Prisco, J. T.; Gomes Filho, E. Crescimento e níveis de solutos orgânicos e inorgânicos em cultivares de *Vigna unguiculata* submetidos à salinidade. *Revista Brasileira de Botânica*, v.26, p.289-297, 2003.
- 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, p.425-430, 2002.
- Ferreira-Silva, S. L. Mecanismos de proteção oxidativa contra estresses isolados e combinados de seca, salinidade e temperatura elevada em cajueiro. Fortaleza: UFC, 2008. 175p. Tese Doutorado
- Ferreira-Silva, S. L.; Voigt, E. L.; Viégas, R. A.; Paiva, J. R.; Silveira, J. A. G. Influência de porta-enxertos na resistência de mudas de cajueiro ao estresse salino. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.44, p.361-367, 2009.
- Freitas, J. B. S. Respostas fisiológicas ao estresse salino em duas cultivares contrastantes de caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] Fortaleza: UFC, 2006. 134p. Tese Doutorado

- Guimarães, F. V. Respostas fisiológicas e bioquímicas em plantas de feijão de corda cv Pitiúba submetidas ao estresse com NaCl em diferentes concentrações de CaCl_2 e CaSO_4 . Fortaleza: UFC, 2005. 176p. Tese Doutorado
- Hall, A. E. Breeding for heat tolerance. *Plant Breeding Reviews*, v.10, p.129-136, 1992.
- Hoagland, D. R.; Arnon, D. I. The water culture method for growing plants without soil. Berkeley: University of California, 1950. 32p. Circular, 347
- Horie, T.; Schroeder, J. I. Sodium transporters in plants. Diverse genes and physiological functions. *Plant Physiology*, v.136, p.2457-2462, 2004.
- Lacerda, C. F.; Assis Júnior, J. O.; Lemos Filho, L. C. A.; Guimarães, F. V. A.; Oliveira, T. S.; Gomes Filho, E.; Prisco, J. T.; Bezerra, M. A. Morpho-physiological responses of cowpea leaves to salt stress. *Brazilian Journal Plant Physiology*, v.18, p.455-465, 2006.
- Maathuis, F. J. M.; Amtmann, A. K^+ nutrition and Na^+ toxicity: Bases of cellular K^+/Na^+ ratios. *Annals of Botany*, v.84, p.123-133, 1999.
- Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações. 2.ed., Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.
- Martínez-Cordero M. A.; Martínez, V.; Rubio, F. High-affinity K^+ uptake in plants. *Journal of Experimental Botany*, v.56, p.1553-1562, 2005.
- Mittler, R. Abiotic stress, the field environment and stress combination. *Trends in Plant Science*, v.11, p.15-19, 2006.
- Munns, R.; Tester, M. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, v.59, p.651-681, 2008.
- Nieves-Cordones, M.; Martínez-Cordero, M. A.; Martínez, V.; Rubio, F. An NH_4^+ -sensitive component dominates high-affinity K^+ uptake in tomato plants. *Plant Science*, v.172, p.273-280, 2000.
- Patel, P. N.; Hall, A. E. Genotypic variation and classification of cowpea for reproductive responses to high temperatures under long photoperiods. *Crop Science*, v.30, p.614-62, 1990.
- Rizhsky, L.; Liang, H.; Mittler, R.; The combined effect of drought stress and heat. Shock on gene expression in tobacco. *Plant Physiology*, v.130, p.1143-1151, 2002.
- Santos, P. R.; Ruiz, H. A.; Neves J. C. L.; Freire, M. B. G. S.; Freire, F. J. Acúmulo de cátions em dois cultivares de feijoeiro crescidos em soluções salinas. *Revista Ceres*, v.56, p.666-678, 2009.
- Schachtman, D.; Liu, W. Molecular pieces to the puzzle of the interaction between potassium and sodium uptake in plants. *Trends Plant Science*, v.04, p.281-287, 1999.
- Shabala, S.; Cuin T. A. Potassium transport and plant salt tolerance. *Physiologia Plantarum*, v.133, p.651-669, 2007.
- Silva, E. N.; Ribeiro, R. V.; Ferreira-Silva, S. L.; Viégas, R. A.; Silveira, J. A. G. Comparative effects of salinity and water stress on photosynthesis, water relations and growth of *Jatropha curcas* plants. *Journal of Arid Environments*, v.74, p.1130-1137, 2010.
- Silva, E. N.; Silveira, J. A. G.; Rodrigues, C. R. F.; Dutra, A. T. B.; Aragão, R. M. Acúmulo de íons e crescimento de pinhão-mansinho sob diferentes níveis de salinidade. *Revista Ciência Agronômica*, v.40, p.240-246, 2009a.
- Silva, E. N.; Silveira, J. A. G.; Rodrigues, C. R. F.; Lima, C. S.; Viegas, R. A. Contribuição de solutos orgânicos e inorgânicos no ajustamento osmótico de pinhão-mansinho submetido à salinidade. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.44, p.437-445, 2009b.
- Sousa, R. A. Efeitos da salinidade e da composição iônica da água de irrigação sobre o desenvolvimento de plantas de feijão-de-corda cv. Pitiúba. Fortaleza: UFC, 2006. 87 p. Dissertação Mestrado
- Sousa, R. A.; Lacerda, C. F. de; Filho, J. A.; Hernandez, F. F. F. Crescimento e nutrição mineral do feijão-de-corda em função da salinidade e da composição iônica da água de irrigação. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.2, p.75-82. 2007.
- Trindade, A. R.; Lacerda, C. F. de; Gomes Filho, E.; Bezerra, M. A.; Prisco, J. T. Influência do acúmulo e distribuição de íons sobre a aclimação de plantas de sorgo e feijão-de-corda, ao estresse salino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, p.804-810, 2006.
- Vieira, R. D.; Carvalho, N. M. Testes de vigor de sementes. Jaboticabal: FUNEP. 1994. 164p.
- Wahid, A.; Gelani, S.; Ashraf, M.; Foolad, M. R. Heat tolerance in plants: An overview. *Environmental and Experimental Botany*, v.61, p.199-223. 2007.
- Zhu, J. K. Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Current Opinion in Plant Biology*, v.6, p.441-445, 2003.