

Crescimento e acúmulo de íons em folhas de sorgo forrageiro submetido a soluções iso-osmóticas de sais (NaCl + KCl)¹

Growth and leaf ions accumulation in forage sorghum subjected to isoosmotic solutions of salts (NaCl + KCl)

Claudivan Feitosa de Lacerda¹, Hermes de Paula Moreira de Oliveira²,
Teógenes Senna de Oliveira³ e Enéas Gomes Filho⁴

RESUMO

Plantas de sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) foram expostas às seguintes concentrações (mM) de NaCl/KCl: 0,0/2,0; 71,5/0,5; 71,0/1,0; 70,0/2,0; 68,0/4,0 e 64,0/8,0, aplicados de forma gradual, em solução nutritiva. Após 15 dias do início do estresse, mediu-se a produção de matéria seca e determinaram-se os teores de Na⁺, Cl⁻ e K⁺ nos limbos foliares. A salinidade, independente da combinação de sais utilizados, afetou de forma semelhante a produção de matéria seca da parte aérea das plantas. No entanto, os valores do índice de tolerância, considerando-se a altura da planta e a área foliar, foram maiores e menores, respectivamente, nos tratamentos contendo menor e maior proporção de KCl. O estresse salino aumentou os teores de Na⁺ e de Cl⁻ e reduziu os teores de K⁺. O aumento na proporção de KCl na solução nutritiva resultou na diminuição dos teores de Na⁺ e aumento nos teores de K⁺ nas folhas, sem que isso tenha resultado em maior tolerância das plantas ao estresse salino. Os resultados mostram que o aumento na concentração de sais de potássio, particularmente de KCl, pode causar maiores reduções no crescimento do que soluções iso-osmóticas de NaCl, sugerindo que a tolerância de plantas de sorgo à salinidade está associada, pelo menos em parte, à composição da solução salina.

Termos para indexação: salinidade, sais de sódio e de potássio, *Sorghum bicolor*, tolerância à salinidade.

ABSTRACT

Plants of forage sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) were subjected to following concentrations (mM) of NaCl/KCl: 0,0/2,0; 71,5/0,5; 71,0/1,0; 70,0/2,0; 68,0/4,0 e 64,0/8,0, gradually added in nutrient solution. Fifteen days after starting the salt treatment dry matter production and ions (Na⁺, Cl⁻ and K⁺) leaf contents were determined. The effects of salt stress on shoot dry matter production were similar for all salt mixture used. However, tolerance index calculated with data of plant height and leaf area were highest and lowest, respectively, in the treatments containing lowest and highest proportion of KCl. Salt stress increased Na⁺ and Cl⁻ and reduced K⁺ leaf contents. Increase in KCl proportion in nutrient solution decreased Na⁺ and increase K⁺ leaf contents, but salt tolerance was not enhanced in these treatments. The results show that increase of potassium salts concentration, particularly KCl, can to cause higher reduction on growth than isoosmotic solution of NaCl, and suggest that salt tolerance of sorghum plants depends, in part, of the composition of salt medium.

Index terms: salinity, sodium and potassium salts, *Sorghum bicolor*, salt tolerance.

¹ Trabalho financiado pela FUNCAP

² D.Sc., Professor da Universidade Federal do Ceará, Dep. de Engenharia Agrícola, Fortaleza, CE. E-mail: cfeitosa@ufc.br

³ Engenheiro Agrônomo, Fortaleza, CE. E-mail: hermeso@hotmail.com

⁴ D.Sc., Professor da Universidade Federal do Ceará, Dep. de Ciências do Solo, Fortaleza, CE. E-mail: teogenes@ufc.br

⁵ D.Sc., Professor da Universidade Federal do Ceará, Dep. de Bioquímica e Biologia Molecular, Fortaleza, CE. E-mail: egomesf@ufc.br

Introdução

Os problemas ocasionados pelo excesso de sais na agricultura estão relacionados com a utilização dos recursos de água e solo, alterados nos seus aspectos físicos e químicos pelo acúmulo de sais solúveis e, ou, sódio em níveis capazes de prejudicar o crescimento e o desenvolvimento das plantas ou alterar de forma negativa as propriedades do solo. Estes efeitos combinados contribuem para a redução da produtividade das culturas (Gheyi, 2000).

Em geral, a inibição do crescimento das plantas induzida pela salinidade é consequência de efeitos osmóticos, que pode provocar o déficit hídrico, e, ou, de efeitos específicos de íons, que podem acarretar toxidez ou desordens nutricionais (Munns, 2002). Entretanto, as concentrações de sais que restringem o crescimento variam amplamente entre as espécies e parecem depender dos tipos de sais, do tempo de exposição ao estresse e do estágio de desenvolvimento da planta (Shannon, 1992).

Os sais de Na^+ estão entre os que predominam em ambientes salinos e, a despeito da sua essencialidade para algumas espécies, o íon Na^+ é considerado potencialmente tóxico para a maioria das plantas. Por outro lado, o K^+ é o principal nutriente relacionado com funções osmóticas de plantas, sendo que o melhor desempenho de alguns genótipos mantidos sob condições de estresse salino tem sido associado a uma nutrição potássica adequada (Taleisnik e Grunberg, 1994; Igartua et al., 1995; Lacerda et al., 2001; Satti e Lopez, 1994). No entanto, o aumento da proporção de K^+ em meio contendo NaCl nem sempre resulta em efeitos benéficos para as plantas, podendo a salinidade provocada por altas concentrações de K^+ ser, inclusive, mais prejudicial do que a provocada por altas concentrações de sódio (Kinraide, 1999).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos de concentrações salinas iso-osmóticas ($\text{NaCl} + \text{KCl}$ em diferentes combinações) sobre o crescimento e acúmulo de íons em sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), buscando avaliar a hipótese de que o aumento na proporção de K^+ pode resultar em aumento no grau de tolerância das plantas à salinidade.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido na casa de vegetação do Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular, situado no Campus do Pici (UFC), Forta-

leza, Ceará, Brasil, seguindo um delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Sementes selecionadas de sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), genótipo CSF 20 (Lima, 1988), obtido do banco de germoplasma da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária (IPA), foram colocadas para germinar em vermiculita. Cerca de sete dias após a semeadura, as plântulas foram transferidas para bandejas contendo 10,0 L de solução nutritiva de Clark (Clark, 1975). Após sete dias de adaptação, as plântulas foram transferidas para vasos plásticos (uma planta por vaso) contendo 3,0 L litros de solução nutritiva de Clark completa, pH 5,5. Em cada vaso foram adicionados NaCl e KCl , para obtenção da concentração de 72 mM de sais de cloreto. Os tratamentos consistiram das seguintes concentrações (mM) de NaCl/KCl : 0,0/2,0 (controle); 71,5/0,5; 71,0/1,0; 70,0/2,0; 68,0/4,0 e 64,0/8,0. A adição dos sais foi feita de forma parcelada, adicionando-se 24 mM a cada dois dias. A primeira parcela adicionada continha todo o KCl , completando-se para 24 mM com NaCl , de acordo com cada tratamento. A condutividade elétrica do tratamento controle foi $1,83 \text{ dS m}^{-1}$ enquanto nos cinco tratamentos salinos foi de $8,92 \pm 0,09 \text{ dS m}^{-1}$. As soluções nutritivas foram trocadas a cada cinco dias e o pH foi ajustado diariamente para 5,5, utilizando-se NaOH ou HCl 0,1 N.

Após 15 dias do início da adição dos sais, as plantas foram colhidas, sendo efetuadas as medidas de altura da planta e da área foliar (LI – 3100, Area Meter, Li-Cor., Inc., Lincoln, Nebraska, USA). O material colhido foi colocado para secar em estufa, com circulação forçada de ar, a 60°C , para obtenção da massa seca da parte aérea.

Utilizando-se os dados de crescimento, calculou-se o índice de tolerância à salinidade, de acordo com a seguinte fórmula:

$$IT = \frac{\text{Produção no tratamento salino}}{\text{Produção no tratamento controle}} \times 100$$

O material vegetal seco (limbos foliares) foi finamente moído e utilizado para determinação dos elementos minerais, sendo o extrato obtido pela mistura de 50 mg de matéria seca com 10 ml de água desmineralizada, seguida de agitação durante uma hora e posterior filtração. Os teores de Na^+ e K^+ foram determinados por fotometria de chama e os de Cl^- pela metodologia descrita por Gaines et al. (1984)

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo

teste de Tukey a 5% de probabilidade. As análises foram realizadas utilizando-se o programa SAEG (Sistema de Análises e Estatísticas), desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa.

Resultados e Discussão

Efeitos da Salinidade no Crescimento da Planta

O estresse salino causou o aparecimento de injúrias a partir do ápice foliar caracterizadas por cloroses seguidas de necroses, sendo essas injúrias mais aparentes nas folhas mais velhas. A comparação do índice de tolerância entre os diversos tratamentos salinos mostrou que, independente da combinação de sais utilizados, a salinidade afetou de forma semelhante a produção de matéria seca da parte aérea das plantas (Tabela 1). No entanto, os valores do índice de tolerância, considerando-se a altura da planta e a área foliar, foram maiores e menores, respectivamente, nos tratamentos contendo menor e maior proporção de KCl. Esse resultado é um indicativo de que, a despeito do K^+ ser um elemento essencial, o aumento na concentração de sais de K^+ , particularmente de KCl, pode causar maiores reduções no crescimento do que concentrações iso-osmóticas de NaCl, como foi observado por outros autores (Weimberg et al., 1984; Lauter et al., 1988).

Tabela 1 - Médias do índice de tolerância à salinidade calculado com base nos dados de matéria seca da parte aérea (MSPA), altura e área foliar de plantas de sorgo forrageiro, nos diferentes tratamentos salinos.

NaCl mM	KCl mM	Índice de Tolerância		
		MSPA	Altura	Área Foliar
0,0	2,0	100 a	100 a	100 a
71,5	0,5	72,4 b	85,3 b	67,0 b
71,0	1,0	68,3 b	81,7 b	54,3 bc
70,0	2,0	58,5 b	76,3 bc	47,7 bc
68,0	4,0	60,6 b	76,7 bc	46,9 bc
64,0	8,0	60,5 b	66,7 c	43,3 c

Médias seguidas pelas mesmas letras, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Efeitos da Salinidade sobre o Acúmulo de Íons nas Folhas

Os teores de Na^+ foram baixos nas folhas das plantas controles em relação às plantas estressadas

(Tabela 2). Nos tratamentos salinos, os teores de Na^+ acompanharam a relação Na^+/K^+ da solução nutritiva, ou seja, diminuíram significativamente com o aumento da proporção de KCl, o que foi observado em outros estudos (El-Haddad e O'Leary, 1994). Os teores de Cl^- nas folhas foram consideravelmente maiores que os de Na^+ (Tabela 2), tanto nas plantas controle quanto nas plantas estressadas, embora os aumentos relativos provocados pelo estresse tenham sido maiores para o sódio. Os elevados teores de cloreto nas plantas controle deve-se, provavelmente, à utilização de KCl como fonte de K^+ na solução nutritiva. Por outro lado, os teores de cloreto não variaram entre os diversos tratamentos salinos.

O teor de K^+ nas folhas reduziu significativamente com a aplicação do estresse salino (Tabela 2). O aumento na proporção de KCl na solução nutritiva provocou aumento considerável no teor de K^+ nas folhas, porém, o teor desse íon no tratamento contendo a maior proporção de KCl (8 mM) permaneceu menor que no tratamento controle, que continha apenas 2 mM de KCl. Esse efeito pode ter sido resultante, em grande parte, da menor absorção de K^+ , causada pela competição dos íons Na^+ pelos mesmos sítios no sistema de absorção na membrana plasmática das células radiculares (Marschner, 1995).

Tabela 2 - Teores de Na^+ , Cl^- e K^+ em folhas de sorgo forrageiro cultivado em solução nutritiva contendo concentrações iso-osmóticas de NaCl + KCl, em diferentes combinações.

NaCl mM	KCl	Na^+	Cl^-	K^+
		mmol kg^{-1} matéria seca		
0,0	2,0	60,8 d	568,9 b	1437,6 a
71,5	0,5	260,5 a	769,9 a	683,5 d
71,0	1,0	257,0 a	770,6 a	1064,5 c
70,0	2,0	232,6 a	863,8 a	1215,7 b
68,0	4,0	170,0 b	814,7 a	1272,1 b
64,0	8,0	119,6 c	773,5 a	1278,4 b

Médias seguidas pelas mesmas letras, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Acúmulo de Íons nas Folhas e Tolerância à Salinidade

A maior sensibilidade de plantas de sorgo à salinidade tem sido associada ao maior acúmulo de íons potencialmente tóxicos, menor acúmulo de K^+ e maior relação Na^+/K^+ nos tecidos foliares (Boursier

e Lauchli, 1989; Taleisnik e Grunberg, 1994; Igartua et al., 1995; Lacerda et al., 2003). O aumento na proporção de KCl na solução nutritiva provocou redução no teor de Na⁺ e aumento no teor de K⁺ nas folhas (Tabela 2), com conseqüente decréscimo na relação Na⁺/K⁺ (Figura 1). Entretanto, esse efeito atenuador não resultou em maior tolerância das plantas do genótipo estudado. Resultados semelhantes foram obtidos por outros autores (El-Haddad e O'Leary, 1994; Lacerda et al., 1997).

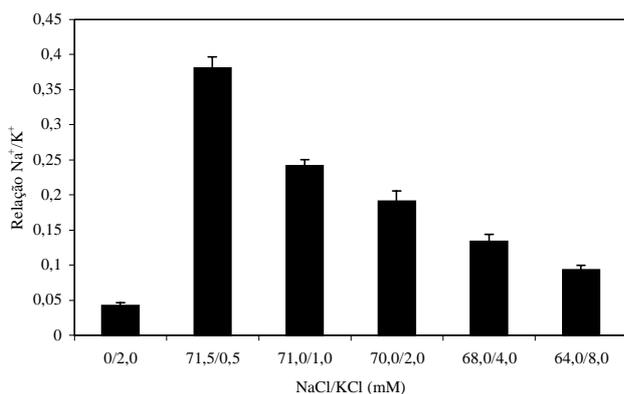


Figura 1 - Relação Na⁺/K⁺ em folhas de sorgo forrageiro cultivado em solução nutritiva contendo concentrações iso-osmóticas de NaCl + KCl, em diferentes combinações.

É importante destacar, que alterações na solução nutritiva pela adição de mais de um sal (além do NaCl), quando não altera o seu potencial osmótico, modifica a sua composição, aumentando-se a concentração de um elemento tóxico ou enriquecendo-a com um elemento essencial. Por exemplo, a utilização de K₂SO₄ e KNO₃, como fonte de K⁺, produz resultados diferentes dos observados com aplicação de KCl (Weimberg et al., 1984; Botrini et al., 2000), sendo que, nesses casos, o efeito benéfico da aplicação do K⁺ pode não estar associado à redução no teor de Na⁺ e ao aumento no teor de K⁺, mas sim, ao aumento da disponibilidade do íon acompanhante (SO₄²⁻ ou NO₃⁻). Por exemplo, em tomate cultivado em solução nutritiva contendo 50 mM de NaCl, (Satti e Lopez, 1994) adicionaram KNO₃ em três diferentes concentrações (4, 8 e 12 mM) e encontraram redução na relação Na⁺/K⁺ na planta concomitante com o aumento na produção de matéria seca e redução na relação Na⁺/K⁺ conjuntamente com uma redução no crescimento, para os níveis intermediário e mais elevado de KNO₃, respectivamente. Isso mostra que não houve uma rela-

ção direta entre a relação Na⁺/K⁺ e a tolerância à salinidade e que os efeitos deletérios no tratamento contendo maior proporção de KNO₃ podem estar associados ou à toxidez por excesso de nitrato ou à redução no potencial osmótico da solução.

A aplicação de KCl, mantendo-se a concentração de NaCl constante, resulta em soluções com diferentes potenciais osmóticos e com diferentes concentrações de cloreto, de modo que os efeitos benéficos da aplicação desse sal pela redução da absorção de sódio e pelo aumento da absorção de K⁺, podem ser sobrepujados pelo decréscimo no potencial osmótico da solução ou pelo acúmulo de cloreto nas folhas (Song e Fujiyama, 1996; Reid e Smith, 2000). Por outro lado, o cultivo de plantas em soluções iso-osmóticas de NaCl + KCl, semelhantes às utilizadas no presente estudo, tem mostrado que o aumento na proporção de KCl reduz o teor de Na⁺ e aumenta o teor de K⁺ nas folhas, sem que isso possa ter uma repercussão positiva ou podendo até repercutir negativamente no crescimento da planta (El-Haddad e O'Leary, 1994). Nestes casos, os efeitos deletérios do aumento na proporção de KCl na solução nutritiva têm sido atribuídos, em parte, à maior taxa de absorção de cloreto, e seu maior acúmulo, na presença de K⁺ (Salim e Pitman, 1983; Weimberg et al., 1984; Marschner, 1995). No presente experimento, no entanto, os efeitos deletérios do aumento da concentração de KCl na solução nutritiva sobre a altura da planta e a área foliar (Tabela 1) não podem ser atribuídos aos teores de cloreto, visto que estes pouco diferiram entre os diversos tratamentos salinos (Tabela 2).

Conclusões

- O aumento na concentração de KCl nas soluções salinas iso-osmóticas provocou redução nos teores de Na⁺ e aumento nos teores de K⁺, com conseqüente redução na relação Na⁺/K⁺ nos tecidos foliares.
- A concentração mais elevada de KCl (8mM) causou maior redução no crescimento das plantas em relação à solução iso-osmótica contendo quase que somente NaCl.
- Neste estudo, portanto, não ficou evidenciada nenhuma relação positiva entre o aumento na proporção de K⁺ no meio de crescimento e o aumento no grau de tolerância das plantas de sorgo à salinidade.

Referências Bibliográficas

- BOTRINI, L.; DI PAOLA, L.; GRAIFENBERG, A. Potassium affects sodium content in tomato plants grown in hydroponic cultivation under saline-sodic stress. **HortScience**, v. 35, n.7, p. 1220-1222, 2000.
- BOURSIER, P.; LÄUCHLI, A. Mechanisms of chloride partitioning in the leaves of salt-stressed *Sorghum bicolor* L. **Physiologia Plantarum**, v. 77, n.4, p. 537-544, 1989.
- CLARK, R.B. Characterization of phosphatase of intact maize roots. **Journal Agriculture Food Chemistry**, v. 23, p. 458-460, 1975.
- EL-HADDAD, E. H. M.; O'LEARY, J. W. Effect os salinity and K/Na ratio of irrigation water on growth and solute content of *Atriplex amnicola* and *Sorghum bicolor*. **Irrigation Science**, v. 14, p. 127-133, 1994.
- GAINES, T. P., PARKER, M. B.; GASCHO, G. J. Automated determination of chlorides in soil and plant tissue by sodium nitrate. **Agronomy Journal**, v. 76, p. 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**. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. cap. 16, p. 329-345.
- IGARTUA, E.; GRACIA, M. P.; LASA, J. M. Field responses of grain sorghum to a salinity gradient. **Field Crops Research**, v. 42, n.1, p. 15-25, 1995.
- KINRAIDE, T. B Interactions among Ca²⁺, Na⁺ and K⁺ in salinity toxicity: quantitative resolution of multiple toxic and ameliorative effects. **Journal Experimental Botany**, v. 50, n.338, p. 1495-1505, 1999.
- LACERDA, C.F.; SILVA, J.V.; CRUZ, G.F.; PRISCO, J.T. Crescimento e teores de K em plantas de milho e de feijão-de-corda cultivadas em meio salino com diferentes relações Na/K. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 6, Belém. **Resumos...** Belém: SBFV, 1997. p.355.
- 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. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 13, n.3, p. 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. **Environmental and Experimental Botany**, v. 47, n.2, p. 107-120, 2003.
- LAUTER, D. J.; MEIRI, A.; SHUALI, M. isoosmotic regulation of cotton and peanut at saline concentrations of K and Na. **Plant Physiology**, v. 87, n.4, p 911-916, 1988.
- LIMA, G. S.,. **Estudo comparativo da resistência à seca no sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) em diferentes estádios de desenvolvimento**. 1988. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2 ed. London: Academic Press, 1995, 889p.
- MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environment**, v. 25, p. 239-250, 2002.
- REID, R.J.; SMITH, A. The limits of sodium/calcium interactions in plant growth. **Australian Journal Plant Physiology**, v. 27, p. 709-715, 2000.
- SALIM, M.; PITMAN, M.G. Effects of salinity on ion uptake and growth of mung bean plants (*Vigna radiata* L.). **Australian Journal Plant Physiology**, v, 10, p. 395-407, 1983.
- SATTI, S. M. E.; LOPEZ, M. Effect of increasing potassium levels for alleviating sodium chloride stress on the growth and yield of tomato. **Communications Soil Science and Plant Analysis**, v. 25, n.15-16, p. 2807-2823, 1994.
- SHANNON, M. C. The effects of salinity on cellular and biochemical process associated with salt tolerance in tropical plants. In: DAVENPORT, T. L.; HARRINGTON, H. M. (eds.) **Processing Plant Stress in the Tropical Environment**. Universidade da Florida, 1992. p. 56-63.
- SONG, J. Q.; FUJIYAMA, H. Ameliorative effect of potassium on rice and tomato subjected to sodium salinization. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 42, n.3, p. 493-501, 1996.

TALEISNIK, E.; GRUNBERG, K. Ion balance in tomato cultivars differing in salt tolerance. I. Sodium and potassium accumulation and fluxes under moderate salinity. **Physiologia Plantarum**, v. 92, n.3, p. 528-534, 1994.

WEIMBERG, R., LERNER, H.R.; POLJAKOFF-MAYBER, A. Changes in growth and water-soluble solute concentrations in *Sorghum bicolor* stressed with sodium and potassium salts. **Physiologia Plantarum**, v. 62, n.3, p. 472-480, 1984.