

EFEITOS DO ALUMÍNIO NA MORFOLOGIA DE RAÍZES E NA CINÉTICA DE ABSORÇÃO DE POTÁSSIO EM MILHO

COSTA, Cláudia N.* , CASTILHOS, Rosa M. V., VAHL, Ledemar C. , KONRAD, Eroni E., PASSIANOTO, Caio C.

FAEM-UFPEL - Depto. de Solos, Cx. Postal 354, CEP 96010-900, Pelotas-RS. *E-mail: Claunc@ufpel.tche.br
(Recebido para publicação em 24/08/2000)

RESUMO

Avaliou-se o efeito do alumínio na morfologia de raízes e parâmetros cinéticos de absorção de potássio em plantas de milho (*Zea mays* L.), submetidas a dois tratamentos: (a) solução nutritiva normal; (b) solução nutritiva normal com 7 mg L^{-1} de Al. A presença de Al na solução diminuiu a absorção de K em consequência do aumento do Km e Cmin e da diminuição do Imáx. Contudo, o alumínio não apresentou efeitos sobre os parâmetros morfológicos de raízes (raio, comprimento, matéria seca e volume).

Palavras-chave: alumínio, cinética de absorção, raízes, potássio.

ABSTRACT

This experiment had the purpose of evaluating the effect of Al in the root morphology and in the K absorption kinetics parameters of corn plants (*Zea mays* L.). Two treatments were used: (a) normal nutrient solution; (b) normal nutrient solution with 7 mg L^{-1} of Al. The results showed that the presence of Al in the solution decreased the K uptake due to the increase of Km and Cmin and to the decrease of Imax values. However, the Al did not effect root morphology parameters (radius, length, dry matter and volume).

Key words: Aluminum, uptake kinetics, roots, potassium.

INTRODUÇÃO

A toxidez provocada pelo alumínio (Al) é um dos principais fatores limitantes do crescimento das plantas, principalmente em solos com pH abaixo de 5,0. Sua intensidade depende da quantidade em que se encontra na solução do solo e a relação com outros elementos, principalmente Ca, P, K e Mg (CANAL & MIELNICZUK, 1983). O principal efeito do Al está na inibição da divisão celular da raiz (Clarkson, 1966). Como o maior efeito do alumínio está na redução do sistema radicular, sua influência sobre a absorção de nutrientes nas condições naturais poderá manifestar-se principalmente para aqueles íons cujo suprimento à raiz é na maior parte representado pelo processo de difusão, como é o caso do P e do K (CANAL & MIELNICZUK, 1983). A eficiência de absorção de um nutriente é dada através dos parâmetros Km, Cmin e Vmáx. A taxa máxima de absorção (Vmáx) é dependente da concentração do íon em torno da raiz. Km é a concentração do íon em que ocorre metade de Vmáx e está relacionado à capacidade da planta em absorver o nutriente em baixas concentrações. Cmin é a concentração do íon na solução, onde o influxo é igual ao efluxo. RUIZ (1985), utilizando o método de CLAASSEN & BARBER (1974), propôs um processo gráfico-matemático para que se pudessem obter os parâmetros cinéticos de absorção iônica. A cinética de absorção de nutrientes tem sido descrita pela equação de Michaelis - Menten, originalmente desenvolvida para estudos de cinética enzimática (EPSTEIN, 1975). Um conceito muito

importante é o poder de absorção, definido como a razão Imáx/km. A eficiência de absorção de um nutriente em baixa concentração na solução será tanto maior quanto maior for o Imáx e menor for o Km. O parâmetro " poder de absorção" , sendo a razão dos dois, é uma expressão direta dessa eficiência (VAHL e LOPES, 1996). O presente trabalho objetivou avaliar os efeitos nocivos do alumínio na morfologia de raízes e parâmetros cinéticos de absorção de potássio.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado nos laboratórios do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel – UFPEL. O experimento foi conduzido em câmara de crescimento, com as seguintes condições: comprimento do dia de treze horas, temperatura diurna medida na superfície dos vasos de $29^{\circ}\text{C} (\pm 2)$ e noturna de $24^{\circ}\text{C} (\pm 2)$. Foi utilizada solução nutritiva continuamente aerada, com a seguinte composição: 78 mg L^{-1} de K (K_2SO_4); 32 mg L^{-1} de S (K_2SO_4); 24 mg L^{-1} de Mg ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$); 32 mg L^{-1} de S ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$); 15 mg L^{-1} de P ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$); 7 mg L^{-1} de N ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$); 14 mg L^{-1} de NH_4^+ (NH_4NO_3); 14 mg L^{-1} de NO_3^- (NH_4NO_3); 40 mg L^{-1} de Ca ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$); 28 mg L^{-1} de NO_3^- ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$); 5 mg L^{-1} de Fe-EDTA; $0,3 \text{ mg L}^{-1}$ de Mn ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$); $0,3 \text{ mg L}^{-1}$ de Cu ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$); $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ de Zn ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$); $0,25 \text{ mg L}^{-1}$ de B (H_3BO_3) e $0,01 \text{ mg L}^{-1}$ de Mo ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). As plântulas de milho (*Zea mays* L.), foram obtidas envolvendo-se as sementes em papel – toalha, formando um cartucho cuja extremidade oposta às sementes foi depositada em recipiente contendo água suficiente para manter a umidade até a germinação. As plântulas assim obtidas, após oito dias foram transplantadas para vasos plásticos com tampa de "isopor" contendo 3,5 litros de solução nutritiva, sendo colocadas três plantas por vaso. Os vasos foram dispostos na forma de blocos ao acaso, com três repetições. Os tratamentos utilizados foram os seguintes: 1) solução nutritiva normal, 2) solução nutritiva normal + Al (7 mg L^{-1}). Durante o período de crescimento a solução nutritiva foi trocada semanalmente tendo seu pH monitorado a cada três dias, sendo corrigido para 4,5 com HCl ou NaOH. Vinte dias após o transplante para os vasos, procedeu-se as determinações dos parâmetros cinéticos de absorção. Para determiná-los, foi empregado o método proposto por CLAASSEN & BARBER (1974), baseado na velocidade de esgotamento do íon da solução nutritiva. Assim, pôde-se estabelecer a curva de decréscimo da quantidade (Q) do íon da solução com o tempo (t) de absorção pelo ajuste de diferentes funções matemáticas aos dados experimentais. Na véspera da medição, a solução foi trocada, omitindo-se o potássio (mesma solução anterior sem a fonte de potássio). No dia seguinte foram colocados $4,0 \text{ mg L}^{-1}$ de K em todos os vasos. O arejamento da solução foi mantido durante o período de coleta das amostras. A amostragem foi realizada de 30 em

30 minutos, iniciando-se às 9:25 hs e estendendo-se até às 22:25 hs, num total de 27 amostras. Cada amostra constou de 10 ml. Na manhã do outro dia, foi realizada uma última amostragem para garantia de obtenção do "C" mínimo (concentração de potássio na solução, na qual o influxo líquido de potássio é zero). Os teores de potássio na solução foram determinados por fotometria de chama, conforme metodologia descrita em TEDESCO *et al.* (1995). O ajuste das curvas de depleção do potássio e os cálculos dos parâmetros cinéticos, foram feitos de acordo com o método proposto por RUIZ (1985). As plantas foram colhidas no dia seguinte ao das medidas da absorção de potássio, sendo a parte aérea separada e seca em estufa a 65°C para determinação da matéria seca. As determinações de potássio da parte aérea consistiram da análise de tecido pelo método de digestão úmida com ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄ 95-97%) e água oxigenada (H₂O₂ 30 %). As raízes foram guardadas em

sacos plásticos em congelador, até a determinação do comprimento, pelo método das intercepções de quadriculas de TENNANT (1975). A matéria seca das raízes foi determinada após secagem do material em estufa a 65 °C.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção de matéria seca da parte aérea, o teor de potássio absorvido por vaso e os parâmetros de raízes (r, L, ms e volume) não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos (Tabelas 01 e 02). A aplicação de 7 mg L⁻¹ de alumínio diminuiu o poder de absorção do potássio, em relação ao tratamento "1", em consequência do efeito do alumínio nos três parâmetros cinéticos determinados: diminuiu o Imáx e aumentou o Km e o Cmin (Tabela 03).

TABELA 1. Absorção de K, matéria seca da parte aérea e matéria seca das raízes

Tratamentos	Absorção	M.S aérea	M.S raiz
	mg vaso ⁻¹	----- g -----	
1- solução normal	126.90 a	4.18 a	0.514 a
2- solução normal+ Al	126.55 a	4.79 a	0.694 a

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

TABELA 2. Parâmetros morfológicos da raiz para a cultura de milho com 20 dias de idade

Tratamentos	Parâmetros morfológicos			
	L (cm)	r (cm.10 ⁻²)	Área (cm ²)	Volume (cm ³)
1- solução normal	7386.57 a	1.38 a	643.90 a	4.50 a
2- solução normal+ Al	8133.02 a	1.48 a	752.14 a	5.58 a

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

TABELA 3. Parâmetros cinéticos de absorção para potássio na cultura de milho com 20 dias de idade

Tratamentos	Parâmetros cinéticos			
	Imáx	Km	Cmin	Poder de absorção
	mmolc.m ⁻¹ .h ⁻¹	--- mmolc. L ⁻¹ --		
1- solução normal	94.77 a	0.56 b	0.25 b	0.17 a
2- solução normal+ Al	44.76 b	0.60 a	0.50 a	0.07 b

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

Considerando que o Imáx é definido como o produto do número de carregadores por unidade de superfície de membrana pela velocidade de funcionamento dos mesmos (EPSTEIN, 1975), um inibidor que diminui o Imáx deve atuar diminuindo o número de carregadores disponíveis e/ou a velocidade de seu funcionamento. Isso resulta em diminuição do Imáx para o potássio na presença de alta concentração de alumínio, como pode ser constatado na tabela 03. Na cinética enzimática, a inibição é competitiva quando o inibidor compete com o substrato pelo mesmo sítio da enzima, o que resulta em aumento do Km para o substrato e o Imáx se mantém inalterado; a inibição é não competitiva quando o inibidor reage com a enzima em sítio diferente daquele em que se liga o substrato, formando um complexo inibidor enzima – substrato que não completa a reação, resultando em diminuição do Imáx na presença do inibidor mas o Km não se altera (MORRIS, 1972 citado por VAHL, 1993). Os dados da tabela 03 mostram evidências de inibição competitiva e não competitiva do alumínio na absorção do potássio, ou seja, inibição mista. Tanto Cmin como km baixos, relacionam-se com a capacidade de absorção de nutrientes do solo que chegam à raiz por difusão. Qualquer aumento nos valores de Km e Cmin significa redução na eficiência de absorção de nutrientes. Os resultados mostram (Tabela 03) que o Cmin

varia no mesmo sentido do Km. Isso indica que, as causas da variação destes dois parâmetros entre os tratamentos possivelmente sejam as mesmas. Nesse caso o aumento do Cmin do potássio quando adicionado alumínio (Tratamento 2), foi consequência da diminuição da afinidade dos sítios de absorção pelo potássio e competição com o alumínio. O significado prático disso, é que sob altos níveis de alumínio, o teor mínimo de potássio na solução deve ser maior para manter a absorção, sendo o mesmo efeito observado no Km. Entretanto, é importante ressaltar, que além do alumínio promover inibições, ele bloqueia a divisão celular (mitose), reduzindo a formação de novas células e diminuindo a atividade de enzimas, entre elas, a ATPase, bloqueando a liberação da energia requerida para o processo de absorção ativa de nutrientes (ANGHINONI & MEURER, 1999).

CONCLUSÕES

O alumínio não apresenta efeitos sobre os parâmetros morfológicos de raízes (r, L, ms e volume), mas altera os parâmetros cinéticos (Vmáx, Km e Cmin), diminuindo consideravelmente o poder de absorção de potássio;

O Cmin varia no mesmo sentido do Km, indicando que as causas da variação destes dois parâmetros entre os tratamentos possivelmente sejam as mesmas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGHINONI, I. & MEURER, E.J. Eficiência de absorção de nutrientes pelas raízes. In: **Workshop sobre sistema radicular: metodologias e estudo de casos**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 1999. 300p.
- CANAL, I.N. & MIELNICZUK, J. Parâmetros de absorção de potássio em milho (*Zea mays L.*), afetados pela interação alumínio – cálcio. **Ciência e cultura**, v. 35, n.3, p. 336-340, 1983.
- CLARKSON, D.T. Effect of aluminum on the uptake and metabolism of phosphorus by barley seedlings. **Plant Physiol.**, v.41, p.165-172, 1966.
- EPSTEIN, E. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. São Paulo: editora da Universidade de São Paulo, 1975, 341 p.
- CLAASSEN, N.; BARBER, S. A. A method for characterizing the relation between nutrient concentration and flux into roots of intact plants, **Plant Physiology**, Bethesda, n. 54, p. 564-568, 1974.
- RUIZ, H. Estimativa dos parâmetros cinéticos Km e Vmáx por uma aproximação gráfico – matemática. **Rev. Ceres**, v.32, p.79-84, 1985.
- RUSSEL, R.S. & SANDERSON, J. Nutrient uptake by different parts of the intact roots of plants. **J. Exp. Bot.**, v.18, p.491-508, 1967.
- TEDESCO, M. J. **Análise de solos, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Departamento de solos, UFRGS, 1995. 174 p.
- TENNANT, A. A test of modified line intersect method of estimating root length. **J. Appl. Ecol.**, London, v.63, n.3, p.995–1001, 1975.
- VAHL, L.C. & LOPES, S. I. Nutrição de plantas. In: PESKE, S. T.; NEDEL, J.L.; BARROS, A.C.S.A. **Produção de arroz**. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 1996. 655 p.
- VAHL, L.C.; ANGHINONI, I.; VOLKWEISS, S.J. Cinética de absorção de potássio afetada por ferro, cálcio e magnésio em genótipos de arroz de diferentes sensibilidades à toxicidade de ferro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.17, p.269-273, 1993.