

RESPOSTA DO FEIJOEIRO CULTIVADO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA A NÍVEIS DE CÁLCIO E MAGNÉSIO NA PRESENÇA DE ALUMÍNIO¹

JOSÉ OLÍMPIO DE SOUZA JÚNIOR², CLISTENES WILLIAMS ARAÚJO DO NASCIMENTO²
e HERMÍNIA EMÍLIA PRIETO MARTINEZ³

RESUMO - Realizou-se experimento em casa de vegetação, com o objetivo de avaliar o grau de acumulação de matéria seca e de nutrientes na parte aérea e nas raízes de plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), com o aumento da concentração de Ca e Mg em solução nutritiva contendo Al. Utilizou-se um fatorial incompleto com quatro níveis de Mg e cinco de Ca, na presença de 3,0 mg/L de Al, acrescido de um tratamento-testemunha (sem Al), perfazendo um total de dez tratamentos, com três repetições. A unidade experimental foi formada por vaso contendo 4,8 L de solução de Clark - ½ força, pH 4,5, e duas plantas de feijão var. Milionário Mulatinho. A presença de Al diminuiu a produção de matéria seca da parte aérea e a absorção de Ca, Mg e P pela planta, porém aumentou o P e o Al no sistema radicular e não afetou a produção de matéria seca e o K nas raízes. O fornecimento de Ca em solução aumentou a produção de matéria seca das raízes, e, de modo geral, os nutrientes na planta. O aumento do Mg em solução favoreceu seu acúmulo na planta e a produção de matéria seca da parte aérea. Os teores de Ca e Mg na solução interagiram positivamente com o teor de P e com os conteúdos de P e Al no sistema radicular.

Termos para indexação: nutrição mineral, toxicidade de Al, feijão, *Phaseolus vulgaris*.

RESPONSE OF BEAN CULTIVATED IN NUTRIENT SOLUTION TO LEVELS OF CALCIUM AND MAGNESIUM IN THE PRESENCE OF ALUMINIUM

ABSTRACT - An experiment was carried out under greenhouse conditions utilizing the Milionário Mulatinho cultivar, to evaluate the effects of Ca and Mg levels, in nutrient solution containing Al, on the dry matter and content of nutrients in shoot and roots of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). The experimental design consisted of an incomplete factorial with four levels of Mg and five levels of Ca, in the presence of 3.0 mg/L Al, and of a control (without Al), being as a whole ten treatments with three replications. Each vase had 4.8 L of ½ - power Clark solution, pH 4.5, and two plants of bean. The presence of Al reduced the production of dry matter of shoot and the uptake of Ca, Mg and P. On the other hand, the accumulation of P and Al in the roots was increased and the accumulation of K and dry matter in that part of the plant was unaffected by Al. The supplying of Ca in the nutrient solution increased the production of dry matter in the roots and, in a general way, it also increased the concentration and accumulation of nutrients in the plants. The increase of Mg in nutrient solution increased its accumulation by plant and the production of dry matter in shoot. The concentrations of Ca and Mg in solution positively interacted with P concentration and with the accumulation of P and Al in the root system.

Index terms: mineral nutrition, aluminium toxicity, bean, *Phaseolus vulgaris*.

INTRODUÇÃO

Na maioria dos solos brasileiros, os teores de alumínio (Al) frequentemente atingem níveis tóxicos para as plantas. Sua toxicidade é, geralmente, o fator mais limitante ao aumento da produtividade das culturas em solos ácidos (Silva et al., 1984; Blamey et al., 1992;

¹ Aceito para publicação em 21 de novembro de 1997.

Trabalho apresentado no XIII Congresso Latino Americano de Ciência do solo.

² Eng. Agr., Pós-graduando, Dep. de Solos, Univ. Fed. de Viçosa (UFV), CEP 36571-000 Viçosa, MG. E-mail: olimpio@solos.ufv.br

³ Eng. Agr., Dr., Prof., Dep. de Fitotecnia, UFV.

Kochian, 1995). Seu efeito danoso pode manifestar-se pela limitação do desenvolvimento do sistema radicular, bem como por sua interferência na absorção, transporte e utilização de nutrientes (Silva et al., 1984).

Cronan (1991) e Blamey et al. (1992) citam vários trabalhos que apontam o efeito tóxico do Al, inibindo a absorção de cálcio (Ca) e de magnésio (Mg). Eles procuram minimizar essa toxicidade, mediante o fornecimento desses cátions às raízes das plantas. Este fato pode ser entendido quando se avalia que o fornecimento de bases diminui a atividade e a saturação de Al no complexo de troca do solo (Solera, 1988). Além disso, o aumento da concentração desses cátions no ambiente radicular pode diminuir, por competição, a adsorção do Al à plasmalema das células, e ter funções metabólicas específicas que minimizem os efeitos danosos do Al, como, por exemplo, a estabilização da membrana plasmática pelo Ca (Marschner, 1995).

Trabalhos como o de Massot et al. (1992) revelam a importância do genótipo, em estudos que avaliam a toxicidade do Al em plantas de feijão. Esses autores observaram que, comparativamente à testemunha, uma variedade diminuiu, a outra aumentou, e a terceira não foi afetada, quando se avaliou o peso e o comprimento das raízes após serem submetidas, por um período, à presença de 10 mg/L de Al em solução. Também observaram que a presença de Al em solução no início do cultivo reduziu o peso da parte aérea em duas variedades, porém aumentou na variedade mais tolerante.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o acúmulo de matéria seca e de nutrientes na parte aérea e nas raízes de uma variedade de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), com o aumento da concentração de Ca e Mg em solução nutritiva contendo Al.

MATERIAL E MÉTODOS

Sementes de feijão da variedade Milionário Mulatino (2104 - N° de registro no banco de germoplasma da Universidade Federal de Viçosa) foram germinadas, por cinco dias, em rolos de papel, sob condições de câmara de germinação. As plântulas foram repicadas para bandejas contendo solução de Clark a ½ força, e pH 4,5, onde foram cultivadas por sete dias em casa de vegetação. Seleciona-

ram-se plantas uniformes quanto ao tamanho e aspecto, que foram transferidas, aos pares, para vasos de plástico contendo 4,8 L de solução de Clark a ½ força, pH 4,5, e com diferentes teores de Ca e Mg.

Trabalhou-se com um fatorial incompleto com quatro níveis de Mg e cinco de Ca, na presença de 3,0 mg/L de Al, perfazendo nove tratamentos; houve, acidentalmente, a coincidência de dois tratamentos – a saber: do quarto com o oitavo (Tabela 1) –, o que não comprometeu a análise estatística dos dados. Além do fatorial, acrescentou-se um tratamento testemunha, ou seja, sem a presença de Al na solução. Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, com três repetições.

A solução nutritiva foi renovada aos 9, 16 e 23 dias após a aplicação dos tratamentos. A aeração foi mantida constante, e o pH, corrigido diariamente para o valor de 4,5. Com 30 dias de cultivo nos vasos, as plantas foram cortadas rente à superfície do vaso, considerando-se a porção superior como parte aérea, e a inferior, como raiz.

O material vegetal foi secado em estufa de ventilação forçada de ar até peso constante, a uma temperatura de 70°C. Determinaram-se as produções da matéria seca de parte aérea e das raízes. Realizou-se mineralização, via digestão nítrico-perclórica, da parte aérea e das raízes, sendo que nos extratos foram dosados Ca e Mg, por absorção atômica; K, por fotometria de chama; P, por colorimetria, mediante a redução do fosfomolibdato pela vitamina-C (Braga & Defelipo, 1974); e Al, por colorimetria do aluminon (Salinas & Garcia, 1985).

TABELA 1. Doses de alumínio (Al), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em cada tratamento.

Tratamento	Al	Ca	Mg
	(mg / L)	---- (mmol / L) ----	
T ₁	3,0	0,92	0,46
T ₂	3,0	0,92	1,24
T ₃	3,0	1,88	0,46
T ₄	3,0	1,88	1,24
T ₅	3,0	0,32	0,46
T ₆	3,0	2,48	1,24
T ₇	3,0	0,92	0,16
T ₈	3,0	1,88	1,24
T ₉	3,0	1,40	0,70
T ₁₀	0,0	1,40	0,70

Analísaram-se estatisticamente a produção de matéria seca e o teor de nutrientes na parte aérea e nas raízes. Com os dados dos nove tratamentos que formam o fatorial incompleto, T_1 a T_9 (Tabela 1), fez-se análise de regressão das variáveis avaliadas em função das doses de Ca e Mg aplicadas em solução. Utilizaram-se coeficientes lineares, quadráticos e interação, sendo aceito o modelo que apresentasse coeficientes significativos até o nível de 10% de probabilidade.

Contrastou-se o tratamento adicional ou testemunha (T_{10}) com o tratamento T_9 , que recebeu as mesmas doses de Ca e Mg, porém continha 3,0 mg/L de Al (Tabela 1). Os contrastes foram testados até o nível de 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de matéria seca e os teores dos elementos na parte aérea e nas raízes são apresentados na Tabela 2. Nas diluições utilizadas, não foram detectados teores de Al na parte aérea.

A aplicação de 3,0 mg/L de Al na solução nutritiva reduziu os teores – exceto os do K – e os conteúdos de todos os nutrientes na parte aérea, bem como a produção de matéria seca da parte aérea (Tabela 3). A presença de Al na solução reduziu também os teores e conteúdos de Ca e Mg na raiz, porém não afetou o teor e o conteúdo de K no sistema radicular (Tabela 3). De acordo com Huang et al. (1992), o Al pode inibir a absorção de Ca pelo bloqueamento dos canais de Ca na membrana plasmática, enquanto Rengel & Robinson (1989) demonstraram que o Al impede a absorção de Mg, por bloquear os sítios de ligação desse nutriente às proteínas transportadoras. Em contraste, a absorção de K parece não ser afetada pelo Al (Wheeler et al., 1992). O aumento da relação $K/(Ca+Mg)$ na planta, causado pela presença de maiores concentrações de Al na solução, pode causar deficiência dos últimos (Marschner, 1995).

A presença de Al na solução aumentou o teor e o conteúdo de P na raiz (Tabela 3), o que ocorreu talvez por causa da precipitação desse nutriente com o Al presente no espaço livre aparente e nas superfícies celulares dela (Alvarez Venegas et al., 1995).

A produção de matéria seca das raízes não foi tão afetada pelo Al quanto a parte aérea, e, inclusive, não houve diferença estatística nem a 5% (Tabela 3). Apesar de os sintomas de toxicidade de Al se manifestarem primeiramente no sistema radicular, a determinação tão somente do peso de matéria seca de raízes não é uma estimativa adequada para avaliar o efeito tóxico desse elemento; é interessante estimar o comprimento das raízes, bem como a proporção de raízes grossas e finas (Dias et al., 1985; Silva et al., 1993; Alvarez Venegas et al., 1995; Kochian, 1995).

A produção de matéria seca do sistema radicular foi maior com o aumento dos teores de Ca na solução nutritiva (Tabela 4), o que está em concordância com os efeitos desse nutriente sobre a parede celular e a membrana plasmática. Silva et al. (1993), trabalhando em solo e com diferentes localizações de $CaCO_3$ e P em vasos geminados, também verificaram que a aplicação de Ca favoreceu mais o desenvolvimento do sistema radicular, em particular das raízes finas, do que a parte aérea de plantas de milho.

A produção da matéria seca da parte aérea aumentou linearmente com a maior disponibilidade de Mg (Tabela 4). Esse resultado está de acordo com os dados de Grimme (1984), citado por Marschner (1995), onde o efeito depressivo do Al em diminuir o crescimento de plantas de soja foi compensado pelo maior fornecimento de Mg em solução nutritiva, ficando seu teor no tecido vegetal acima do nível crítico de deficiência.

O aumento do teor de Ca na solução nutritiva provocou, nos teores de Ca, P e K na parte aérea, efeitos, linear positivo e quadrático negativo, significativos, o que indica um aumento de seus teores na parte aérea, até certo ponto. A maior disponibilidade de Ca em solução reduziu linearmente o teor de Mg e aumentou os conteúdos de Ca, P e K na parte aérea. O fornecimento de Ca contribuiu também para aumentar os teores de Ca e K na raiz, e, de modo geral, os conteúdos de Ca, Mg e K no sistema radicular (Tabela 4). Estes dados refletem a importância do Ca em preservar a capacidade de absorção das raízes mediante a manutenção da integridade da membrana plasmática, bem como em prevenir a perda de solutos

TABELA 2. Matéria seca da parte aérea (MSPA) e da raiz (MSR), teores de macronutrientes na parte aérea e na raiz e teor de Al na raiz de plantas de feijão, em cada tratamento. Média de três repetições.

Tratamento	MSPA ----- (g/vaso) -----	MSR	Teor na parte aérea				Teor na raiz				
			Ca	Mg	P	K	Ca	Mg	P	K	Al
----- (g/kg) -----											
T ₁	3,36	1,08	14,2	1,1	1,5	31,2	4,4	0,8	4,0	23,0	12,7
T ₂	4,72	1,18	10,9	1,6	1,3	27,0	4,7	1,1	3,7	25,1	12,4
T ₃	3,74	1,23	18,5	0,9	1,7	37,2	5,0	0,9	4,0	26,9	11,4
T ₄	3,92	1,30	17,4	1,4	1,6	34,6	4,5	1,3	4,1	28,5	13,1
T ₅	2,92	1,06	8,8	1,2	1,2	27,1	3,8	1,0	4,0	26,2	12,5
T ₆	5,04	1,80	16,8	1,4	1,4	26,4	7,3	1,8	3,7	39,2	12,5
T ₇	2,89	0,94	15,3	0,6	2,0	37,0	3,1	0,5	4,0	21,8	10,3
T ₈	4,50	1,49	15,9	1,5	1,7	30,0	6,5	1,7	4,2	35,5	14,2
T ₉	3,97	1,36	14,7	1,1	1,5	28,0	4,3	0,9	4,3	23,2	12,5
T ₁₀	6,54	1,57	23,8	1,6	2,5	31,2	7,7	2,3	2,6	35,7	0,0

TABELA 3. Valores e significâncias do contraste T₁ (+) versus T₁₀ (-) referentes à matéria seca (g/vaso), teor (g/kg) e conteúdo (mg/vaso) dos elementos analisados na parte aérea e na raiz de plantas de feijão.

Matéria	Ca	Mg	P	K	Al
seca					
Parte aérea					
Teor	-9,1**	-0,5**	-1,0**	-3,2 ^m	
Conteúdo	-2,57**	-98**	-5,9**	-11**	-94**
Raiz					
Teor	-3,4*	-1,3**	+1,7**	-12,6 ^m	+12,5**
Conteúdo	-0,20 ^m	-6,2**	-2,3**	+2**	-25 ^m

** e * Significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

para a solução externa (Marschner, 1995), aumentando o acúmulo de nutrientes pela planta.

O aumento da disponibilidade de Mg na solução nutritiva aumentou seu teor e conteúdo na parte aérea e na raiz, porém reduziu os teores de Ca, e, de modo geral, os de P e K na parte aérea, fato que foi compensado pelo aumento da matéria seca, o que implicou uma não-significativa alteração nos conteúdos de Ca, P e K na parte aérea. O aumento de Mg na solução elevou também os teores de Al e os conteúdos de Ca na raiz (Tabela 4).

Verificaram-se interações significativas e positivas entre os teores de Ca e Mg em solução com o teor de P e os conteúdos de P e Al no sistema radicular. Os conteúdos de P e Al na raiz tiveram o mesmo comportamento, conforme pode ser verificado pela similaridade de suas superfícies de resposta (Tabela 4), o que reforça a hipótese de co-precipitação desses íons no espaço livre aparente a nas proximidades da membrana plasmática das células do sistema radicular.

TABELA 4. Equações de regressão referentes à matéria seca (g/vaso), teor (g/kg) e conteúdo (mg/vaso) de Ca, Mg, P e K na parte aérea e na raiz, e Al na raiz em função de doses de Ca e Mg (mg/L).

Variável	Equação	R ²
Matéria seca		
Parte aérea	$\hat{Y} = 2,68 + 1,52^{**} \text{ Mg}$	0,77
Raiz	$\hat{Y} = 1,11 - 0,20 \text{ Ca} + 0,19^{\circ} \text{ Ca}^2$	0,81
Teor na parte aérea		
Ca	$\hat{Y} = 7,04 + 11,01^{**} \text{ Ca} - 2,14^{**} \text{ Ca}^2 - 3,34^{**} \text{ Mg}$	0,95
Mg	$\hat{Y} = 0,53 - 17,73^{**} \text{ Ca} + 1,71^{**} \text{ Mg} - 0,56^{\circ} \text{ Mg}^2$	0,96
P	$\hat{Y} = 1,71 + 0,83^* \text{ Ca} - 0,22^{\circ} \text{ Ca}^2 - 2,22^{**} \text{ Mg} + 1,19^* \text{ Mg}^2$	0,93
K	$\hat{Y} = 32,4 + 15,25^{**} \text{ Ca} - 4,33^{**} \text{ Ca}^2 - 31,58^{**} \text{ Mg} + 15,62^* \text{ Mg}^2$	0,74
Teor na raiz		
Ca	$\hat{Y} = 2,70 + 1,52^{**} \text{ Ca}$	0,63
Mg	$\hat{Y} = 0,46 + 0,81^{**} \text{ Mg}$	0,71
P	$\hat{Y} = 3,45 + 0,77^* \text{ Ca} - 0,51^* \text{ Ca}^2 + 0,91 \text{ Mg} - 1,32^* \text{ Mg}^2 + 0,80^* \text{ Ca.Mg}$	0,68
K	$\hat{Y} = 18,63 + 6,47^* \text{ Ca}$	0,56
Al	$\hat{Y} = 11,01 + 1,73^* \text{ Mg}$	0,51
Conteúdo na parte aérea		
Ca	$\hat{Y} = 22,22 + 25,28^{**} \text{ Ca}$	0,97
Mg	$\hat{Y} = 1,32 + 4,37^{**} \text{ Mg}$	0,90
P	$\hat{Y} = 3,81 + 1,48^{**} \text{ Ca}$	0,74
K	$\hat{Y} = 85,66 + 23,83^{**} \text{ Ca}$	0,67
Conteúdo na raiz		
Ca	$\hat{Y} = 4,25 - 3,69 \text{ Ca} + 2,23^* \text{ Ca}^2 + 2,32^{\circ} \text{ Mg}$	0,84
Mg	$\hat{Y} = 0,98 - 1,36 \text{ Ca} + 0,90^* \text{ Ca}^2 + 0,96^* \text{ Mg}$	0,89
P	$\hat{Y} = 2,72 - 0,12 \text{ Ca} + 4,98^* \text{ Mg} - 3,77^* \text{ Mg}^2 + 1,23^{\circ} \text{ Ca.Mg}$	0,87
K	$\hat{Y} = 35,50 - 26,76 \text{ Ca} + 16,29^{\circ} \text{ Ca}^2$	0,88
Al	$\hat{Y} = 8,93 - 3,00^{\circ} \text{ Ca} + 15,91^{**} \text{ Mg} - 11,96^{**} \text{ Mg}^2 + 6,17^{**} \text{ Ca.Mg}$	0,92

**,* e ° Significativo a 1, 5 e 10% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

CONCLUSÕES

1. A aplicação de 3,0 mg/L de Al na solução nutritiva diminui a produção de matéria seca da parte aé-

rea, e a absorção de Ca, Mg e P pela planta; não afeta a produção de matéria seca do sistema radicular, nem o teor de K na planta, e aumenta o P e o Al na raiz.

2. O aumento do teor de Ca na solução resulta em

maior produção de matéria seca das raízes, e, de modo geral, em maior acúmulo de nutrientes pela planta.

3. O aumento do teor de Mg na solução favorece sua absorção pela planta, e resulta em maior produção de matéria seca da parte aérea.

4. Os teores de Ca e Mg em solução interagem positivamente com o teor de P e os conteúdos de P e Al no sistema radicular.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ VENEGAS, V.H.; MELLO, J.W.V.; DIAS, L.E. Curso de fertilidade e manejo dos solos - Módulo 04 - Acidez do solo. Brasília: ABEAS/UFV, 1995. 68p.
- BLAMEY, F.P.C.; EDMEADES, D.C.; WHEELER, D.M. Empirical models to approximate calcium and magnesium ameliorative effects and genetic differences in aluminium tolerance in wheat. *Plant and Soil*, v.144, p.281-287, 1992.
- BRAGA, J.M.; DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofométrica de fósforo em extratos de solo e plantas. *Revista Ceres*, Viçosa, MG, v.21, p.75-85, 1974.
- CRONAN, C.S. Differential adsorption of Al, Ca and Mg by roots of red spruce (*Picea rubens* Sarg.). *Tree Physiology*, v.8, p.227-237, 1991.
- DIAS, L.E.; CARVALHO, L.J.C.B.; RITCHEY, K.D. Avaliação da deficiência de Ca em diferentes solos de cerrado, por meio de crescimento radicular. *Revista Ceres*, Viçosa, MG, v.32, p.102-109, 1985.
- HUANG, J.W.; SHAFF, J.E.; GRUNES, D.L.; KOCHIAN, L.V. Aluminum effects on fluxes at the root apex of aluminum-tolerant and aluminum-sensitive wheat cultivars. *Plant Physiology*, v.98, n.1, p.230-237, 1992.
- KOCHIAN, L.V. Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, v.46, p.237-260, 1995.
- MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. 2.ed. London: Academic Press, 1995. 889p.
- MASSOT, N.; POSCHENRIEDER, C.; BARCELO, J. Differential response of three bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars to aluminium. *Acta Botanica Neerlandica*, v.41, n.3, p.293-298, 1992.
- RENGEL, Z.; ROBINSON, D.L. Competitive Al^{3+} inhibition of net Mg^{2+} uptake by intact *Lolium multiflorum* roots. I Kinetics. *Plant Physiology*, v.91, n.4, p.1407-1413, 1989.
- SALINAS, J.G.; GARCIA, R. *Métodos químicos para el análisis de suelos ácidos y plantas forrajeras*. Cali, Colombia: CIAT, 1985. 83p.
- SILVA, D.J.; ALVARENGA, R.C.; ALVAREZ VENEGAS, V.H.; SOARES, P.C. Localização de fósforo e de cálcio no solo e seus efeitos sobre o desenvolvimento inicial de milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, SP, v.17, p.203-209, 1993.
- SILVA, J.B.C. da; NOVAIS, R.F. de; SEDIYAMA, C.S. Comportamento de genótipos de soja em solo com alta saturação de alumínio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v.19, n.3, p.287-298, 1984.
- SOLERA, M.A.C. Efeito de relações Ca:Mg, utilizando carbonatos e sulfatos, sobre o crescimento e a nutrição mineral da cana-de-açúcar. Viçosa: UFV, 1988. 186p. Tese de Mestrado.
- WHEELER, D.M.; EDMEADES, D.C.; CHRISTIE, R.A. Effect of aluminium on relative yield and plant chemical concentrations of cereals grown in solution culture at low ionic strength. *Journal of Plant Nutrition*, v.15, p.403-418, 1992.