

ABSORÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE CÁDMIO E MICRONUTRIENTES EM CULTIVARES DE FEIJOEIRO EXPOSTAS A DOSES DE CÁDMIO¹

CLÍSTENES WILLIAMS ARAÚJO DO NASCIMENTO² e JOÃO BATISTA MARTINIANO PEREIRA³

RESUMO - Visando avaliar os efeitos de doses crescentes de cádmio em solução nutritiva sobre a absorção e a translocação de Cd, Zn, Fe, Mn e Cu por plantas de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), foi montado um ensaio em casa de vegetação utilizando-se as cultivares Ouro Negro e Carioca. As doses de Cd utilizadas foram: 0,0; 0,025; 0,05; 0,10 e 0,50 µg/mL, aplicadas em vasos de 4,8 L contendo solução nutritiva de Clark com metade da força iônica original a pH 6,0. Verificou-se aumento na absorção de Cd com o aumento das doses do elemento em solução. As raízes acumularam maiores quantidades do metal que a parte aérea. As doses de Cd diminuíram os conteúdos de Zn e de Mn nas raízes de ambas as cultivares, sem afetar, na mesma proporção, a quantidade desses cátions na parte aérea das plantas. O conteúdo de Cu das plantas aparentemente não foi alterado pelas doses de Cd, com exceção de um pequeno aumento no conteúdo na raiz da cultivar Carioca, enquanto que o conteúdo de Fe foi significativamente alterado na raiz da cultivar Ouro Negro.

Termos para indexação: metais pesados, *Phaseolus vulgaris*.

UPTAKE AND DISTRIBUTION OF CADMIUM AND MICRONUTRIENTS BY BEAN CULTIVARS EXPOSED TO CADMIUM LEVELS

ABSTRACT - To evaluate the effects of cadmium levels in nutrient solution on the uptake and distribution of Cd, Zn, Fe, Mn and Cu by bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.), an experiment was carried out under greenhouse conditions, utilizing the cultivars Ouro Negro and Carioca. The Cd levels tested were: 0.0; 0.025; 0.05; 0.10 e 0.50 µg/mL applied in 4.8 L vases containing Clark nutritive solution with half the original ionic force at pH 6.0. For both cultivars, Cd contents in plants showed to increase with increased Cd levels in nutrient solution, with the roots accumulating more Cd than shoot. The Cd treatment resulted in decreased content of Zn and Mn in roots, with little or no effect on the contents of these elements in the shoot. The Cu contents in plants were apparently unaffected by the Cd levels in nutrient solution, except for the Cu content in roots of the Carioca cultivar. On the other hand, the Fe content was altered only in the roots of the Ouro Negro cultivar.

Index terms: heavy metals, *Phaseolus vulgaris*.

INTRODUÇÃO

O cádmio (Cd) é um dos metais pesados mais tóxicos para plantas e animais, sendo, entre esses elementos, o que tem apresentado as mais altas taxas de emissão para o ambiente nas últimas décadas (Alloway, 1990), em decorrência de atividades

como: mineração, fundição e refinamento de Zn, produção e utilização de fungicidas e fertilizantes fosfatados, e introdução do elemento por deposições atmosféricas (Page et al., 1972). Em solos não contaminados, o Cd encontra-se em concentrações que variam de 0,01 a 0,7 mg/kg (Lindsay, 1979), podendo esta concentração ser aumentada pela utilização de insumos agrícolas que contenham o elemento, o que pode possibilitar a introdução do metal na cadeia alimentar mediante a absorção pelas plantas.

O Cd pode influenciar a absorção de outros elementos presentes no meio de crescimento (Rodecap et al., 1994), entre eles os elementos minerais essenciais, especialmente cátions potencialmente com-

¹ Aceito para publicação em 29 de agosto de 1997.

² Eng. Agr., aluno do curso de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Dep. de Solos, Universidade Federal de Viçosa, CEP 36571-000 Viçosa, MG. E-mail: clistenes@solos.ufv.br

³ Eng. Agr., Embrapa-Centro de Pesquisa Agroflorestal do Acre (CPAF), Caixa Postal 392, CEP 69901-180 Rio Branco, AC. E-mail: martiniano@homenet.com.br

petidores como Zn, Mn, Fe e Cu (Cataldo et al., 1983). Jalil et al. (1994) verificaram que a aplicação de Cd em solução nutritiva diminuiu as concentrações de Zn e Mn nas raízes e na parte aérea de cultivares de trigo. Por sua vez, Gussarsson (1994) encontrou que as raízes de *Betula pendula* foram consideravelmente mais afetadas pela exposição ao Cd do que a parte aérea, sendo observada redução na concentração de Mn e aumento na concentração de Cu. Um dos principais sintomas de toxicidade de Cd em plantas é uma clorose característica de deficiência de Fe, que pode ser causada pela competição entre os dois cátions por sítios de absorção na membrana plasmática (Foy et al., 1978).

Efeitos do Cd sobre a absorção de outros cátions, notadamente Fe e Zn, têm sido demonstrados em diversos trabalhos, os quais geralmente apresentam resultados conflitantes. Assim, a presença do Cd no meio de crescimento pode aumentar (Root et al., 1975; Wong et al., 1984), diminuir (Gussarsson, 1994) ou não afetar (Jalil et al., 1994) a absorção de Fe em plantas. Turner (1973) e McKenna et al. (1993) observaram aumento nas concentrações de Zn em tomateiro e em alface, respectivamente, enquanto Khan & Khan (1983) e Nascimento (1996) relataram redução na absorção de Zn em tomateiro e milho, respectivamente, em relação ao aumento na absorção de Cd.

O presente trabalho objetivou estudar a absorção e a distribuição de Cd por plantas de duas cultivares de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) expostas a doses deste elemento em solução nutritiva, e o efeito deste metal sobre os conteúdos de Zn, Fe, Mn e Cu nas raízes e na parte aérea das cultivares.

MATERIAL E MÉTODOS

As cultivares de feijoeiro utilizadas no ensaio foram a Ouro Negro e a Carioca, obtidas no setor de sementes do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. Estas cultivares foram semeadas em papel-toalha umedecido e parcialmente submerso em água destilada. Três dias após a germinação, as plântulas foram selecionadas quanto à homogeneidade em tamanho, e transferidas para bandejas de 25 litros contendo solução nutritiva de Clark (1975) a 1/4 de sua força iônica original, onde cresceram por um período de cinco dias sob aeração constante e com pH mantido em 6,0, median-

te monitoramento e correção diários, com o uso de NaOH. Após esse período, as plantas foram transferidas, em número de duas, para vasos com capacidade de 4,8 litros, contendo solução nutritiva de Clark a 1/2 de sua força iônica original. Nestes vasos foram aplicados os tratamentos, os quais constaram de doses de Cd (0,0; 0,025; 0,05; 0,10 e 0,50 µg/mL), aplicadas na forma de CdCl₂.H₂O. Durante o período de condução do ensaio a solução foi mantida sob aeração constante e teve seu pH corrigido, duas vezes ao dia, para 6,0, mediante adição de NaOH.

Depois de um período de cinco dias de exposição às doses de Cd, as plântulas foram coletadas e divididas em parte aérea e raiz. As raízes foram lavadas em água destilada durante aproximadamente um minuto, visando remover os íons do espaço livre aparente; sendo, em seguida, secadas entre folhas de papel-toalha. Raízes e parte aérea foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas em estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 70°C, até atingirem peso constante; foram, então, pesadas, para obtenção do peso de matéria seca de cada uma das partes. Posteriormente, este material foi moído em moinho tipo Willey, 40 mesh, e porções de 0,2 g sofreram digestão em 6 mL de uma mistura de ácidos nítrico e perclórico na proporção de 3:1 (v/v). Nos extratos obtidos, foram analisadas as concentrações de Cd, Fe, Zn, Mn e Cu por espectrofotometria de absorção atômica.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com dez tratamentos (duas cultivares x cinco doses de Cd) e três repetições. Os resultados obtidos foram submetidos a análises de variância e de regressão referentes a cada uma das características em estudo, utilizando-se o *software* SAEG (Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas) da Universidade Federal de Viçosa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As doses de Cd aplicadas em solução nutritiva reduziram significativamente a produção de matéria seca das raízes de ambas as cultivares testadas, e foi observado efeito significativo sobre o acúmulo de matéria seca da parte aérea apenas na cultivar Carioca (Tabela 1). Este resultado corrobora os encontrados por Jurado (1989), que também observou que em feijoeiro os efeitos deletérios do Cd foram mais pronunciados nas raízes que na parte aérea. Os sintomas de toxicidade de Cd mais comumente observados nas plantas durante a condução do ensaio, foram encarquilhamento e enrolamento das folhas, inclusive com secamento destas, ao final do ensaio

na dose mais alta de Cd, além de severa restrição no crescimento das raízes.

Nas duas cultivares ocorreu aumento na absorção de Cd com o aumento da concentração do metal na solução nutritiva, sendo que o conteúdo do elemento nas raízes foi muito maior que o conteúdo encontrado na parte aérea (Tabela 2), o que demonstra a localização preferencial deste metal nas raízes, observada em feijoeiro (Hardiman & Jacoby, 1984),

em soja (Oliveira et al., 1994) e em milho (Nascimento, 1996).

Foram ajustadas equações de regressão do tipo raiz quadrada entre concentração de Cd na solução e conteúdo do elemento nos tecidos vegetais das duas cultivares testadas (Tabela 3). De acordo com Turner (1973), em doses mais elevadas de Cd em solução, os mecanismos de absorção passam a ser afetados pela toxicidade do elemento acarretando menores taxas de absorção.

A cultivar Ouro Negro absorveu maiores quantidades de Cd que a cultivar Carioca; no entanto, mostrou menor redução na sua produção de matéria seca, indicando, possivelmente, maior tolerância ao Cd. Estes resultados indicam que no tocante às cultivares testadas não parece haver qualquer relação entre menores quantidades de Cd nos tecidos e grau de tolerância ao metal. Kuboi et al. (1987) também chegaram a essa conclusão em relação a diversas espécies vegetais.

As duas cultivares demonstraram diminuição nos conteúdos de Cd transportados para a parte aérea na dose de 0,5 µg/mL em solução, apesar do elevado aumento no conteúdo do elemento nas raízes nesta dose de Cd; isto sugere a atuação de algum mecanismo responsável pela retenção do metal na raiz. Em diversas espécies, este mecanismo pode ser proporcionado pela síntese de fitoquelatinas, polipeptídeos de baixo peso molecular, que podem

TABELA 1. Produção (g) de matéria seca de parte aérea (MSPA) e de raízes (MSR) das cultivares Ouro Negro e Carioca de feijoeiro, submetidas a doses de cádmio em solução nutritiva.

Cádmio (µg/mL)	Cultivares ¹			
	Ouro Negro		Carioca	
	MSPA	MSR	MSPA	MSR
0,000	3,82a	1,36a	3,13a	1,15a
0,025	3,70a	1,24a	3,37a	1,25a
0,050	3,64a	1,19ab	3,28a	1,15a
0,100	3,89a	1,19ab	3,08a	1,14a
0,500	3,10a	0,74b	2,33b	0,55b

¹ Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

TABELA 2. Conteúdos (µg) de Cd, Zn, Fe, Mn e Cu na parte aérea e nas raízes das cultivares Ouro Negro e Carioca de feijoeiro, submetidas a doses de cádmio em solução nutritiva.

Cádmio (µg/mL)	Conteúdo									
	Parte aérea					Raiz				
	Cd	Zn	Fe	Mn	Cu	Cd	Zn	Fe	Mn	Cu
	Ouro Negro									
0,000	0,0	164,8	389,6	345,3	23,6	0,6	380,5	643,2	391,5	22,1
0,025	3,6	152,5	383,5	324,1	20,6	120,9	160,5	583,6	324,7	18,4
0,050	5,1	155,6	389,2	326,5	33,5	168,4	158,6	782,9	147,4	20,8
0,100	5,2	151,4	415,3	321,2	22,9	201,1	89,4	798,8	175,8	23,4
0,500	2,6	121,1	381,9	254,9	17,8	318,4	56,6	588,4	124,4	18,5
	Carioca									
0,000	0,0	167,0	363,4	373,6	27,5	0,9	161,3	490,4	240,1	16,4
0,025	2,4	167,5	373,2	352,6	20,3	89,6	159,9	688,2	172,9	19,3
0,050	3,9	156,0	281,6	304,0	18,0	134,1	122,3	701,5	196,7	20,8
0,100	3,5	153,3	337,5	275,9	23,3	146,4	120,7	556,9	192,3	21,0
0,500	1,6	122,7	262,6	253,7	20,0	189,7	59,7	494,1	45,2	20,9

TABELA 3. Equações de regressão e coeficientes de determinação (R^2) obtidos entre as doses de Cd aplicadas em solução nutritiva ($\mu\text{g/mL}$) e os conteúdos (μg) de Cd, Zn, Fe, Mn e Cu na parte aérea e nas raízes das cultivares Ouro Negro e Carioca de feijoeiro.

Elemento	Cultivar	Equação	R^2
	Ouro Negro	Parte aérea	
Cd		$\hat{Y} = 0,07 + 28,18^{**}X^{0,5} - 34,81^{**}X$	0,98
Zn		$\hat{Y} = \bar{Y} = 149,07$	-
Fe		$\hat{Y} = \bar{Y} = 391,92$	-
Mn		$\hat{Y} = \bar{Y} = 314,39$	-
Cu		$\hat{Y} = \bar{Y} = 23,68$	-
		Raiz	
Cd		$\hat{Y} = 2,82 + 822,02^{**}X^{0,5} - 532,79^{**}X$	0,99
Zn		$\hat{Y} = 370,62 - 1301,03^{**}X^{0,5} + 1215,53^{**}X$	0,97
Fe		$\hat{Y} = 609,99 + 2485,51^{**}X - 5057,36^{**}X^2$	0,72
Mn		$\hat{Y} = \bar{Y} = 232,76$	-
Cu		$\hat{Y} = \bar{Y} = 20,66$	-
	Carioca	Parte aérea	
Cd		$\hat{Y} = 0,07 + 20,26^{**}X^{0,5} - 25,62^{**}X$	0,95
Zn		$\hat{Y} = \bar{Y} = 153,31$	-
Fe		$\hat{Y} = \bar{Y} = 323,67$	-
Mn		$\hat{Y} = 373,57 - 1223,17^{**}X^{0,5} + 1967,32^{**}X$	0,99
Cu		$\hat{Y} = \bar{Y} = 21,82$	-
		Raiz	
Cd		$\hat{Y} = 2,19 + 660,46^{**}X^{0,5} - 560,34^{**}X$	0,99
Zn		$\hat{Y} = 150,05 - 187,09^{**}X$	0,88
Fe		$\hat{Y} = \bar{Y} = 586,21$	-
Mn		$\hat{Y} = 215,27 - 339,42^0X$	0,91
Cu		$\hat{Y} = 16,49 + 22,34^{**}X^{0,5} - 22,75^{**}X$	0,98

⁰, *, ** Significativo a 10, 5 e 1%, respectivamente.

complexar o Cd encontrado em concentrações tóxicas nas raízes, impedindo seu transporte para a parte aérea e, conseqüentemente, aumentando sua concentração nas raízes (Steffens, 1990).

A presença do Cd em solução diminuiu os conteúdos de Zn nas raízes de ambas as cultivares, o que indica um antagonismo entre esses dois cátions ao nível de absorção radicular, como demonstrado por Cutler & Rains (1974) em relação a cevada. Dabin et al. (1978), McKenna et al. (1993) e Nascimento (1996) também encontraram resultados se-

melhantes quanto à absorção de Zn por plantas de arroz, alface e milho, respectivamente, expostas a doses Cd. Este efeito do Cd sobre a absorção de Zn se deve, provavelmente, à semelhança química entre os dois cátions.

Os conteúdos de Mn nas raízes e na parte aérea da Ouro Negro não foram significativamente afetados pelo aumento da concentração de Cd na solução nutritiva (Tabela 3). No entanto, os conteúdos desse micronutriente nas raízes e na parte aérea da cultivar Carioca apresentaram um declínio com o

aumento das doses de Cd, tal como sugerido por Cataldo et al. (1983).

Com exceção das raízes da cultivar Carioca, que apresentaram um pequeno aumento, não pareceu haver qualquer influência sobre os conteúdos de Cu nas raízes e parte aérea das cultivares estudadas, resultados que demonstram que o Cd não teve influência sobre as quantidades de Cu absorvidas ou translocadas pelas cultivares. Jalil et al. (1994) observaram que em cultivares de trigo também não houve efeito do Cd sobre a absorção de Cu, enquanto que Gussarsson (1994) obteve aumento na concentração de Cu em plântulas de *Betula pendula* expostas a baixas concentrações de Cd em solução nutritiva.

Os conteúdos de Fe na parte aérea e nas raízes da cultivar Carioca, bem como o conteúdo deste elemento na parte aérea da cultivar Ouro Negro, não foram afetados pelas concentrações de Cd na solução (Tabela 3). O conteúdo de Fe nas raízes da Ouro Negro apresentaram aumento até a dose de 0,1 µg/mL de Cd, para em seguida diminuir na dose mais alta de Cd na solução. Estes resultados não corroboram as afirmações de Foy et al. (1978), segundo as quais o Cd compete com o Fe pelos sítios de absorção na membrana plasmática, conduzindo a redução na absorção do último. Gussarsson (1994) e Nascimento (1996) também não observaram redução nas quantidades de Fe presentes nas raízes e na parte aérea de *Betula pendula* e milho, respectivamente, em virtude de doses de Cd aplicadas em solução nutritiva.

De modo geral, a aplicação de Cd à solução nutritiva diminuiu os conteúdos totais dos quatro micronutrientes estudados, efeito este que pode ter sido causado por competição entre o Cd e esses cátions pelos sítios de absorção na membrana plasmática (Cataldo et al., 1983) ou por danos ao mecanismo de absorção provocados pela toxicidade do elemento (Turner, 1973). A cultivar Ouro Negro pareceu ter sua composição mineral menos afetada pela presença do Cd em solução quando comparada com a cultivar Carioca. Isto pode sugerir maior tolerância da cultivar Ouro Negro ao Cd. Como sugerido por Root et al. (1975), a alteração na composição mineral das plantas pode ser entendida como uma forma de toxicidade indireta do Cd. No entan-

to, os efeitos do Cd sobre a absorção de outros elementos minerais ainda não são perfeitamente esclarecidos.

CONCLUSÕES

1. O aumento da concentração de Cd em solução provoca aumento no conteúdo do elemento nas raízes e na parte aérea das cultivares estudadas.
2. As doses de Cd aplicadas na solução nutritiva diminuem os conteúdos de Zn e de Mn nas plântulas de ambas as cultivares; tal efeito é mais pronunciado nas raízes que na parte aérea.
3. O conteúdo de Cu nas cultivares aparentemente não é afetado pela presença do Cd na solução nutritiva.
4. O Cd afeta o conteúdo de Fe apenas na raiz da cultivar Ouro Negro, e não tem efeito sobre o conteúdo deste elemento na cultivar Carioca.

REFERÊNCIAS

- ALLOWAY, B.J. *Heavy Metals in Soils*. New York: John Wiley & Sons, 1990. 339p.
- CATALDO, D.A.; GARLAND, T.R.; WILDUNG, R.E. Cadmium uptake kinetics in intact soybean plants. *Plant Physiology*, Rockville, v.73, p.844-848, 1983.
- CLARK, R.B. Characterization of phosphatase of intact maize roots. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Washington, v.23, p.458-460, 1975.
- CUTLER, J.M.; RAINS, D.W. Characterization of cadmium uptake by plant tissue. *Plant Physiology*, Rockville, v.54, p.67-71, 1974.
- DABIN, P.; MARAFANTE, E.; MOUSNY, J.M.; MYTENAERE, C. Absorption, distribution and binding of cadmium and zinc in irrigated rice plants. *Plant and Soil*, Dordrecht, v.60, p.329-341, 1978.
- FOY, C.D.; CHANEY, R.L.; WHITE, M.C. The physiology of metal toxicity in plants. *Annual Review of Plant Physiology*, Palo Alto, v.29, p.511-566, 1978.
- GUSSARSSON, M. Cadmium-induced alterations in nutrient composition and growth of *Betula pendula* seedlings: the significance of the fine roots as a primary target for cadmium toxicity. *Journal of Plant Nutrition*, Madison, v.17, n.12, p.2151-2163, 1994.

- HARDIMAN, R.T.; JACOBY, B. Absorption and translocation of Cd in bush beans. *Physiologia Plantarum*, Copenhagen, v.61, p.670-674, 1984.
- JALIL, A.; SELLES, F.; CLARKE, J.M. Effect of cadmium on growth and uptake of cadmium and other elements by Durum Wheat. *Journal of Plant Nutrition*, Madison, v.17, n.11, p.1839-1858, 1994.
- JURADO, S.G. Efeitos do cádmio no arroz (*Oryza sativa* L.) e no feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivados em solução nutritiva. Piracicaba: USP-ESALQ, 1989. 139p. Tese de Mestrado.
- KHAN, S.; KHAN, N. Influence of lead and cadmium on the growth and nutrient concentration of tomato (*Lycopersicon esculentum*) and egg-plant (*Solanum melongena*). *Plant and Soil*, Dordrecht, v.74, p.387-394, 1983.
- KUBOI, T.; NOGUCHI, A.; YAZAKI, J. Relationship between tolerance and accumulation characteristics of cadmium in higher plants. *Plant and Soil*, Dordrecht, v.104, p.275-280, 1987.
- LINDSAY, W.L. *Chemical equilibria in soils*. New York: John Wiley & Sons, 1979. 449p.
- McKENNA, I.M.; CHANEY, R.L.; WILLIAMS, F.M. The effects of cadmium and zinc interactions on the accumulation and tissue distribution of zinc and cadmium in lettuce and spinach. *Environmental Pollution*, Oxford, v.79, p.113-129, 1993.
- NASCIMENTO, C.W. Absorção, distribuição e efeitos do cádmio sobre a composição mineral e a produção de tióis em cultivares de milho (*Zea mays* L.). Viçosa: UFV, 1996. 50p. Tese de Mestrado.
- OLIVEIRA, J.A.; OLIVA, M.A.; CAMBRAIA, J.; ALVAREZ VENEGAS, V.H. Absorption, accumulation and distribution of cadmium by two soybeans cvs. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, Londrina, v.6, n.2, p.91-95, 1994.
- PAGE, A.L.; BINGHAM, F.T.; NELSON, C. Cadmium absorption and growth of various plant species as influenced by solution cadmium concentration. *Journal of Environmental Quality*, Madison, v.1, n.3, p.288-291, 1972.
- RODECAP, K.D.; DAVID, T.T.; LEE, E.H. Iron nutrition influence on cadmium accumulation by *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. *Journal of Environmental Quality*, Madison, v.23, p.239-246, 1994.
- ROOT, A.R.; MILLER, R.J.; KOEPPE, D.E. Uptake of cadmium - its toxicity and effect on the iron ratio in hidroponically grown corn. *Journal of Environmental Quality*, Madison, v.4, n.4, p.473-476, 1975.
- STEFFENS, J.C. The heavy metal - binding peptides of plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, Palo Alto, v.41, p.553-575, 1990.
- TURNER, M.A. Effect of cadmium treatment on cadmium and zinc uptake by selected vegetable species. *Journal of Environmental Quality*, Madison, v.2, n.1, p.118-119, 1973.
- WONG, M.K.; CHUAN, G.K.; KOH, L.L.; ANG, K.P.; HEW, C.S. The uptake of cadmium by *Brassica chinensis* and its effect on plant zinc and iron distribution. *Environmental and Experimental Botany*, Oxford, v.24, n.2, p.189-195, 1984.