

## **ABSORÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE CÁDMIO EM DOIS CULTIVARES DE MILHO COM DIFERENTES GRAUS DE SENSIBILIDADE AO ELEMENTO<sup>1</sup>**

**Clístenes Williams Araújo do Nascimento<sup>2</sup>  
Renildes Lúcio Ferreira Fontes<sup>3</sup>**

### **RESUMO**

Com a finalidade de estudar a absorção e a distribuição de Cd em dois cultivares de milho com diferentes graus de tolerância a esse metal, foi montado um ensaio em casa de vegetação utilizando-se os cultivares BR 473 e CMS 54. Estes cultivares foram selecionados a partir de um ensaio no qual cinco cultivares de milho (CMS 50, CMS 54, BR 105, BR 106 e BR 473) foram submetidos a uma dose tóxica de Cd (2 mg/L) e tiveram sua tolerância avaliada pela redução de peso de matéria seca total. O CMS 54 e o BR 473 foram escolhidos como os cultivares de menor e maior tolerância ao metal, respectivamente, e então expostos a cinco doses de Cd aplicadas em solução nutritiva: 0,0; 0,05; 0,1; 0,5; e 1,0 mg/L. A absorção de Cd aumentou em ambos os cultivares com o aumento na concentração do elemento em solução, e, com todas as doses, as raízes acumularam maiores quantidades que a parte aérea. O cultivar BR 473 apresentou maior absorção de Cd que o CMS 54, tendo também, proporcionalmente, nas concentrações 0,1 e 0,5 mg/L, menor transporte do elemento para a parte aérea. Quanto aos cultivares estudados, não houve relação entre menores quantidades de Cd nos tecidos e maior tolerância ao elemento.

Palavras-chaves: *Zea mays*, metal pesado, solução nutritiva.

---

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 28.02.2002.

<sup>2</sup> Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 52171-900 Recife, PE. E-mail: clistenesa@bol.com.br

<sup>3</sup> Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, 36571-000 Viçosa, MG. E-mail: renildes@solos.ufv.br. Bolsista do CNPq.

## ABSTRACT

### UPTAKE AND DISTRIBUTION OF CADMIUM IN TWO MAIZE CULTIVARS WITH DIFFERENTIAL SENSIVITY TO THE METAL

A study was carried out under greenhouse conditions to investigate the uptake and distribution of Cd in two maize cultivars with differential sensitivity to Cd. Five cultivars were tested, based on the relative decrease in growth, as a function of Cd in solution. The cultivar BR 473 was found to be the most tolerant and the CMS 54, the most sensitive to Cd and were used in a trial with different concentrations of Cd in nutrient solution: 0.0, 0.05, 0.1, 0.5 and 1.0 mg/L. The BR 473 accumulated more Cd in roots and shoots, showing more capacity to retain the metal in roots than CMS 54. There was no relation between Cd contents in tissues and Cd tolerance, for the tested cultivars.

Key words: *Zea mays*, heavy metal, nutrient solution.

## INTRODUÇÃO

O aumento de metais pesados no ambiente, inclusive com a introdução desses elementos nos solos por meio de insumos agrícolas ou deposições atmosféricas, tem causado crescente e pertinente preocupação quanto à incorporação desses contaminantes na cadeia alimentar mediante sua absorção pelos vegetais, o que pode causar graves prejuízos aos animais e, especialmente, ao homem.

A concentração média de Cádmio (Cd) na litosfera é estimada em 0,2 mg/kg, variando nos solos de 0,01 a 0,7 mg/kg (15). Page et al. (20) relataram que o Cd é um poluente industrial em constante aumento no ambiente, devido a atividades como mineração, fundição e refinamento de zinco, fabricação e uso de fungicidas e fertilizantes fosfatados.

O Cd é o elemento que tem apresentado as mais expressivas taxas de aumento no ambiente, nas últimas décadas, entre os metais pesados (1).

Ele pode entrar na cadeia alimentar mediante a absorção pelas plantas do elemento naturalmente presente no solo, deposições atmosféricas e uso de fertilizantes orgânicos ou fosfatados (19). De acordo com Wagner e Trotter (25), a preocupação quanto à presença de Cd em plantas superiores pode ser explicada em razão de certos metais pesados acumularem-se nas plantas durante o crescimento, freqüentemente em tecidos consumidos pelo homem, como tubérculos, grãos, folhas e frutos. Wong et al. (26) afirmam que o Cd é um dos metais mais móveis na planta, sendo mais tóxico que o chumbo, representando grande perigo ao homem por ser facilmente acumulado na planta e por poder se mover através dos vários níveis tróficos da cadeia alimentar. Uma das maneiras de reduzir a

introdução de Cd na cadeia alimentar é conhecer os mecanismos de absorção e os processos envolvidos na distribuição do elemento em plantas. Diferenças nesses processos podem afetar as quantidades de Cd nas partes comestíveis dos vegetais (6) e conduzir à seleção de plantas ou cultivares com características de baixa acumulação do elemento.

O cádmio é um elemento facilmente absorvido e translocado para diferentes partes da planta (6). Page et al. (20) e Haghiri (7) observaram que diversas espécies de plantas exibiam capacidade altamente variável para acumular Cd em relação à sua concentração no substrato. Mesmo entre cultivares de uma mesma espécie pode ocorrer ampla variação na absorção e na translocação do elemento (10, 11).

A concentração de Cd se eleva com o aumento da sua concentração na solução e com o tempo de exposição do milho (23), soja (18) e trigo (9), sendo várias vezes maior nas raízes que na parte aérea. Segundo os autores, isso não foi devido a um aumento na absorção deste elemento, mas sim a um concomitante decréscimo na acumulação de matéria seca. Wong et al. (26) encontraram maior concentração de Cd nas raízes, seguidas pelas folhas e caule de *Brassica chinensis*, resultados que indicam que o Cd não foi totalmente imobilizado na porção radicular, mas translocado para regiões foliares.

Objetivando estudar as diferenças entre cultivares de milho (*Zea mays*) quanto à absorção e translocação de Cd, foi montado um ensaio em solução nutritiva com dois cultivares de diferentes sensibilidades ao Cd, submetidos a doses crescentes do elemento na solução nutritiva.

## MATERIAL E MÉTODOS

Realizou-se um ensaio em casa de vegetação, utilizando cinco cultivares de milho (CMS 50, CMS 54, BR 105, BR 106 e BR 473) provenientes do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS) da EMBRAPA, localizado em Sete Lagoas, Minas Gerais. As sementes desses cultivares, após selecionadas quanto ao tamanho, germinaram em papel-toalha umedecido e parcialmente imerso em água destilada. Dois dias após a germinação, as plântulas foram transferidas para bandejas com capacidade de 25 litros, contendo solução nutritiva de Clark (2). Após um período de 10 dias, as plantas foram transferidas para vasos de 4,8 L uma planta por vaso, contendo solução nutritiva idêntica à descrita, na ausência e na presença de 2,0 mg/L de Cd adicionado na forma de CdCl<sub>2</sub>. O pH foi diariamente corrigido para 6,0, mediante adição de NaOH. Decorridos 10 dias de exposição das plantas ao Cd, elas foram coletadas e divididas em raiz e parte aérea. As amostras foram secas em estufa de circulação forçada

de ar a 70°C até atingirem peso constante. A avaliação do grau de sensibilidade ao Cd foi feita a partir dos pesos de matéria seca total das plantas, sendo considerado mais tolerante o cultivar que apresentasse o menor valor absoluto do peso relativo de matéria seca, indicando menor redução de crescimento quando exposto à dose de 2,0 mg/L de Cd na solução nutritiva. Esta medida foi tomada em valores percentuais relativos ao tratamento controle (ausência de Cd) para cada um dos cultivares, utilizando-se a seguinte fórmula:

$$\text{PRMS} = \frac{(\text{Controle} - \text{Tratamento})}{\text{Controle}} \times 100$$

em que

PRMS = peso relativo de matéria seca (%);

Controle = produção de matéria seca total do tratamento sem cádmio; e

Tratamento = produção de matéria seca total do tratamento com cádmio.

Uma vez selecionados os cultivares CMS 54 e BR 473 como o mais sensível e o mais tolerante ao Cd, respectivamente, procedeu-se à nova semeadura, como descrito. Três dias após a germinação, as plântulas foram transferidas para bandejas com capacidade de 25 litros, contendo, inicialmente, solução nutritiva completa de Clark (2) com metade da força iônica original, que, após três dias, foi substituída pela mesma solução, com força iônica total. As plantas permaneceram nessa solução de crescimento por um período de 10 dias, quando foram transplantadas para vasos de 4,8 L, duas plantas por vaso. Nestes vasos foram aplicadas doses crescentes de Cd, em forma de CdCl<sub>2</sub>, visando proporcionar as concentrações de 0,0, 0,05, 0,1, 0,5 e 1,0 mg/L do elemento em solução. As plantas foram mantidas nessas soluções durante 10 dias, período em que o pH foi ajustado para 6,0 (5), mediante duas correções diárias utilizando-se NaOH. Decorrido esse tempo, foram tomadas as medidas de altura das plantas (altura da base da planta até a última folha estendida) e, em seguida, foram coletadas e divididas em raiz e parte aérea. As raízes foram lavadas em água de torneira durante aproximadamente um minuto e, em seguida, em água destilada, sendo secas com papel-toalha. As amostras de raízes e parte aérea, acondicionadas em sacos de papel, foram colocadas em estufa com circulação forçada de ar a 70°C até atingirem peso constante. Foi determinado o peso da matéria seca de cada uma das partes por gravimetria. As amostras foram posteriormente trituradas em moinho tipo Willey, peneira de 40 mesh, para a obtenção do material utilizado nas análises químicas.

Porções de 0,5 g das amostras foram digeridas com 6 mL de uma mistura de ácidos nítrico e perclórico na proporção de 3:1 (v/v) para a determinação dos teores de Cd nas raízes e na parte aérea por espectrofotometria de absorção atômica.

O ensaio foi montado em um delineamento experimental em blocos casualizados, utilizando-se um esquema fatorial (dois cultivares de milho x cinco doses de Cd) com três repetições. Os resultados obtidos foram submetidos a análises de variância e de regressão, utilizando-se o *software* SAEG (Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas) da Universidade Federal de Viçosa.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os cultivares de milho utilizados no ensaio de seleção, quanto à tolerância ao Cd, apresentaram variação em termos de sensibilidade ao elemento, tomando-se como referência o peso relativo de matéria seca total após expostas a 2 mg/L de Cd por 10 dias (Quadro 1).

QUADRO 1 - Peso relativo de matéria seca total de cinco cultivares de milho submetidos a 2 mg/L de cádmio em solução nutritiva em relação ao controle	
Cultivares	Peso relativo de matéria seca total (%)
CMS 54	41,4 a
BR 105	35,9 ab
CMS 50	32,1 ab
BR 106	30,5 ab
BR 473	15,3 b

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

Os cultivares CMS 54, com 41,4% de redução relativa de crescimento, e BR 473, que reduziu a sua produção de matéria seca em 15,3%, foram selecionados como os de menor e maior tolerância ao Cd, respectivamente. As variações de redução no crescimento observadas entre os cultivares testados demonstram a amplitude de resposta intra-específica a doses de Cd sobre o crescimento do milho, já relatada em outro trabalho (4).

O sintoma de injúria mais comumente observado nas plantas durante a condução do ensaio, além da redução no crescimento, foi o aparecimento

de pontos cloróticos distribuídos uniformemente no limbo das folhas, principalmente nas mais velhas, após três dias da adição de Cd à solução nutritiva; com o decorrer do tempo estes pontos tomaram-se coalescentes e necróticos. Estes sintomas foram observados, em maior ou menor grau, em todas os cultivares testados. Embora esta sintomatologia tenha sido observada sempre que o Cd estava na solução, não é possível indicar se a toxidez foi causada por efeito no metabolismo de forma direta ou indireta.

Observou-se tendência de redução de crescimento nos dois cultivares com o aumento das doses de Cd aplicadas em solução (Quadro 2). Os pesos relativos de matéria seca total e das raízes foram, respectivamente, de 34% e 40%, no cultivar CMS 54, e de 12% e 3,3%, no BR 473, na concentração de 1,0 mg/L. Page et al. (20) encontraram redução de crescimento de 50% em plantas de milho expostas à mesma concentração de Cd. Deve-se ressaltar no entanto, que a redução de crescimento está relacionada com o tempo de exposição das plantas e a concentração de Cd (18).

**QUADRO 2 - Matéria seca da raiz e da parte aérea e altura de plantas de dois cultivares de milho (CMS 54 e BR 473) submetidos a doses de cádmio em solução nutritiva**

Cd (mg/L)	CMS 54			BR 473		
	Raiz	Parte aérea	Altura	Raiz	Parte aérea	Altura
	----- g -----		cm	----- g -----		cm
0,00	3,71	10,42	94,60	2,42	9,68	101,53
0,05	2,83	10,09	92,40	3,41	12,68	97,13
0,10	2,49	8,95	91,73	2,79	9,33	97,90
0,50	2,48	8,12	89,70	2,46	8,34	98,73
1,00	2,21	7,12	87,00	2,34	8,29	92,50

Verificou-se incremento na produção de matéria seca na dose mais baixa de Cd (0,05 mg/L) no cultivar BR 473 (Quadro 2). Efeito semelhante tem sido detectado em outras espécies expostas a baixas concentrações de Cd, geralmente atribuído ao aumento na absorção de alguns nutrientes essenciais provocado por esse elemento (12, 13) ou aumento do cloreto, elemento acompanhante.

O cultivar BR 473 apresentou maior concentração de Cd quando comparado com o CMS 54, com o aumento da concentração do metal em solução (Quadros 3 e 4). Esses resultados parecem indicar que o mecanismo de tolerância no cultivar BR 473 é interno e não de exclusão ou redução do transporte, não parecendo haver qualquer relação entre tolerância e teores de Cd nos cultivares estudados, à semelhança dos resultados obtidos por

Kuboi et al. (14) em diversas outras espécies. Os conteúdos de Cd nas plantas indicam que os aumentos na concentração do elemento não foram devidos à diminuição de matéria seca, efeito de concentração, como encontrado por Jalil et al. (9) em cultivares de trigo. Nos dois cultivares, o conteúdo de Cd na parte aérea variou de 11% a 28% da quantidade total absorvida, demonstrando que este elemento não é completamente retido nas raízes, mas pode ser transportado para outras partes da planta.

**QUADRO 3 - Concentração e conteúdo de cádmio em cultivares de milho cultivados em solução nutritiva com doses crescentes deste elemento**

Cd (mg/L)	Cultivares			
	CMS 54		BR 473	
	Raiz	Parte aérea	Raiz	Parte aérea
	Concentração de Cd ( $\mu\text{g/g}$ )			
0,00	0,0	0,0	0,0	0,0
0,05	76,8	2,7	66,7	2,4
0,10	152,0	6,8	198,5	5,8
0,50	319,5	38,3	482,7	35,1
1,00	619,2	46,4	881,7	67,4
	Conteúdo de Cd ( $\mu\text{g}$ )			
0,00	0,0	0,0	0,0	0,0
0,05	217	27	227	31
0,10	378	61	554	54
0,50	793	311	1187	293
1,00	1370	331	2063	559

O aumento dos teores e conteúdos de Cd no cultivar BR 473 foram, em média, 35% maiores que os observados no CMS 54, quando a concentração de Cd na solução aumentou de 0,05 para 1,0 mg/L. Nas concentrações de 0,5 e 1,0 mg/L, o BR 473 também apresentou, proporcionalmente ao total absorvido, menor conteúdo de Cd na parte aérea (Quadro 3), como pode ser deduzido pela relação entre os conteúdos de Cd na raiz e na parte aérea dos cultivares (Quadro 5).

As diferenças entre os conteúdos de Cd na parte aérea dos cultivares foram mais evidentes nas doses de 0,1 e 0,5 mg/L do metal na solução externa, nos quais a proporção entre o Cd retido nas raízes e o conteúdo do elemento na parte aérea foi cerca de 60% maior no BR 473, comparativamente ao CMS 54. Esta tendência torna-se mais importante quando se consideram as maiores quantidades absorvidas pelo BR 473, o que parece indicar maior capacidade de acumulação de Cd na raiz, antes

que parece indicar maior capacidade de acumulação de Cd na raiz, antes que maiores quantidades sejam transportadas para a parte aérea. Florijn e Van Beusichem (4) também encontraram variações na distribuição de Cd entre híbridos de milho em baixas concentrações de Cd no meio de crescimento. Esses autores sugeriram que características estruturais e fisiológicas da raiz devem estar envolvidas na partição do Cd entre raiz e parte aérea. Florijn et al. (6) concordam que embora o mecanismo fisiológico responsável pela distribuição diferencial de Cd entre cultivares de milho seja ainda desconhecido, deve ser operante nas raízes.

QUADRO 4 - Equações de regressão obtidas entre as doses de cádmio em solução nutritiva (mg/L) e as concentrações ( $\mu\text{g/g}$ ) e conteúdos ( $\mu\text{g}$ ) deste elemento na raiz e na parte aérea de dois cultivares de milho		
Características	Equação de Regressão	R <sup>2</sup>
Cultivar CMS 54		
Concentração na raiz	$\hat{Y} = 43,83 + 574,77^{**}X$	0,98
Concentração na parte aérea	$\hat{Y} = - 1,86 + 109,29^{**}X - 60,84^{**}X^2$	0,99
Conteúdo na raiz	$\hat{Y} = 135,65 + 1260,46^{**}X$	0,97
Conteúdo na parte aérea	$\hat{Y} = - 13,28 + 929,54^{**}X - 584,00^{**}X^2$	0,99
Cultivar BR 473		
Concentração na raiz	$\hat{Y} = 46,25 + 847,42^{**}X$	0,98
Concentração na parte aérea	$\hat{Y} = - 0,42 + 68,37^{**}X$	0,99
Conteúdo na raiz	$\hat{Y} = 165,95 + 1940,14^{**}X$	0,97
Conteúdo na parte aérea	$\hat{Y} = 2,07 + 516,16^{**}X$	0,99
** Significativo a 1% de probabilidade.		

QUADRO 5 - Relações entre os conteúdos de Cd na raiz e na parte aérea de cultivares de milho (CMS 54 e BR 473) em função de doses de Cd aplicadas em solução nutritiva		
Dose de Cd em solução	Conteúdo de Cd na raiz	Conteúdo de Cd na parte aérea
(mg/L)	CMS 54	BR 473
0,05	8,03	7,32
0,10	6,20	10,26
0,50	2,54	4,05
1,00	4,14	3,70

Em termos de conteúdo total de Cd, cerca de 83%, média dos dois cultivares, ficou retido nas raízes (Quadro 3). Esta localização preferencial do Cd na porção radicular encontrada em diversas espécies vegetais (3, 7, 8, 13) e também em milho (23) pode ser explicada, em parte, pelas cargas negativas no apoplasto da raiz (17). O Cd, seja na raiz ou na parte aérea, pode estar adsorvido a membranas, compostos orgânicos essenciais (21) ou ainda quelado em fitoquelatinas ou adsorvido a metalotioninas (24). Esses compostos podem reter o Cd nas raízes do milho (22), diminuindo seu transporte para a parte aérea, e, assim, contribuir para aumentar sua concentração nas raízes.

Com o aumento da concentração de Cd na solução nutritiva, maiores quantidades do elemento passam a ser transportadas para a parte aérea (Quadro 5), o que parece indicar uma possível saturação da capacidade das raízes em reter o metal. Segundo Florijn e Van Beusichem (4), acima de determinada concentração, que é específica para cada cultivar de milho, a capacidade das raízes em adsorver Cd é fortemente reduzida.

O transporte de um elemento da raiz para a parte aérea parece estar inversamente relacionado com a sua acumulação pela raiz (16), o que, por sua vez, é determinado pela concentração da solução externa. Na faixa normal de concentração encontrada em solos, que varia de 0,01 a 0,7 mg/kg (15), supõe-se que ocorra menor transporte do elemento para a parte aérea em virtude das menores quantidades absorvidas; porém, em estudos conduzidos por Wolnick et al., citados por Jalil et al. (9), em solo não contaminado, contendo de 0,002 a 0,207 mg/kg de Cd, foram encontrados teores superiores ao limite máximo tolerável de Cd em grãos de trigo. Embora os metais no solo estejam sujeitos a processos físico-químicos diversos que podem diminuir sua solubilidade, Florijn e Van Beusichem (4) encontraram boa correlação entre os teores de Cd em plantas de milho crescendo em solução nutritiva e em solos, tendo estas apresentado concentrações de Cd cerca de cinco vezes menores em relação às cultivadas em solução.

## REFERÊNCIAS

1. ALLOWAY, B.J. Heavy metals in Soils. New York, John Wiley & Sons, 1993. 339 p.
2. CLARK, R. B. Characterization of phosphatase of intact maize roots. *J. Agric. Food Chem.*, 23:458-60, 1975.
3. DABIN, P.; MARAFANTE, E.; MOUSNY, J.M. & MYTTENAERE, C. Absorption, distribution and binding of cadmium and zinc in irrigated rice plants. *Plant and Soil*, 60:329-41, 1978.
4. FLORIJN, P.J. & van BEUSICHEM, L. Uptake and distribution of cadmium in maize inbred lines. *Plant and Soil*, 150:25-32, 1993.

5. FLORIJN, P.J. & Van BEUSICHEM, L. Cadmium distribution in maize inbred lines: effects of pH and of Cd supply. *Plant and Soil*, 153: 79-84, 1993.
6. FLORIJN, P.J.; De KNECHT, J.A. & Van BEUSICHEM, M.L. Phytochelatin concentrations and binding state of Cd in roots of maize genotypes differing in shoot/root partitioning. *J. Plant Physiol.*, 142: 537-42, 1993.
7. HAGHIRI, F. Cadmium uptake by plants. *J. Environ. Qual.*, 2: 93-5, 1973.
8. HARDIMAN, R.T. & JACOBY, B. Absorption and translocation of Cd in bush beans. *Physiol. Plantarum*, 61: 670-4, 1984.
9. JALIL, A.; SELLES, F. & CLARKE, J.M. Effect of cadmium on growth and uptake of cadmium and other elements by durum wheat. *J. Plant Nutr.*, 17:1839 - 58, 1994.
10. JARVIS, S.C.; JONES, L.H.P. & HOPPER, M.J. Cadmium uptake from solution by plant and its transport from roots to shoots. *Plant and Soil*, 44:179-91, 1976.
11. JOHN, M.K. Cadmium uptake by eight food crops influenced by various soil levels of cadmium. *Environ. Pollut.*, 10:163-73, 1973.
12. JURADO, S.G. Efeitos do cádmio no arroz (*Oryza sativa* L.) e no feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivados em solução nutritiva. Piracicaba, ESALQ, 1989. 139 p. (Tese MS).
13. KHAN, S. & KHAN, N. Influence of lead and cadmium on the growth and nutrient concentration of tomato (*Lycopersicum esculentum*) and eggplant (*Solanum melongena*). *Plant and Soil*, 74:387-94, 1983.
14. KUBOL, T.; NOGUCHI, A. & YAZAKI, J. Relationship between tolerance and accumulation characteristics of cadmium in higher plants. *Plant and Soil*, 104: 275-80, 1987.
15. LINDSAY, W.L. Chemical equilibria in soils. New York, John Wiley & Sons, 1979. 449 p.
16. MORISHITA, T.; YAMAGUCHI, A. & OHTA, Y. Sulphur accumulation by tomato and rice root in relation to transport of heavy metals. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 29: 219-25, 1982.
17. NISHIZONO, H.; ICHIKAWA, H.; SUZUKI, S. & IISHII, F. The role of the root cell wall in the heavy metal tolerance of *Athyrium yokoscense*. *Plant and Soil*, 101: 15-20, 1987.
18. OLIVEIRA, J.A.; OLIVA, M.A.; CAMBRAIA, J. & ALVAREZ, V. H. Absorption, accumulation and distribution of cadmium by two soybeans cvs. *Rev. Bras. Fisiol. Veg.*, 6: 91-5, 1994.
19. OLIVER, D.P.; HANNAM, R.; TILLER, K. J.; WILHELM, N. S.; MERRY, R. H. & COZENS, G. The effects of zinc fertilization on cadmium concentration in wheat grain. *J. Environ. Qual.*, 23: 705-11, 1994.
20. PAGE, A.L.; BINGHAM, F.T. & NELSON, C. Cadmium absorption and growth of various plant species as influenced by solution cadmium concentration. *J. Environ. Qual.*, 1: 288-91, 1972.
21. RAUSER, W.E. & ACKERLEY, C.A. Localization of cadmium in granules within differentiating and mature root cells. *Can. J. Bot.*, 65: 643-6, 1987.
22. RAUSER, W.E. & GLOVER, J. Cadmium-binding protein in roots of maize. *Can. J. Bot.*, 62: 1645-50, 1983.
23. ROOT, A.R.; MILLER, R.J. & KOEPPE, D.E. Uptake of cadmium - its toxicity and effect on the iron ratio in hydroponically grown corn. *J. Environ. Qual.*, 4: 473-6, 1975.
24. STEFFENS, J.C. The heavy metal - binding peptides of plants. *Ann. Review Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 41: 553-75, 1990.

25. WAGNER, G.J. & TROTTER, M.M. Inducible cadmium binding complexes of cabbage and tobacco. *Plant Physiol.*, 69: 804-9, 1982.
26. 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. *Envir. Exper. Bot.*, 24: 189-95, 1984.