



Acúmulo e translocação de cobre e zinco em plantas de *Crambe abyssinica*

Content and translocation of copper and zinc in plant Crambe abyssinica

Gilvanise Alves Tito¹, Lúcia Helena Garófalo Chaves², Ana Carolina Feitos de Vasconcelos³

Resumo: Crambe (*Crambe abyssinica*) é uma cultura promissora para a produção de biodiesel. No entanto, não há muita informação disponível sobre as técnicas e pesquisas sobre o melhor desempenho em diferentes regiões para explorar o seu potencial. Objetivou-se avaliar o efeito de cobre e zinco no acúmulo e distribuição destes elementos nesta planta. O estudo foi realizado em casa de vegetação e constou de dois experimentos independentes, em delineamento experimental inteiramente casualizado, com três repetições. Em um deles, os tratamentos consistiram em cinco doses de cobre, ou seja, 0, 10, 15, 20 e 25 mg kg⁻¹ e no outro, cinco doses de zinco, 0, 20, 30, 40 e 50 mg kg⁻¹. Após 100 dias de germinação as plantas foram colhidas e avaliadas os níveis de cobre e zinco em tecidos de plantas. Os dados foram submetidos à análise de variância e comparação de médias pelo teste de Tukey a 1 e 5% de significância. Os teores de cobre e zinco aumentaram significativamente na fitomassa do crambe em função da aplicação destes elementos no solo. Os acúmulos de cobre e zinco nas plantas de crambe obedeceram às seguintes ordens, respectivamente: raiz > parte aérea; parte aérea > raiz. O índice de translocação do zinco foi maior que o do cobre nas plantas de crambe.

Palavras-chave: Culturas energéticas, metais pesados, oleaginosa.

Abstract: Crambe (*Crambe abyssinica*) is a promising crop for biodiesel production. However, there is no much information available about techniques and research regarding the best performance in different regions to explore its potential. The objective of this study was to evaluate the effect of copper and zinc in the accumulation and distribution of these elements in this plant. The study was carried out in a greenhouse and it consisted of two independent experiments in completely randomized design, with three replications. Two metals with five levels were applied: 0, 10, 15, 20 and 25 mg·kg⁻¹ for copper and 0, 20, 30, 40 and 50 mg·kg⁻¹ for zinc. After 100 days of germination the plants were harvested and assessed the levels of copper and zinc in plant tissues. Data were subjected to analysis of variance and comparison of means by Tukey test at 1 and 5% significance. Copper and zinc content increased significantly in the biomass of crambe due to the application of these elements in the soil. Copper and zinc accumulation in crambe plants followed the following orders, respectively: root > shoot; shoot > root. The zinc translocation ratio was higher than that of copper in crambe plants.

Key words: Energy crops, heavy metals, oleaginous.

*Autor para correspondência

Recebido para publicação em 15/07/2016; aprovado em 02/10/2016

¹Doutora, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande; 83 2101 1285, gilvanisetito@yahoo.com.br

²Doutora, Professora Titular, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande; 83 2101 1186, lhgarofalo@hotmail.com

³Doutora, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande; 83 2101 1285; ana3carol@yahoo.com.br



INTRODUÇÃO

O crambe (*Crambe abyssinica* Hochst), espécie pertencente à família Brassicaceae, originária da Etiópia e domesticada no Mediterrâneo (KNIGHTS, 2002), é considerado uma planta robusta, conseguindo se desenvolver em condições climáticas antagônicas, com grande tolerância à seca e até a geada (DESAI, 2004). Contrastando com a rusticidade climática, o crambe é exigente em fertilidade de solo, não tolera acidez do solo, apresentando melhores produções em solos eutróficos (BROCH et al., 2010). Nos últimos anos essa cultura vem ganhando importância no Brasil devido a sua aptidão para a produção industrial de biocombustíveis (TEIXERA et al., 2011) pelo elevado potencial lubrificante e teor de óleo em sua composição. O percentual de óleo total nos grãos atinge, em geral, 38% podendo variar entre 30 e 45% de acordo com as condições de clima e solo, e com a forma de extração de óleo (KATEPA-MUPONDWA, 1999).

Em geral, as plantas absorvem prontamente o cobre (Cu) e zinco (Zn) dissolvidos nas soluções do solo, sejam na forma iônica ou quelado, seja na forma de complexos; normalmente ocorre em pequenas concentrações na solução do solo (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2000).

O cobre é absorvido na forma iônica e sua translocação dentro das plantas ocorre tanto no xilema quanto no floema, onde o metal está circundado por compostos orgânicos nitrogenados, tais como aminoácidos. O cobre é um elemento relativamente imóvel nas plantas. Assim, folhas verdes podem acumular altas concentrações de cobre e subsequentemente não é liberado para as folhas mais novas e outros tecidos, tais como inflorescências (BAKER, 1990).

De modo não unânime é observado na literatura que a absorção radicular do zinco ocorre de forma ativa, embora nas raízes cerca de 90% do elemento ocorram em sítios de troca ou absorvidos às paredes celulares das células do parênquima cortical. A mobilidade de zinco em plantas não é grande. Normalmente, as raízes contêm muito mais zinco que a parte aérea, principalmente se as plantas estiverem crescendo em solos ricos em zinco (MENGEL; KIRKBY, 2001; KABATA-PENDIA; PENDIAS, 2000).

Estes metais podem expressar seu potencial poluente diretamente nos organismos do solo, pela disponibilidade às plantas em níveis fitotóxicos, além da possibilidade de transferência para a cadeia alimentar através das próprias plantas ou pela contaminação das águas de superfície e subsuperfície (CHANG et al., 1987; SOARES et al., 2005).

Devido o crescente interesse no cultivo do crambe no Brasil para produção do biodiesel e a falta de conhecimentos sobre o comportamento desta planta cultivada em solos com altos teores de cobre e zinco, objetivou-se avaliar o acúmulo e a distribuição dos elementos cobre e zinco na planta.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em condições de casa de vegetação no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB (latitude 7°12'52" S; longitude 35°54'24" W e altitude média de 550 m). De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante da cidade é do tipo As' - quente e úmido com chuvas de outono-inverno. A precipitação pluviométrica está em torno de 700 mm anuais. A

temperatura média anual é de 26 °C, com média das mínimas inferior a 22 °C.

Material de solo utilizado no experimento, proveniente do município de Lagoa Seca, PB, foi coletado na camada de 0-20 cm de profundidade, seco ao ar, peneirado de malha de 2,0 mm e caracterizado química e fisicamente segundo os métodos adotados pela EMBRAPA (1997): 845,6 g kg⁻¹ de areia; 47,2 g kg⁻¹ de silte e 107,2 g kg⁻¹ de argila, apresentando classificação textural como areia franca; pH (H₂O) = 5,0; Ca = 0,51 cmol_c kg⁻¹; Mg = 0,20 cmol_c kg⁻¹; Na = 0,05 cmol_c kg⁻¹; K = 0,18 cmol_c kg⁻¹; H + Al = 0,56 cmol_c kg⁻¹; MO = 0,2 g kg⁻¹; P = 5,4 mg kg⁻¹.

O trabalho de pesquisa constou de dois experimentos independentes em delineamento experimental inteiramente casualizado, avaliando o desempenho de 2 metais, zinco – Zn e cobre – Cu, com cinco doses utilizando 0; 10; 15; 20 e 25 mg kg⁻¹ para o Cu e 0; 20; 30; 40 e 50 mg kg⁻¹ para o Zn, com três repetições, totalizando 30 unidades experimentais (15 unidades experimentais para cada metal).

Cada unidade experimental constou de um vaso plástico com 9,0 kg de material de solo, previamente seco ao ar, passado em peneira de 4 mm. Após este procedimento, o material de solo, em cada unidade experimental, foi adubado com 10 g de NPK (15:9:20), contendo 166,7 mg N kg⁻¹, 100 mg P₂O₅ kg⁻¹ e 22,2 mg K₂O kg⁻¹. Em seguida, foi irrigado com soluções de Cu e Zn, de acordo com os tratamentos, e com água destilada com umidade correspondente a 80% da capacidade de campo, para que as unidades experimentais permanecessem incubadas por 8 dias.

As mudas de crambe foram preparadas em copos plásticos com capacidade de 250 ml com substrato para as plantas utilizando as sementes sem o pericarpo; após 8 dias após a germinação (DAG) realizou-se o transplantio para os vasos. Dez dias após o transplantio foi realizado o desbaste deixando duas plantas por vaso. Os mesmos foram irrigados diariamente, mantidos a 80% da capacidade de campo.

Aos 100 DAG as plantas foram coletadas separadamente, folhas e raízes, lavadas com água destilada e secas em estufa de circulação de ar forçada a 65 °C por 48 h. Após a secagem, as amostras foram pesadas e moídas para análise do tecido foliar. A determinação dos metais no tecido vegetal foi realizada após digestão nitroperclórica (3:1). Em seguida, foram feitas as leituras em ICP-OES segundo a metodologia realizado por Oliva et al. (2003).

O acúmulo (A) do Cu e do Zn na parte aérea e nas raízes das plantas (mg) foi calculado pela expressão:

$$A = (M \text{ parte aérea, ou MSR (mg)} \times \text{Concentração do elemento (mg kg}^{-1}\text{)}) / 1000$$

onde M parte aérea = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes.

A quantidade total de Cu e de Zn acumulada na planta foi calculada pelo somatório das quantidades acumuladas destes elementos em cada parte da planta. A partir desta quantidade total, calculou-se o acúmulo dos metais para cada parte da planta.

De acordo com Abichequer e Bohnen (1998), calculou-se o índice de translocação (IT) dos elementos, dado em porcentagem, pela relação:

$$IT = (\text{Quantidade acumulada na parte aérea} / \text{Quantidade acumulada na planta}) \times 100.$$

Os resultados foram submetidos às análises de variância e de regressão por polinômios ortogonais utilizando-se o programa estatístico ASSISTAT (SILVA; AZEVEDO, 2009).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de Cu encontrados na parte aérea e raízes foram influenciados de forma significativa a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente (Tabela 1), os quais aumentaram de forma quadrática e linear, respectivamente (Figura 1). De maneira geral, houve aumento nos teores de Cu

em todas as partes das plantas, quando comparado com a testemunha, verificando-se incrementos de até 1206 % nas folhas e de 263% nas raízes.

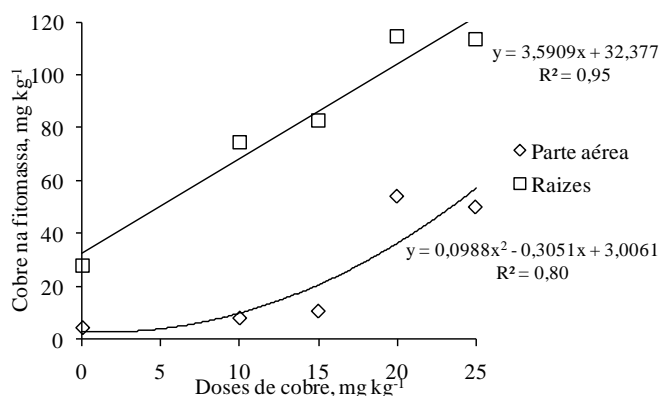
Os maiores teores do elemento foram observados nas raízes (de 27,95 a 113,37 mg kg⁻¹) estando na faixa considerada crítica (20 a 100 mg kg⁻¹) para as plantas, corroborando Xiaohai et al. (2008), que cultivando uma Euphorbiacea, em solo com 89 mg Cu kg⁻¹, observaram maiores concentrações do elemento nas raízes quando comparados ao caule.

Tabela 1. Resumo da análise de variância dos teores de cobre e zinco na parte aérea e raízes do crambe e no índice de translocação em função de doses crescentes destes elementos aplicados em solo

Fonte de variação	GL	Quadrado médio					
		Cobre			Zinco		
		Parte Aérea	Raiz	Índice de translocação	Parte Aérea	Raiz	Índice de translocação
Tratamentos	4	1767,30**	3771,63*	711,72**	62680,11**	35556,83**	140,37*
Residuo	10	204,46	789,87	40,59	108,53	257,61	30,12
CV (%)		56,26	34,00	20,06	4,0	7,73	7,89
Média geral		25,42	82,65	31,76	260,62	207,53	69,57

ns, * e **, não significativo, significativo ao nível de 5% e 1%, respectivamente

Figura 1. Variação dos teores de cobre na parte aérea e nas raízes do crambe em função das doses de cobre aplicadas ao solo



Na parte aérea os teores de cobre variaram de 4,51 a 49,83 mg kg⁻¹ sendo que a partir da tratamento 20 mg kg⁻¹ foram considerados críticos. Conforme Kabata-Pendias e Pendias (2000), os teores críticos de cobre, podem causar danos ao tecido vegetal e ao alongamento das raízes, alterações na permeabilidade da membrana, inibição do transporte de elétrons fotossintéticos, imobilização do elemento nas paredes e vacúolos e clorose.

Os maiores acúmulos do cobre também ocorreram nas raízes (Tabela 2), conforme os teores do elemento, devido, provavelmente, a quantidade de matéria seca, não foram influenciados significativamente pelo cobre. Segundo Tito et al. (2014), estas doses de cobre utilizadas neste experimento não afetaram a produção da fitomassa das plantas de crambe, no entanto, diminuiu a produção de grãos

No caso do Zn, os teores encontrados nos folhas e raízes também foram influenciados de forma significativa a 1% de probabilidade (Tabela 1) os quais aumentaram de forma linear (Figura 2). De maneira geral, houve aumento nos teores de Zn em todas as partes das plantas, quando comparado com a testemunha, verificando-se incrementos de até 1283 % nas folhas e de 517% nas raízes.

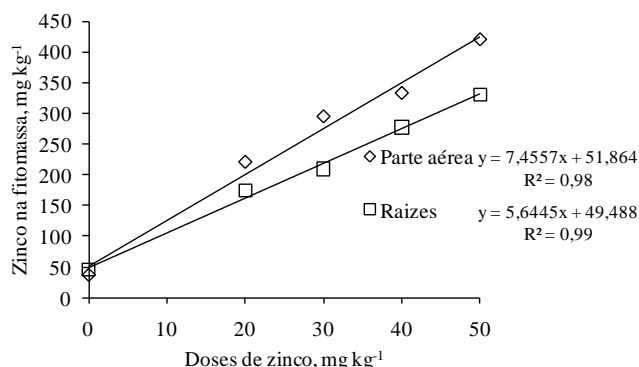
Tabela 2. Médias das quantidades de cobre e zinco acumuladas nas folhas e raízes do crambe e índice de translocação em função de doses crescentes

Tratamento	Cobre, mg kg ⁻¹				
	0	10	15	20	25
Parte Aérea, mg/vaso	0,088	0,181	0,233	0,965	1,149
Raiz, mg/vaso	0,336	0,717	0,949	1,221	0,991
IT, %	21,26	20,15	19,71	44,14	53,69
Tratamento	Zinco, mg kg ⁻¹				
	0	20	30	40	50
Parte Aérea, mg/vaso	0,724	4,958	5,958	6,760	10,015
Raiz, mg/vaso	0,547	1,729	2,359	2,806	3,380
IT, %	56,96	74,14	71,64	70,67	74,77

Os teores do zinco foram maiores na parte aérea (de 36,28 a 419,75 mg kg⁻¹) comparando com os teores nas raízes (45,41 a 330,59, mg kg⁻¹). Estes teores forma superiores ou estiveram na faixa de 100 a 400 mg kg⁻¹ na matéria seca, considerada prejudicial as culturas segundo Kabata-Pendias e Pendias (2000). No entanto, as produções da fitomassa e dos grãos do crambe não foram afetadas em função das doses de zinco utilizadas neste experimento (TITO et al., 2014). O acúmulo de zinco também predominou na parte aérea conforme Tabela 2.

O índice de translocação (IT) é representado pela quantidade total absorvida, que foi transferida para a parte aérea (ABICHEQUER; BOHNEN, 1998), pois quanto maior o IT, maior a quantidade translocada para a parte aérea. Baseado nesta definição, as doses crescentes de cobre favoreceram a translocação do elemento para a parte aérea de maneira significativa a 1% de probabilidade (Tabela 1). Segundo Kabata-Pendias e Pendias (2000), o Cu não é prontamente móvel na planta devido permanecer ligado fortemente às paredes celulares das raízes.

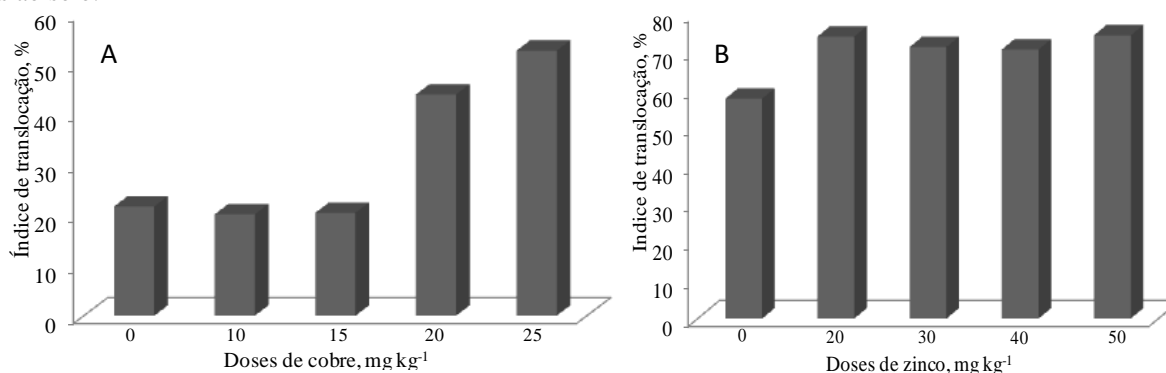
Figura 2. Variação dos teores de zinco na parte aérea e nas raízes do crambe em função das doses de zinco aplicadas ao solo



Todavia, a sua mobilidade nos tecidos vegetais pode aumentar com o nível de suprimento do elemento, o que foi observado no presente trabalho (Tabela 2 e Figura 3A).

Alguns autores consideram o Zn altamente móvel, outros atribuem a ele mobilidade intermediária. Neste trabalho, a variação dos índices de translocação em função dos tratamentos foi influenciada de maneira significativa a 5% de probabilidade (Tabela 1), no entanto, foi muito pequena conforme Tabela 2 e Figura 3B. De fato, o índice foi relativamente alto, atingindo até 74,77%, mostrando que houve grande quantidade de Zn translocado para a parte aérea.

Figura 3. Índice de translocação de cobre (A) e de zinco (B) em crambe submetido às doses crescentes destes elementos aplicadas ao solo.



CONCLUSÕES

Os teores de cobre e zinco aumentaram significativamente na fitomassa do crambe em função da aplicação destes elementos no solo.

Os acúmulos de cobre e zinco nas plantas de crambe obedeceram às seguintes ordens, respectivamente: raiz > parte aérea; parte aérea > raiz.

O índice de translocação do zinco foi maior que a do cobre nas plantas de crambe.

REFERÊNCIAS

ABICHEQUER, A. D.; BOHNEN, H. Eficiência de absorção, translocação e utilização de fósforo por variedades de trigo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.22, n.1, p.21-26,1998.

BAKER, D.E. Copper. IN: Alloway, B.J. (ed.). Heavy Metals in Soils. New York: John Wiley, 1990. p.151-196.

BROCH, D.L.; RANNO, S.K.; ROSCOE, R. Efeito de adubações de plantio e cobertura sobre a produtividade de crambe cv. FMS Brillhante após soja e milho. In: Congresso Brasileiro de Mamona,1, e Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas,4, 2010, João Pessoa, Anais... João Pessoa:Embrapa, 2010.

CHANG, A. C.; PAGE, A. L.; WARNEKE, J. E.; GRGUREVIC, E. Sequential extraction on soil heavy metals

following a sludge application. Journal of Environmental Quality, v.13, p.33-38, 1987.

DESAI, B.B. Seeds Handbook: Biology, Production Processing and Storage. 2th edn. New York: Marcel Dekker, 2004. 787p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. Trace Elements in Soils and Plants. 3th edn. Edition, London: CRC Press, 2000. 413p.

KATEPA-MUPONDWA, F. Developing oilseed yellow mustard (*Sinapis alba* L.) in Western Canada. In: Proc 10th Int. and International Rapeseed Congress, Canberra, Australia: The Regional Institute Ltd, 6p. 1999.

KNIGHTS, E.G. Crambe: A North Dakota case study. A report for the rural industries research and development corporation. Kingston: RIRDC Publication No. W02/005, 2002.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. Principles of Plant Nutrition. 5th edn. Dordrecht: Kluwer, 2001.849p.

- OLIVA, S.R.; RAITIO, H.; MINGORANCE, M.D. Comparison of two wet digestion procedures for multi-element analysis of plant samples. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.34, p.2913-2923, 2003.
- SILVA, F.A.S.; AZEVEDO, C.A.V. Principal components analysis in the software Assistat-Statistical Attendance. In: *World Congress on Computers in Agriculture*, 7, Reno-NV-USA; American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.
- SOARES, C.R.F.S.; SIQUEIRA, J.O.; CARVALHO, J.G. de; MOREIRA, F.M.S. Fitotoxicidade de cádmio para *Eucalyptus maculata* e *E. urophylla* em solução nutritiva. *Revista Árvore*, v.29, p.175-183, 2005.
- TEIXEIRA, R.N.; TOLEDO, M.Z.; FERREIRA, G.; CAVARIANI, C.; JASPER, S.P. Germinação e vigor de sementes de crambe sob estresse hídrico. *Irriga*, v.16, n.1, p.42-51, 2011.
- TITO, G.A.; CHAVES, L.H.G.; FERNANDES, J.D.; MONTEIRO, D.R.; VASCONCELOS, A.C.F. Effect of copper, zinc, cadmium and chromium in the growth of crambe. *Agricultural Sciences*, v. 5, p.975-983, 2014.
- XIAOHAI, L.; YUNTAO, G.; SARDAR, K.; DUAN, G.; CHEN, A.; LING, L.; ZHAO, L.; LIU, Z.; WU, X. Accumulation of Pb, Cu and Zn in native plants growing on contaminated sites and their potential accumulation capacity in Heqing, Yunnan. *Journal of Environmental Science*, v. 20, n. 12, p. 1469-1474, 2008.