

Toxidez do chumbo no teor e translocação de nutrientes em tomateiro

Alexandre Carvalho Bertoli^{1*}

Ruy Carvalho¹

Marcele Gabriel Cannata¹

Ana Rosa Ribeiro Bastos²

Amanda dos Santos Augusto¹

¹Departamento de Química

²Departamento de Ciência do Solo

Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 3037, CEP 37200 000, Lavras – MG, Brasil

*Autor para correspondência

bertolialexandre@yahoo.com.br

Submetido em 13/07/2011

Aceito para publicação em 24/09/2011

Resumo

Com o objetivo de avaliar o efeito da aplicação de doses crescentes de chumbo na cultura do tomate no teor e índice de translocação de macro e micronutrientes, foram cultivadas plantas de tomate em solução nutritiva de Clark e submetidas a doses crescentes de Pb: 0; 0,25; 1,0; 5,0 e 10,0mg.L⁻¹. As doses de Pb utilizadas reduziram o teor de K na parte aérea, S nas raízes e Zn nos frutos. Em relação à translocação, o Pb reduziu P nos frutos e parte aérea, não influenciou a translocação de Zn e Fe, Ca e Cu nos frutos e de K e Mg na parte aérea.

Palavras-chave: *Lycopersicum esculentum*, Macronutrientes, Metais pesados, Micronutrientes

Abstract

Toxicity of lead in the content and translocation of nutrients in tomatoes. This study evaluated the effect of applying rising doses of lead to cultured tomatoes by evaluating the content and translocation index of macronutrients and micronutrients. Tomato plants were cultivated in Clark's nutrient solution and submitted to rising doses of Pb: 0, 0.25, 1.0, 5.0, and 10.0mg.L⁻¹. The doses of Pb reduced the content of K in the shoots, S in the roots, and Zn in the fruits. In relation to translocation, the Pb reduced P in fruits and shoots, and did not influence the translocation of Zn and Fe, Ca and Cu in the fruits or K and Mg in the shoots.

Key words: Heavy metals, *Lycopersicum esculentum*, Macronutrients, Micronutrients

Introdução

A intensa utilização de fertilizantes e pesticidas de forma inadequada, juntamente com o aumento das atividades industriais e de mineração, são as principais fontes causadoras da contaminação dos solos e dos corpos d'água por metais pesados (MALAVOLTA, 1994; AGUIAR et al., 2002). A preocupação com o nível de metais pesados advém da capacidade de ficar retido no solo, solubilizarem-se na água, da sua movimentação, da possibilidade de atingirem o lençol freático e, sobretudo, da sua absorção pelas plantas, podendo atingir, assim, a cadeia alimentar (COSTA, 1998).

Estes elementos são amplamente distribuídos no meio ambiente sendo depositados na água (lagos, rios e oceanos), acumulados no solo, nas plantas, nos animais, provenientes da lixiviação do solo e como produto do desenvolvimento da tecnologia moderna (poluição atmosférica e fontes antropogênicas onde entre elas, destacam-se a indústria química e metalúrgica, a mineração, alguns pesticidas agrícolas e esgotos domésticos) (COSTA, 1998; KOS; LESTAN, 2003; PAIM et al., 2006). Dentre esses contaminantes encontram-se os metais pesados (ou elementos traços), como o Chumbo (Pb), que não apresentam quaisquer benefícios ao organismo humano e, atualmente, a contaminação do solo e das águas por este elemento é um grave problema ambiental, devido a sua persistência e elevado poder de toxicidade.

O Pb, em sua forma catiônica Pb^{2+} , é absorvido pelas plantas devido à sua semelhança com os metais de transição essenciais, diferindo no que se refere à translocação nas plantas, devido à sua facilidade de formar complexos com elevado impedimento estérico (SILVA et al., 2007a; 2007b). As altas concentrações de Pb interferem na divisão celular e inibem a extensão do sistema radicular e concentrações abaixo do nível considerado tóxico podem estimular o crescimento radicular (BALIGAR et al., 1998). A diminuição do processo respiratório, causada pela redução na assimilação de CO_2 , provoca redução no crescimento. A interrupção do metabolismo do Ca e a inativação enzimática também são provocadas pela toxicidade de Pb nas plantas (BERGMANN, 1992).

A habilidade do Pb em deslocar outros elementos, como K, Ba, S e Ca em minerais e sítios de adsorção, deve-se à sua semelhança com os metais alcalinos terrosos, conferindo-lhe também a característica de ser um dos metais pesados menos móveis e que se acumulam naturalmente nos horizontes superficiais. Os minerais de argila, oxi-hidróxidos de Fe e Al, além da matéria orgânica, são os principais pontos de associação do Pb, que pode ser encontrado, algumas vezes, concentrado em partículas de $CaCO_3$ ou em fosfatos (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001).

Assim, devido ao avanço da degradação ambiental e a ampla toxicidade dos metais pesados para as plantas, para os animais e para saúde humana, e pelo fato de as plantas serem o principal ponto de ligação entre os metais pesados e o homem, via cadeia alimentar, é que se torna necessária a realização de estudos que possibilitem a determinação do efeito destes elementos nas plantas.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o teor e a translocação de macro e micronutrientes em tomateiro (*Lycopersicon esculentum*) submetido a diferentes concentrações de Pb.

Material e Métodos

Os experimentos foram conduzidos em Laboratórios dos Departamentos de Ciência do Solo e de Química e em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras – MG, em solução nutritiva. A pesquisa foi conduzida no período de 26/03/2010 a 04/08/2010, correspondente ao ciclo vegetativo das plantas de tomate.

As sementes de tomate utilizadas, *Lycopersicum esculentum*, cultivar Santa Clara, foram colocadas em bandeja de isopor com um substrato comercial (Plantmax)[®], sendo irrigadas com água desmineralizada de forma a mantê-las úmidas durante 21 dias. Quando estavam com uma altura aproximada de 10cm, as mudas foram transplantadas para uma bandeja com solução de Clark (1975), permanecendo em adaptação durante duas semanas, na primeira semana com 25% da concentração máxima da solução e na semana seguinte com 50% da concentração. Decorrido esse período, o experimento

foi montado em potes individuais com solução de Clark a 75%, incluindo a adição de Pb. Foram aplicadas as concentrações diferentes de chumbo (Pb), 0; 0,25; 1,0; 5,0; 10,0mg.L⁻¹, utilizando nitrato de chumbo Pb(NO₃)₂.4H₂O como fonte do elemento contaminador.

Foram utilizados frascos plásticos, opacos, com capacidade de aproximadamente 3L, onde as plantas escolhidas de tomate se desenvolveram. A solução foi arejada constantemente por tubulações de plástico ligadas a um moto-compressor. Ao final do ciclo vegetativo, as plantas foram colhidas, separadas em partes aéreas, sistemas radiculares e frutos, lavadas com água deionizada. As raízes e as partes aéreas foram secas em estufa em temperatura entre 65 e 70°C até peso constante. Os frutos foram congelados a -80°C em ultrafreezer e liofilizados em um aparelho Liobrás L202, a uma temperatura de -50°C. Em seguida, o material foi pesado e posteriormente triturado em moinho tipo Willey, equipado com peneira de 20cm².

Para determinação do teor dos elementos, fez-se a digestão nitroperclórica na proporção de 2:1 (v/v) de HNO₃ e HClO₄. Os teores de P foram determinados por colorimetria, os de S por turbidimetria e os de K por fotometria de chama. Os teores de Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn, Pb da matéria seca da parte aérea (MSPA), do sistema radicular (MSR) e dos frutos (MSF) foram dosados utilizando-se um espectrofotômetro de absorção atômica Varian com chama de gás acetileno e lâmpadas de cátodo oco (MALAVOLTA et al., 1997).

Para calcular o índice de translocação (IT) dos macro e micronutrientes da raiz para a parte aérea e raiz, parte aérea para os frutos, (PAIVA et al., 2002) utilizou-se as seguintes expressões:

$$IT \text{ pa } (\%) = \frac{\text{teor MSPA}}{\text{teor (MSR + MSPA + MSF)}} \times 100$$

$$IT \text{ f } (\%) = \frac{\text{teor MSF}}{\text{teor (MSR + MSPA + MSF)}} \times 100$$

O delineamento estatístico adotado foi inteiramente casualizado, com cinco tratamentos (0; 0,25; 1,0; 5,0 e 10,0mgL⁻¹ de Pb) quatro repetições, sendo cada repetição representada por um vaso com uma planta, perfazendo, assim, um total de 20 plantas (parcelas experimentais).

Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo ajustadas equações de regressão para o teor e o índice de translocação dos diferentes elementos analisados, utilizando-se o programa Sisvar (FERREIRA, 2000).

Resultados e Discussão

As equações de regressão ajustadas para os teores de macronutrientes (K, P, Ca, Mg e S) e micronutrientes (Cu, Mn, Zn e Fe) na raiz, parte aérea e nos frutos do tomateiro, em função das doses de chumbo aplicadas em solução nutritiva, mostram que o metal afeta esses parâmetros de forma diferenciada para cada parte da planta e para cada nutriente.

Teores de P, K, Ca, Mg e S sob influência de doses diferentes de Pb

Na Figura 1, encontram-se os dados médios relativos ao teor de macronutrientes das plantas de tomate sob diferentes doses de chumbo.

A presença de chumbo em solução nutritiva induziu ao aumento linear do teor radicular de P. Esse aumento no teor radicular de P pode ser explicado pela precipitação do fósforo na forma de fosfato de chumbo, o que, segundo Kabata-Pendias e Pendias (2001), é esperado pela facilidade de combinação do Pb²⁺ com ânions H₂PO₄⁻, forma predominante de absorção do P. O teor de P nos frutos aumentou de 1,1g.kg⁻¹, na dose de 0,25mg.L⁻¹ para 1,4g.kg⁻¹, na maior dose 10,0mg.L⁻¹, observando-se resposta quadrática positiva, diferentemente da parte aérea, onde não foi encontrado efeito significativo.

Como houve desenvolvimento normal de frutos, parece que a precipitação de P pelo Pb não foi suficiente para bloquear os teores de P em muitos compartimentos da planta, notadamente os frutos. Como não houve um controle sistemático do pH da solução nutritiva durante o crescimento do tomateiro, é razoável supor que tenha havido aumento de acidez da mesma, inibindo a precipitação de ânions H₂PO₄⁻ combinados com Pb²⁺.

Observou-se que não houve efeito significativo das doses de Pb para o teor de K no sistema radicular,

enquanto na parte aérea houve redução no teor de K, que, possivelmente, é explicada pela inibição competitiva entre o K e os cátions divalentes presentes em altas concentrações (WALKER et al., 1977). Analogamente, de acordo com Faquin (2005) e Malavolta et al. (1997), nas plantas de modo geral, presença de Mg^{+2} e Ca^{+2} , em altas concentrações, inibe a absorção de K^+ . Ao contrário

do ocorrido na parte aérea, houve um aumento no teor de K nos frutos, obtendo-se uma resposta quadrática positiva e um valor máximo de $31,3g.kg^{-1}$. Paiva (2000), trabalhando com mudas de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standl.) e cedro (*Cedrela fissilis* Vell.), também observou aumento no teor de K com aplicação de metais pesados especialmente Pb.

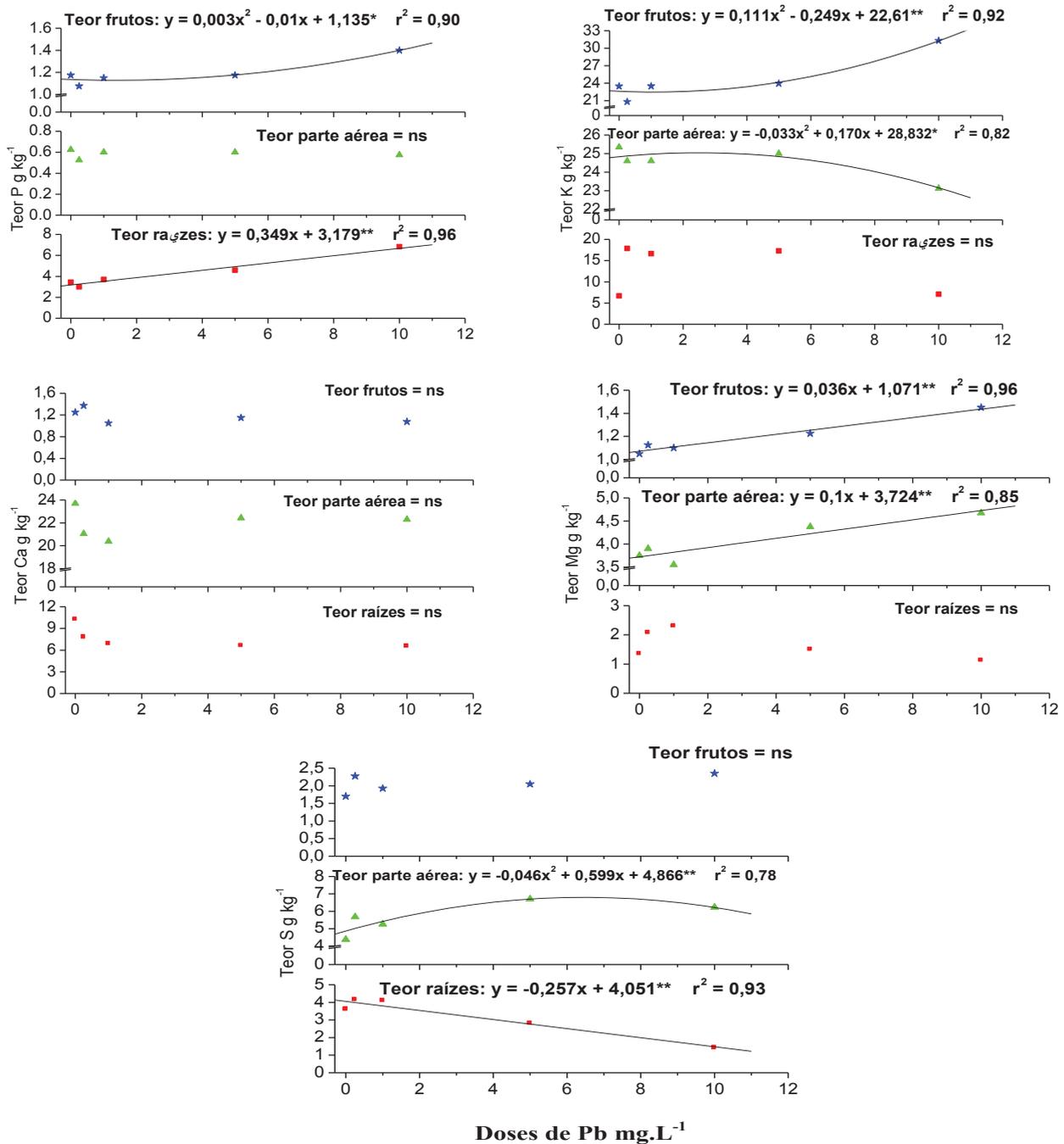


FIGURA 1: Teores de macronutrientes K, P, Ca, Mg e S nos frutos, parte aérea e raízes de plantas de tomate, em função de doses diferentes de chumbo. (*e** significativo a 5 e 1% de probabilidade e ns não significativo pelo teste F).

Quanto ao teor de Mg, observa-se que nas raízes não houve efeito significativo. Diferente do observado nas raízes, o teor na parte aérea e nos frutos apresentou respostas lineares positivas, aumentando até a dose de 10,0mg.L⁻¹, quando alcançaram os teores de 4,8g.kg⁻¹ e 1,45g.kg⁻¹ de Mg, respectivamente. Deduz-se, portanto, que não foi o Pb o indutor da absorção de Mg.

O teor de S na raiz decresceu de forma linear diferente ao observado na parte aérea, em que houve uma resposta quadrática negativa, com o teor de S atingindo o máximo de 6,7g.kg⁻¹ na dose de 5,0mg.L⁻¹ e, a partir daí, ocorrendo diminuição no teor. Nos frutos, não houve efeito significativo das doses de Pb. Essas respostas não condizem com os resultados da pesquisa de Kabata-Pendias e Pendias (2001), pois, de acordo com estes autores, a presença de metais pesados, como o Pb, não exerce qualquer efeito sobre a absorção de S. Já Paiva

(2000) observou que o Pb, dentre os metais Zn, Cd e Ni, é o que mais contribuiu para a redução do teor S em mudas de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standl.).

À exceção do Ca e do S, foi normal a absorção de todos os macronutrientes, mesmo sob o efeito de doses crescentes de Pb. Assim, embora deletério às plantas e aos seres vivos em geral, parece que as plantas de tomateiro não foram prejudicadas pelo Pb nas doses aplicadas, a ponto de influir no fluxo dos macronutrientes a partir da solução nutritiva.

Teores de Cu, Mn, Zn e Fe sob influência de doses diferentes de Pb

Na Figura 2, encontram-se os dados médios relativos ao teor de micronutrientes das plantas de tomate sob diferentes doses de chumbo.

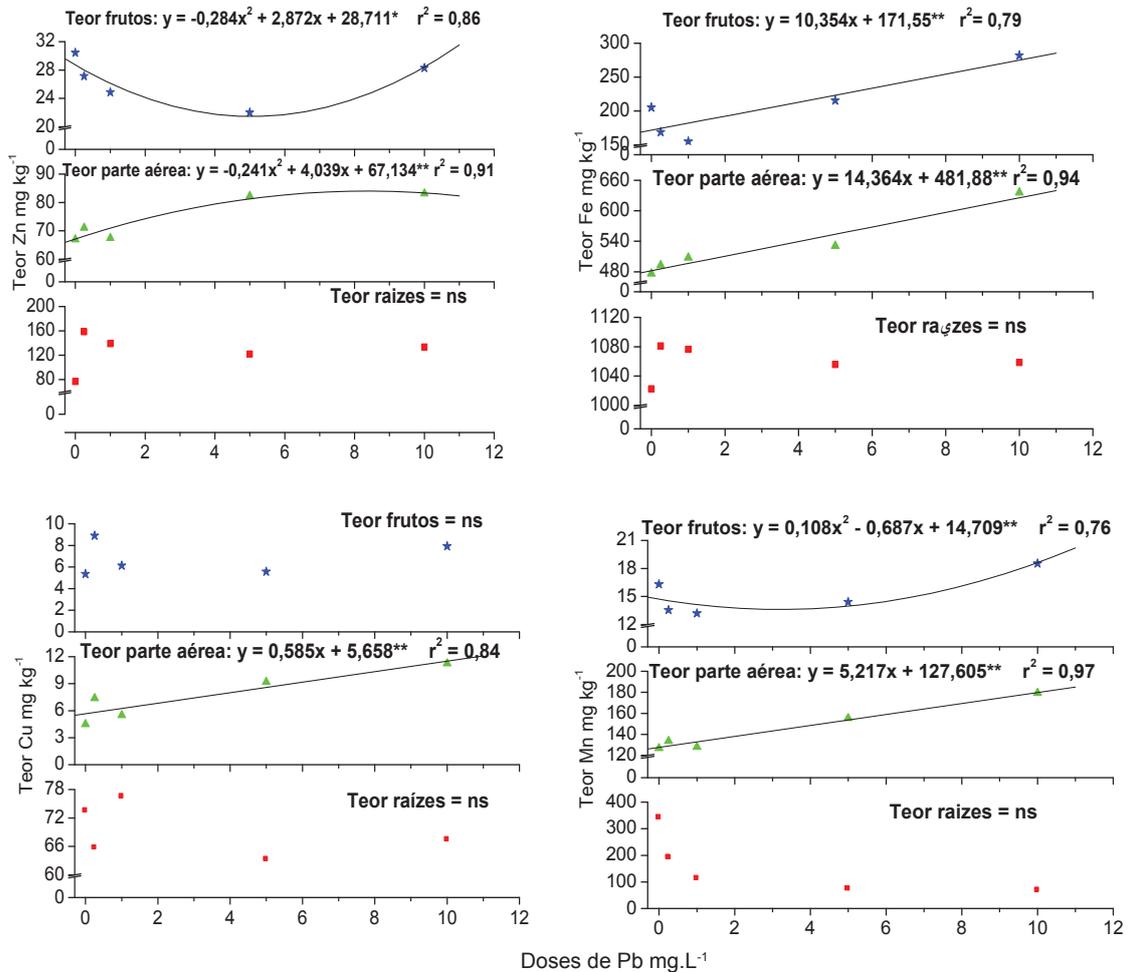


FIGURA 2: Teores de micronutrientes Cu, Mn, Zn e Fe nos frutos, parte aérea e raízes de plantas de tomate, em função de doses diferentes de chumbo. (*e** significativo a 5 e 1% de probabilidade, ns não significativo pelo teste F).

Na raiz e nos frutos a aplicação de Pb não exerceu efeito estatisticamente significativo sobre o teor de Cu. O Pb é considerado um elemento que não interfere na absorção de Cu. Na parte aérea, a presença de Pb fez com que o teor de Cu aumentasse linearmente, mostrando que este elemento, apesar de não interferir na absorção de Cu, Kabata-Pendias e Pendias (2001), nesse caso, alterou o teor na parte aérea.

O teor de Mn na parte aérea apresentou resposta crescente linear, apresentando um teor de 179mg.kg⁻¹ na dose mais alta de Pb aplicada, valor próximo ao encontrado por Paiva (2000), em folhas de ipê-roxo. Nas raízes não houve efeito significativo de Pb sobre o teor de Mn, ao passo que nos frutos a aplicação de doses crescentes de Pb alcançou teor máximo na dose de 10mg.L⁻¹, sendo esta uma resposta quadrática positiva, indicando haver antagonismo entre Mn e Pb (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001).

Observou-se que nas raízes, o teor de Zn não foi afetado significativamente pelo Pb, resultado também encontrado por Paiva (2000), em raízes de ipê-roxo. Nos frutos tem-se uma resposta quadrática positiva, tendo o ponto mínimo ocorrido na dose de 5mg L⁻¹. O inverso aconteceu na parte aérea, pois a resposta foi quadrática negativa e seu teor máximo foi próximo à dose de 10mg L⁻¹. De acordo com Kabata-Pendias e Pendias (1984), metais pesados como o Pb podem ser antagonistas ao Zn, embora Soares (1999) não tenha observado efeito significativo da aplicação de Pb sobre o teor radicular de Zn em espécies de eucalipto.

O teor de Fe na parte aérea e nos frutos do tomateiro aumentou de forma linear, alcançando teores de 635,8 e

281,8mg.kg⁻¹, respectivamente, na dose de 10,0mg.L⁻¹. Nas raízes, não houve efeito significativo quanto à aplicação de Pb. Esses resultados conflitam com os obtidos por Yang et al. (1996b) e Kabata-Pendias e Pendias (2001), os quais relataram que, até certa dose de Pb, há restrição na absorção de Fe pela planta, o que não foi observado nesse caso, já que o Pb estimulou a absorção de Fe.

O comportamento apresentado pelos teores de nutrientes nas plantas de tomate cultivadas em ambiente contaminado por Pb reflete bem a dificuldade de identificar espécies tolerantes a metais pesados, pois os teores são distintos nas diferentes partes da planta. Deve-se ainda considerar o fato de que a resposta também parece ser diferenciada entre as espécies.

Índice de translocação (IT) dos macronutrientes sob influência de doses diferentes de Pb

Os efeitos do aumento das doses de Pb sobre os índices de translocação (IT) de P, K, Ca, Mg e S são apresentados na Tabela 1.

A aplicação do metal não promoveu efeito significativo para a translocação de K na parte aérea. No entanto, observou-se nos frutos um aumento no IT de K até a maior dose de Pb (10,0mg.L⁻¹).

A presença de Pb reduziu a translocação de P no tomateiro, tanto nos frutos como na parte aérea. Este fato, como citado anteriormente, é explicado, possivelmente, pela formação de fosfato diácido de chumbo na parede celular da raiz, preconizado por Kabata-Pendias e Pendias (2001).

TABELA 1: Índice de translocação (IT %) dos macronutrientes K, P, Ca, Mg e S, na parte aérea e nos frutos do tomateiro, em função de doses diferentes de chumbo.

Doses Pb.mg.L ⁻¹	% IT Raiz – Parte aérea					% IT Parte aérea – Frutos				
	K ^{ns}	P ^{**}	Ca ^{**}	Mg ^{ns}	S ^{**}	K ^{**}	P ^{**}	Ca ^{ns}	Mg ^{**}	S ^{**}
0	46,10	11,97	67,26	59,89	45,14	42,46	22,48	3,50	16,85	17,58
0,25	38,92	11,48	69,68	54,95	47,60	33,05	23,47	4,57	15,86	17,11
1,0	38,21	11,02	72,10	51,02	46,36	36,36	21,18	3,74	15,84	17,24
5,0	37,73	9,44	74,25	61,54	57,05	35,92	18,26	3,81	17,27	18,12
10,0	37,50	6,52	74,87	64,49	62,14	50,95	15,91	3,66	20,00	23,53

ns não significativo pelo teste de F. **significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de F.

Observou-se que o IT de Ca na parte aérea do tomateiro atingiu um máximo de translocação na dose próxima a 10,0mg.L⁻¹. Nos frutos não se observou efeito significativo. O resultado encontrado contrasta com o obtido por Paiva (2000), em que mudas de cedro e ipê-roxo não tiveram o IT afetado pela aplicação de Pb, na parte aérea. Alvarenga (2004) relata que o Ca pode ser absorvido rapidamente, mas é imóvel na planta. O diâmetro iônico e a capacidade de hidratação dos íons influem na mobilidade. Cada íon desenvolve ao seu redor um campo de força proporcional a sua valência, capaz de adsorver uma capa de molécula de água, hidratando-se.

Em relação ao Mg obteve-se um aumento na translocação nos frutos e não apresentou efeito significativo na parte aérea. O resultado encontrado para o Mg está de acordo com obtido por Paiva (2000), em que o Mg teve sua translocação aumentada linearmente em aplicações de Pb e outros metais estudados.

Conforme se observou, a translocação de S em função da aplicação de Pb aumentou na parte aérea. Nos frutos nota-se que a translocação de S, aumentou até a aplicação da maior dose de Pb. Yang et al. (1996a;1996b) concluíram que a translocação de S diante da aplicação de metais pesados pode ser estimulada em culturas de milho e inibida em repolhos.

À exceção da translocação de P na parte aérea e nos frutos, a translocação de todos os macronutrientes foi normal, mesmo sob doses crescentes de Pb. Portanto, é de se esperar que as concentrações do metal utilizadas não tenham prejudicado as plantas a ponto de influenciar na translocação dos macronutrientes.

Índice de translocação (IT) dos micronutrientes sob influência de doses diferentes de Pb

Os efeitos do aumento das doses de Pb sobre os índices de translocação (IT) de Cu, Mn, Zn e Fe são apresentados na Tabela 2.

O índice de translocação do Cu aumentou na parte aérea do tomateiro e houve ausência de efeito significativo para aos frutos. Em mudas de cedro, Paiva (2000) detectou que o Pb não exerce efeito significativo sobre a translocação de Cu, mas, já em mudas de ipê-roxo, observou-se redução na translocação de Cu.

Para o Mn pode-se observar um aumento no IT devido à aplicação de Pb, tanto na parte quanto nos frutos. Esses resultados divergem dos encontrados por Soares (1999) que, em mudas de eucalipto, detectou pouca influência de Pb e de outros metais sobre a translocação de Mn.

Observa-se que a aplicação de Pb não exerceu efeito significativo sobre o índice de translocação de Zn em nenhuma das partes das plantas de tomate, contrastando com o resultado encontrado Paiva (2000). O autor cita que, na presença de concentrações de Pb, o Zn transloca-se nas plantas em maiores proporções que o normal. Os resultados de Paiva (2000) contrastam com observações de Yang et al. (1996a; 1996b), em que a presença de Pb diminuiu a translocação de Zn.

Tal como visto para o Zn, não foram observados efeitos significativos das doses de Pb na translocação do Fe nas duas partes analisadas das plantas de tomate. O resultado mostra-se de acordo com o de Paiva (2000),

TABELA 2: Índice de translocação IT (%) dos micronutrientes Cu, Mn, Zn e Fe, na parte aérea e nos frutos do tomateiro, em função de doses diferentes de chumbo.

Doses Pb.mg.L ⁻¹	% IT Raiz – Parte aérea				% IT Parte aérea – Frutos			
	Cu**	Mn**	Zn ^{ns}	Fe ^{ns}	Cu**	Mn**	Zn ^{ns}	Fe ^{ns}
0	5,44	26,82	38,51	27,83	6,41	3,42	17,95	12,08
0,25	9,11	40,33	27,96	81,14	10,85	4,08	10,92	9,64
1,0	6,51	51,48	29,34	29,17	6,95	5,30	11,05	8,92
5,0	11,94	63,91	38,93	29,37	7,10	5,91	10,67	11,62
10,0	13,54	67,60	34,08	32,16	9,45	7,05	11,54	14,23

ns não significativo pelo teste de F. **significativo ao nível de 1 % de probabilidade pelo teste de F.

que observou que o Pb não afeta o IT de Fe em mudas de cedro.

Sabe-se que, em muitas espécies de plantas, dentre as quais o tomateiro, o chumbo acumula-se preferencialmente nas raízes, tendo baixa translocação para a parte aérea (ELTROP et al., 1991; BHARTI; SINGH, 1993). Este confinamento às raízes, no entanto, provoca distúrbios fisiológicos, impedindo ou dificultando o pleno desenvolvimento das plantas, conforme observado por Paiva et al. (2003).

Diante dos resultados obtidos foi possível concluir que as doses de Pb utilizadas reduziram os teores de K na parte aérea, S nas raízes e Zn nos frutos e induziu ao aumento dos teores de P, Mg e Cu nos frutos. Em relação à translocação, o Pb reduziu P nos frutos e parte aérea, não influenciou a translocação de Zn, Fe, Ca e Cu nos frutos e de K e Mg na parte aérea.

Agradecimentos

Ao Laboratório de Análise Foliar do Departamento de Química da Universidade Federal de Lavras – Lavras – MG pelas análises espectrofotométricas, ao Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras – Lavras – MG pelo auxílio na realização do experimento.

Referências

- AGUIAR, M. R.; NOVAES, A. C.; GUARINO, A. W. S. Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos. **Química Nova**, São Paulo, v. 25, p. 1145-1154, 2002.
- ALVARENGA, M. A. R. **Tomate: produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia**. 2. ed. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2004. 400 p.
- BACCOUCH, S.; CHAOU, A.; EL-FERJANI, E. Nickel toxicity: effects on growth and metabolism of maize. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 21, p. 577-588, 1998.
- BALIGAR, V. C.; FAGERIA, N. K.; ELRASHIDI, M. A. Toxicology and nutrient constraints on root growth. **Hortscience, Alexandria**, v. 33, p. 960-965, 1998.
- BERGMANN, W. **Nutritional disorders of plants: development, visual and analytical diagnosis**. New York: G. Fischer, 1992. 741 p.
- BHARTI, N.; SINGH, R. P. Growth and nitrate reduction by *Sesamum indicum* cv. PB-1 responds differentially to lead. **Phytochemistry**, Leiden, v. 33, p. 531-534, 1993.
- CLARK, J. Characterization of phosphatase of intact maize roots. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 23, p. 458-460, 1975.
- COSTA, E. D. **Adsorção e competição de alguns metais por ácidos húmicos extraídos de latossolo húmico da Região Araponga, Minas Gerais**. 1998. 71 f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1998.
- ELTROP, L.; BROWN, G.; JOACHIM, O.; BRINKMAN, K. Lead tolerance of *Betula* and *Salix* in the mining area of Mechernich. **Plant and Soil**, The Hague, v. 131, p. 275-285, 1991.
- FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2005. 182 p.
- FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45, 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2000. p. 255-258.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. Boca Raton: CRC, 1984. 315 p.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 3. ed. Flórida: CRC Press, 2001. 315 p.
- KOS, B.; LESTAN, D. Induced phytoextraction/soil washing of lead using biodegradable chelate and permeable barriers. **Environmental Science & Technology**, Washington, v. 37, p. 624-629, 2003.
- MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificação e fatos**. São Paulo: Produquímica, 1994. 153 p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, C. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. 2. ed. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1997. 319 p.
- MARSCHNER, P.; GODBOLD, D. L.; JENTSCHKE, G. Dynamics of lead accumulation in mycorrhizal and nonmycorrhizal Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). **Plant and Soil**, The Hague, v. 178, p. 239-245, 1995.
- PAIM, L. A.; CARVALHO, R.; ABREU, C. M. P.; GUERREIRO, M. C. Estudo dos efeitos do silício e do fósforo na redução da disponibilidade de metais pesados em área de mineração. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, p. 28-33, 2006.
- PAIVA, H. N. **Toxidez de Cd, Ni, Pb e Zn em mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) e de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standley)**. 2000. 283 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2000.
- PAIVA, H. N.; CARVALHO, J. G.; SIQUEIRA, J. O. Índice de translocação de nutrientes em mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) e ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standl.) submetidas a doses crescentes de cádmio, níquel e chumbo. **Sociedade de Investigações Florestais**, Viçosa, v. 26, p. 467-473, 2002.
- PAIVA, H. N.; CARVALHO, J. G. de; SIQUEIRA, J. O.; FERNANDES, A. R.; MIRANDA, J. R. P. de. Influência de doses crescentes de chumbo sobre o teor e o conteúdo de nutrientes e Pb em mudas de Ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standl.). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, p. 151-158, 2003.
- SILVA, V. L.; CARVALHO, R.; FREITAS, M. P.; TORMENA, C. F.; MELO, W. C. Spectrometric and theoretical investigation of the

- structures of Cu and Pb/DTPA complexes. **Structural Chemistry, Deerfield Beach**, v. 18, p. 605-609, 2007a.
- SILVA, V. L.; CARVALHO, R.; FREITAS, M. P.; TORMENA, C. F.; MELO, W. C. Structural determination of Zn and Cd-DTPA complexes: MS, infrared, ¹³C NMR and theoretical investigation. **Spectrochimica Acta**, London, v. 68, p. 1197-1200, 2007b.
- SOARES, C. R. F. S. **Toxidez de zinco, cobre, cádmio e chumbo para o eucalipto em solução nutritiva**. 1999. 132 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. 1999.
- WALKER, W. M.; MILLER, J. E.; HASSETT, J. J. Effect of lead and cadmium upon the calcium, magnesium, potassium, and phosphorus concentration in young corn plants. **Soil Science**, Baltimore, v. 124, p. 145-151, 1977.
- YANG, X.; BALIGAR, V. C.; MARTENS, D. C.; CLARK, R. B. Cadmium effects on influx and transport of mineral nutrients in plant species. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 19, p. 643-656, 1996a.
- YANG, X.; BALIGAR, V. C.; MARTENS, D. C.; CLARK, R. B. Plant tolerance to nickel toxicity: II., nickel effects on influx and transport of mineral nutrients in four plant species. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 19, p. 265-279, 1996b.