

TOXIDEX DE METAIS EM PLANTAS.

I. CARACTERIZAÇÃO DE TOXIDEX DE MANGANÊS EM CAFEIROS¹

MARCOS A. PAVAN² e FRANK T. BINGHAM³

RESUMO - Plântulas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cv. Catuaí Vermelho, brotadas em caixas de areia, foram usadas, no presente trabalho, com o objetivo de se determinar e caracterizar a toxidez do Mn nos cafeeiros. A absorção de Mn foi proporcional à quantidade de Mn adicionado na solução, e as injúrias nas plantas foram proporcionais à absorção de Mn. A equação de regressão para o Mn nas folhas ($Y = \mu\text{g/g de Mn}$), quando correlacionada com a solução (mg/l de Mn), foi: $Y = 352,59 + 132,59 (\text{Mn sol.})$ ($R = 0,965^{***}$). A concentração, nas folhas, de solução contendo 20 mg/l de Mn variou de 2.500 a 2.800 $\mu\text{g/g de Mn}$ e foi associada com os 25% da diminuição de crescimento das plantas. A equação de regressão para peso seco ($Y = \text{g/planta}$), quando correlacionada com o Mn das folhas ($\mu\text{g/g de Mn}$), foi: $Y = 213,41 - 0,022 (\text{Mn foliar})$ ($R = 0,613^*$). O máximo desenvolvimento da planta foi associado com a relação Mn/Fe, nas folhas, de 7,64, e decresceu para 25% do máximo quando a relação aumentou para 18. O excesso de Mn na solução diminuiu a absorção de Fe e Ca, mas não afetou o B, Zn, Mg e N - total nas folhas. A clorofila nas folhas aumentou para o máximo de concentração de 2,6 mg por g de tecido fresco quando o Mn foliar aumentou para 2.580 $\mu\text{g/g}$. Concentrações de Mn foliar de 1.200 e 2.600 $\mu\text{g/g}$ foram correlacionadas com sintomas de toxidez "médio" e "muito severo", respectivamente. Os sintomas de toxidez de Mn foram notados nas folhas mais jovens, pela clorose marginal e por alguns pontos necróticos que apareceram no limbo.

Termos para indexação: *Coffea arabica* L., nutrição de plantas.

TOXICITY OF METALS IN PLANTS.

I. CHARACTERIZATION OF MANGANESE TOXICITY IN COFFEE

ABSTRACT - Coffee seedlings (*Coffea arabica* L.) cv. "Catuaí vermelho" were grown in sand culture with different amounts of Mn. The objective was to determine and characterize toxicities of this metal. Mn uptake was proportional to the supply and plant injuries were proportional to Mn uptake. The regression equation for leaf Mn ($Y = \mu\text{ g Mn/g}$) as related to solution Mn (mg Mn/l) was: $Y = 352.59 + 132.59 (\text{sol. Mn})$ ($R = 0.965^{***}$). Twenty-five percent of the yield decrement was associated with solution Mn of 20 mg Mn/l or leaf Mn ranged from 2,500 to 2,800 $\mu\text{g Mn/g}$. The regression equation for plant dry weight ($Y = \text{g/plants}$) as related to leaf Mn ($\mu\text{g Mn/g}$) was: $Y = 213.41 - 0.022 (\text{leaf Mn})$ ($R = 0.613^*$). Maximum yields were associated with Mn/Fe ratio in leaf tissue of 7.64 and decrease to 25% to the maximum as this ratio was increased to 18. Excess of Mn in solution decreased leaf Fe and Ca but did not affect leaf B, Zn, Mg and total N. Total leaf chlorophyll increased to a maximum concentration of 2.6 mg/g fresh tissue when leaf Mn was 608 $\mu\text{g/g}$ and steadily decreased to 1.85 mg/g as the leaf Mn was increased to 2,580 $\mu\text{g/g}$. Leaf Mn concentrations of 1,200 and 2,600 $\mu\text{g/g}$ were associated with medium and very severe leaf toxicity symptoms respectively. Manganese toxicity symptoms were marginal chlorosis and few necrotic spots on younger leaves.

Index terms: *Coffea arabica* L., plant nutrition.

INTRODUÇÃO

A maior área de produção de café no Brasil está localizada em solos ácidos, onde a toxidez de Mn e outros metais podem limitar o desenvolvimento normal das plantas.

Em geral, condições de pH ácido favorecem o acúmulo de concentrações tóxicas de Mn, em vir-

tude do aumento da solubilidade em pH 5,0 (Adams & Wear 1957, Foy 1973, Foy et al. 1973). Aparentemente, as plantas absorvem e transportam Mn em excessivas quantidades, as quais resultam em acúmulos nas folhas. Excesso de Mn pode também causar sintomas de toxidez nas raízes, mas em geral isto ocorre após as folhas terem sido injuriadas (Brown et al. 1972).

Em adição ao efeito direto de Mn nas plantas, aumentando-se a concentração de Mn no solo pode-se causar deficiências de ferro (Fe) em plantas (Hopkin 1930, Somers & Shive 1942, Hewitt 1948 a, b e Lee 1972). Ohno et al. (1978) publicaram que a deficiência de Fe em arroz cultivado em um

¹ Aceito para publicação em 27 de março de 1981.

² Eng.^o Agr.^o, M.Sc., Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR), Caixa Postal 1331, CEP 86 100 - Londrina, PR.

³ Ph.D., Prof. of Soil Science, University of California, Riverside, CA, 92521. USA.

solo ácido no Estado do Paraná era causada por um excesso de Mn. A relação Mn/Fe é usualmente associada com Mn induzindo deficiência de Fe. Lee (1972) publicou que o excesso de Mn produziu deficiência de Fe em batata crescendo em solução nutritiva e produziu uma relação Mn/Fe de 18 ou mais na parte aérea das plantas. Em geral, é assumido que o Fe metabolicamente ativo em plantas existe no estado ferroso e torna-se inativo após oxidação para o estado férrico. Esta oxidação segue uma reação com compostos de Mn previamente oxidado para um estado de mais alta valência (Somers & Shive 1942; e Hewitt 1948 a). Hopkin (1930) sugeriu que Mn pode ser fisiologicamente ativo em determinar o estado de oxidação de Fe dentro da planta.

A nutrição de cálcio (Ca) é também afetada pela excessiva absorção de Mn pela plantas. O aumento da concentração de Ca na zona da raiz pode diminuir a absorção e o efeito tóxico de Mn, pois eles competem pelo mesmo sistema de absorção (Foy 1973). Heintz (1968) concluiu que o fósforo (P) pode também detoxicar Mn por uma reação de precipitação como fosfato de manganês dentro das raízes, diminuindo o transporte de Mn para a parte aérea das plantas.

Embora haja alguns trabalhos publicados mostrando a importância da toxidez de Mn para muitas espécies cultivadas em solos ácidos (Silva 1976, Olmos & Camargo 1976), não há dados específicos para a maioria das culturas. O Manual de Recomendações para a Cultura de Café no Brasil (Instituto Brasileiro de Café 1974) apresenta limitados dados de toxidez de metais em cafeeiros. Para o caso de Mn, é relatado que níveis acima de 400-500 μ g/g e 700-800 μ g/g no terceiro par de folhas já podem causar toxicidade nas cultivares Bourbon e Mundo Novo, respectivamente, mas não há dados específicos para a cultivar Catuaí. Por estas razões, foi conduzido um experimento com solução nutritiva, com o objetivo de estabelecer concentrações críticas de Mn nas folhas de cafeeiros associados com sintomas e redução no crescimento da planta. Tais informações são necessárias para avaliar o dano potencial deste metal em solos ácidos com impacto ao cafeeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

Sementes da linhagem LH 2077-2-5-99 de *Coffea arabica*, L. cultivar Catuaí Vermelho foram germinadas em caixas de areia por 35 a 40 dias. Quando as mudas de café estavam com 5 a 10 cm de altura (estádio de palito-de-fósforo e orelha-de-onça), foram transferidas para vasos de plástico de 10 litros, cheios com areia e colocados sobre um tanque de 140 litros contendo uma solução nutritiva diluída.

A solução nutritiva continha as seguintes concentrações de íons expressos em me./l: 8,0 NO₃, 0,1 P, 3,0 K, 0,5 Ca, 0,25 Mg e 0,2 SO₄. As concentrações dos micronutrientes expressos em mg/l foram: 0,05 B, 0,05 Mn, 0,005 Zn, 0,002 Cu e 0,005 Mo. Ferro foi adicionado na concentração de 2,5 mg/l de Fe como quelato. A solução nutritiva era bombeada continuamente por 15 minutos para os vasos de plástico, seis vezes por dia. Após o segundo mês, os ciclos de bombeamento foram reduzidos para quatro vezes ao dia e estendeu-se por todo o período experimental. O excesso da solução percolava através dos vasos para dentro do tanque. (Fig. 1).



FIG. 1. Vista geral no início do experimento em casa de vegetação.

Quando as mudas de café estavam com aproximadamente quatro pares de folhas, o Mn foi adicionado como MnSO₄ em diferentes quantidades na solução nutritiva. As concentrações foram de 0; 2,5; 5,0; 10,0 e 20,0 mg/l de Mn. As soluções nutritivas eram renovadas a cada 15 - 20 dias, mas as concentrações de Mn eram ajustadas semanalmente aos níveis desejados, através da análise de uma amostra da solução por absorção atômica. Todas as soluções eram mantidas no pH 4,5 \pm 0,2 com adições de H₂SO₄.

Amostras de tecidos compostos pelo terceiro par de folhas - contados a partir das folhas mais jovens dos ramos laterais - foram usadas para análises químicas para repre-

sentar o estado nutricional do cafeeiro (Lott et al. 1956). Amostras de folhas foram coletadas mensalmente e preparadas para análises de Mn, Ca, Mg, Fe, Zn, B, N-total e clorofila total.

As mudas de café foram mantidas com os tratamentos de Mn por aproximadamente doze meses. No término do experimento, as partes aéreas das plantas foram separadas (folhas e galhos) das raízes. As raízes, folhas e galhos foram lavados em água deionizada, secados a 60°C, pesados e preparados para digestão em ácido nítrico e clorídrico concentrados. Os extratos das partes aéreas e raízes foram analisados para Mn, Ca, Mg, Fe e Zn por absorção atômica (Webber 1974), B pelo método colorimétrico com solução de Carmin (Bingham Prelo) e clorofila total pelo método oficial de análises da Association of Official Analytical Chemists (1950). Os sintomas de toxidez nas folhas foram avaliados pela concentração de clorofila nestes tecidos. Os resultados de desenvolvimento, composição foliar e sintomas de toxidez foram analisados estatisticamente para correlacionar as concentrações do metal estudado com os parâmetros observados.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com cinco tratamentos repetidos quatro vezes, e o Teste de Duncan foi usado para determinar a mínima significância das médias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Um programa de computador (Sposito & Matigod 1979) foi usado para calcular os prováveis complexos e precipitados formados na solução mantida no pH 4,5. A Tabela 1 mostra as concentrações dos prováveis complexos dos metais na solução em estudo usando-se as constantes de estabilidade das reações químicas esperadas. Uma análise desses dados mostraram que Mn^{+2} era a espécie predominante nas condições do experimento e po-

de ser correlacionada com a absorção pelas raízes do cafeeiro.

A Fig. 2 mostra a influência da concentração de Mn na solução sobre Mn nas folhas do cafeeiro. Estes resultados indicam que a adição de Mn na solução aumentou significativamente a concentração de Mn nos tecidos foliares. A equação de regressão para Mn na folha ($Y = \mu g/g$ de Mn), em função de Mn na solução (mg/l de Mn) foi $Y = 352,59 + 132,59 \cdot (Mn \text{ sol.})$ ($R = 0,965^{***}$). Concentração de Mn na folha de $1.200 \mu g/g$ de Mn ou mais foi associada com cloroses foliares. Portanto, usando a

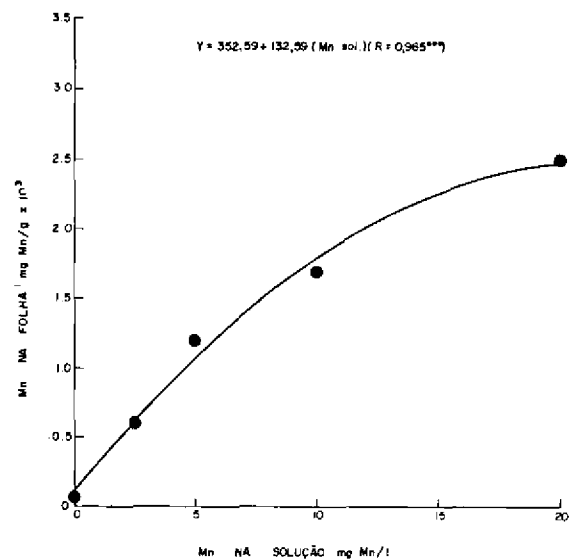


FIG. 2. Concentrações de Mn na folha em relação às concentrações de Mn na solução nutritiva.

TABELA 1. Espécies químicas em percentagem dos elementos presentes na solução nutritiva no pH 4,5 e pCO_2 $3,23 \times 10^{-4}$.

Metal	Metal livre	Complexado com							
		SO ₄	PO ₄	EDTA	Cl	BOH ₄	MoO ₄	OH	NO ₃
Mn	97,20	2,00	0,60	0,09	-	-	-	-	0,10
Ca	97,00	2,00	0,50	-	-	-	-	-	0,50
Mg	97,70	1,60	0,60	-	-	-	-	-	-
K	99,80	0,10	-	-	-	-	-	-	-
Cu	-	-	-	100,00	-	-	-	-	-
Zn	-	-	-	100,00	-	-	-	-	-
Fe III	-	-	1,1	99,80	-	-	-	0,1	-

* Praticamente, 100% de Cl, BOH₄ e MoO₄ e OH estavam como ligantes livres na solução.

equação acima, podemos prever a mínima concentração de Mn na solução que pode causar sintomas de toxidez nas folhas de café. Uma concentração de 10 mg/l de Mn em solução seria esperada ser tóxica para a planta pois produziria uma concentração de Mn na folha superior a 1.200 μ g/g de Mn. Esses resultados de concentração de Mn nas folhas referentes à cultivar Catuaí Vermelho são os mais altos dos que foram publicados para as cultivares Bourbon e Mundo Novo (Instituto Brasileiro do Café 1974). Portanto, poderíamos concluir que a cultivar Catuaí Vermelho é relativamente mais tolerante à toxidez de Mn do que as duas outras variedades citadas acima.

Os valores de Fe na folha em função da concentração de Mn na solução são apresentados na Tabela 2. Geralmente, Fe na folha diminuiu quando a concentração de Mn na solução aumentou acima de 10 mg/l de Mn. Resultados similares foram publicados por Foy (1973), onde a absorção total de Ca, Mg, P, B e Fe pelas plantas de alfafa em solução nutritiva foram reduzidas quando as plantas receberam altas concentrações de Mn.

No presente experimento, mudas de café crescendo em soluções nutritivas com 10 e 20 Mn/l apresentaram sintomas típicos de clorose nas folhas mais jovens. Análise química dessas folhas cloróticas revelaram concentrações de Fe muito maiores do que o nível linear para café. Somers & Shive (1942) sugeriram que muito do Fe presente em folhas cloróticas pode estar em uma forma insolúvel e não-efetivo nos processos metabólicos. Bar. Akiva & Lavon (1968), investigando o problema de requerimento de Fe para citrus, encontraram que as formas solúveis de Fe em folhas de citrus é que são ativas nos processos metabólicos. Eles observaram uma correlação positiva entre Fe solúvel, atividade de peroxidase nas folhas de citrus, e as quantidades de clorofila nestas folhas. Portanto, parece que muito do Fe presente nas folhas cloróticas do café se tornou inativo através de precipitações (Hewitt 1948 a; Somers & Shive 1942) e não-viáveis para os processos metabólicos.

A relação Mn/Fe nos tecidos de plantas tem um interesse particular, tendo em vista que a toxidez de Mn foi associada com deficiência de Fe (Lee

TABELA 2. Análise da variância e média do peso seco, altura das plantas e das concentrações no terceiro par de folhas de Mn, Fe, Zn, B, Ca, Mg e N-total, em função das concentrações de Mn na solução.

Mn Solução mg/l	Concentrações médias no terceiro par de folhas							Peso seco g/planta	Altura/plantas cm
	Mn μ g/g	Fe μ g/g	Zn μ g/g	B μ g/g	Ca %	Mg %	N-total %		
0	65 a	133 a	22,0 a	118 a	0,98 a	0,27 a	3,92 a	209,7 a	56 b
2,5	608 b	157 c	22,8 a	118 a	1,02 a	0,29 a	3,54 a	206,4 a	60 a
5,0	1.200 c	157 c	19,8 a	112 a	0,96 b	0,28 a	3,36 a	205,2 a	64 a
10,0	1.693 d	146 b	18,2 a	118 a	0,92 c	0,28 a	3,36 a	185,4 b	51 c
20,0	2.580 e	132 a	18,7 a	118 a	0,90 c	0,28 a	3,36 a	163,7 c	48 c
Fonte de variação									
Mn Sol.	***	*	NS	NS	*	NS	NS	**	*
C.V. %	2,9	10,4	11,1	5,3	8,2	8,7	11,9	15,4	7,7

NS - Indica não-significativo.

* - Indica significância ao nível de 0,05 de probabilidade.

** - Indica significância ao nível de 0,01 de probabilidade.

*** - Indica significância ao nível de 0,001 de probabilidade.

As médias dentro da mesma coluna que não têm as letras em comum são significativamente afetadas pela adição de Mn na solução. Valores acompanhados da mesma letra, dentro da mesma coluna, não diferem significativamente entre si.

1972). A Fig. 3 mostra Mn/Fe nos tecidos em relação com a concentração de Mn na solução. Aumentando a concentração de Mn na solução, resultou uma maior relação Mn/Fe nos tecidos foliares, em virtude, primariamente, de um alto influxo de Mn. Produções baseadas no peso e na altura da planta foram máximas quando a relação Mn/Fe na folha era de 7,64 e decresceram em 25% do máximo quando esta relação aumentou para 18. Uma relação Mn/Fe de 18 foi associada com sintomas foliares de toxidez muito severos.

O efeito de Mn na absorção e transporte de outros nutrientes é apresentado na Tabela 2. Adições de Mn na solução diminuiu significativamente a absorção e acumulação de Ca, mas não afetou Mg, Zn, B, e N-total. Estas observações são similares àquelas encontradas por Foy (1973) e Foy & Fleming (1978), mostrando que o Ca compete com o Mn pelo mesmo mecanismo de absorção. A diminuição da absorção de Ca com o aumento da absorção de Mn pode também ser atribuída a um efeito direto da planta em preservar uma balança catiônica.

O efeito de Mn em solução na concentração de

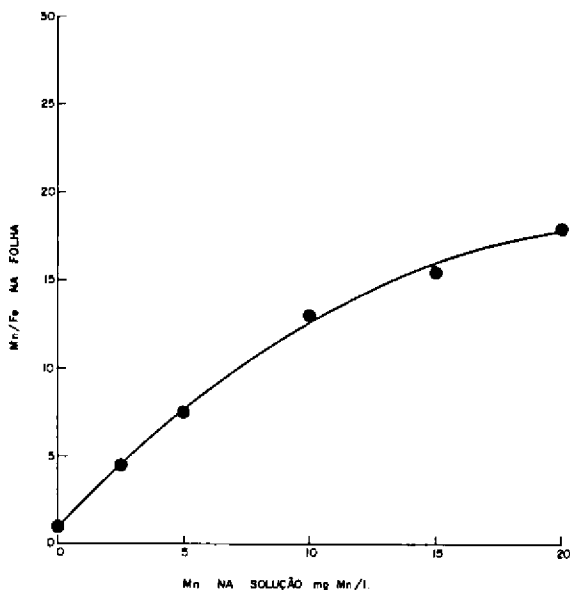


FIG. 3. Mn/Fe na folha em relação à concentração de Mn na solução nutritiva. A concentração de Fe na solução nutritiva foi mantida a 2,5 mg/l de Fe como quelato (Fe 138).

clorofila total nas folhas é mostrado na Fig. 4. Geralmente, a concentração de clorofila aumentou com o aumento de Mn na folha até alcançar um valor máximo de 2,6 mg/g de tecido fresco quando o Mn na folha era de 608 μ g/g de tecido seco e rapidamente diminuiu para 1,85 mg/g quando Mn na folha aumentou para 2.580 μ g/g. A clorofila total nas folhas foi correlacionada com sintomas de cloroses, sendo observado que qualquer concentração de clorofila no terceiro par de folhas de café abaixo de 2,0 mg/g de tecido fresco era associada com cloroses foliares. Este nível mínimo de concentração de clorofila em folha de café foi obtido quando a concentração de Mn na folha era de 1.200 μ g/g. Uma importante observação do experimento foi que as mudas de café começaram a mostrar sintomas de toxidez de Mn nas folhas quando o nível de Mn nestes tecidos estava acima de 1.200 μ g Mn/g de tecido seco, e a severidade aumentou com o aumento da concentração de Mn na folha.

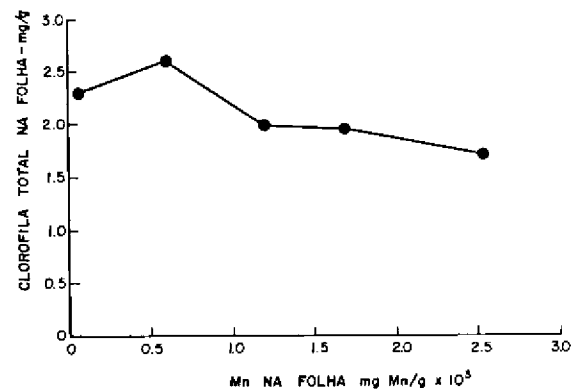


FIG. 4. Concentrações de clorofila total na folha, em relação à concentração de Mn na folha.

O máximo crescimento do cafeeiro foi obtido quando a concentração de Mn na folha era de 1.200 μ g/g de Mn e decresceu em 25% do máximo quando Mn na folha aumentou para 2.580 μ g/g de Mn. Estes resultados mostram que, embora uma concentração de Mn na folha de 1.200 μ g/g de Mn causou cloroses, contudo não afetou significativamente o desenvolvimento da parte aérea. A mesma observação foi verificada com o peso seco das plantas, que decresceu significativamente apenas quan-

do a concentração de Mn na folha era superior a $1.700 \mu\text{g/g}$ de Mn.

Os sintomas de toxidez de Mn incluem cloroses marginais e entre nervuras nas folhas. Estes sintomas apareceram inicialmente nas folhas mais jovens e progrediram para as folhas mais velhas com o acúmulo de Mn nas partes aéreas do cafeeiro. Em um estágio mais adiantado de toxidez, as folhas jovens apresentavam cloroses com pequenos pontos necróticos no limbo. Provavelmente, esses pontos necróticos estariam associados com uma acumulação localizada de Mn no tecido.

Como os sintomas de toxidez em plantas têm sido correlacionados com a atividade molar do elemento na solução (Adams & Lund 1966) é mostrado, na Fig. 5, o efeito da atividade molar de Mn^{2+} na concentração de clorofila total no terceiro par de folhas de cafeeiros. A equação de Debye Huckel foi usada para calcular o coeficiente de atividade iônica de Mn^{2+} na solução.

$$\log T = -A Z^2 \left[\frac{\sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}} - 0,3 I \right]$$

onde T = coeficiente de atividade de Mn^{2+} , I = força iônica da solução em mol dm^{-3} , $Z = 2$, $A = 0,5116 \text{ dm}^{3/2} \text{ mol}^{-1/2}$ a 25°C . Como, durante os dias escolhidos para este experimento, as solu-

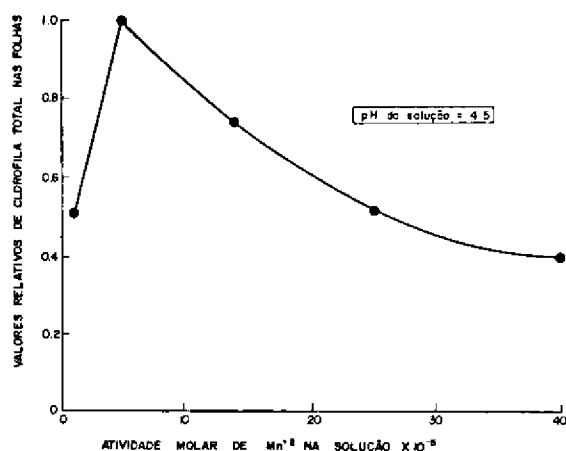


FIG. 5. Efeito da atividade molar de Mn^{2+} em solução nutritiva na concentração de clorofila total nas folhas de cafeeiros.

ções eram renovadas diariamente e as concentrações dos íons analisadas quimicamente, foi assumido não haver mudanças significativas na atividade de Mn^{2+} em solução. Os resultados evidenciam que o Mn em solução foi progressivamente mais tóxico para as mudas de café quando a atividade molar de Mn^{2+} excedeu um mínimo de $7,09 \times 10^{-5}$. O conhecimento deste valor é importante na análise do experimento, pois tem sido publicado (Adams & Lund 1966) que a concentração salina de uma solução pode afetar diretamente a toxidez de um metal por alterar o coeficiente de atividade deste metal em solução. Portanto, estes dados podem ser comparados com as mais diversas soluções, desde que as concentrações dos íons no meio sejam perfeitamente conhecidas.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, F. & LUND, Z.F. Effect of chemical activity of soil solution Al on cotton root penetration acid subsoils. *Soil Sci.*, 101:193-8, 1966.
- ADAMS, F. & WEAR, J.I. Manganese toxicity and soil acidity in relation to crinkle leaf of cotton. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 21:305-8, 1957.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS, Washington, EUA. *Official methods of analysis of the Association of Official Agricultural Chemists.* s.l., 1950. p.111-5.
- BARAKIVA, A. & LAVON, R. Peroxidase activity as an indicator of the iron requirement of citrus trees. *Israel J. Agric. Res.*, 18:144-53, 1968.
- BINGHAM, F.T. Boron. In: PAGE, A.L. *Methods of soil analysis.* 2. ed. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, Inc. Prelo.
- BROWN, J.C.; AMBLER, J.E.; CHANEY, R.L. & FOY, C.D. Differential responses of plant genotypes to micronutrients. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. & LINDSAY, W.L. *Micronutrients in agriculture.* Madison, Soil Sci. Soc. Am., 1972. p.389-418.
- FOY, C.D. Manganese and plants. In: _____ *Manganese.* Washington, D.C., National Academy of Sciences, Nat. Res. Council, 1973. p.51-76.
- FOY, C.D. & FLEMING, A.L. The physiology of plant tolerance to excess available aluminium and manganese in acid soils. s.l., s.ed., 1978. Presented at Symp. on Crop Tolerance to Sub-optimal Land Conditions. ASA Meet., Houston, 1976.
- FOY, C.D.; FLEMING, A.L. & SCHWARTZ, J.W. Opposite aluminium and manganese tolerance of two wheat varieties. *Agron. J.*, 65:123-6, 1973.
- HEINTZ, J.G. Manganese-phosphate reactions in aqueous systems and the effects application of monocalcium phosphate on the availability of manganese to oats in alkaline fan soil. *Plant Soil*, 29:407-23, 1968.

- HEWITT, E.J. Relation of manganese and some other metals to the iron status of plant. *Nature*, 161:489-90, 1948a.
- HEWITT, E.J. The resolution of factors in soil acidity. IV. The relative effects of aluminium and manganese toxicities on some farm and market garden crops. *Ann. Rep. Long Ashton. Agr. Hortic. Res. Stn.*, 1948: 58-65, 1948b.
- HOPKIN, E.F. The necessity and function of manganese in the growth of chlorella. *Science*, 72:609-10, 1930.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ, Rio de Janeiro, RJ. *Cultura do café no Brasil: manual de recomendações*. Rio de Janeiro, GERCA, 1974.
- LEE, C.R. Inter-relationships of aluminium and manganese on the potato plant. *Agron.J.*, 64:546-9, 1972.
- LOTT, W.L.; NERY, J.P.; GALLO, J.R. & MEDCALF, J.C. *Técnica de análise foliar aplicada ao cafeeiro*. Rio de Janeiro, IBEC, 1956. (Res. Institute Bull., 9).
- OHNO, Y; MARUR, C.J. & OKUYAMA, L.A. Antagonistic iron deficiency of rice plants growing in acid red latosol in Paraná, Brazil. *JARQ*, Japan, 12(3):177-9, 1978.
- OLMOS, J.I.L. & CAMARGO, M.N. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. *Cl e Cult.*, 28:171-80, 1976.
- SILVA, A.R. Melhoramento genético para resistência à toxidez de alumínio e manganês no Brasil. *Cl e Cult.*, 28:147-9, 1976.
- SOMERS, I.I. & SHIVE, J.W. The iron-manganese relation in plant metabolism. *Plant Physiol.*, 17:582-602, 1942.
- SPOSITO, G. & MATTIGOD, S.B. *Geochem; a computer program for the calculations of chemical equilibrium in soil solutions and other natural water systems*. Cincinnati, Ohio, Environmental Protection Agency, 1979.
- WEBBER, M.D. Atomic absorption measurements of aluminium in plant digests and neutral salt extracts of soil. *Can. J. Soil Sci.*, 54:81-7, 1974.