

TRANSLOCAÇÃO DE ZINCO E CRESCIMENTO RADICULAR EM MILHO⁽¹⁾

C. A. ROSOLEM⁽²⁾ & G. R. FRANCO⁽³⁾

RESUMO

Alguns problemas de crescimento radicular de plantas de milho têm sido atribuídos a deficiência de Zn, em virtude de sua pouca mobilidade na planta. Foi realizado um experimento em casa de vegetação em 1997/98, em Botucatu (SP), para avaliar a translocação de zinco para as raízes do milho (*Zea mays*), quando aplicado via radicular e foliar, assim como o efeito do Zn no crescimento das raízes. Foram utilizados vasos de 2,5 L, com solução nutritiva que continha de 0,0 a 2,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn, com e sem aplicação semanal via foliar. O experimento foi colhido 40 dias após a emergência. A produção de matéria seca da parte aérea e raízes, bem como o comprimento, o diâmetro e a superfície radiculares, não foram influenciados pelos tratamentos. A translocação do nutriente aplicado às folhas para as raízes ocorreu em maior intensidade quando os teores foliares estavam na faixa de suficiência do nutriente. O sistema radicular do milho mostrou-se pouco sensível à deficiência de Zn, uma vez que o crescimento foi normal, mesmo quando as raízes apresentavam teores de Zn da ordem de 7 mg kg⁻¹.

Termos de indexação: adubação foliar, micronutriente, raiz, *Zea mays*.

SUMMARY: *ZINC REDISTRIBUTION WITHIN THE PLANT AND ROOT GROWTH OF CORN*

*Root growth impairment has sometimes been attributed to zinc deficiency. A greenhouse experiment was conducted in Botucatu, SP, Brazil, in 1997/98, using 2.5 L pots. Zinc redistribution within the plant and the effect of zinc deficiency on root growth were studied in corn (*Zea mays*) plants grown in nutrient solution containing from 0.0 to 2.0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ of Zn. Half of the pots also received foliar application of Zn. The experiment was terminated 40 days after plant emergence. Dry matter yield and root length, diameter and surface were*

⁽¹⁾ Recebido para publicação em dezembro de 1999 e aprovado em agosto de 2000.

⁽²⁾ Professor Titular do Departamento de Produção Vegetal, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Caixa Postal 237, CEP 18603-970 Botucatu (SP). Bolsista do CNPq. E-mail: rosolem@fca.unesp.br

⁽³⁾ Acadêmico do Curso de Agronomia, UNESP. Bolsista do CNPq – PIBIC.

not affected by Zn application. There was an increase in root Zn content due to translocation of the nutrient applied to leaves. The translocation rate was higher when Zn concentration in corn leaves was within the sufficient range. Corn roots were tolerant to Zn deficiency, showing normal growth even when Zn concentration was as low as 7 mg kg⁻¹.

Index terms: foliar fertilization, micronutrient, root, Zea mays.

INTRODUÇÃO

Respostas positivas do milho à aplicação de zinco têm sido relatadas no Brasil (Bahia & Braga, 1974), razão pela qual Cantarella (1993) o coloca como o micronutriente mais limitante a essa cultura.

Várias características químicas (pH, CTC, teor de matéria orgânica, cátions e ânions solúveis) e mineralógicas (tipo e teor de argila e de óxidos e hidróxidos de Al e Fe) do solo influenciam as reações de adsorção de Zn no solo (Shuman, 1975). Segundo Camargo (1991), a adsorção e a precipitação constituem os principais mecanismos que controlam a disponibilidade do zinco na solução do solo.

Considerando tais problemas, mais a dificuldade de distribuição de pequenas quantidades de adubo no campo (Lopes & Guilherme, 1992), têm-se buscado métodos alternativos para a aplicação de Zn, como tratamento de sementes e mesmo aplicação foliar. Entretanto, a aplicação de Zn ao milho via foliar nem sempre tem dado resposta positiva em produtividade (Galvão, 1994; Fernandes et al., 1999).

Longnecker & Robson (1993) relataram evidências conflitantes a respeito da mobilidade do Zn no floema. Em macieiras deficientes em Zn, não foi encontrada evidência de translocação do nutriente aplicado às folhas para outros órgãos da planta (Orphanos, 1975). A movimentação do Zn a partir de folhas velhas parece depender do estado nutricional das plantas, uma vez que Riceman & Jones (1958) mostraram que havia decréscimo do teor de Zn em folhas e pecíolos, enquanto o nutriente se acumulava nas inflorescências e frutos de trevo. Entretanto, o decréscimo foi maior em plantas bem supridas em Zn do que em plantas deficientes. Malavolta et al. (1995) observaram redistribuição do Zn aplicado às folhas de cafeeiro, havendo, inclusive, alguma translocação até às raízes, especialmente quando o nutriente foi aplicado como quelato.

De acordo com Loneragan et al. (1987), ocorre transporte de Zn de zonas bem supridas do sistema radicular para zonas da raiz sem suprimento de Zn. Entretanto, mesmo quando o Zn suprido a um compartimento radicular foi adequado para o máximo crescimento da copa, o movimento do Zn para o segundo compartimento (deficiente) não compensou a falta de suprimento externo. Weeb

(1994) também concluiu que uma porção do sistema radicular deficiente em Zn não desenvolve suas funções de modo adequado, por não ser a taxa de translocação de zinco de partes da planta adequadamente supridas suficiente para manter o crescimento normal.

O controle da divisão celular no centro quiescente da raiz vem da copa. Isso ocorre por meio do transporte polar de auxina, que é produzida principalmente nas folhas jovens e nas gemas axilares (Kerk & Feldman, 1994). Mais ainda, a formação de raízes laterais também depende da presença de auxina para a reativação das células quiescentes do periciclo (Kerk, 1998). É provável que apenas pequena parte da auxina do sistema radicular seja sintetizada nas próprias raízes (Elliot, 1977). Assim, a deficiência de Zn na copa afetaria o crescimento radicular por estar diminuindo a síntese de auxina. Não se sabe até que ponto poderia haver acréscimo na síntese de auxina nas raízes, de modo a suprir a deficiência da copa e manter o crescimento normal, nem como a deficiência de Zn no sistema radicular afetaria o processo. Grunes et al. (1961) observaram, em áreas reconhecidamente deficientes em Zn, que as plantas de milho apresentavam enraizamento extremamente superficial. Rosolem et al. (1998) notaram decréscimo no crescimento de raízes de algodão cultivado em solo com saturação por bases próxima de 70% e atribuíram este efeito a uma deficiência de zinco, pois os teores do nutriente na parte aérea da planta decresceram com a calagem aplicada.

Considerando que a adubação foliar do milho com zinco tem sido utilizada por agricultores, levantam-se pelo menos duas questões importantes: quanto do zinco aplicado às folhas atinge o sistema radicular e qual o efeito de uma possível deficiência no crescimento das raízes. No presente trabalho, procurou-se determinar, por meio da aplicação de zinco via radicular e foliar ao milho, a translocação do nutriente para as raízes, bem como o seu efeito no crescimento radicular.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação, na Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, no

município de Botucatu, estado de São Paulo, utilizando-se vasos plásticos de 2,5 L cada, pintados externamente com tinta betuminosa e, posteriormente, com tinta metálica, para evitar entrada de luz.

Foi empregada a solução nutritiva de Clark (1975), composta por: 0,90 mmol L⁻¹ de NH₄⁺, 7,30 de NO₃⁻, 0,08 de H₂PO₄⁻, 1,82 de K⁺, 2,60 de Ca²⁺, 0,60 de Mg²⁺, 0,60 de SO₄²⁻, 19 µmol L⁻¹ de B, 0,6 de Cl⁻, 0,5 de Cu²⁺, 40,0 de Fe (FeCl₂ quelado com EDTA sódico), 7,0 de Mn²⁺ e 0,6 de Mo.

Foi utilizado um híbrido simples e precoce (Zeneca 8392), considerado como exigente em termos de fertilidade do solo. As sementes foram colocadas a germinar em uma bandeja com substrato constituído de vermiculita expandida e material orgânico de origem vegetal. As bandejas foram mantidas em casa de vegetação por 10 dias, quando as plântulas estavam em condições adequadas para o transplante.

O transplante para a solução nutritiva, com a instalação dos tratamentos, foi realizado no mês de setembro de 1997. As plântulas foram retiradas do substrato, lavadas com água destilada e colocadas em solução nutritiva (Clark, 1975) diluída a 50%, para evitar a ocorrência de toxidez.

Os tratamentos constaram da aplicação de ZnSO₄.7H₂O em quantidades suficientes para atingir as concentrações de 0,0, 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0 µmol L⁻¹ de Zn na solução nutritiva. As plantas desses tratamentos receberam ou não aplicação foliar de Zn. O Zn foliar foi fornecido por meio de pulverizações de seis em seis dias, no total de cinco, com solução de Zn a 0,5%, também como sulfato, aplicando-se volume de calda de 40 ml por planta, por meio de um micropulverizador. Foi utilizado o espalhante adesivo Aterbane na dosagem de 2,5 ml L⁻¹. O experimento constou, então, de um fatorial 5 x 2 (cinco concentrações de Zn na solução, com e sem aplicação foliar), com quatro repetições em blocos casualizados.

A cada dois dias, foram feitas medições e eventuais correções do pH da solução. Nos primeiros dias após cada troca de solução, havia decréscimo no pH, que foi corrigido com NaOH a 10 mmol L⁻¹. Após algum tempo, o pH começava a aumentar, o que indicava uma diminuição na quantidade de amônio da solução. As trocas de solução nutritiva ocorreram sempre que o pH atingia valores superiores a 6,5.

A colheita foi realizada 40 dias após a emergência das plantas, quando se separou a parte aérea das raízes. Nesta época, começaram a aparecer leves sintomas de deficiência de Zn nas plantas cultivadas na ausência do nutriente. As plantas foram colhidas neste momento, procurando-se evitar que a deficiência causasse decréscimo na produção de matéria seca da parte aérea. Como existe certa

constância na relação parte aérea/raiz, a menor produção de matéria seca na parte aérea poderia causar diminuição no crescimento das raízes, constituindo efeito secundário e não primário da deficiência de Zn (Rosolem, 1995). Por ocasião da colheita, as partes das plantas foram lavadas em água destilada e, em seguida, com HCl a 10 mmol L⁻¹ por aproximadamente 30 segundos, voltando-se a lavá-las em água destilada novamente. Essa técnica de lavagem é recomendada para eliminar o zinco, que, aplicado como sulfato, pode ficar retido na cutícula e parede celular (Ferrandon & Chamel, 1988).

A parte aérea foi seca em estufa com circulação de ar a 60°C, por 72 h, para obtenção da massa de matéria seca. Posteriormente, estas amostras foram moídas e levadas ao laboratório para determinação da concentração de zinco por meio de digestão nítrico-perclórica e leitura em espectrofotômetro de absorção atômica.

As raízes foram divididas em duas subamostras e pesadas, obtendo-se a massa da matéria fresca total, assim como a massa das duas partes. Uma das subamostras foi armazenada em álcool 70% para posterior avaliação, enquanto a outra foi analisada do mesmo modo que a parte aérea. Avaliaram-se o comprimento, a superfície, o diâmetro médio e as classes de diâmetro das raízes, obtendo-se a imagem através de "scanner" com dupla iluminação da amostra. A imagem digitalizada foi analisada, utilizando-se o "software" Winrhizo (Régent Instruments Inc.).

Os resultados obtidos sofreram análise de variância, aplicando-se o teste F (P < 0,05). Os resultados foram apresentados na forma de curvas, calculando-se o desvio-padrão médio das amostras. Foram estimadas as percentagens de Zn absorvido translocado para as raízes, assim como a percentagem do nutriente contido nas raízes importado da copa, comparando-se as plantas que receberam ou não Zn via foliar.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No dia seguinte às aplicações foliares, perceberam-se leves sintomas de fitotoxidez, caracterizada por pequenas manchas necrosadas no limbo foliar. Entretanto, a produção de matéria seca das plantas de milho não foi afetada (P < 0,05) pelas concentrações de Zn na solução nutritiva e aplicação foliar de Zn, assim como pela interação desses fatores (Quadro 1). Assim, pode-se inferir que um eventual efeito dos tratamentos sobre as características do sistema radicular seria um efeito primário da deficiência, e não um efeito secundário, considerando a possível modificação na relação copa/raiz (Rosolem, 1995).

Da mesma forma, não foram observados efeitos simples ou da interação dos tratamentos sobre o comprimento, diâmetro médio e superfície das raízes de milho (Quadro 2). Quando se procurou detalhar a resposta ao Zn em termos de variação no diâmetro das raízes, também não se observou resposta significativa: $63,6 \pm 2,6\%$ das raízes tinham diâmetro entre 0,0 e 0,3 mm, $25,7 \pm 1,2\%$ entre 0,3 e 0,6 mm, $5,0 \pm 0,6\%$ entre 0,6 e 0,9 mm e $5,3 \pm 0,8\%$ das raízes tiveram diâmetro maior que 0,9 mm. Este resultado evidencia que o Zn não teve efeito na proporção entre raízes grossas e finas da planta de milho.

Os teores de Zn nas raízes aumentaram com as concentrações de Zn na solução e com a aplicação foliar de Zn (Figura 1). Nota-se, ainda na figura 1, que o aumento nos teores de Zn nas raízes foi mais intenso nas plantas que receberam aplicação foliar.

Essa interação significativa mostra que houve translocação do nutriente aplicado nas folhas até às raízes. Esses resultados conflitam com aqueles obtidos em macieira por Orphanos (1975), mas confirmam os de Riceman & Jones (1958) de que a translocação de Zn nas plantas depende do estado nutricional. Loneragan et al. (1987) também relataram a translocação desse micronutriente de partes bem nutridas do sistema radicular para partes mal nutridas.

É interessante notar que os teores do micronutriente nas raízes foram baixos, em torno de 10 mg kg^{-1} , nos tratamentos sem Zn na solução nutritiva, o que seria considerado deficiente, pois, na parte aérea das plantas, a faixa de suficiência seria de 20 a 70 mg kg^{-1} e, na planta toda, no estádio de três a quatro folhas, o suficiente seria de 20 a

Quadro 1. Produção de matéria seca de plantas de milho, considerando a concentração de zinco na solução nutritiva e a aplicação de zinco via foliar

Zn na solução	Raiz		Parte aérea		Total	
	S. foliar	C. foliar	S. foliar	C. foliar	S. foliar	C. foliar
$\mu\text{mol L}^{-1}$	g planta^{-1}					
0,0	7,2	7,1	12,6	12,0	19,8	19,1
0,5	7,0	6,7	12,2	11,4	19,2	18,1
1,0	7,8	6,3	12,3	11,9	20,1	18,2
1,5	8,0	6,8	12,2	11,8	20,2	18,6
2,0	8,1	6,4	12,1	12,0	20,1	18,4
Teste F	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	5,2		7,2		6,7	

ns: não-significativo ($P < 0,05$). S e C = sem e com aplicação foliar de Zn, respectivamente.

Quadro 2. Características morfológicas do sistema radicular de plantas de milho, considerando a concentração de zinco na solução nutritiva e a aplicação de zinco via foliar

Zn na solução	Comprimento		Diâmetro		Superfície	
	S. foliar	C. foliar	S. foliar	C. foliar	S. foliar	C. foliar
$\mu\text{mol L}^{-1}$	m planta^{-1}		mm		$\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$	
0,0	45,0	42,7	0,05	0,04	666	515
0,5	45,0	50,4	0,06	0,04	693	620
1,0	53,4	43,5	0,05	0,04	764	588
1,5	46,7	40,9	0,04	0,05	620	585
2,0	57,3	43,0	0,04	0,05	754	624
Teste F	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	23,8		20,6		20,9	

ns: não-significativo ($P < 0,05$). S e C = sem e com aplicação foliar de Zn, respectivamente.

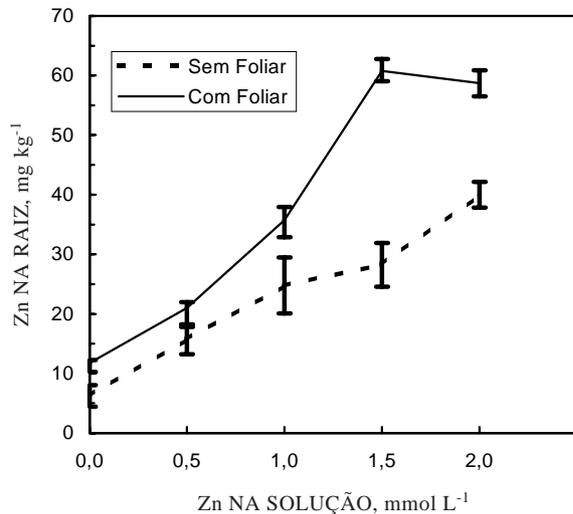


Figura 1. Teores de zinco nas raízes de milho, considerando a concentração do nutriente na solução nutritiva e a aplicação de zinco via foliar. As barras verticais mostram o desvio-padrão dos resultados.

50 mg kg⁻¹ (Voss, 1993). Assim, o sistema radicular do milho parece ser pouco sensível à deficiência de zinco, uma vez que, mesmo nesta situação, seu crescimento foi normal. Este fato dá suporte à hipótese de que a translocação de auxina da parte aérea da planta para as raízes (Kerk & Feldman, 1994; Kerk, 1998) seria um mecanismo para manter o crescimento adequado, mesmo quando o tecido radicular encontra-se deficiente. Da mesma forma, pode-se inferir que a falta de resposta à aplicação foliar de Zn em condições de campo (Galvão, 1994; Fernandes et al., 1999) pode não ser devida à falta de suprimento do nutriente ao sistema radicular, uma vez que não houve qualquer resposta da planta quanto ao crescimento radicular (Quadro 2), quando os teores do nutriente nas raízes variaram de 7 até 62 mg kg⁻¹ (Figura 1).

No caso da parte aérea da planta, a interação de concentração de zinco na solução e aplicação foliar do nutriente também foi significativa. Na ausência de adubação foliar, já com 0,5 μmol L⁻¹ de Zn na solução nutritiva, foi notada resposta significativa nos teores do nutriente, que aumentaram até aproximadamente 40 mg kg⁻¹ na maior concentração de Zn na solução (Figura 2). Na ausência de Zn na solução nutritiva, os teores observados na parte aérea da planta, abaixo de 20 mg kg⁻¹, foram considerados deficientes (Voss, 1993). Esse baixo teor não resultou em diminuição na produção de matéria seca (Quadro 1), porque, logo que notados os primeiros sintomas de deficiência, as plantas foram colhidas, não havendo tempo suficiente para que ela se manifestasse no crescimento da parte aérea.

Na presença de adubação foliar, os teores de Zn na parte aérea do milho foram muito altos, acima de 325 mg kg⁻¹ na ausência do nutriente na solução (Figura 2), mesmo com os cuidados tomados na lavagem do material. Mesmo assim, com a maior concentração de Zn na solução, houve aumento no teor na parte aérea da planta, que chegou a aproximadamente 380 mg kg⁻¹. Apesar dos altos teores, não foram notados sintomas de toxidez de Zn. Não foram encontradas na literatura referências a teores de Zn que seriam tóxicos ao milho. Assim, Grunes et al. (1961) encontraram teores de até 420 mg kg⁻¹ de zinco em folhas de milho e classificaram este teor como alto, mas não tóxico. O zinco aparentemente é retido nos vacúolos, complexado com ácidos orgânicos, o que pode prevenir a toxidez (Krotz et al., 1990). Por outro lado, em soja, foi notada redução na produtividade com teores de Zn nas folhas variando de 400 a 730 mg kg⁻¹ (White et al., 1979).

É interessante notar que as plantas cultivadas em soluções deficientes em Zn, mesmo com teores relativamente altos do nutriente nas folhas (Figura 2), mostraram aumento relativamente pequeno nos teores de Zn nas raízes com a aplicação foliar do nutriente (Figura 1). Com o aumento dos teores na parte aérea, por meio da absorção pelas raízes, houve maior translocação do Zn aplicado às folhas para o sistema radicular. Isso está de acordo com os resultados de Riceman & Jones (1958), que notaram maior translocação de Zn de folhas velhas para os pontos de crescimento em plantas bem nutridas.

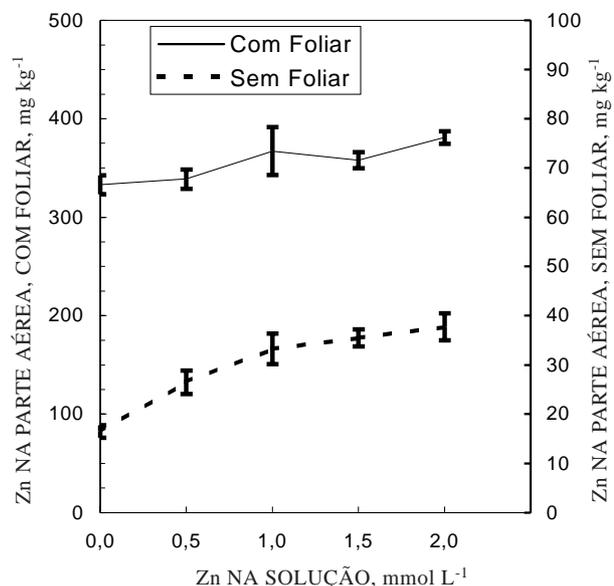


Figura 2. Teores de zinco na parte aérea de plantas de milho, considerando a concentração do nutriente na solução nutritiva e a aplicação de zinco via foliar. As barras verticais mostram o desvio-padrão dos resultados.

Uma vez que não foi observado efeito ($P < 0,05$) dos tratamentos na produção de matéria seca (Quadro 1), as quantidades de Zn acumuladas no sistema radicular e na parte aérea seguiram muito de perto as curvas obtidas para os teores do nutriente nessas partes das plantas (Figuras 3 e 4). Comparando plantas que receberam ou não adubação foliar, estimou-se que cada planta de milho absorveu, via foliar, em média, $3,92 \pm 0,29$ mg de Zn, sem efeito das concentrações de Zn na solução nutritiva. Os resultados apresentados nas figuras 3 e 4 confirmam que a maior parte do nutriente ficou retida na parte aérea das plantas, principalmente quando esta se encontrava deficiente em Zn. Acumulação de zinco nas folhas foi observada por Ruano et al. (1987) somente quando o suprimento do nutriente às plantas excedia a demanda para crescimento normal.

Embora os dados apresentassem variação muito grande, dependendo da série de cálculos necessários, comparando plantas que receberam ou não o micronutriente via foliar, foi possível estimar que, em média, $28,6 \pm 16,2\%$ do Zn contido nas raízes foram translocados da parte aérea.

Por outro lado, de 2 a 10 % da quantidade de Zn absorvido pelas folhas foram translocados para as raízes (Figura 5). Quanto maior a concentração do micronutriente na solução nutritiva, maior a translocação do Zn foliar para as raízes, ou seja, quanto mais bem nutrida a parte aérea, maior a translocação, como já havia sido relatado por Riceman & Jones (1958), embora esses autores se refiram apenas à translocação dentro da parte aérea

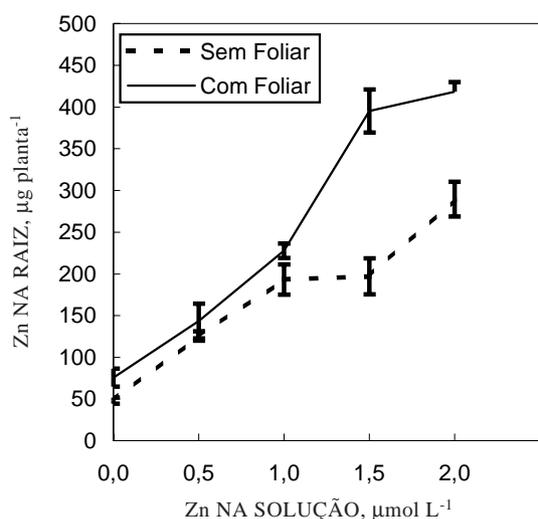


Figura 3. Conteúdo de zinco nas raízes de milho, considerando a concentração do nutriente na solução nutritiva e aplicação de zinco via foliar. As barras verticais mostram o desvio-padrão dos resultados.

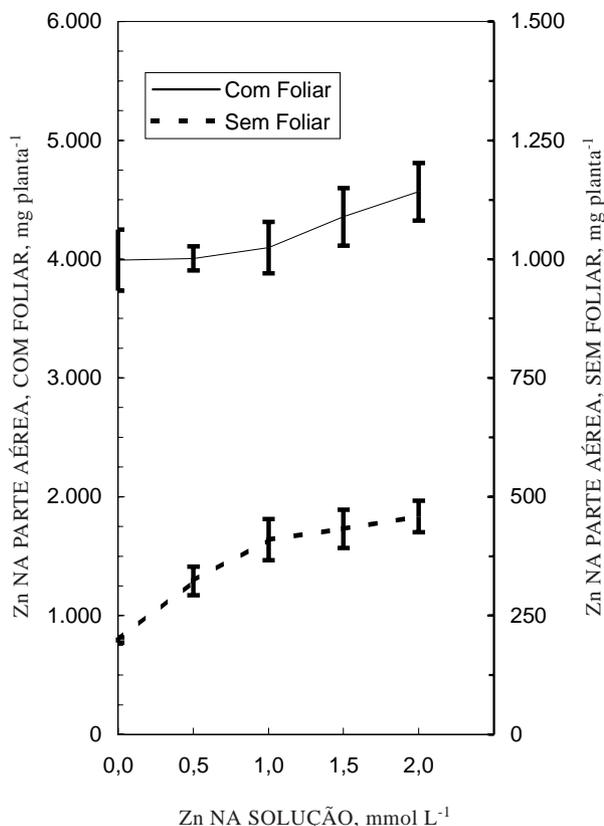


Figura 4. Conteúdo de zinco na parte aérea de plantas de milho, considerando a concentração do nutriente na solução nutritiva e a aplicação de zinco via foliar. As barras verticais mostram o desvio-padrão dos resultados.

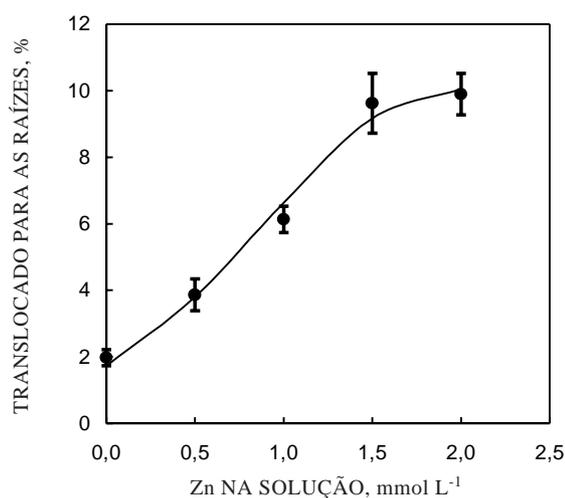


Figura 5. Proporção do zinco aplicado às folhas de milho que foi translocada para o sistema radicular da planta, considerando a concentração do nutriente na solução nutritiva ($y = \exp(0,55 + 1,81x - 0,47x^2)$; $R^2 = 0,96$). As barras verticais mostram o desvio-padrão dos resultados.

da planta. De acordo com os pontos de inflexão da curva ajustada (Figura 5), a translocação foi mais lenta quando os teores de Zn na parte aérea eram menores que 26 mg kg^{-1} (teor correspondente à concentração de $0,5 \mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn na solução). Quando a parte aérea da planta tinha de 26 a 36 mg kg^{-1} de Zn, a intensidade de translocação foi maior, tendendo a se estabilizar a partir deste último teor. É interessante notar que a faixa de teores em que a translocação do nutriente para as raízes é mais intensa é abrangida pela faixa considerada como suficiente (Chapman, 1973).

CONCLUSÕES

1. O sistema radicular do milho mostrou-se pouco sensível à deficiência de Zn, não havendo prejuízo ao crescimento com teores do nutriente da ordem de 7 mg kg^{-1} nas raízes e 12 mg kg^{-1} na parte aérea.

2. Houve translocação do zinco aplicado via foliar para as raízes do milho. A translocação variou de 2 a 10% da quantidade absorvida via foliar, dependendo do estado nutricional da planta.

3. A maior intensidade de translocação ocorreu quando a parte aérea da planta encontrava-se com teores de Zn na faixa de suficiência.

LITERATURA CITADA

- BAHIA, F.G.F.T.C. & BRAGA, M.J. Influência da adubação fosfatada e calagem sobre a absorção de zinco em dois solos de Minas Gerais. R. Ceres, 21:167-92, 1974.
- CAMARGO, O.A. Micronutrientes na agricultura. Piracicaba, Potafós, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. 244p.
- CANTARELLA, H. Calagem e adubação do milho. In: BÜLL, L.T. & CANTARELLA, H., eds. Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba, Potafós, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1993. p.147-96.
- CHAPMAN, H.D. Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside, Chapman, 1973. 793p.
- CLARK, R.B. Characterization of phosphatase of intact maize roots. J. Agric. Food Chem., 23:458-460, 1975.
- ELLIOT, M.C. Auxins and the regulation of root growth. In: PILET, P.E., ed. Plant growth regulation. Berlin, Springer, 1977. p.100-108.
- FERNANDES, D.M.; ERASMO, E.A.L. & MACHADO NETO, L.S. Efeito de diferentes níveis e modo de aplicação do zinco na produção de grãos de milho cultivado num Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob vegetação de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 17., Brasília, 1999. Anais. Brasília, EMBRAPA, 1999. (CD-ROOM)
- FERRANDON, M. & CHAMEL, A. Cuticular retention, foliar absorption and translocation of Fe, Mn and Zn supplied in organic and inorganic forms. J. Plant Nutr., 11:247-263, 1988.
- GALRÃO, E.Z. Métodos de correção da deficiência de zinco para o cultivo de milho num Latossolo Vermelho-Escuro argiloso sob cerrado. R. Bras. Ci. Solo, 18:229-33, 1994.
- GRUNES, D.L.; BOAWN, L.C.; CARLSON, C.W. & VIETS Jr., F.G. Zinc deficiency of corn and potatoes, as related to soil and plant analysis. Agron. J., 53:68-71, 1961.
- KERK, N. The root meristem and its relationship to root system architecture. In: BOX, J.E., ed. Root demographics and their efficiencies in sustainable agriculture, grasslands and forest ecosystems. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1998. p.509-521.
- KERK, N. & FELDMAN, L. The quiescent centre in roots of maize: initiation, maintenance and role in organization of the root apical meristem. Protoplasma, 183:100-106, 1994.
- KROTZ, R.M.; EVANGELOU, B.P. & WAGNER, G.J. Relationships between cadmium, zinc, Cd-peptide and organic acids in tobacco suspension cells. Plant Physiol., 91:780-787, 1990.
- LONERAGAN, J.F.; KIRK, G.J. & WEBB, M.J. Translocation and function of zinc in roots. J. Plant Nutr., 10:1247-1254, 1987.
- LONGNECKER, N. & ROBSON, A.D. Distribution and transport of zinc in plants. In: ROBSON, A.D., ed. Zinc in soils and plants. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1993. p.79-91
- LOPES, P.S. & GUILHERME, L.R.G. Fertilizantes e corretivos agrícolas: Sugestões de manejo para uso eficiente. In: DECHEN, A.R.; BOARETO, A.E. & VERDADE, F.C., REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO MINERAL DE PLANTAS, 20, Piracicaba, 1992. Anais. Campinas, Fundação Cargill, 1992. p.39-70
- MALAVOLTA, E.; MALAVOLTA, M.; STEPANUTTI, R.; LIMA FILHO, O.F.; NASCIMENTO FILHO, V. & CABRAL, C.P. Estudos sobre a nutrição mineral do cafeeiro. 53. Absorção foliar de sais e quelado de zinco marcados com radiozinco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 21., Caxambu, 1995. Trabalhos Apresentados. Caxambu, 1995. p.114-115
- ORPHANOS, P.I. Spray application of zinc to young apple trees. Hortic. Res., 15:23-30, 1975.
- RICEMAN, D.S. & JONES, G.B. Distribution of zinc in subterranean clover grown to maturity in a culture solution containing zinc labelled with the radioactive isotope ^{65}Zn . Aust. J. Agric. Res., 9:730-744, 1958.
- ROSOLEM, C.A. Relações solo-planta na cultura do milho. Jaboticabal, FUNEP, 1995. 85p.
- ROSOLEM, C.A.; SCHIOCHET, M.A.; SOUZA, L.S. & WHITACKER, J.P.T. Root growth and cotton nutrition as affected by liming and soil compaction. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 29:169-177, 1998.

- RUANO, A.; BARCELO, J. & POSCHENDRIEDER, C. Zinc toxicity-induced variation of mineral element composition in hydroponically grown bush bean plants. *J. Plant Nutr.*, 10:373-384, 1987.
- SHUMAN, L.M. The effect of soil properties on zinc adsorption by soils. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 39:454-458, 1975.
- VOSS, R.D. Corn. In: BENNET, W.F., ed. *Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants*. Saint Paul, APS Press, 1993. p.11-14
- WEEB, M.J. Recent aspects of Mn and Zn absorption and translocation in cereals. In: MANTHEY, J.A.; CROWLEY, D.E. & LUSTER, D.G., eds. *Biochemistry of metal micronutrients in the rhizosphere*. Boca Raton, Lewis Publisher, 1994. p.183-198.
- WHITE, M.C.; DECKER, A.M. & CHANEY, R.L. Differential cultivar tolerance in soybean to phytotoxic levels of soil Zn. I. Range of cultivar response. *Agron. J.*, 71:121-126, 1979.