

Interação zinco e fósforo em solução nutritiva influenciando o crescimento e a produtividade da alface⁽¹⁾

Marialva Alvarenga Moreira⁽²⁾, Paulo Cezar Rezende Fontes⁽³⁾
e Maria Isabel de Camargos⁽²⁾

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de Zn e P, em solução nutritiva, na absorção desses elementos pela alface (*Lactuca sativa* L.) e na produtividade dessa hortaliça. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com os tratamentos dispostos num esquema fatorial 3 x 3, com três repetições. Os tratamentos foram constituídos de três níveis de Zn: baixo, normal e alto, correspondentes a 0,0, 1,5 e 6,0 $\mu\text{M L}^{-1}$, e de três níveis de P: baixo, normal e alto, correspondentes a 0,01, 1,5 e 6,0 mM L^{-1} , utilizando-se como fontes o $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ e o KH_2PO_4 , respectivamente. Aos 26 dias após o transplante (DAT), a área foliar e a produção de matéria seca da parte aérea não foram influenciadas pelos tratamentos. Aos 52 DAT, a área foliar, o número de folhas e a matéria seca da parte aérea não foram influenciadas pela adição de Zn à solução quando o nível de P foi baixo. Porém, quando os níveis de P foram normal e alto, os níveis normal e alto de Zn propiciaram maiores valores de área foliar, de número de folhas, e de produção de matéria seca da parte aérea. Os teores de P nas folhas comerciais, em cada nível de Zn, foram semelhantes quando houve adição das doses normal e alta de P à solução. O maior teor de P foi o do caule, seguido do das raízes, e, por último, do das folhas comerciais. Os teores de Zn na matéria seca das folhas comerciais, nos caules e nas raízes, aumentaram com adição de Zn à solução, em todos os níveis de fósforo.

Termos para indexação: *Lactuca sativa*, nutrientes minerais, absorção de nutrientes.

Zinc and phosphorus interaction in nutrient solution affecting lettuce growth and yield

Abstract – The experiment was carried out to evaluate the effect of Zn and P levels in nutrient solution on Zn and P absorption and lettuce yield (*Lactuca sativa* L.). A randomized block experimental design in 3 x 3 factorial arrangement with three replications was used. The treatments were three Zn levels: low, normal and high, corresponding to 0.0, 1.5 and 6.0 $\mu\text{M L}^{-1}$ and three P levels: low, normal and high, corresponding to 0.01, 1.5 and 6.0 mM L^{-1} as $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ and KH_2PO_4 . Twenty six days after transplantation (DAT), the leaf area and leaf dry weight were not influenced by the treatments. At 52 DAT, the leaf area, the leaf number and the shoot dry weight were not affected by Zn addition when the P level was low; but when P levels were normal and high, the normal and high Zn levels lead to the highest leaf area, leaf number, and shoot dry weight. Phosphorus concentrations in the marketable leaves at each Zn level were similar at P normal and high addition levels. The highest P concentration was observed in the stem followed by roots and marketable leaves. Zinc concentrations in the marketable leaves, stem and roots, increased with Zn addition to the nutrient solution.

Index terms: *Lactuca sativa*, mineral nutrients, nutrient uptake.

Introdução

A alface (*Lactuca sativa* L.) é a hortaliça folhosa de maior valor comercial no Brasil, e as regiões Sul e

Sudeste são as maiores consumidoras. É adaptada a clima ameno, sendo própria para cultivos de outono/inverno. No verão, a redução na relação entre oferta e procura e a baixa qualidade do produto, geralmente, proporcionam maiores cotações da alface.

Por outro lado, o uso da cobertura plástica tem viabilizado a produção de alface durante todo o ano, protegendo as plantas contra danos provocados por chuvas, ventos fortes e incidência direta da radiação solar em regiões tropicais e subtropicais, e prote-

⁽¹⁾ Aceito para publicação em 15 de agosto de 2000.

⁽²⁾ Universidade Federal de Viçosa (UFV), Dep. de Fitotecnia, CEP 36571-000 Viçosa, MG.

⁽³⁾ UFV, Dep. de Fitotecnia. Bolsita do CNPq. E-mail: pacerefo@mail.ufv.br

gendo contra a geada, em regiões de inverno muito frio. Além da plasticultura, a hidroponia tem sido utilizada com sucesso em plantios de alface, pois possibilita elevar a produtividade, aumentar o número de colheitas por ano sem a necessidade de rotação da cultura, reduzir os gastos com defensivos agrícolas, obter um produto comercial de melhor aspecto, além de ocupar menor espaço físico para o cultivo (Castellane & Araújo, 1995). Apesar do aumento do uso da hidroponia no País, há carência de resultados experimentais sobre o efeito das concentrações dos nutrientes em solução para o cultivo da alface.

Concentrações dos nutrientes na solução nutritiva utilizada para a produção de alface afetam a produtividade da cultura, quase sempre devido ao antagonismo iônico. Isto é, na solução nutritiva, cujo poder-tampão é quase nulo, alta concentração de um elemento pode diminuir a absorção de outro, acarretando deficiência e afetando o crescimento das plantas (Rengel & Granham, 1995). Tem sido observado que alta concentração de P pode induzir ou aumentar a deficiência de Zn, particularmente em condições de baixa disponibilidade deste (Cakmak & Marschner, 1987). Isto pode ser devido ao excesso de P aumentar o requerimento fisiológico de Zn (Webb & Loneragan, 1988), reduzir as taxas de crescimento radicular e de transporte do Zn da raiz para a parte aérea, ou pela presença do cátion acompanhante da fonte fosfatada, o qual pode inibir a absorção de Zn (Loneragan & Webb, 1993).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de níveis de Zn e de P em solução nutritiva na absorção desses elementos pela alface e na produtividade dessa hortaliça.

Material e Métodos

O experimento foi realizado em casa de vegetação, no campus da Universidade Federal de Viçosa, em vasos de 8 litros com solução nutritiva aerada. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com os tratamentos dispostos num esquema fatorial 3 x 3, com três repetições. Os tratamentos foram constituídos de três níveis de Zn: baixo ou sem adição direta, normal e alto, correspondentes a 0,0, 1,5 e 6,0 $\mu\text{M L}^{-1}$, e de três níveis de P: baixo, normal e alto, correspondentes a 0,01, 1,5 e 6,0 mM L^{-1} , sendo utilizadas como fontes o $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ e o KH_2PO_4 . Os níveis de Zn e P considerados normais foram baseados na recomendação de Resh (1997).

A semeadura da alface, cultivar Regina, ocorreu no dia 14 de julho de 1997, em areia purificada com ácido clorídri-

co, segundo os procedimentos de Fontes (1986). Após a emergência das plantas, o substrato foi irrigado com solução de Steiner (Steiner, 1984) modificada e contendo $\frac{1}{2}$ das concentrações originais dos macro e micronutrientes, porém sem zinco. A solução modificada continha as seguintes concentrações, em mmol L^{-1} , de macronutrientes: 8,4 de N-NO_3^- ; 3,6 de N-NH_4^+ ; 7,0 de K^+ ; 4,5 de Ca^{2+} ; 2,0 de Mg^{2+} e 3,5 de S-SO_4^{2-} , utilizando-se $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, KCl e $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Quanto aos micronutrientes, foram utilizadas as seguintes concentrações, expressas em $\mu\text{mol L}^{-1}$: 46,0 de B; 0,3 de Cu; 45 de Fe; 35 de Mn e 0,5 de Mo, utilizando-se H_3BO_3 , $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ e $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, sendo todos sais p.a. e água deionizada. As soluções estoques de N, P, K, Ca e Mg foram submetidas a técnica de purificação para a remoção do Zn, com o reagente pirrolidina ditiocarbamato de amônio, usando como solvente o clorofórmio (Fontes, 1986). Dentre os micronutrientes, somente o cloreto férrico foi purificado pela resina de troca aniônica (Fontes, 1986). Antes de ocorrerem as diluições das soluções estoque submetidas ao processo de purificação, estas foram aquecidas, para eliminar o clorofórmio remanescente.

O transplantio das mudas para os vasos contendo os tratamentos ocorreu no dia 4 de agosto de 1997. Nesta data, as mudas estavam com 5 cm de altura, 4 a 6 folhas, tendo sido colocadas duas por vaso. Os vasos utilizados na condução do experimento foram previamente lavados com HCl 1:1 e, em seguida, lavados com água deionizada. O pH da solução nutritiva foi mantido em 6,0, por correção diária adicionando-se HCl 1N ou NaOH 1N. O nível da solução, em cada vaso, foi de 1,5 cm da borda superior, controlado pelo acréscimo de água deionizada, sendo aerada continuamente.

Após 26 dias do transplante (DAT), quando o K atingiu 70% da concentração original, houve a troca da solução nutritiva de todos os vasos. Nesta data, foi retirada uma das plantas de cada vaso, para a determinação da área foliar e do peso da matéria seca da parte aérea. Após 52 dias do transplante (DAT), as plantas remanescentes foram colhidas. Imediatamente foi feita a avaliação visual da parte aérea e das raízes, sendo em seguida separadas em folhas comerciais e não-comerciais, caule e raízes. Nesta ocasião, foram determinados área foliar, número de folhas e peso da matéria seca das partes amostradas. Em seguida, os tecidos foram lavados com água deionizada e secadas em estufa a 80°C; posteriormente, foram moídos e submetidos a digestão nitricoperclórica. No extrato nitricoperclórico foi determinado o teor de P por espectrofotometria do azul de molibdênio (Braga & Defelipo, 1974) e de Zn por espectrofotometria de absorção atômica (Association of Official Analytical Chemists, 1975).

Os resultados foram submetidos a análise de variância, e, independentemente da significância da interação, os efeitos dos níveis de P foram avaliados em cada nível de Zn, e as médias, comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

Aos 52 DAT, a área foliar não foi afetada pela adição direta de Zn à solução quando o nível de P foi baixo; mas, quando os níveis de P foram normal e alto, os níveis normal e alto de Zn propiciaram as maiores áreas foliares (Tabela 1). Os níveis baixo, normal e alto de P na solução não afetaram a área foliar quando o nível de Zn foi baixo; porém, nos níveis normal e alto de Zn, a adição do P promoveu aumento da área foliar. De modo semelhante, o número de folhas e a produção de matéria seca da parte aérea não foram afetados pela adição de Zn à solução, quando o nível de P foi baixo; mas, quando o nível de P foi baixo e os níveis de Zn baixo, normal ou alto, o número de folhas e produção de matéria seca da parte aérea diminuíram.

A produção de matéria seca de raízes diminuiu com a adição de Zn à solução quando o nível de P foi baixo; porém, nos níveis normal e alto de P não houve efeito da adição de Zn à solução (Tabela 1). Nos níveis baixo e normal de Zn, a adição de P não afetou a produção de matéria seca da raiz; mas, no nível alto de Zn, a maior produção de matéria seca da raiz ocorreu no nível alto de P.

Com relação à planta inteira, no nível baixo de P não houve efeito da adição de Zn à solução; no nível normal de P a adição de Zn proporcionou maior produção de matéria seca, e no nível alto de P, os níveis

normal e alto de Zn proporcionaram maiores produções de matéria seca (Tabela 1). O maior valor do peso de matéria seca da planta inteira foi 18,17 g, correspondente a 412 g de peso verde encontrado em níveis alto de P e normal de Zn. Costa (1998) encontrou, na cultivar Regina, aos 41 DAT, em solo adubado com composto orgânico de lixo urbano, 19,64 g de matéria seca da parte aérea por planta, e Delistoianov (1997), em meio hidropônico, obteve em média 5,85 g de matéria seca de folhas comerciais por planta. Efeitos do Zn e do P sobre a área foliar e a produção de matéria seca da parte aérea e da raiz de alface, em meio hidropônico, não foram encontrados por Iorio et al. (1996).

Dependendo dos tratamentos utilizados, as plantas apresentaram diferentes sintomas visuais na parte aérea e nas raízes. Com o nível baixo de P e os níveis baixo, normal e alto de Zn na solução, as plantas foram pouco desenvolvidas, apresentando escurecimento das raízes, e as folhas mais velhas com clorose e necrose nos bordos. Garcia (1982) observou que as plantas crescidas em solução nutritiva sem P apresentavam desenvolvimento afetado, com sistema radicular bem desenvolvido mas de coloração escura, acinzentada.

Nos níveis normal e alto de P e baixo de Zn, as plantas apresentavam pequeno desenvolvimento, com as raízes claras e as folhas mais velhas com

Tabela 1. Área foliar, número de folhas e peso da matéria seca da parte aérea, raiz e planta inteira de alface, cultivada durante 52 dias em hidroponia, em razão dos níveis baixo, normal e alto de zinco e de fósforo na solução nutritiva⁽¹⁾.

Zn na solução	P na solução	Área foliar	Número de folhas	Matéria seca		
				Parte aérea ⁽²⁾	Raiz	Planta inteira
		(cm ² planta ⁻¹)		(g planta ⁻¹)		
Baixo	Baixo	1.936Aa	13Ab	5,08Ab	1,88Aa	6,96Aa
	Normal	3.759Ba	22Ba	8,23Ba	1,48Aa	9,71Ba
	Alto	3.219Ba	17Cab	8,32Ba	1,28Aa	9,60Ba
	Média	2.971	17	7,21	1,54	8,76
Normal	Baixo	2.182Ab	17Ab	5,70Ac	1,99Aa	7,69Ab
	Normal	4.966ABab	42Aa	9,01Bb	1,26Aa	10,27Bb
	Alto	7.383Aa	43Aa	16,64Aa	1,53Aa	18,17Aa
	Média	4.843	34	10,45	1,59	12,04
Alto	Baixo	2.669Ab	19Ab	7,02Ab	0,67Bb	7,69Ab
	Normal	8.489Aa	38Aa	14,63Aa	1,20Aab	15,83Aa
	Alto	7.073ABa	34Ba	14,61Aa	1,73Aa	16,34Aa
	Média	6.077	30	12,09	1,20	13,29

⁽¹⁾Letras maiúsculas comparam os níveis de Zn em cada nível de P, e letras minúsculas, os níveis de P em cada nível de Zn; em cada coluna, as médias seguidas pela mesma letra maiúscula ou minúscula não expressam diferenças significativas a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. ⁽²⁾Soma do peso da matéria seca de caule e de folhas comercial e não-comercial.

clorose nos bordos. Nos níveis normal e alto de P e de Zn as plantas estavam bem desenvolvidas, com raízes claras e as folhas sem necrose ou clorose.

No nível baixo de Zn, as raízes permaneceram escuras, e as folhas apresentavam áreas coriáceas, necrose nos bordos, menor área foliar, e menor número de folhas. A presença de clorose e necrose em folhas velhas de plantas deficientes em Zn são usualmente efeitos secundários, muitas vezes, em decorrência da toxidez do P (Marschner, 1995), pois o Zn é importante para o crescimento (Grewal et al., 1997) e para manutenção da integridade da membrana plasmática da raiz (Cakmak & Marschner, 1988; Welch & Norvell, 1993). Em condição de deficiência de Zn pode haver significativo aumento na absorção de P, com conseqüente toxidez na parte aérea das plantas (Marschner & Cakmak, 1986; Parker, 1997).

Os teores de P nos diversos órgãos da planta, em cada nível de Zn, aumentaram com a presença de P, mas foram semelhantes nos níveis normal e alto de P (Tabela 2). De maneira geral, os teores médios de P foram maiores no caule, seguidos das raízes, e por último, das folhas comerciais, atingindo os valores médios de 1,09, 0,95 e 0,65 dag kg⁻¹ de matéria seca, respectivamente. Furlani et al. (1978) encontraram, como valor médio de P, 0,77 dag kg⁻¹ de matéria seca em folhas de alface; Garcia (1982) encontrou valores entre 0,67 e 0,92 dag kg⁻¹, e Delistoianov (1997) 0,78 dag kg⁻¹. A maior concentração de P nas folhas comerciais (1,24 dag kg⁻¹ de matéria seca) foi observada quando o nível de P foi alto e o de Zn baixo. Provavelmente, a limitação de Zn causou danos ao sistema de membranas das raízes, permitindo o acúmulo de P nas folhas, conforme verificado por outros autores (Cakmak & Marschner, 1988), possivelmente em razão da taxa de absorção ter sido maior que a taxa de produção de matéria seca. Por outro lado, quando o nível de P na solução foi alto e os níveis de Zn foram normal ou alto, o teor de P nas folhas diminuiu (Tabela 2), e o oposto foi verificado com a quantidade de P acumulada na parte aérea (Tabela 3). Tal fato pode ser devido ao aumento do metabolismo de P pela planta (Iorio et al., 1996), além da sua diluição em maiores área foliar e matéria seca da parte aérea (Tabela 1).

O conteúdo de P nas folhas comerciais não foi afetado pela adição de Zn à solução, quando o nível de P foi baixo (Tabela 3). Em valor absoluto, o maior

conteúdo de P na matéria seca da planta foi observado no tratamento Zn normal e P alto, e correspondeu a 166 dag planta⁻¹. Deste total, 57, 17, 15 e 11% foram acumulados nas folhas comerciais, caule, raízes e folhas não-comerciais, respectivamente.

Os teores de Zn nas folhas comerciais aumentaram com a adição de Zn à solução nutritiva (Tabela 4). No nível alto de Zn, os teores de Zn nas folhas comerciais diminuíram com adição dos níveis normal e alto de P à solução. Também, em batata, o teor de Zn nas folhas foi influenciado pela interação entre Zn e P (Christensen & Jackson, 1981), sendo aumentado pela suplementação de Zn (Moreira, 1998). Os teores médios de Zn foram maiores nas folhas comerciais, e em seguida, nas raízes, e por último, nos caules (Tabela 4), atingindo os valores médios de 64, 59 e 42 mg kg⁻¹ de matéria seca, respectivamente. Santos et al. (1998) encontraram valor de Zn de 62 mg kg⁻¹ de matéria seca de folhas de alface cultivadas no solo; também em folhas, Furlani et al. (1978) encontraram 94 a 116 mg kg⁻¹, e Garcia et al. (1982) observaram variação na concentração de Zn em decorrência da idade da planta e da cultivar.

Quando o nível de Zn foi baixo ou normal, o conteúdo de Zn nas raízes não foi afetado pela adição de P; todavia, no nível alto de Zn, a adição de P aumentou o conteúdo de Zn na raiz (Tabela 5).

Tabela 2. Teor de P na matéria seca das folhas comerciais, caule e raiz de alface, cultivada durante 52 dias em hidroponia, em razão dos níveis baixo, normal e alto de Zn e de P na solução nutritiva⁽¹⁾.

Zn na solução	P na solução	Teor de P na matéria seca		
		Folhas comerciais	Caule	Raiz
------(dag kg ⁻¹)-----				
Baixo	Baixo	0,10Ab	0,07Ab	0,17Ab
	Normal	1,14Aa	1,75Aa	0,84Ba
	Alto	1,24Aa	1,76Aa	0,89Ba
Normal	Baixo	0,11Ab	0,09Ab	0,18Ab
	Normal	0,80Ba	1,53ABa	1,54Aa
	Alto	0,74Ba	1,56ABa	1,65Aa
Alto	Baixo	0,13Ab	0,16Ab	0,21Ab
	Normal	0,75Ba	1,45Ba	1,43Aa
	Alto	0,80Ba	1,46Ba	1,63Aa

⁽¹⁾Letras maiúsculas comparam os níveis de Zn em cada nível de P, e letras minúsculas, os níveis de P em cada nível de Zn; em cada coluna, as médias seguidas pela mesma letra maiúscula ou minúscula não expressam diferenças significativas a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Tabela 3. Conteúdo de P na matéria seca das folhas comerciais e não-comerciais, caule, raízes e planta inteira de alface, cultivada durante 52 dias em hidroponia, em razão dos níveis baixo, normal e alto de Zn e de P na solução nutritiva⁽¹⁾.

Zn na solução	P na solução	Conteúdo de P na matéria seca				
		Folhas comerciais	Folhas-não comerciais	Caule	Raiz	Planta inteira
------(dag planta ⁻¹)-----						
Baixo	Baixo	1,91Ab	2,51Ab	0,46Ab	3,21Ab	8,09Ab
	Normal	45,19Ba	51,36Aa	21,70Aa	12,45Aa	130,70ABa
	Alto	30,60Ba	62,01Aa	24,48Aa	11,55Ba	128,64Ba
Normal	Baixo	2,94Ac	2,64Aa	0,61Ab	3,53Ab	9,72Ac
	Normal	45,44Bb	12,85Ba	24,39Aa	19,58Aa	102,26Bb
	Alto	93,40Aa	18,06Ba	28,90Aa	25,17Aa	165,53Aa
Alto	Baixo	5,92Ab	5,23Aa	1,11Ab	3,93Ab	16,19Ab
	Normal	75,76Aa	17,38Ba	25,36Aa	17,38Aa	135,88Aa
	Alto	79,78Aa	18,03Ba	30,44Aa	20,42Aa	148,67ABa

⁽¹⁾Letras maiúsculas comparam os níveis de Zn em cada nível de P, e letras minúsculas, os níveis de P em cada nível de Zn; em cada coluna, as médias seguidas pela mesma letra maiúscula ou minúscula não expressam diferenças significativas a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Tabela 4. Teor de Zn na matéria seca das folhas comerciais, caule e raiz de alface, cultivada durante 52 dias em hidroponia, em razão dos níveis baixo, normal e alto de Zn e de P na solução nutritiva⁽¹⁾.

Zn na solução	P na solução	Teor de zinco na matéria seca		
		Folhas comerciais	Caule	Raiz
------(dag kg ⁻¹)-----				
Baixo	Baixo	24Ca	12Bb	18Ba
	Normal	15Ba	35Ca	17Ca
	Alto	14Ca	17Cb	15Ca
Normal	Baixo	63Ba	33Ab	38ABA
	Normal	58Aa	52Ba	49Ba
	Alto	51Ba	54Ba	56Ba
Alto	Baixo	198Aa	37Ab	64Ab
	Normal	72Ab	68Aa	86Ab
	Alto	78Ab	77Aa	191Aa

⁽¹⁾Letras maiúsculas comparam os níveis de Zn em cada nível de P, e letras minúsculas, os níveis de P em cada nível de Zn; em cada coluna, as médias seguidas pela mesma letra maiúscula ou minúscula não expressam diferenças significativas a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Tabela 5. Conteúdo de Zn na matéria seca das folhas comerciais e não-comerciais, caule, raízes e planta inteira de alface, cultivada durante 52 dias em hidroponia, em razão dos níveis baixo, normal e alto de Zn e de P na solução nutritiva⁽¹⁾.

Zn na solução	P na solução	Conteúdo de Zn na matéria seca				
		Folhas comerciais	Folhas-não comerciais	Caule	Raiz	Planta inteira
------(µg planta ⁻¹)-----						
Baixo	Baixo	47Ba	52Ba	7Aa	33Aa	139Ba
	Normal	51Ba	66Ba	44Ba	25Aa	186Ba
	Alto	33Ba	65Ba	25Ca	18Ba	141Ca
Normal	Baixo	165Bb	148Ba	21Ab	74Aa	408Bb
	Normal	328Bab	113Ba	83Aa	61Aa	585Bab
	Alto	661Aa	125Ba	100Ba	86Ba	972Ba
Alto	Baixo	798Aa	473Aa	35Ac	40Ab	1.346Aa
	Normal	759Aa	435Aa	118Ab	106Ab	1.418Aa
	Alto	762Aa	494Aa	160Aa	356Aa	1.772Aa

⁽¹⁾Letras maiúsculas comparam os níveis de Zn em cada nível de P, e letras minúsculas, os níveis de P em cada nível de Zn; em cada coluna, as médias seguidas pela mesma letra maiúscula ou minúscula não expressam diferenças significativas a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Nas condições de alta suplementação de Zn, o P pode imobilizar o Zn nas raízes, por meio da formação de fitato de Zn, o qual tem sido observado que ocorre na grande maioria das plantas (Loneragan & Webb, 1993). A adição de Zn à solução aumentou o conteúdo de Zn na planta inteira, independentemente do nível de P; porém, nos níveis de Zn baixo ou alto, a adição de P à solução não afetou os conteúdos de Zn (Tabela 5). Em valor absoluto, o maior conteúdo de Zn na planta inteira foi observado nos tratamentos Zn e P altos (Tabela 5), e correspondeu a

1.772 µg planta⁻¹. Destes, 43, 20, 9 e 28% foram absorvidos pelas folhas comerciais, raízes, caule e folhas não-comerciais, respectivamente.

Conclusões

1. Quando o nível de P na solução é baixo, não há efeito de níveis de Zn sobre a produtividade da alface.
2. A produção de matéria seca total da alface é afetada pela adição de Zn à solução, quando o nível de P presente é normal ou alto.

3. As maiores produtividades e absorção de P são alcançadas quando a solução contém nível alto de P e nível normal de Zn.

4. Níveis de Zn na solução não têm efeito sobre a absorção de P pela planta, quando o nível de P na solução é baixo.

5. Os maiores teores de P estão no caule, seguindo-se, em ordem decrescente, nas raízes e folhas comerciais.

6. Independentemente do nível de P na solução, a maior absorção de Zn ocorre no nível alto de Zn.

7. Os teores de Zn nas folhas comerciais, no nível alto de Zn na solução, diminuem com a adição de P à solução.

Referências

- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (Gaithersburg, Estados Unidos). **Official methods of analysis of association of official analytical**. 12. ed. Washington, 1975. 1094 p.
- BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solos e material vegetal. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 21, n. 113, p. 73-85, 1974.
- CAKMAK, I.; MARSCHNER, H. Increase in membrane permeability and exudation in roots of zinc deficient plants. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 132, n. 3, p. 356-361, 1988.
- CAKMAK, I.; MARSCHNER, H. Mechanism of phosphorus-induced zinc deficiency in cotton. III. Changes in physiological availability of zinc in plants. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 70, n. 1, p. 13-20, 1987.
- CASTELLANE, P. D.; ARAÚJO, J. A. C. **Cultivo sem solo: hidroponia**. Jaboticabal : FUNEP, 1995. 43 p.
- CHRISTENSEN, N. W.; JACKSON, T. L. Potential for phosphorus toxicity in Zn stressed corn and potato. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 45, n. 5, p. 904-909, 1981.
- COSTA, C. A. **Produção de alface em cultivos sucessivos adubados com composto orgânico de lixo urbano e teor de metais pesados no solo e na planta**. Viçosa : UFV, 1998. 77 p. Dissertação de Mestrado.
- DELISTOIANOV, F. **Produção, teores de nitrato e capacidade de rebrota de cultivares de alface, sob estufa, em hidroponia e solo, no verão e outono**. Viçosa : UFV, 1997. 76 p. Dissertação de Mestrado.
- FONTES, R. L. F. **Purificação de soluções nutritivas para indução de deficiência de zinco e cobre, em plantas**. Viçosa : UFV, 1986. 72 p. Dissertação de Mestrado.
- FURLANI, A. M. C.; FURLANI, P. R.; BATAGLIA, R.; HIROCE, J. R.; GALLO, J. R. Composição mineral de diversas hortaliças. **Bragantia**, Campinas, v. 37, n. 1, p. 33-44, 1978.
- GARCIA, L. L. C. **Absorção de macro e micronutrientes e sintomas de carência de macronutrientes em alface (*Lactuca sativa* L.) cv. Brasil e Clause's Aurélia**. Piracicaba : ESALQ, 1982. 78 p. Dissertação de Mestrado.
- GARCIA, L. L. C.; HAAG, H. P.; MINAMI, K.; SARRUGE, J. R. Nutrição mineral de hortaliças: concentração e acúmulo de micronutrientes em alface (*Lactuca sativa* L.) cv. Brasil e Clause's Aurélia. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v. 39, n. 1, p. 485-504, 1982.
- GREWAL, H. S.; ZHONGGU, L.; GRANHAN, R. D. Influence of subsoil zinc on dry matter production, seed yield and distribution of zinc in oilseed rape genotypes differing in zinc efficiency. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 192, n. 2, p. 181-189, 1997.
- IORIO, A. F.; GORGOSCHIDE, L.; RENDINA, A.; BARROS, M. J. Effect of phosphorus, copper, and zinc addition on the phosphorus/copper and phosphorus/zinc interaction in lettuce. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 19, n. 3/4, p. 481-491, 1996.
- LONERAGAN, J. F.; WEBB, M. J. Interactions between zinc and other nutrients affecting the growth of plants. In: ROBSON, A. D. (Ed.). **Zinc in soil and plants**. Dordrecht : Kluwer Academic, 1993. p. 119-134.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London : Academic, 1995. 889 p.
- MARSCHNER, H.; CAKMAK, I. Mechanism of phosphorus induced zinc deficiency in cotton. II. Evidence for impaired shoot control of phosphorus uptake and translocation under Zn deficiency. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 68, n. 1, p. 491-496, 1986.

- MOREIRA, M. A. **Composição mineral e produção da batateira, em função do uso de fungicidas contendo ou não Zn e do modo de fertilização com Zn.** Viçosa : UFV, 1998. 98 p. Dissertação de Mestrado.
- PARKER, D. R. Responses of six crop species to solution Zinc⁺² activities buffered with HEDTA. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 61, n. 1, p. 161-167, 1997.
- RENGEL, Z.; GRANHAM, R. D. Importance of seed Zn content for wheat growth on Zn-deficient soil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 173, n. 2, p. 259-266, 1995.
- RESH, H. M. **Cultivos hidropônicos.** 4. ed. Madrid : Mundi, 1997. 509 p.
- SANTOS, I. C.; CASALI, V. W. D.; MIRANDA, G. V. Comportamento de dez cultivares de alface adubadas com composto de lixo urbano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 2, p. 157-161, fev. 1998.
- STEINER, A. A. The universal nutrient solution. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON SOILLESS CULTURE, 6., 1984, Lunteren. **Proceedings...** Lunteren : International Society for Soilless Culture, 1984. p. 633-649.
- WEBB, M. J.; LONERAGAN, J. F. Effect of zinc deficiency on growth, phosphorus concentration, and phosphorus toxicity of wheat plants. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 52, n. 6, p. 1676-1680, 1988.
- WELCH, R. M.; NORVELL, W. A. Growth and nutrient uptake of barley (*Hordeum vulgare* L. cv. Herta): studies using an N-(2-hydroxyethyl)ethylenedinitrioltriacetic acid-buffered nutrient solution technique. 1. Role of zinc in the uptake and root leakage of mineral nutrients. **Plant Physiology**, Rockville, v. 101, n. 2, p. 627-631, 1993.