

Juliana Carange Tischer

Centro Universitário Hermínio
Ometto - Uniararas

julianactischer@gmail.com

Marcos Siqueira Neto

Centro de Energia Nuclear
na Agricultura - USP

msiqueir@gmail.com

Anhanguera Educacional Ltda.

Correspondência/Contato
Alameda Maria Tereza, 4266
Valinhos, São Paulo
CEP 13.278-181
rc.ipade@aesapar.com

Coordenação
Instituto de Pesquisas Aplicadas e
Desenvolvimento Educacional - IPADE

Artigo Original
Recebido em: 03/02/2012
Avaliado em: 25/02/2012

Publicação: 30 de outubro de 2012

AVALIAÇÃO DA DEFICIÊNCIA DE MACRONUTRIENTES EM ALFACE CRESPA

RESUMO

A alface (*Lactuca sativa L.*) destaca-se como uma das hortaliças herbáceas mais produzidas e consumidas no Brasil. Contudo, para se obter alta produtividade e máximo retorno econômico, a cultura necessita receber nutrientes em doses adequadas que permitam o desenvolvimento pleno e o fornecimento de um produto de boa qualidade. O objetivo deste ensaio foi avaliar o desenvolvimento de plantas de alface crespa solta (cv. Brisa) em um ensaio de omissão de macronutrientes. O local de instalação do ensaio foi no herbário do Departamento de Ciências Biológicas do Centro Universitário Anhanguera - campus Leme, SP. As plantas de alface foram cultivadas em areia lavada e, irrigadas com solução nutritiva. Os tratamentos foram: solução Completa e com omissão dos macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S. Semanalmente foi feita a avaliação visual e no final de cinco semanas foi determinada o comprimento e a massa seca (parte aérea e radicular). Os resultados apontaram que a omissão de macronutrientes ocasiona a redução do desenvolvimento nas plantas de alface crespa, tornando-as insatisfatória para a comercialização. Os sintomas de deficiência tornam-se aparentes entre o final da segunda semana e a terceira semana de condução do ensaio. A ordem de limitação no desenvolvimento, determinada por meio da massa seca da parte aérea nas plantas de alface crespa é $N > S > Ca > Mg > P$ e K.

Palavras-Chave: sintomas de deficiência; nutrição de plantas; omissão de elementos; fisiologia vegetal.

ABSTRACT

Lettuce (*Lactuca sativa L.*) stands out as an herbaceous vegetable more produced and consumed in Brazil. However, to achieve high productivity and maximum economic return, the culture needs to receive nutrients in adequate doses to allow the full development and providing a good quality product. Our goal was to evaluate the lettuce development in a nutrients omission test. For this, an experiment was conducted in the herbarium of the Biological Sciences Department of University Center Anhanguera (municipality of Leme, São Paulo state, Brazil). The lettuce plants were grown in washed sand and irrigated with nutrient solution. The treatments were: complete solution, and the nutrients omission: N, P, K, Ca, Mg and S. Weekly visual assessment was made and at the end of five weeks was determined the length and dry weight (shoot and root). The results showed that the macronutrients omission caused the reduction in the lettuce development, making them unsatisfactory for marketing. Deficiency symptoms were apparent between the end of the second week and third week. The order of the limitation on development, determined by dry weight of shoots was $N > S > Ca > Mg > P$ and K.

Keywords: Deficiency symptoms; plant nutrition; elements missing; plant physiology.

1. INTRODUÇÃO

O consumo de hortaliças folhosas é recomendado para alimentação e saúde humana, principalmente no tratamento da obesidade e doenças crônico-degenerativas (doenças cardiovasculares, diabetes, colesterol e câncer), pois apresentam baixo teor calórico, elevada quantidade de fibras e ausência de gorduras saturadas, além disso são fontes de vitaminas e sais minerais. O aumento na procura das hortaliças também segue a tendência de mudança no hábito alimentar da população, tornando necessário o aumento da produção. Por outro lado, o consumidor tem se mostrado mais exigente, na busca por quantidade e qualidade, assim como no preço.

A alface (*Lactuca sativa L.*) pertence à família Asteraceae (*Compositae*) destacando-se como uma das hortaliças herbáceas mais produzidas no Brasil. Os cultivares são reunidos de acordo com o formato das folhas e da cabeça em cinco grupos: lisas (solta e repolhuda manteiga), crespas (solta e repolhuda), americanas, mimosas e romanas. Além da existência de cultivares adaptados a diferentes condições edafoclimáticas (CASALI et al., 1980; FILGUEIRA, 2003).

A hortaliça apresenta quantidades razoáveis de vitaminas A e C, niacina, folatos além de minerais e fibras alimentares, que compõem a dieta humana. Componente tradicional em saladas, a alface ganha a cada dia mercados mais diferenciados como o de redes de “fast-food” e produtos minimamente processados (ABREU; JUNQUEIRA; OLIVEIRA et al., 2010).

Contudo, para se obter alta produtividade e máximo retorno econômico, a cultura necessita receber nutrientes em doses adequadas que permitam o desenvolvimento pleno e o fornecimento de um produto de boa qualidade (COELHO, 2009).

Apesar de absorverem quantidades relativamente pequenas de nutrientes, quando comparadas com outras culturas, as hortaliças folhosas são consideradas exigentes em nutrientes, em função de seus ciclos curtos (OLIVEIRA et al., 2004).

O estresse por falta de um determinado nutriente é similar nos diferentes vegetais já que as funções por eles desempenhadas também serão similares (MEYER et al., 1983). Desta forma, as plantas quando cultivadas em solução nutritiva permitem a análise das desordens nutricionais, devido à falta ou excesso de elementos, pois a solução nutritiva pode ser equilibrada conforme a necessidade nutricional da planta ou objetivo do estudo.

A nutrição das plantas inicia-se a partir da absorção de elemento simples e, ocorre principalmente pelas raízes, diretamente da solução do solo. Normalmente a concentração da solução no interior da célula é diferente da concentração do meio.

Na planta, podemos considerar três conceitos: i) Absorção - entrada de elementos no interior da planta; ii) Acúmulo - entrada e permanência do elemento contra o gradiente de concentração e; iii) Exclusão - saída de um elemento do interior da célula contra o gradiente de concentração. Desta forma, quando a concentração de um elemento aumenta ou diminui no lado externo da célula a membrana plasmática irá atuar como um controlador de fluxo possibilitando ou não a entrada deste elemento (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2001; TAIZ; ZEIGER, 2009).

Entre os fatores que podem interferir na absorção dos nutrientes presentes na solução do solo pode-se destacar: i) Forma do elemento - a planta absorve CO₂ e O₂ pelas raízes que estão difusos na água, os demais elementos na forma de íons ou compostos iônicos dissolvidos; ii) Temperatura - temperatura abaixo de 4°C (devido a baixa metabólica) e acima de 40°C (inativação de enzimas) reduzem a absorção; iii) Intensidade luminosa - necessária para a formação de energia (via fotossíntese); iv) Presença de oxigênio - necessária para a liberação de energia (via respiração); v) Presença elevada de CO₂ - formação de HCO₃⁻ (concorrência na absorção de ânions); vi) Concentração dos elementos no meio; e o vii) pH do meio - interfere diretamente na disponibilidade de alguns elementos, principalmente micronutrientes metálicos, além da solubilidade do fósforo (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2001; TAIZ; ZEIGER, 2009).

Em uma análise elementar do tecido vegetal, independentemente do tipo da planta, os elementos químicos encontrados são: o carbono (C), hidrogênio (H) e o oxigênio (O) que serão provenientes da água e do ar. Estes elementos estão presentes na planta em quantidades elevadas, normalmente medidos em toneladas (1 ton = 1.000 kg) por hectare (1 ha = 10.000 m²) (RAIJ, 1987).

Os elementos considerados macronutrientes são: o nitrogênio (N); o fósforo (P); o potássio (K); o cálcio (Ca); o magnésio (Mg) e; o enxofre (S). Estes são designados como macro devido à quantidade encontrada na planta (quilogramas por hectare). Por outro lado, ainda serão encontrados: o boro (B); o cloro (Cl); o cobalto (Co); o cobre (Cu); o ferro (Fe); o manganês (Mn); o molibdênio (Mo) e; o zinco (Zn), chamados de micronutrientes devido a baixa quantidade na planta (gramas por hectare). Ainda, dependendo da espécie podem existir traços de selênio (Se), silício (Si), níquel (Ni) e sódio (Na) (MALAVOLTA, 2006; RAIJ, 1991; TAIZ; ZEIGER, 2009).

Contudo, mesmo com um lista extensa de elementos, o desenvolvimento e a produtividade de uma planta, sempre estará limitada àquele que apresentar a menor concentração em relação a necessidade do vegetal. Esta relação é conhecida como o “Barril de Liebig”¹ (MALAVOLTA, 2006).

Isto ocorre, pois na planta, cada elemento desempenha uma função específica e insubstituível, podendo ser: i) Estrutural- faz parte de uma molécula ou composto orgânico (i.e. N na formação de aminoácidos; Ca que participa da formação do pectato da lamela média e parede celular; Mg na formação o centro tetrapirrólico da molécula de clorofila); ii) Constituição enzimática - constitui parte do grupo prostético de enzimas e; iii) Ativador enzimático - não são constituintes, portanto, dissociáveis da fração enzimática, contudo sendo necessário para a realização da atividade (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Desta forma, o objetivo deste ensaio foi avaliar o desenvolvimento de plantas de alface crespa em um ensaio de omissão de macronutrientes em vasos contendo areia lavada conduzido em casa de vegetação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O local de instalação do ensaio foi no herbário do Departamento de Ciências Biológicas do Centro Universitário Anhanguera - campus Leme, SP. Este ensaio foi conduzido pelos graduandos do quarto período do curso de Licenciatura em Ciências Biológicas, como parte do conteúdo prático da disciplina Fisiologia Vegetal.

O ensaio teve início no dia 19/09/2011 quando os vasos - tipo jardineira - foram preenchido com aproximadamente 5 L de areia lavada em água corrente por 10 min. Após o preenchimento dos vasos foi aplicado uma solução de HCl a 10% até escoar diretamente nos vasos. O substrato permaneceu com esta solução em repouso por 1 h. Em seguida, o substrato foi lavado e escoado com água corrente em excesso por seis vezes e permaneceram em repouso por mais 1 h. Após este período procedeu-se o plantio de quatro mudas de alface em cada vaso.

As mudas de alface crespa solta (cv. Brisa) obtidas do viveiro de mudas da Chácara Nossa Senhora de Aparecida (município de Porto Ferreira, SP) foram cultivadas em substrato feito a base de vermiculita, casca de pinho e fibra de coco, contendo adubação de base com NPK (04-14-08), além da solução com estrato de algas e

¹ Justus von Liebig (1803 - 1873) químico alemão. Pioneiro no estudo de Química aplicado a Fisiologia Vegetal.

micronutrientes. O transplante das mudas para os vasos foi realizado 17 dias após a germinação, antes da adubação de cobertura realizada no viveiro. Antes da realização do transplante as mudas tiveram o sistema radicular lavado por meio de imersão em água, para retirada do excesso de substrato.

Em cada jardineira foram transplantadas quatro mudas, sendo cada jardineira destinada a um tratamento, ou seja, no total foram utilizadas sete jardineiras e vinte e oito mudas. Contudo, após a primeira semana, as avaliações foram realizadas em apenas três plantas, de forma a considerar a possibilidade de perda, algum comportamento ou resposta adversa ao esperado.

No Laboratório de Ciências Biológicas foram preparadas soluções estoques com os sais fertilizantes a 1 mol L⁻¹, que foram utilizadas para o preparo das soluções nutritivas de cada tratamento utilizadas até o final da condução do ensaio. Seguindo a Tabela 1 foram pipetadas as quantidades de cada solução estoque para formar a solução nutritiva para cada tratamento em frascos de 1 L, e completadas com água deionizada.

A aplicação da solução nutritiva foi feita duas vezes na semana (toda segunda e quinta-feira) por um período de cinco semanas na quantidade de 50 mL por planta. No demais dias foi aplicado água deionizada na mesma quantidade.

Tabela 1. Composição da solução nutritiva adaptado de Sarruge (1975) e volumes pipetados da solução estoque de cada tratamento para o cultivo de alface em areia lavada em ensaio realizado no Centro Universitário Anhanguera – Campus Leme, SP.

Fonte	Elem. ¹	M.M. ²	Completo	- N	- P	- K	- Ca	- Mg	- S
		<i>g mol⁻¹</i>	<i>Quantidade pipetada (mL) da solução estoque de 1 mol L⁻¹</i>						
NH ₄ NO ₃	N	80,04	4	x	3	3	4	4	4
(NH ₄) ₂ SO ₄	N, S	132,14	2	x	x	2	2	2	x
NH ₄ H ₂ PO ₄	N, P	115,04	x	x	x	2	x	x	x
Ca(NO ₃) ₂	N, Ca	164,08	x	x	3	x	x	x	2
K ₂ SO ₄	K, S	174,24	1	2	2	x	1	1	x
KH ₂ PO ₄	K, P	136,09	2	2	x	x	2	2	2
CaCl ₂	Ca	110,98	3	3	x	3	x	3	1
MgCl ₂ .6H ₂ O	Mg	203,30	1	1	1	1	1	x	1
Micro*			1	1	1	1	1	1	1

*Micro: Concentrações aproximadas de micronutrientes na solução estoque (µg L⁻¹): B (500), Cl (700); Cu (40); Fe-EDTA (5000); Mn (500); Mo (12); Zn (98). ¹ Elem.: Elemento(s) fornecido (s). ² M.M.: Massa molecular. x = elemento omitido.

Semanalmente foi feita a avaliação visual, de modo a destacar os sintomas mais evidentes de deficiência nutricional. Nesta avaliação foi comparado o desenvolvimento das plantas entre os tratamentos com omissão de elementos em relação ao tratamento completo. Assim como, a coloração, aspecto textural das folhas e locais de necrose.

O ensaio foi conduzido por cinco semanas, este curto período foi devido ao término programado dos trabalhos práticos da disciplina de Fisiologia Vegetal. Ao final da condução do ensaio as plantas foram colhidas, o sistema radicular lavado em água corrente e, imediatamente determinada o comprimento total (parte aérea e sistema radicular). Feito isto, as plantas foram fracionadas em parte aérea e sistema radicular e, em seguida acondicionadas em sacos de papel perfurados. O material foi seco em estufa a 65 °C até obtenção de massa constante e, assim, pesado em balança de precisão de forma a determinar a massa seca da parte aérea, massa seca do sistema radicular.

Nos resultados foi aplicada a estatística clássica, de forma a se conhecer a frequência e distribuição dos dados. Uma vez verificada a homogeneidade nas condições do ensaio, o delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC) e, em seguida foi feita a análise de variância (teste t) para verifica a existência de diferença significativa entre os tratamentos e, quando encontrada foi aplicado o teste de *Tukey* ($P > 0,05$) para comparação das médias. As análises estatísticas foram realizadas no programa Assistat (SILVA; AZEVEDO, 2009).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados gerais do ensaio, avaliados por meio da estatística clássica, mostraram que a média de altura foi de 12,6 cm e, a massa total teve média próxima a 2 g (Tabela 2), ambos com o coeficiente de variação elevado (35%) que demonstra que houve diferença entre as médias dos tratamentos individualizados.

Tabela 2. Estatística clássica aplicada aos resultados totais obtidos no ensaio de oclusão de elementos em alface crespa realizada no Centro Universitário Anhanguera – Campus Leme, SP.

Variáveis ¹	Média	Med. ²	Mín. ³	Max. ⁴	D.P. ⁵	C.V. ⁶	Ass. ⁷	Curt. ⁸
Compr. total (cm)	12,62	11,39	7,65	24,00	4,29	34,06	1,80	2,33
Compr. aéreo (cm)	7,18	6,57	3,70	15,53	2,93	40,81	1,63	2,18
Compr. radicular (cm)	5,44	5,01	3,19	9,74	1,70	31,35	1,02	0,41
Relação compr. A:R	1,35	1,43	0,57	2,00	0,36	26,94	-0,48	-0,03
Massa total (g)	2,01	1,94	1,01	3,50	0,72	35,84	0,39	-0,86
Massa aérea (g)	1,65	1,70	0,53	3,06	0,71	42,93	-0,21	-0,99
Massa raízes (g)	0,36	0,35	0,15	0,72	0,13	36,37	0,57	0,44
Relação massa A:R	5,19	5,36	1,02	10,39	2,60	50,12	0,15	-0,95

¹ Relação compr. A:R = razão ente a medida da parte aérea e o sistema radicular; Relação massa A:R = razão ente a massa da parte aérea e o sistema radicular; ² Med. = Mediana; ³ Mín. = Valor mínimo observado; ⁴ Máx. = Valor máximo observado; ⁵ D.P. = Desvio Padrão; ⁶ C.V. = Coeficiente de variação (%); ⁷ Ass. = Assimetria dos dados em relação à distribuição normal; ⁸ Curt. = Curtose.

Os valores medianos foram bem próximos aos valores encontrados para as médias, isto indica que não houve grandes discrepâncias entre os resultados de forma que pudesse interferir significativamente no valor médio, de forma a impossibilitar a análise dos resultados. Da mesma forma, os valores da assimetria e curtose foram considerados dentro da normalidade, o que permitiu o prosseguimento da análise de variância por métodos paramétricos.

De maneira geral, notou-se um fraco desenvolvimento nas plantas, mesmo no tratamento sem restrições de nutrientes (Completo), uma vez que o período de cinco semanas normalmente é o tempo no qual os produtores comerciais conduzem suas hortas. Isto pode ter ocorrido por fatores como; i) deficiência nutricional; ii) imobilização de elementos; iii) desbalanço eletrolítico na solução; iv) salinização do substrato.

Sendo que na última semana de condução do ensaio (início da quinta semana) notou-se um murchamento nas plantas dos tratamentos Completo e aqueles com omissão de P, Ca e Mg. Este sintoma, mesmo com o substrato úmido se deve a salinização do meio, que normalmente está associado a elevados níveis de N e K na solução. Para resolver esta situação, na segunda feira, dia de aplicar a solução nutritiva, foi aplicado uma dose dobrada de água deionizada, de modo a forçar o escorrimento da solução que se encontrava no substrato. Sendo que na manhã seguinte, as plantas já haviam se recuperado.

Os sintomas visuais começaram a tornar-se nítidos a partir do final da segunda semana de condução do ensaio, principalmente para o tratamento com omissão de N e K, ambos iniciando-se pela ausência de coloração nas folhas mais velhas e menor desenvolvimento da parte aérea. No final da terceira semana, todos os tratamentos já expressavam os sintomas clássicos de deficiência. É possível que um maior tempo na condução do ensaio evidenciaria melhor os sintomas, contudo, buscou-se conduzi-lo somente pelo período no qual os produtores cultivam esta hortaliça comercialmente.

A omissão de macronutrientes ocasionou a redução no desenvolvimento em todas as variáveis avaliadas em relação ao tratamento com nutrição completa (Tabela 3). Resultados desta natureza confirmam o enunciado de Liebig sobre a limitação do desenvolvimento em função do elemento com menor disponibilidade. Segundo Silva et al. (2009) em estudo de deficiência de nutrientes para a cultura do pinhão manso, elucidaram que os sintomas de deficiência são manifestações exteriores de eventos bioquímicos que ocorrem em nível molecular e celular, nos tecidos vegetais. Com isto, os sintomas são reproduzíveis em diferentes tipos de plantas, uma vez que os processos bioquímicos variam pouco entre espécies.

Tabela 3. Variáveis determinadas no ensaio de oclusão de elementos em alface crespa realizado na disciplina de Fisiologia Vegetal no Centro Universitário Anhanguera – Campus Leme, SP.

Variáveis ¹	Completo	-N	-P	-K	-Ca	-Mg	-S
Compr. total (cm)	22,37 a** (1,94)	10,75 b (0,58)	11,53 b (0,14)	12,22 b (1,78)	10,74 b (0,84)	10,51 b (0,32)	11,06 b (3,00)
Compr. aéreo (cm)	13,64 a** (1,70)	4,38 d (0,61)	6,82 b (0,19)	6,37 bc (0,94)	6,61 bc (0,17)	6,38 bc (0,19)	5,66 c (2,41)
Compr. radicular (cm)	8,73 a** (0,91)	6,37 b (0,23)	4,71 cd (0,31)	5,85 bc (0,85)	4,13 d (0,83)	4,13 d (0,14)	4,40 d (0,78)
Relação compr. A:R	1,57 ab** (0,24)	0,69 c (0,10)	1,45 ab (0,14)	1,09 bc (0,03)	1,64 a (0,34)	1,54ab (0,02)	1,27 b (0,43)
Massa total (g planta ⁻¹)	3,20 a** (0,27)	1,28 c (0,18)	2,27 b (0,24)	2,35b (0,59)	1,68 c (0,26)	2,20 b (0,52)	1,28 c (0,33)
Massa aérea (g planta ⁻¹)	2,73 a** (0,29)	0,73 d (0,20)	2,01 ab (0,25)	2,05 ab (0,56)	1,48 cd (0,22)	1,75 bc (0,46)	0,76 d (0,21)
Massa radicular (g planta ⁻¹)	0,47 a** (0,03)	0,36 b (0,03)	0,26 c (0,06)	0,29 bc (0,06)	0,20 cd (0,06)	0,25 bc (0,07)	0,22 cd (0,09)
Relação massa A:R	5,89 b** (0,96)	2,05 d (0,81)	8,01 a (2,23)	7,05 ab (1,59)	7,53 ab (1,36)	7,15 ab (0,45)	3,61 cd (0,81)

¹Relação compr. A:R = razão entre a medida da parte aérea e o sistema radicular; Relação massa A:R = razão entre a massa da parte aérea e o sistema radicular. Os valores representam a média (n=3). Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem significativamente no teste de Tukey (P > 0,01). Desvio padrão entre parênteses. ** significativo a 1%.

A omissão de N resultou na maior redução em comprimento e massa da parte aérea (33% para ambas variáveis). Desta forma, pode-se considerar que a ausência de N é bastante preocupante no desenvolvimento da alface, uma vez que comercialmente é desejada um bom desenvolvimento da parte aérea. No final do ensaio, durante a avaliação visual notou-se o amarelecimento generalizado das folhas, até mesmo das folhas mais jovens, clorose praticamente completa e necrose das folhas mais velhas.

Além disso, a omissão de N foi o único tratamento que apresentou a razão em comprimento entre a parte aérea e o sistema radicular inferior a 1, assim como a menor razão em massa (Tabela 3), ou seja, em comprimento as raízes cresceram mais que a parte aérea. Isto pode ser um indício no qual as plantas submetidas a esta deficiência tendem a buscar o elemento em maior profundidade, contudo, não foi encontrado referência na literatura para confirmar esta hipótese.

A alface responde positivamente a adubação nitrogenada, apresentando maior rendimento, produção uniforme e valor comercial (KHIEL, 1985; MASCARENHAS et al., 2008). O nitrogênio é um macronutriente encontrado em compostos orgânicos como aminoácidos e ácidos nucléicos e participa de diversos processos fisiológicos no ciclo de

vida vegetal, como absorção iônica, fotossíntese, respiração, multiplicação e diferenciação celular (MALAVOLTA, 2006).

Assim, Almeida et al. (2011) avaliaram o efeito da omissão de macronutrientes no crescimento e no estado nutricional da alface cv. Verônica. As plantas submetidas à carência de N na solução foram observadas decréscimo na altura das plantas, área foliar, número de folhas, medida indireta de clorofila, matéria seca e ainda amarelecimento das folhas mais velhas quando comparadas as plantas que receberam a solução nutritiva completa.

Segundo Epstein e Bloom (2004), o amarelecimento é devido a mobilização desse nutriente das folhas mais velhas para órgãos e folhas mais jovens. Resultados similares foram obtidos por Puga et al. (2010) ao avaliarem plantas de chicória que não receberam N na solução nutritiva, constatando redução significativa na produção de matéria seca da parte aérea e das raízes.

Para Malavolta; Vitti e Oliveira (1997) e Filgueira (2003) estes sintomas estão associados à menor produção de clorofila que ocasionam modificações nos cloroplastos e conseqüentemente na atividade fotossintética, que por sua vez influenciará no crescimento e ainda na má formação dos órgãos vegetativos. Deste modo, doses elevadas de N proporcionam maior massa de matéria fresca de folhas conforme reportados também por Alvarenga et al. (2000) e Coelho et al. (2009).

Silva et al. (2010) verificaram que a aplicação de 200 kg ha⁻¹ de N na forma de sulfato de amônio aplicados no cultivo de alface distribuído entre plantio e cobertura, representaram incrementos significativos na produção de matéria fresca em torno de quatro vezes em relação ao tratamento controle.

A omissão do P provocou a redução no desenvolvimento final das plantas próximos a 50% em todas as variáveis avaliadas (Tabela 3). Sendo que os sintomas mais clássicos de deficiência do elemento - arroxamento internerval da face inferior das folhas que foi observado na terceira semana de condução do ensaio. Segundo Malavolta (2006), assim como Raj (1991) este escurecimento arroxado ocorre devido o acúmulo de antocianinas na folhas. Com o passar do tempo o escurecimento tornou-se mais nítido ocasionando posterior necrose da maior parte dos bordos das folhas.

De acordo com Coutinho, Natale e Souza (1993), as quantidades de fósforo retiradas do solo pelas hortaliças são geralmente baixas, principalmente quando comparadas com as de nitrogênio e potássio, assim, o fósforo é utilizado em maiores proporções na fertilização.

Lana et al. (2004) reportaram a produtividade de alface cv. Verônica sob adubação fosfatada, no estudo os autores avaliaram diferentes fontes de fertilizantes fosfatados e concluíram que as plantas não supridas apresentaram significativa redução no peso de matéria seca, tanto da parte aérea como das raízes, além de redução no diâmetro de plantas, evidenciando a resposta positiva a teores mais elevados deste nutriente no solo.

Mota et al. (2003) verificaram a produtividade da alface americana sob os efeitos da aplicação de diferentes doses fósforo. No estudo verificaram que a dose de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ apresentou incremento em 18% no número de folhas obtidas. Já o número e peso médio de folhas externas e comprimento do caule não foram significativamente influenciados.

Tendo em vista que os custos da adubação fosfatada para a cultura de coentro podem representar de 20 a 30% do custo de produção, Oliveira et al. (2004) avaliaram o comportamento desta hortaliça submetida a doses crescentes de P₂O₅. O rendimento da massa verde ajustou-se o modelo quadrático de regressão, calculando-se a dose mais econômica de P₂O₅ foi de 110 kg ha⁻¹, com produção de 50 ton ha⁻¹ de massa verde.

A omissão de K, como exposto anteriormente, foi notada visualmente logo no final da segunda semana de condução do ensaio. As plantas apresentavam redução no desenvolvimento em relação aos demais tratamentos e um princípio de clorose nos bordos. Estes sintomas evoluíram durante a condução do ensaio com aumento da área clorótica nas folhas, tornando-se similar a deficiência de N.

O K além de ativador enzimático é regulador do mecanismo de abertura e fechamento estomático, assim, baixas concentrações deste nutriente no vegetal prejudicam a fotossíntese e conseqüentemente limitam o seu crescimento (MALAVOLTA, 2006).

Assim como apresentado no tratamento com omissão de N, a omissão de K também ocasionou uma menor razão em comprimento entre a parte aérea e o sistema radicular (Tabela 3). Isto pode ser devido a um somatório nos sintomas de deficiência, uma vez que, o potássio favorece a absorção e a utilização do nitrogênio, assim, a adubação nitrogenada somente terá máxima eficiência se as plantas também forem supridas com quantidades adequadas deste elemento (LOPES; GUILHERME, 2000). De um modo geral, o potássio é o segundo nutriente mais exigido pelas culturas, todavia, para a cultura de alface é mais exigido que o próprio nitrogênio (BOARETTO, 2009).

Nesse sentido, Mota et al. (2001) reportaram a importância do potássio na produção de alface. Os resultados evidenciam que as doses de cloreto de potássio influenciam significativamente a produção total e comercial da alface-americana,

mostrando aumento na produção com as doses iniciais, máxima produção total e comercial com a aplicação de 115 kg ha⁻¹ e drástica redução na produção da cultivar com aplicação de 300 kg ha⁻¹ de KCl.

Cancellier et al. (2010) avaliaram a influência nas respostas morfofisiológicas de alface cv. Verônica, cultivado sob quatro tratamentos com doses crescentes de KCl. O crescimento relativo dos tratamentos indicou alto incremento de massa em decorrência da adubação de cobertura, estimulando a expansão foliar, a qual proporciona maior produção de carboidratos gerados pela fotossíntese. Já no tratamento que não recebeu potássio verificou-se tendência de menores valores na taxa de crescimento absoluto. Todavia, os autores não observaram influência nas respostas morfofisiológicas nas plantas de alface submetidas a diferentes doses de potássio, não encontrando diferença significativa entre as doses para as razões de massa radicular, caulinar e foliar.

A omissão de Ca ocasionou sintomas de deficiência bem nítidos a partir da terceira semana de condução do ensaio, além da redução na taxa de desenvolvimento aéreo das plantas, as folhas passaram a apresentar um aspecto coriáceo, com menor desenvolvimento em comprimento em relação a largura. No final do período de condução, verificou-se o menor desenvolvimento radicular entre todos os tratamentos (Tabela 3) e indícios de necrose (apodrecimento) na região meristemática da parte aérea.

O cálcio é constituinte da parede celular e atua na maioria dos processos de crescimento, desenvolvimento, manutenção e reprodução, sendo responsável pela resistência mecânica das estruturas vegetais, promoção da junção das células e exoesqueleto, além disso, controla altas pressões de turgência e atua na proteção contra agressões físicas e químicas (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2001; TAIZ; ZEIGER, 2009).

Segundo Almeida et al. (2011), a omissão de cálcio em plantas de alface acarretam em menor altura, área foliar e número de folhas, e conseqüentemente, menor produção de massa seca da parte aérea e radicular quando comparadas as plantas que receberam a solução completa. Os sistemas radiculares das plantas que não receberam cálcio na solução em relação ao tratamento com solução nutritiva completa apresentaram decréscimo de 97%, com valores de matéria seca das raízes de 0,03 1,02 g planta⁻¹, respectivamente. Do mesmo modo, plantas de couve-flor avaliadas por Avalhães et al. (2009) apresentaram redução significativa no número de folhas, altura da planta e no diâmetro do caule, além de ausência do sistema radicular.

A deficiência de cálcio também é caracterizada pela redução no crescimento dos tecidos meristemáticos, resultando em prejuízo para as extremidades das folhas,

apresentando-se deformadas e cloróticas. Por ser um elemento não transportado pelo floema, as raízes também têm seu desenvolvimento reduzido (RAIJ, 1991).

A omissão de Mg caracterizou-se com o amarelecimento internerval das folhas inicialmente mais velhas (terceira semana de condução) e, posteriormente agravando-se nas folhas mais novas. Este quadro evoluiu até que no final do período de condução do ensaio, a maioria das folhas apresentavam-se retorcidas e com necrose nos bordos.

Assim como no tratamento com omissão de Ca, o sistema radicular também apresentou baixo desenvolvimento em comprimento e massa, o que caracterizou altas razões entre a parte aérea e o sistema radicular (Tabela 3).

Constituinte da molécula de clorofila, o magnésio é fundamental para a fotossíntese, ativando enzimas, na respiração, absorção iônica, transporte de energia, balanço eletrolítico e estabilidade aos ribossomos (MALAVOLTA; VITTI E OLIVEIRA et al., 1997). É um nutriente móvel na planta e, em situações de deficiência, ocorre clorose internerval, com as nervuras permanecendo verdes (RAIJ, 1991).

Os sintomas da omissão de magnésio foram avaliados por Puga et al. (2010) em plantas de chicória, com influência na altura das plantas, número de folhas e área foliar, assim como por Almeida et al. (2011) em plantas de alface e por Avalhães et al. (2009) em plantas de couve-flor, que obtiveram resultados semelhantes.

A omissão de S ocasionou a maior perda em massa da parte aérea em relação aos demais tratamentos (Tabela 3). Contudo, foi o último tratamento a evidenciar visualmente os sintomas mais clássicos de deficiência. As folhas novas apresentaram limitação de desenvolvimento, opacas e com necrose nos bordos. Similarmente a deficiência de N, apresentou baixa razão em comprimento e massa da parte aérea com o sistema radicular (Tabela 3).

O enxofre (S), assim como N, P e K, é considerado como nutriente-chave necessário ao desenvolvimento das culturas (PROCHNOW; CASARIN; STIPP, 2010). Os sintomas de sua deficiência assemelham-se com a deficiência de nitrogênio, todavia, o enxofre não se transloca das folhas mais velhas para as mais novas (RAIJ, 1991).

Em relação à omissão de enxofre em plantas de alface, Almeida et al. (2011) observaram folhas pequenas, com enrolamento nas margens das folhas e clorose inicialmente nas folhas mais jovens. O S participa de dois aminoácidos essenciais, cistina e metionina, e a sua deficiência interrompe a síntese de proteínas retardando o crescimento (RAIJ, 1991). Para plantas de chicória, houve redução de 35% matéria seca da parte aérea em relação ao tratamento completo (PUGA et al., 2010).

4. CONCLUSÕES

- a) A omissão de macronutrientes ocasiona a redução do desenvolvimento nas plantas de alface crespa, tornando-as insatisfatórias para a comercialização;
- b) Os sintomas de deficiência tornam-se aparentes entre o final da segunda semana e a terceira semana de condução do ensaio;
- c) A ordem de limitação no desenvolvimento, determinada por meio da massa seca da parte aérea nas plantas de alface crespa é $N > S > Ca > Mg > P$ e K .

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao proprietário da Chácara Nossa Senhora de Aparecida (Porto Ferreira, SP) – Família Feliciano de Souza em particular o Engenheiro Ambiental Danilo Graf Feliciano de Souza, pelo auxílio, informações e acolhimento durante a execução deste trabalho. Aos graduandos do 4º período do curso de Licenciatura em Ciências Biológicas – ingressos em 2010 – do Centro Universitário Anhanguera pela dedicação na condução do ensaio.

REFERÊNCIAS

- ABREU, I.M.O.; JUNQUEIRA, J.R.P.; OLIVEIRA, S.A. Qualidade microbiológica e produtividade de alface sob adubação química e orgânica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 1, p. 108-118, maio 2010.
- ALMEIDA, T.B.F.; PRADO, R.M.; CORREIA, M.A.R.; PUGA, A.P.; BARBOSA, J.C. Avaliação nutricional da alface cultivada em soluções nutritivas suprimidas de macronutrientes. **Revista Biotemas**, v. 24, n. 2, p. 27-36, jun. 2011.
- ALVARENGA, M.A.R.; SILVA, E.C.; SOUZA, R.J.; CARVALHO, J.G. Efeito de doses de nitrogênio aplicadas no solo e níveis de cálcio aplicados via foliar sobre o teor e o acúmulo de micronutrientes em alface americana. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 24, n. 4, p. 905-916, out./dez. 2000.
- AVALHÃES, C.C.; PRADO, R.M.; CORREIA, M.A.R.; ROZANE, D.E.; ROMULADO, L.M. Avaliação do estado nutricional de plantas de couve-flor cultivadas em solução nutritiva suprimidas de macronutrientes. **Nucleus**, v. 6, n. 1, p. 250-261, abr. 2009.
- BOARETTO, A.E.; CHITOLINA, J.C.; RAIJ, B.V.; SILVA, F.C.; TEDESCO, M.J.; CARMO, C.A.F.S. Amostragem, acondicionamento e preparação das amostras de plantas para análise química. 2. ed. In. SILVA, F.C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 2009. 59 p.
- CANCELLIER, L.L.; ADORIAN, G.C.; RODRIGUES, H.V.M.; SIEBENEICHLER, S.C.; LEAL, T.C.A.B. Doses de potássio nas respostas morfofisiológicas de alface. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 4, p. 21-27, out./dez. 2010.
- CASALI, V.W.D.; SILVA, R.F.; RODRIGUES, J.J.V.; SILVA, J.F.; CAMPOS, J.P. **Anotações sobre produção de alface**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1980. 24 p.
- COELHO, F.S.C.; MOREIRA, M.A.M.; MARTINS, A.D.; FLORES, M.E.P.; FINGER, F.; FONTES, P.C.R. Produção e teor de nitrato em alface americana com a retirada do nitrogênio em diferentes

- fases do ciclo da cultura. **Horticultura Brasileira**, n. 27, n. 2, p. 2448-2454, ago. 2009. – SUPLEMENTO – CD ROM.
- COUTINHO, E.R.M.; NATALE, W.; SOUZA, E.C.A. Adubos e corretivos: aspectos particulares na olericultura. In: Simpósio sobre nutrição e adubação de hortaliças, 1993, Jaboticabal. **Anais...** Piracicaba: Potafós, p. 85-140, 1993.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, J.A. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina: Editora Planta, 2004. 402 p.
- FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura** – Agroecologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 2.ed. Viçosa-MG: Editora UFV - Universidade Federal de Viçosa, 2003. 412 p.
- HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. **The water culture method for growing plants without soils**. Berkeley: California Agricultural Experimental Station, 1950. 347 p.
- KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985.
- LANA, R.M.Q.; ZANÃO JÚNIOR, L.A.; LUZ, J.M.Q.; SILVA, J.C. Produção da alface em função do uso de diferentes fontes de fósforo em solo de Cerrado. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 3, p. 525-528, jul./set. 2004.
- LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. **Uso Eficiente de Fertilizantes e Corretivos Agrícolas** (Boletim Técnico 04). ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos. 3.ed. São Paulo, set. 2000.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres. 638 p. 2006.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 319 p.
- MASCARENHAS, M.H.T.; FREITE, F.M.; GONÇALVES, L.D.; VIANA, M.C.M.; LARA, J.F.R.; ANDRADE, C.L.T.; PURCINO, H.M.A. Características comerciais da alface influenciadas por doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.26, n.2, p.80-82, jul./ago. 2008.
- MEYER, B.S.; ANDERSON, D.B.; BOHNING, R.H.; FRATIANNE, D.G.; AMÂNCIO, S.; TEIXEIRA, A.R.; RICARDO, C.P.; SANTOS, A. M. **Introdução à fisiologia vegetal**. 2.ed. Campinas: Fundação Cargill. 1983, v.2, p. 541-593.
- MOTA, J.H.; SOUZA, R.J.; SILVA, E.C.; CARVALHO, J.G.; YURI, J.E. Efeito do cloreto de potássio via fertirrigação na produção de alface americana em cultivo protegido. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.25, n.3, p. 542-549, 2001.
- MOTA, J.H.; YURI, J.E.; RESENDE, G.M.; OLIVEIRA, C.M.; SOUZA, R.J.; FREITAS, S.A.C.; RODRIGUES JÚNIOR, J.C. Produção de alface americana em função da aplicação de doses e fontes de fósforo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 4, p. 620-622, out./dez. 2003.
- OLIVEIRA, A.P.; ARAÚJO, L.R.; MENDES, J.E.M.F.; DANTAS JÚNIOR, O.R.; SILVA, M.S. Resposta do coentro à adubação fosfatada em solo com baixo nível de fósforo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 1, p. 87-89, jan./mar. 2004.
- PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. (Eds). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Piracicaba: IPNI, v. 1, 362 p, v. 2, 362 p, v. 3, 467p, 2010.
- PUGA, A.P.; PRADO, R.M.; CORREIA, M.A.R.; ALMEIDA, T.B. Omissão de macronutrientes no crescimento e no estado nutricional da chicória cultivada em solução nutritiva. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 3, n. 7, p. 56-62, 2010
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres/Potafos, 1991. 343 p.
- RAVEN, P.H.; EVERT, R.F.; EICHHORN, S.E. **Biologia Vegetal**. 6.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Kooga, 2001. 928 p.
- SARRUGE, J.R. Soluções nutritivas. **Summa Phytopathologica**, Jaboticabal, v. 1, n. 3, p. 231-233, 1975.

SILVA, E.B.; TANURE, L.P.P.; SANTOS, S.R.; RESENDE JR, P.S. Sintomas visuais de deficiências nutricionais em pinhão-mansão. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 44, n. 4, p. 392-397, abr. 2009.

SILVA, F.A.S. E.; AZEVEDO, C.A.V. **Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance**. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

SILVA, A.E.O.; SOUZA, L.M.; SILVA, M.C.; BARRETO, L.P. Análise do crescimento e acúmulo de elementos minerais na alface sob efeito de fontes e doses de nitrogênio. **X Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão - JEPEX 2010 - UFRPE**: Recife, out. 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 722p.

Juliana Carange Tischer

Graduanda do sétimo período do curso de Bacharelado em Ciências Biológicas do Centro Universitário Hemínio Ometto - Uniararas, Araras, SP.

Marcos Siqueira Neto

Engenheiro Agrônomo pela UFSCar (1999), mestrado e doutorado em Ciências pelo CENA/USP (2003/2006) e Pós-doutorado em Energia Nuclear na Agricultura CENA/USP (2010). Atualmente é professor do Centro Universitário Anhanguera. Atua na área Agronômica, principalmente aos temas ligados ao meio ambiente, mudanças climáticas manejo de solo e água.