

Teor e acúmulo de nutrientes pelo meloeiro rendilhado cultivado com potássio e CO₂ na água de irrigação

Cristiaini Kano ^{1*}

Quirino Augusto de Camargo Carmello ²

José Antonio Frizzone ³

Silvana da Silva Cardoso ⁴

Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus – AM, Brasil

² USP/Esalq, Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, Piracicaba – SP, Brasil

³ USP/Esalq, Departamento de Engenharia Rural, Piracicaba – SP, Brasil

⁴ Instituto Federal de Ensino, Ciência e Tecnologia Baiano, Teixeira de Freitas – BA, Brasil

*Autor para correspondência

cristiaini.kano@embrapa.br

Submetido em 22/10/2012

Aceito para publicação em 10/06/2013

Resumo

Objetivou-se avaliar a influência da utilização de água carbonatada e de doses de potássio no teor e no acúmulo de nutrientes pelo meloeiro rendilhado. O experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Engenharia Rural pertencente à ESALQ/USP, em Piracicaba-SP. Utilizaram-se duas casas de vegetação, nas quais foram aplicadas quatro doses de potássio (50; 150; 300 e 600 kg.ha⁻¹ de K₂O) via água de irrigação por gotejamento. Somente em uma das casas de vegetação foram aplicados 301,8 kg.ha⁻¹ de CO₂ via água de irrigação, porém, de forma separada da aplicação de potássio. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados em esquema fatorial com quatro repetições, totalizando 32 parcelas, sendo cada parcela formada por 13 plantas. Os dados do teor de nutrientes em cada época e o acúmulo de nutrientes no final do ciclo foram submetidos à análise de variância e, em caso de efeito significativo, utilizou-se a análise de regressão para verificar o efeito de doses de potássio e o teste de Tukey para comparar o efeito da utilização de CO₂. Constatou-se que a aplicação de CO₂ diminuiu o acúmulo de potássio e magnésio e, em geral, ocasionou aumento no teor de macronutrientes das plantas. Quanto aos micronutrientes, houve aumento do acúmulo de zinco na parte aérea do meloeiro e o teor de manganês e zinco foi maior em todas as partes das plantas que receberam CO₂ na água de irrigação.

Palavras-chave: Água carbonatada; *Cucumis melo* var. *reticulatus* Naud.; Cultivo protegido

Abstract

Nutrients' content and accumulation by net melon plant cultivated with potassium and CO₂ in the irrigation water. This paper aimed to evaluate the influence of carbonated water use and potassium doses on the nutrients' content and accumulation by net melon plant. The experiment was conducted at the experimental area of the Department of Agricultural Engineering of ESALQ/USP, in Piracicaba, Sao Paulo, Brazil. Two greenhouses were used, where one applied four potassium doses (50; 150; 300; and 600 kg.ha⁻¹ of K₂O) through drip irrigation water. Only in one of the greenhouses 301.8 kg.ha⁻¹ of CO₂ were applied through irrigation water, however, in a

separate way from the potassium application. The experimental design adopted was that of randomized blocks in a factorial scheme with 4 replications, totaling 32 plots, each of them consisting of 13 plants. Data on the nutrients' content at each time and the nutrients' accumulation at the cycle end underwent variance analysis and, in case of a significant effect, the regression analysis was used to check the effect of potassium doses and Tukey's test for comparing the effect of using CO₂. One found out that CO₂ application decreased the potassium and magnesium accumulation and, in general, caused an increase in the plants' macronutrient content. Regarding the micronutrients, there was an increase in zinc accumulation at the melon plant's shoot and the manganese and zinc content was higher in all the plant parts which received CO₂ in the irrigation water.

Key words: Carbonated water; *Cucumis melo* var. *reticulatus* Naud.; Greenhouse crop

Introdução

Entre as culturas conduzidas em ambiente protegido, destaca-se o meloeiro rendilhado (*Cucumis melo* var. *reticulatus* Naud.) que, por apresentar maior valor comercial, como consequência de seu aroma e sabor característicos, tem sido uma opção de plantio.

Existem grandes diferenças de comportamento de espécies vegetais e até mesmo de cultivares dentro das mesmas espécies na exigência pelos nutrientes, com isso, o conhecimento do conteúdo de nutrientes nas plantas torna-se muito importante, pois, os nutrientes são fundamentais para o crescimento e desenvolvimento das plantas, agindo como constituintes das paredes celulares, membranas celulares e enzimas além de atuarem como ativadores de enzimas e na fotossíntese (MALAVOLTA et al., 1997; KIRKBY; RÖMHELD, 2007).

A técnica de utilização de dióxido de carbono (CO₂) na água de irrigação (água carbonatada) foi estudada em algumas hortaliças com sucesso, verificando-se aumento de produtividade, além de promover alterações na absorção de nutrientes, sendo o custo de adoção pequeno em relação ao custo total de produção. Os trabalhos com a utilização dessa técnica são escassos, destacando-se os desenvolvidos em hortaliças-fruto por Pinto (1997), Cararo e Duarte (2002), Carneiro Filho (2004), Araújo e Botrel (2010) e Paula et al. (2011), que obtiveram aumentos da produtividade de melão, tomate, abobrinha e pimenta tabasco, respectivamente.

Alguns benefícios da utilização da água carbonatada no desenvolvimento das plantas têm sido estudados, destacando-se o fato de que o aumento da concentração de CO₂ no ar do solo pode causar o aumento na concentração de íons hidrogênio com abaixamento

relativamente temporário do pH da solução do solo, podendo aumentar a disponibilidade de alguns nutrientes às plantas (BASILE et al., 1993), promovendo a absorção de nutrientes (NOVERO et al., 1991), favorecendo o desenvolvimento de certos microrganismos benéficos no solo, aumentando a resistência das plantas aos estresses hídricos (MOORE, 1990).

O CO₂ quando dissolvido em água na forma de CO₂ torna-se ácido carbônico não dissociado (H₂CO₃). No solo, o dióxido de carbono pode combinar-se com os íons hidrogênio (H⁺) da solução do solo, para formar ácido carbônico (H₂CO₃) ou com os cátions, podendo produzir carbonatos e bicarbonatos de cálcio, potássio e magnésio (SMITH et al., 1991; PARKER; NORVELL, 1999).

Dois mecanismos possíveis podem ser considerados para aumentar a absorção dos nutrientes: primeiro, a disponibilidade de certos nutrientes pode aumentar devido ao abaixamento do pH do solo, ocasionado pela aplicação do CO₂ via água de irrigação, e segundo, o CO₂ pode induzir um aumento do crescimento de raízes, agindo de forma semelhante a um fitormônio, num equilíbrio competitivo, com a concentração de etileno no ar do solo (CHAUDHURI et al., 1990; NOVERO et al., 1991).

Enriquecendo a água de irrigação com CO₂ na cultura do pepino, Ibrahim (1992) encontrou maiores concentrações de fósforo na planta e maior produtividade de frutos. Em híbridos de tomate, Carneiro Filho (2004) verificou que os teores de nutrientes foram alterados devido à aplicação de água carbonatada, principalmente o teor de potássio.

Prabhakar et al. (1985) verificaram que o meloeiro foi exigente em potássio, nutriente responsável pela

translocação de carboidratos para os frutos e importante na participação na produção e no sabor dos frutos.

D'Albuquerque Junior et al. (2007) estudaram o efeito da aplicação de CO_2 na água de irrigação em diferentes fases fenológicas da cultura do meloeiro rendilhado cultivado em ambiente protegido e observaram que a aplicação de CO_2 via água de irrigação nos estádios de frutificação e florescimento proporcionou aumento na produtividade de 17 e 18% em relação ao tratamento testemunha (sem CO_2).

Quanto ao efeito do CO_2 no estado nutricional do meloeiro rendilhado, não foram encontrados resultados para as condições brasileiras, evidenciando a importância da avaliação do efeito dessa técnica nesse híbrido, o qual tem destaque nas condições brasileiras.

Assim, objetivou-se avaliar o teor e o acúmulo de nutrientes pelo meloeiro rendilhado, em função de doses de potássio e da utilização de CO_2 via água de irrigação.

Material e Métodos

Esse trabalho foi conduzido em casa de vegetação da área experimental do Departamento de Engenharia Rural, pertencente à Universidade de São Paulo/Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (USP/ESALQ) em Piracicaba/SP, latitude sul de 22°42'30", longitude oeste de 47°38'00" e altitude de 580 m.

Foram utilizadas duas casas de vegetação sendo uma sem adição de CO_2 na água de irrigação e outra com adição. Em cada casa de vegetação, seis canteiros de plantas foram construídos no sentido longitudinal; as bordaduras foram constituídas pelos dois canteiros externos e cada canteiro foi servido por uma linha para irrigação e outra para fertirrigação.

O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados em esquema fatorial (dois sistemas de cultivo x quatro doses de potássio) com quatro repetições, totalizando 32 parcelas. Os dois sistemas de cultivo avaliados foram: convencional (sem adição de CO_2 na água de irrigação) e convencional + CO_2 (com adição de CO_2 na água de irrigação) e as quatro doses de potássio avaliadas foram: 50; 150; 300 e 600 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de K_2O . As parcelas foram constituídas por 13 plantas.

As duas casas de vegetação em arco apresentavam as dimensões de 17,5 m de comprimento, largura de 7 m e pé-direito de 3 m, e os arcos, na sua parte mais alta, atingiam a altura de 4,7 m. Sob cada arco tinham duas janelas para liberar o ar quente que acumulava no alto da casa de vegetação. O teto foi coberto com filme de polietileno transparente com 150 μ de espessura.

O solo utilizado no experimento foi o Latossolo Vermelho Amarelo distrófico típico (SANTOS et al., 2006). As análises químicas do solo indicaram os seguintes resultados: $\text{pH}(\text{CaCl}_2)=4,6$; $\text{P}_{\text{resina}}=4,0 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$; matéria orgânica= $13,8 \text{ g}\cdot\text{dm}^{-3}$; os valores de H+Al; K; Ca e Mg expressos em $\text{mmol}\cdot\text{dm}^{-3}$ foram respectivamente: 27,8; 0,9; 7,5; 3,3 e os valores de SB, CTC e V expressos em % foram respectivamente, 11,9; 39,7 e 30. A análise física do solo indicou 152,3; 86,7 e 761 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ de argila, silte e areia, respectivamente.

Com base na análise química do solo, procedeu-se à correção da acidez do mesmo com a utilização de calcário dolomítico (PRNT 67%), 60 dias antes do transplântio, seguindo-se a recomendação de calagem sugerida por Raij et al. (1996), para elevar a saturação por bases a 80% e o teor de Mg a 9 $\text{mmol}\cdot\text{dm}^{-3}$.

Decorridos 30 dias da calagem e 30 dias antes do transplântio das mudas, foi feita a adubação de plantio, aplicando-se uma dose de 240 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de P_2O_5 na forma de termofosfato Yoorin Master® e 30 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de esterco bovino curtido conforme Raij et al. (1996) para o meloeiro.

As mudas de meloeiro rendilhado híbrido Bônus nº 2 foram preparadas em bandejas de poliestireno expandido com 128 células preenchidas com substrato comercial colocando-se uma semente por célula e posteriormente foram transplantadas (aos 19 dias após a semeadura) no espaçamento de 0,30 x 1,10 m.

As plantas foram conduzidas com uma haste e tutoradas na vertical. A desbrota foi feita até o 11º nó do caule, deixando-se os demais brotos laterais com três folhas até a planta atingir o último fio de arame, quando foi feita a poda apical. Como o cultivo foi conduzido em ambiente fechado, procedeu-se à polinização manual por 15 dias consecutivos a partir do surgimento das primeiras flores femininas, aos 40 dias após o transplante (DAT).

O controle fitossanitário foi feito com base nas recomendações técnicas (SILVA et al., 2000), por meio das aplicações preventivas e de controle, com produtos defensivos químicos e naturais sempre que necessário. As plantas daninhas foram controladas aos 30 DAT por meio de capina manual.

O sistema de irrigação utilizado foi por gotejamento e a frequência de irrigação foi de dois dias com a quantidade de água aplicada calculada em função do potencial mátrico da água no solo no momento da irrigação. Procurou-se manter a tensão de água no solo entre 10 e 15 kPa, conforme sugerido por Carrijo et al. (1999).

A cada fertirrigação aplicava-se apenas água até que as linhas de um mesmo tratamento de potássio ficassem pressurizadas e em seguida injetava-se, com uma bomba centrífuga (0,5 CV) um volume conhecido de calda fertilizante, a partir de um reservatório específico, de onde a calda era succionada e distribuída para as linhas de gotejadores (uma em cada casa de vegetação). A fertirrigação foi realizada de modo a possibilitar uma aplicação sequenciada e independente dos tratamentos de potássio. A aplicação de fertilizantes foi iniciada no 4º DAT, com frequência de quatro dias, totalizando 19 fertirrigações realizadas até o 76º DAT. Durante o ciclo da cultura foram aplicados 200 kg.ha⁻¹ de N em cobertura, na forma de nitrato de potássio e nitrato de amônio até 64º DAT em todas as parcelas.

A definição do parcelamento das doses de potássio e de nitrogênio ao longo do ciclo do meloeiro foi baseada na marcha de absorção de nutrientes apresentada por Silva et al. (2000) e as doses de potássio utilizadas foram baseadas na literatura referente a essa cultura e ao trabalho de Vivancos (1993), que cita a recomendação de 200 a 450 kg.ha⁻¹ de K₂O.

A aplicação de CO₂ foi realizada entre às 9 h 30 e às 11 h 30 apenas em uma das casas de vegetação, pois na outra foi mantido o nível atmosférico de CO₂. A aplicação de CO₂ foi realizada junto com a água de irrigação, a cada dois dias, tendo por base a concentração na atmosfera definida inicialmente: 0 e 800 µmol.mol⁻¹ de CO₂, que correspondeu a acréscimos de 0 e 435 µmol.mol⁻¹ de CO₂ na atmosfera. Essas concentrações foram estabelecidas considerando-se o ar como alvo.

Em decorrência do resultado do trabalho desenvolvido por Gomes et al. (2005), que demonstrou ser inviável considerar-se o ar como alvo para aplicação de CO₂ via água de irrigação, essas concentrações foram transformadas para kg de CO₂ por hectare, visando-se o solo como alvo.

O sistema de aplicação de CO₂ era composto por um cilindro de 5 kg de CO₂, uma válvula reguladora de pressão, um manômetro, um fluxômetro (medidor de vazão), conexões de cobre e tubos de polietileno tipo cristal trançado de alta resistência à pressão. Como a pressão de injeção do CO₂ do cilindro (≅ 50 kPa) na rede de irrigação era superior à do sistema de irrigação de cada casa de vegetação (≅ 10 kPa), o CO₂ foi injetado diretamente nas linhas de irrigação da casa de vegetação que recebeu o tratamento com CO₂. Após o ponto de injeção do CO₂, foi instalado um hidrômetro, que além de medir o volume de água aplicado, auxiliou na mistura do CO₂ com a água de irrigação.

A aplicação do CO₂ via água de irrigação foi iniciada no 14º DAT, quando as mudas já estavam estabelecidas, e terminou 15 dias antes da colheita. A vazão e a dose do CO₂ foram calculadas em função da concentração de CO₂ desejada na água de irrigação, visando-se manter a concentração do gás constante na água, durante cada irrigação. Com base nesses cálculos, foi definida a dose de CO₂: 8,52 kg.ha⁻¹. A quantidade total de CO₂ aplicada durante o ciclo do melão foi de 301,8 kg.ha⁻¹.

Para avaliar o teor de nutrientes, foram definidas seis épocas de coleta das plantas: a) no dia do transplante das mudas (0 DAT); b) no desenvolvimento vegetativo (15 DAT); c) no início do florescimento (20 DAT); d) no início da frutificação (52 DAT); e) no meio da frutificação (72 DAT) e f) no início da colheita dos frutos (97 DAT).

Nas épocas 0 e 15 DAT analisou-se a planta inteira, e a partir de 20 DAT a planta foi subdividida em folhas, caule e ramos. Aos 52 DAT, as flores e frutos também foram subdivididos.

As amostras foram levadas para o Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da USP/ESALQ, sendo devidamente lavadas, secas, moídas e analisadas conforme metodologia de Sarruge e Haag (1974). As

análises químicas para a determinação dos teores de nutrientes presentes em cada órgão das plantas foram feitas nos extratos obtidos pela digestão sulfúrica (nitrogênio), nítrico-perclórica (fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, ferro, manganês e zinco) e por via seca para a determinação de boro.

Depois de secas, realizou-se a determinação em balança analítica da massa de material seco de caule e ramos, folhas, flores e frutos.

A partir das análises, foram obtidos os teores totais de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre em (g.kg^{-1}) e de boro, cobre, ferro, manganês e zinco em (mg.kg^{-1} de massa seca) em cada época.

A quantidade dos nutrientes acumulados no final do ciclo (aos 97 DAT) pela planta foi obtida pela somatória dos valores resultantes da multiplicação da massa seca de cada parte da planta com o teor de cada nutriente do referente órgão (amostra), obtendo-se os dados de acúmulo de macronutrientes em mg.planta^{-1} e os de micronutrientes em $\mu\text{g.planta}^{-1}$.

Os dados obtidos de teor de nutrientes em cada época e de acúmulo de nutrientes no final do ciclo foram submetidos à análise de variância e em caso de efeito significativo, de acordo com o teste F para tratamentos, utilizou-se a análise de regressão para verificar o efeito das doses de potássio e o teste de Tukey para comparar o efeito da utilização do CO_2 por meio do *software Sisvar* (FERREIRA, 2000).

Resultados e Discussão

Durante todo o ciclo da cultura, a média da temperatura mínima, máxima e média foi de 17,1; 31,2 e 23,1°C, com uma média da umidade relativa do ar de 74%; estas temperaturas observadas são consideradas ideais para o desenvolvimento do meloeiro.

Na época da colheita dos frutos (97 DAT), a ordem decrescente do acúmulo de macronutrientes pela parte aérea do meloeiro rendilhado, tanto com e sem a utilização de CO_2 na água de irrigação, foi a seguinte: $\text{K} > \text{N} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{S} > \text{P}$. Essa ordem de extração foi a mesma encontrada por Belfort et al. (1986) e Rincón Sánchez et al. (1998). O menor acúmulo de fósforo seguiu o mesmo resultado obtido por Tyler e Lorenz (1964), no entanto, esses autores verificaram, durante todo o ciclo, que o nitrogênio foi o macronutriente mais extraído, seguido pelo potássio. Esse maior acúmulo de potássio pode ser explicado devido ao fato desse nutriente ser responsável pela translocação de carboidratos para os frutos, com importante participação na produção e na qualidade dos frutos (Prabhakar et al., 1985).

Tanto a adição de CO_2 como as doses de potássio não proporcionaram efeitos significativos, no acúmulo de nutrientes, com exceção de potássio e magnésio (Tabela 1). Pinto (1997) não obteve, também, diferenças nas concentrações de nutrientes nas folhas do meloeiro

TABELA 1: Média do acúmulo de macronutrientes (mg.planta^{-1}) e de micronutrientes ($\mu\text{g.planta}^{-1}$) pela parte aérea do meloeiro no sistema de cultivo convencional (sem CO_2) e no sistema convencional com adição de CO_2 (com CO_2) na água de irrigação aos 97 dias após o transplante.

Acúmulo	Sistema de cultivo	
	Convencional	Convencional + CO_2
Nitrogênio	5.535,40 a	6.147,40 a
Fósforo	802,22 a	794,25 a
Potássio	7.205,20 a	5.404,70 b
Cálcio	5.310,60 a	5.271,70 a
Magnésio	1.929,79 a	1.715,48 b
Enxofre	1.369,13 a	1.352,44 a
Boro	6.272 a	6.172 a
Cobre	9.404 a	7.177 a
Ferro	58.082 a	60.313 a
Manganês	25.280 a	26.809 a
Zinco	10.956 b	12.117 a

Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

em relação à testemunha. Storlie e Heckman (1996) também verificaram que não houve diferença na concentração de macronutrientes, em plantas de pimentão cultivadas com a utilização de CO₂ na água de irrigação.

Para o potássio, não houve interação significativa entre as doses de potássio e os sistemas de cultivo (com e sem utilização de CO₂). No entanto, a utilização da água carbonatada promoveu diminuição ($P < 0,05$), independente da dose de potássio, no acúmulo desse nutriente pela parte aérea na colheita (Tabela 1), resultado diferente do obtido por Novero et al. (1991), Ibrahim (1992), Gomes et al. (2005) e Araújo e Botrel (2010), que obtiveram aumentos nas concentrações de potássio nas plantas que receberam CO₂ aplicado na água de irrigação. Nos dois experimentos, o maior acúmulo de potássio ocorreu na dose de 600 kg.ha⁻¹ ajustado por um modelo linear ($y = 4959,94 + 4,89x$; $R^2 = 0,40^{**}$).

Para o magnésio, a concentração de CO₂ utilizada na água de irrigação ocasionou uma diminuição ($P < 0,05$) no acúmulo, em relação ao cultivo sem utilização de CO₂ (Tabela 1), resultado esse, diferente do encontrado por Arteca et al. (1979) e por Ibrahim (1992) que verificaram aumentos da concentração desse nutriente em plantas de batata e de pepino, respectivamente, cultivadas com enriquecimento de CO₂ na água de irrigação. Não houve efeito significativo de doses de potássio, bem como a interação não foi significativa.

A ordem decrescente do acúmulo de micronutrientes, nos dois sistemas utilizados (com e sem utilização de CO₂) foi a seguinte: Fe > Mn > Zn > Cu ~ B. Com exceção do boro, estes resultados seguem a mesma sequência obtida por Canato et al. (2001). O maior acúmulo de ferro e o menor de boro também são semelhantes aos de Belfort et al. (1986). Neste caso, o acúmulo de cobre foi menor que o acúmulo de manganês e de zinco, enquanto que este autor observou maior acúmulo de cobre do que manganês e zinco.

Na colheita, tanto a adição de CO₂ quanto as doses de potássio não ocasionaram efeitos significativos, no acúmulo de micronutrientes, com exceção de zinco (Tabela 1). Analogamente, Pinto (1997) não obteve

diferenças nas concentrações de nutrientes nas folhas do meloeiro em relação à testemunha, com exceção do boro, onde o valor foi superior ao da testemunha. Storlie e Heckman (1996) também verificaram que não houve diferença na concentração de micronutrientes, em plantas de pimentão cultivadas com a utilização de CO₂ na água de irrigação.

Conforme Malavolta et al. (1997) e Parker e Norvell (1999), o CO₂ quando dissolvido em água na forma de CO₂ torna-se ácido carbônico não dissociado (H₂CO₃). No solo, o ácido carbônico (H₂CO₃) dissocia em H⁺ e HCO₃⁻. A transformação do HCO₃⁻ em CO₂ e H₂O necessita da enzima anidrase carbônica a qual o zinco é constituinte. Com isso, provavelmente explicaria o maior acúmulo de zinco em plantas cultivadas com adição de CO₂ na água de irrigação.

Quanto ao acúmulo de zinco ocorreu aumento ($P < 0,05$) em relação ao cultivo convencional (Tabela 1), resultado semelhante ao obtido por Novero et al. (1991), Ibrahim (1992) e Stoffella et al. (1995), respectivamente em plantas de tomate, pepino e em mudas de citros. Provavelmente, este aumento na absorção de zinco pelas plantas pode ser atribuído ao abaixamento do pH do solo ocasionado pela água carbonatada e o maior crescimento das raízes, ocasionado pelo CO₂. Não houve efeito significativo de doses de potássio, bem como a interação não foi significativa.

Nas épocas 0 e 15 DAT, as mudas e as plantas não tiveram influência da aplicação de CO₂ e os teores médios encontrados na parte aérea das mudas foram de 26,0; 7,0; 32,7; 11,3; 5,6 e 7,1 g kg⁻¹ de N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente. Na parte aérea das plantas, no desenvolvimento vegetativo, os teores foram de 45,1; 4,7; 30,8; 27,5; 9,6 e 4,4 g kg⁻¹ de N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente. A não diferença entre os sistemas de cultivo já era de se esperar nessas duas épocas, pois a aplicação de CO₂ foi iniciada aos 14 DAT.

Observando os teores de macronutrientes nas diferentes partes da planta (Tabela 2) se nota que, de modo geral, o de nitrogênio, cálcio e magnésio, em todas as partes da planta foi maior nas plantas cultivadas com aplicação adicional de CO₂. Para Moore (1990), o ácido carbônico adicionado reagir com o carbonato de cálcio

do solo, transformando o cálcio em uma forma mais solúvel e prontamente disponível à planta.

O teor de fósforo no caule e ramos não diferiu entre as plantas cultivadas com e sem CO₂. Nas folhas e nos frutos e flores, o teor foi maior nas plantas cultivadas com CO₂.

TABELA 2: Média do teor (g.kg⁻¹) de macronutrientes nas diferentes partes da planta obtidas aos 20, 52, 72 e aos 97 dias após o transplantio.

Parte da planta	Teor (g.kg ⁻¹)	CO ₂	Dias após transplantio (DAT)			
			20	52	72	97
Folhas	N	Sem	45,2 a	31,2 a	28,9 a	18,9 a
		Com	45,9 a	37,3 b	29,4 a	20,8 b
Caule e ramos	N	Sem	30,4 a	15,9 a	13,1 a	11,1 a
		Com	34,2 b	18,9 b	14,4 b	13,8 b
Frutos e flores	N	Sem	-----	28,6 a	19,9 a	18,9 a
		Com	-----	39,6 b	24,6 b	23,2 b
Folhas	P	Sem	4,4 a	2,9 a	2,5 a	2,1 a
		Com	4,4 a	3,2 b	2,7 a	2,4 b
Caule e ramos	P	Sem	5,3 a	3,5 a	2,2 a	1,6 a
		Com	4,6 a	3,1 a	2,1 a	1,6 a
Frutos e flores	P	Sem	-----	5,1 a	3,7 a	3,1 a
		Com	-----	6,6 b	4,2 b	3,2 a
Folhas	K	Sem	38,8 a	33,4 a	35,4 b	24,9 b
		Com	36,9 a	34,3 a	28,9 a	20,5 a
Caule e ramos	K	Sem	72,4 b	50,1 b	37,0 a	43,5 b
		Com	55,9 a	42,1 a	40,8 b	31,7 a
Frutos e flores	K	Sem	-----	20,2 a	26,7 a	17,3 a
		Com	-----	42,8 b	28,8 a	14,9 a
Folhas	Ca	Sem	28,0 a	34,5 a	43,9 a	44,5 a
		Com	31,9 a	38,0 b	42,5 a	44,6 a
Caule e ramos	Ca	Sem	4,9 a	6,5 a	8,4 a	11,1 a
		Com	6,3 b	7,3 a	9,2 a	13,9 b
Frutos e flores	Ca	Sem	-----	7,9 a	3,6 a	1,4 a
		Com	-----	12,2 b	3,8 a	1,7 b
Folhas	Mg	Sem	11,0 a	9,0 a	10,6 a	12,5 a
		Com	13,5 b	9,8 b	10,5 a	11,4 a
Caule e ramos	Mg	Sem	4,2 a	4,2 a	3,8 a	5,2 a
		Com	4,7 a	4,6 b	5,0 b	5,0 a
Frutos e flores	Mg	Sem	-----	4,9 a	2,6 a	2,6 a
		Com	-----	5,9 a	3,4 b	2,5 a
Folhas	S	Sem	5,5 a	7,5 a	9,1 b	8,6 a
		Com	5,1 a	8,5 a	8,3 a	8,3 a
Caule e ramos	S	Sem	4,1 a	2,7 a	3,9 b	5,0 a
		Com	4,1 a	2,7 a	3,5 a	5,1 a
Frutos e flores	S	Sem	-----	3,4 a	1,9 a	1,6 a
		Com	-----	5,1 b	2,3 b	2,2 b

Médias seguidas por letras diferentes, na coluna, diferem entre si (Tukey a 5% de probabilidade).

Para potássio e enxofre, o teor foi maior nas folhas e no caule e ramos das plantas cultivadas sem CO₂. Já nos frutos e flores, o teor desses nutrientes foi maior nas plantas cultivadas com adição de CO₂ na água de irrigação.

Carneiro Filho (2004) e Cañizares et al. (2005) ao avaliarem a influência da água carbonatada no teor de nutrientes verificaram apenas alteração no teor de potássio em plantas de tomate e de potássio, cálcio, magnésio e enxofre em plantas de pepino, respectivamente.

Quanto aos micronutrientes, nas épocas 0 e 15 DAT, as mudas e as plantas não tiveram influência da aplicação de CO₂ e os teores médios encontrados na parte aérea das mudas foram de 133,6; 4,2; 146,2; 47,2 e 77,9 mg.kg⁻¹ de B, Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente. Na parte aérea das plantas no desenvolvimento vegetativo os teores foram de 38,6; 8,1; 126,4; 241,5 e 86,6 mg.kg⁻¹ de B, Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente, coincidindo com os teores de macronutrientes nessas épocas conforme explicado anteriormente.

Quanto aos teores de micronutrientes nas diferentes partes das plantas, observa-se na Tabela 3 que nos frutos

TABELA 3: Médias do teor (mg.kg⁻¹) de micronutrientes nas diferentes partes da planta obtidas aos 20, 52, 72 e aos 97 dias após o transplante.

Parte da planta	Teor (mg.kg ⁻¹)	CO ₂	Dias após transplante (DAT)			
			20	52	72	97
Folhas	B	Sem	32,1 b	32,4 a	29,2 b	27,9 a
		Com	26,2 a	29,9 a	24,6 a	28,3 a
Caule e ramos	B	Sem	31,5 a	27,2 a	28,1 a	31,8 a
		Com	27,2 a	28,1 a	30,1 a	34,4 a
Frutos e flores	B	Sem	-----	36,7 a	24,1 a	17,7 a
		Com	-----	34,8 a	29,4 b	18,9 a
Folhas	Cu	Sem	20,8 a	20,9 b	33,6 a	22,2 a
		Com	12,7 a	15,4 a	19,5 a	15,8 a
Caule e ramos	Cu	Sem	50,8 b	14,0 b	12,6 a	11,1 b
		Com	21,1 a	12,1 a	12,7 a	8,1 a
Frutos e flores	Cu	Sem	-----	15,7 a	9,1 a	9,9 a
		Com	-----	18,6 b	12,4 b	9,5 a
Folhas	Fe	Sem	255,2 b	221,3 a	309,5 b	462,1 a
		Com	140,7 a	220,2 a	275,1 a	483,6 a
Caule e ramos	Fe	Sem	80,4 a	72,3 a	75,8 a	125,7 b
		Com	121,9 a	97,9 b	81,8 a	101,2 a
Frutos e flores	Fe	Sem	-----	130,3 a	58,9 a	58,5 a
		Com	-----	198,3 b	82,4 b	64,3 a
Folhas	Mn	Sem	180,3 a	121,0 a	161,5 a	203,5 a
		Com	213,2 b	124,0 a	189,8 b	224,9 a
Caule e ramos	Mn	Sem	33,8 a	22,9 a	29,9 a	54,1 a
		Com	53,5 b	20,9 a	37,9 b	47,2 a
Frutos e flores	Mn	Sem	-----	33,6 a	22,6 a	15,1 a
		Com	-----	50,1 b	28,7 b	16,9 a
Folhas	Zn	Sem	73,0 a	54,1 a	52,8 a	41,5 a
		Com	71,7 a	51,3 a	55,7 a	50,7 b
Caule e ramos	Zn	Sem	40,0 a	41,8 a	26,5 a	20,6 a
		Com	39,6 a	42,8 a	34,5 b	25,7 a
Frutos e flores	Zn	Sem	-----	50,6 a	36,6 a	35,5 a
		Com	-----	55,3 b	46,7 b	39,9 b

Médias seguidas por letras diferentes, na coluna, diferem entre si (Tukey a 5% de probabilidade).

e flores, os teores de todos os micronutrientes foram maiores nas plantas cultivadas com CO₂ na água de irrigação. Isso provavelmente seja devido ao fato já também constatado por Novero et al. (1991) e Basile et al. (1993) em que a aplicação do CO₂ via água de irrigação ocasionou uma redução momentânea do pH do solo resultando em aumento da disponibilidade da maioria dos micronutrientes.

Cañizares et al. (2005), ao avaliarem a influência da água carbonatada no teor de nutrientes em plantas de pepino, verificaram apenas alteração no teor de zinco.

De um modo geral, a alteração no teor de macronutrientes nas diferentes partes da planta foi mais nítida a partir dos 52 DAT (início da frutificação). Quanto aos micronutrientes, nas folhas, o teor de boro, cobre e ferro foi maior nas plantas em que não receberam CO₂, enquanto que o teor de manganês e zinco foi maior em todas as partes das plantas que receberam CO₂ na água de irrigação.

No final do ciclo, a água carbonatada ocasionou diminuição do acúmulo de potássio e magnésio na parte aérea do meloeiro e as plantas cultivadas com água carbonatada apresentaram maior teor de macronutrientes. Para os micronutrientes, a água carbonatada ocasionou aumento do acúmulo de zinco na parte aérea do meloeiro e o teor de manganês e zinco foi maior em todas as partes das plantas que receberam CO₂ na água de irrigação.

Agradecimentos

À FAPESP pelo auxílio financeiro e à CAPES pela concessão das bolsas de mestrado e doutorado para a primeira e última autora, respectivamente.

Referências

ARAÚJO, W. F.; BOTREL, T. A. Influência do CO₂ via água de irrigação e da cobertura plástica no solo na abobrinha. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 2, p. 216-221, 2010.

ARTECA, R. N.; POOVAIAH, B. W.; SMITH, O. E. Changes in carbon fixation, tuberization and growth induced by CO₂ application to the root zone of potato plants. **Science**, New York, n. 205, p. 1279-1280, 1979.

BASILE, G.; ARIENZO, M.; ZENA, A. Soil nutrient mobility in response to irrigation with carbon dioxide enriched water.

Communications in Soil Science and Plant Analysis, Athens, v. 11/12, n. 24, p. 1183-1195, 1993.

BELFORT, C. C.; HAAG, H. P.; MATSUMOTO, T.; CARMELLO, Q. A. C.; SANTOS, J. W. C. Nutrição mineral de hortaliças LXX. Acumulação de matéria seca e recrutamento de macronutrientes pelo melão (*Cucumis melo* L. cv. Valenciano Amarelo CAC) cultivado em Latossolo Vermelho Amarelo em Presidente Venceslau, SP. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v. XLIII, p. 159-218, 1986.

CANATO, G. H. D.; BARBOSA, J. C.; CECÍLIO FILHO, A. B. Acúmulo de macro e micronutrientes em melão rendilhado cultivado em estufa. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 2, jul. 2001. Suplemento. CD-ROM.

CAÑIZARES, K. A. L.; RODRIGUES, J. D.; GOTO, R.; VILLAS BÔAS, R. L. Influência da irrigação com água enriquecida com dióxido de carbono e da enxertia sobre o estado nutricional de plantas de pepino. **Horticultura Brasileira**, Campinas, v. 23, n. 1, p. 9-14, 2005.

CARARO, D. C.; DUARTE, S. N. Injeção de CO₂ e lâminas de irrigação em tomateiro sob estufa. **Horticultura Brasileira**, Campinas, v. 20, n. 3, p. 432-437, 2002.

CARNEIRO FILHO, A. G. **Teor de nutrientes e produtividade em híbridos de tomateiro em função de doses de CO₂ aplicadas via água de irrigação**. 2004. 79 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 2004.

CARRIJO, O. A.; MAROUELLI, W. A.; SILVA, H. R. Manejo da água na produção de hortaliças em cultivo protegido. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, n. 200/201, p. 45-51, 1999.

CHAUDHURI, U. N.; KIRKHAM, M. B.; KANEMASU, E. T. Root growth of winter wheat under elevated carbon dioxide and drought. **Crop Science**, Madison, v. 30, p. 853-857, 1990.

D'ALBUQUERQUE JÚNIOR, B. S.; FRIZZONE, J.; DUARTE, S. N.; MINGOTI, R.; DIAS, N. da S.; SOUSA, V. F. de Qualidade física e química de frutos de meloeiro rendilhado cultivado sob diferentes épocas de aplicação de CO₂ via água de irrigação. **Irriga**, Botucatu, v. 12, n. 3, p. 273-280, 2007.

FERREIRA, D. F. **Manual do sistema Sisvar para análises estatísticas**. Lavras: UFLA, 2000. 66 p.

GOMES, T. M.; BOTREL, T. A.; MODOLO, V. A.; OLIVEIRA, R. F. Aplicação de CO₂ via água de irrigação na cultura da alface. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 2, p. 316-319, 2005.

IBRAHIM, A. Response of plant to irrigation with CO₂ enriched water. **Acta Horticulturae**, Leuven, n. 323, p. 205-214, 1992.

KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 118, p. 1-24, 2007.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas, princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba: Potafós, 1997. 319 p.

MOORE, F. D. Potential for irrigation with carbon dioxide. **Acta Horticulturae**, Leuven, n. 278, p. 171-178, 1990.

NOVERO, R.; SMITH, D. H.; MOORE, F. D.; SHANAHAN, J. F.; D'ANDRIA, R. Field-grown tomato response to carbonated water application. **Agronomy Journal**, Madison, v. 83, p. 911-916, 1991.

- PARKER, D. R.; NORVELL, W. A. Advances in solution culture methods for plant mineral nutrition research. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 65, p. 151-203, 1999.
- PAULA, F. L. M. de; FRIZZONE, J. A.; PAULA, A. L. de; DIAS, C. T. S.; SOARES, T. M. Produção de pimenta tabasco com aplicação de CO₂, utilizando-se irrigação por gotejamento. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 33, p. 133-138, 2011.
- PINTO, J. M. **Aplicação de dióxido de carbono via água de irrigação em meloeiro**. 1997. 82 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba. 1997.
- PRABHAKAR, B.S.; SRINIVAS, K.; SHUKLA, V. Yield and quality of muskmelon (cv. Hara madhu) in relation to spacing and fertilization. **Progressive Horticulture**, New Delhi, v. 17, n. 1, p. 51-55, 1985.
- RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo & Fundação IAC, 1996. 285 p.
- RINCÓN SÁNCHEZ, L.; SÁEZ SIRONI, J.; PÉREZ CRESPO, J. A.; MADRID, R. Growth and nutrient absorption by muskmelon crop under greenhouse conditions. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 458, n. 3, p. 153-159, 1998.
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.
- SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1974. 56 p.
- SILVA, H. R.; MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, R. A.; OLIVEIRA, L. A.; RODRIGUES, A. G.; SOUZA, A. F.; MAENO, P. **Cultivo do meloeiro para o norte de Minas Gerais**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2000. 22 p. (Circular Técnica, 20)
- SMITH, D. H.; MOORE, F. D.; NOVERO, R.; SHANAHN, J. F.; D'ANDRIA, R. Field-grown tomato response to carbonated water application. **Agronomy Journal**, Madison, v. 83, n. 5, p. 911-916, 1991.
- STOFFELLA, P. J.; LI, Y.; PELOSI, R. R.; HAMNER, A. M. Citrus rootstock and carbon dioxide enriched irrigation influence on seedling emergence, growth, and nutrient content. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 18, n. 7, p. 1439-1448, 1995.
- STORLIE, C. A.; HECKMAN, J. R. Soil, plant, and canopy responses to carbonated irrigation water. **HortTechnology**, Alexandria, v. 6, n. 2, p. 111-124, 1996.
- TYLER, K. B.; LORENZ, O. A. Nutrient absorption and growth of four muskmelon varieties. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 84, n. 1, p. 191-195, 1964.
- VIVANCOS, A. D. **Fertirrigación**. Madrid: Mundi-Prensa, 1993. 217 p.