

# Plantas de pimentão cultivadas em ambiente enriquecido com CO<sub>2</sub>.

## II. Produção de matéria seca

Fátima Conceição Rezende<sup>1\*</sup>, José Antonio Frizzone<sup>2</sup>, Anderson Soares Pereira<sup>3</sup> e Tarlei Arriel Botrel<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, C.P. 37, 37200-000, Lavras, Minas Gerais, Brasil.

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queróz", Universidade de São Paulo, C.P. 9, 13418-900, Piracicaba, São Paulo, Brasil. <sup>3</sup>Departamento de Ciências Exatas, Esalq/USP, Piracicaba, São Paulo, Brasil. \*Autor para correspondência. E-mail: frezende@ufia.br

**RESUMO.** O experimento foi conduzido na Esalq/USP, em Piracicaba, Estado de São Paulo, com o objetivo de estudar o efeito do aumento da concentração de CO<sub>2</sub> e do volume de água aplicado em plantas de pimentão, *Capsicum annum* L. (Solanaceae), cultivadas em vasos, em ambiente protegido. Adotou-se quatro concentrações de CO<sub>2</sub> (367, 600, 800 e 1000 μmol mol<sup>-1</sup>) aplicado diariamente, através de microtubos instalados a 3m de altura. A irrigação foi por gotejamento com um gotejador por planta, com frequência de dois dias e aplicou-se quatro volumes de água definidos pela evapotranspiração (30,89L, 40,7L, 61,86L e 82,83L), com quatro repetições. A matéria seca dos frutos, raiz, parte aérea e total da planta foi determinada após secagem em estufa ventilada, a 65°C. O aumento do volume de água aplicado e da concentração de CO<sub>2</sub> aumentou a produção de matéria seca porém, no ambiente com maior concentração de CO<sub>2</sub> a matéria seca da raiz foi menor para todos os volumes de água aplicados.

**Palavras-chave:** matéria seca, irrigação, concentração de CO<sub>2</sub>, pimentão.

**ABSTRACT. Bell pepper plants cultivated in CO<sub>2</sub> enriched environment. II: Dry matter production.** The experiment was carried out at Esalq/USP, Piracicaba/SP. The objective of this work was to study the effects of elevated CO<sub>2</sub> concentrations and water volume on pepper crops, *Capsicum annum* L. (Solanaceae), planted in pots inside plastic greenhouse. Four levels of CO<sub>2</sub> (367, 600, 800 and 1000 μmol mol<sup>-1</sup>) were applied daily through micro tubes installed at 3m high. A drip irrigation system, having one drip by plant, was used to irrigate them every other day and four water volumes (30,89L, 40,7L, 61,86L and 82,83L) with four replications were used. The fruit dry matter, root dry matter, shoot dry matter and total dry matter were analyzed. Increase of water volume and CO<sub>2</sub> concentration the dry matter production was high. Root dry matter reduced in the environment enriched with 1000 μmol mol<sup>-1</sup> for all water volume applied.

**Key words:** dry matter, irrigation, CO<sub>2</sub> concentration, pepper.

### Introdução

Desde o início da era industrial, em meados do século XIX, até a atualidade, a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera aumentou, em média, de 280 μmol . mol<sup>-1</sup> para aproximadamente 367 μmol . mol<sup>-1</sup> (Keeling e Whorf, 1999), podendo atingir 600 μmol . mol<sup>-1</sup> até meados do século XXI (Chmora e Mokronosov, 1994). Muitos experimentos conduzidos em câmaras de crescimento e casas de vegetação têm demonstrado que o enriquecimento do ambiente com CO<sub>2</sub> aumenta o crescimento e a produtividade de muitas plantas (Kimball, 1983;

Mortensen, 1987). Entretanto, devido à variabilidade de fatores ambientais, os resultados relativos ao crescimento, a alocação de biomassa, a fenologia e outros processos fisiológicos das plantas cultivadas nesses ambientes, são variáveis (Kimball, 1986). O pimentão é uma hortaliça de grande importância sócio-econômica no Brasil e no exterior e, é uma das culturas mais indicadas para ser utilizada em ambiente protegido. Nestes ambientes apenas a água da irrigação é responsável pelo suprimento das necessidades hídricas da cultura e, a preocupação dos pesquisadores é saber como o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> irá afetar a evapotranspiração da cultura e, conseqüentemente, o manejo da

irrigação. O efeito da interação entre disponibilidade de água e aumento da concentração de CO<sub>2</sub> no desenvolvimento da planta tem sido estudado por alguns pesquisadores (Sionit *et al.*, 1980; Morrison e Gifford, 1984 a,b; Tolley e Strain, 1985), porém, para o pimentão as informações disponíveis são poucas (Enoch *et al.*, 1970; Nederhoff *et al.*, 1992; Peñuelas *et al.* 1995 a,b). O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito do enriquecimento do ambiente com diferentes concentrações de CO<sub>2</sub> na produção de matéria seca de plantas de pimentão, *Capsicum annum* L. (Solanaceae), cultivado em ambiente protegido, associando-se diferentes volume de água aplicados.

### Material e métodos

O trabalho foi desenvolvido na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/USP, em Piracicaba, Estado de São Paulo. As coordenadas geográficas do local são 23°42’ de Latitude Sul, 47°38’ de Longitude Oeste, a altitude de 520 metros. Conforme classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo CWA, subtropical úmido, com verão chuvoso e inverno seco. Os dados climáticos da região apresentam temperaturas médias mensais variando de 24,8°C no verão e 17,1°C no inverno, sendo a média anual igual a 21,4°C. As chuvas são da ordem de 1278 mm anuais, ocorrendo cerca de 1000 mm de outubro a março e, 278 mm de abril a setembro (Sentelhas, 1998).

O trabalho foi conduzido em 4 estufas, instaladas no sentido leste-oeste, com cobertura em arco, tendo 8,75 m de comprimento, largura de 7,0 m e pé direito de 3,0 m. As fachadas laterais e frontais foram envolvidas com tela de citricultura. O teto foi coberto com filme plástico de polietileno de 150 micras, com tratamento anti-UV. As fachadas laterais e frontais também foram fechadas com o mesmo material e apresentavam um sistema de manivela para abrir as cortinas.

Em cada uma das quatro estufas foram colocadas duas bancadas de madeira, com 4,0 m de comprimento, 0,54 m de largura e 0,70 m de altura. O espaçamento entre as bancadas e entre as fachadas laterais da casa de vegetação foi de 2,0 m e entre as paredes frontais foi de 2,30 m. Sobre cada bancada foram colocados oito vasos com capacidade de 20 litros, espaçados de 0,50 m, com uma planta por vaso. Em uma das estufas foi colocada uma bancada de 2,0 m de comprimento, 0,54 m de largura e 0,70 m de altura, entre as duas bancadas, para colocação de 3 vasos com planta, semelhante aos demais, utilizados para o controle da irrigação.

O experimento foi composto pela combinação de dois fatores: (a) ambiente: quatro concentrações de CO<sub>2</sub> definindo os seguintes tratamentos: C4 = concentração normal da atmosfera, aproximadamente 367µmol . mol<sup>-1</sup>; C3 = 600µmol . mol<sup>-1</sup>; C2 = 800µmol . mol<sup>-1</sup> e C1 = 1000µmol . mol<sup>-1</sup>; (b) aplicação de quatro volumes de água definidos em relação à evapotranspiração da planta (Vet): V1 = 0,5Vet (30,89 L); V2 = 0,65Vet (40,7 L); V3 = 1,0Vet (61,86 L) e V4 = 1,35Vet (82,83 L). Cada tratamento constou de 4 repetições casualizadas em cada ambiente.

Foram utilizados 67 vasos com capacidade de 20 litros (área de 0,075 m<sup>2</sup>). No fundo destes fez-se um furo e adaptou-se um conector de 7 mm e um tubo interligando o vaso a uma garrafa de 2 litros para coletar o volume de água percolado. O volume foi medido em proveta graduada.

No interior dos vasos colocou-se uma camada de brita número 1 e, sobre esta uma manta geotextil (bidim). O conjunto foi pesado e mantido um peso constante de 2,5 kg para todos os vasos. A seguir completou-se o volume do vaso com solo peneirado e adubado conforme recomendação da análise de fertilidade, sendo incorporado calcário, estercor de curral curtido e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. O peso total de cada vaso foi 20 kg. Adicionou-se água aos vasos, até iniciar percolação, e a seguir, foram cobertos com sacos plástico até 3 dias antes do plantio.

A cultura plantada foi o pimentão (*Capsicum annum* L.), híbrido Zarco, o qual apresenta formato retangular e coloração verde/amarela. Medem de 12 a 16 cm de comprimento, 8 a 10 cm de diâmetro (ou largura) e peso entre 200 e 260 g (Tivelli, 1998). As mudas foram transplantadas para os vasos no dia 30/05/2000 quando apresentavam dois pares de folhas verdadeiras, colocando uma planta por vaso. O N e K<sub>2</sub>O foram aplicados após o plantio das mudas. Todas as brotações laterais, antes da bifurcação, foram eliminadas e as plantas foram conduzidas com quatro hastes. Eliminou-se a primeira flor que surgiu na bifurcação.

A primeira adubação de cobertura foi realizada aplicando N e K<sub>2</sub>O, diluídos em água. Posteriormente, com base nos resultados de análise foliar, as adubações de cobertura foram parceladas em 17 vezes, aplicando-se em cada parcelamento N, K<sub>2</sub>O, P e Ca. Foram realizadas 3 aplicações foliares de Ca, B, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn.

O controle de ervas daninhas foi realizado manualmente, quando necessário. O controle fitossanitário consistiu de aplicação de fungicidas a base de enxofre para controlar a ocorrência de *Oidiopsis sicula*, e o controle de pragas, tais como

trips, mosca minadora e ácaro branco, foi realizado por ocasião do seu aparecimento, através de pulverizações com inseticidas específicos.

O sistema de irrigação utilizado foi o gotejamento, com um emissor por vaso, operando a uma pressão de 98,1kPa e vazão nominal de 4,0 L . h<sup>-1</sup>. A uniformidade de emissão dos 67 gotejadores foi 98,17%. Cada parcela, formada por 4 vasos, representava um tratamento de volume de água aplicado, controlado pelo tempo de aplicação. Adotou-se um turno de rega de dois dias e o volume de água aplicado em cada tratamento foi definido com base no volume de água evapotranspirado (Vet), determinado pela pesagem diária de 3 vasos com plantas, localizados na estufa sem enriquecimento de CO<sub>2</sub> e irrigados com um volume igual ao consumido por evapotranspiração.

A aplicação do CO<sub>2</sub> nas estufas foi aérea e o sistema de aplicação consistiu de um cilindro com capacidade de 25 kg, para armazenamento do gás em alta pressão, equipado com válvula dosadora, para especificar a vazão do gás a ser liberado, manômetro e fluxômetro. O cilindro foi instalado entre as estufas e o gás foi conduzido até o centro das mesmas, em tubos com diâmetro de 3/8". O gás foi distribuído a uma altura de 3,0 m, através de dois segmentos de tubos, um sobre cada bancada, sendo o gás liberado através de micro tubos inseridos na tubulação. No interior de cada um dos três ambientes com enriquecimento de CO<sub>2</sub> foi colocado um fluxômetro e dois registros sendo que, um deles possibilitou a liberação do gás para fazer a regulação da vazão e o outro liberou a gás no ambiente. A aplicação do gás iniciou-se em 14/06/2000, após o pegamento das mudas, sendo realizada diariamente no período da manhã, durante uma hora. Durante a aplicação, as estufas eram mantidas fechadas e, uma hora após o término da aplicação as cortinas eram abertas. A concentração de CO<sub>2</sub> foi medida periodicamente utilizando-se um analisador de gás, modelo LI-800, fabricado pela Licor Inc./EUA. A cada 15 minutos eram feitas as leituras de concentração de CO<sub>2</sub>, dentro das casas de vegetação e no ambiente fora das mesmas, iniciando-se antes da aplicação do gás e prolongando até a abertura das cortinas, quando a concentração de CO<sub>2</sub> igualava-se à concentração do ambiente externo.

Os frutos colhidos durante o experimento foram pesados, cortados e desidratados em ambiente natural por aproximadamente 24 horas e, posteriormente, foram levados a estufa. No final do experimento as folhas foram separadas do caule e do pecíolo e as raízes de todas as plantas foram lavadas. Todo material foi seco em estufa ventilada, com

temperatura de 65°C, por um período superior a 72 horas, quando foram pesados obtendo-se a matéria seca. A matéria seca total foi determinada pelo somatório da matéria seca dos frutos colhidos, folhas, caule, pecíolo, flores e frutos existentes na planta no final do experimento, material de desbaste realizado durante o experimento e raiz. A matéria seca da parte aérea foi determinada pela diferença entre matéria seca total e matéria seca do sistema radicular.

## Resultados e discussão

### Matéria seca dos frutos

A matéria seca dos frutos tende a aumentar com o aumento do volume de água aplicado para todas as concentrações de CO<sub>2</sub> analisadas (Tabela 1) porém, nos ambientes C2 e C3 o peso seco dos frutos reduziu com o aumento do volume de água aplicado, de V3 para V4, no entanto, a diferença não foi significativa, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Nos ambientes C1 e C4, os acréscimos no peso da matéria seca dos frutos, com o aumento do volume de água aplicado de V3 para V4, foram de 19,91% para o ambiente C4 e 5,86% para o ambiente C1. Portanto, um aumento de 33,3% no volume de água aplicado não promoveu aumento semelhante no peso da matéria seca do fruto e a adoção desse volume somente seria viável se o preço obtido pelo produto compensasse o custo adicional da água. Caixeta *et al.* (1981), trabalhando com pimentão verificaram que o aumento da lâmina de água implicou em uma redução da percentagem de matéria seca da polpa (sem semente, placenta, caule e pedúnculo) e que essa característica é desejável para os frutos destinados à indústria de flocos e pó de pimentão, pois o consumo de energia para secagem é menor.

**Tabela 1.** Médias de matéria seca de fruto (g) para as diferentes combinações de volume de água aplicado (litros) e concentração de CO<sub>2</sub> (μmol . mol<sup>-1</sup>)

Volume de água aplicado	Concentração de CO <sub>2</sub>			
	367 (C4)	600 (C3)	800 (C2)	1000 (C1)
30,89 (V1)	a 15,18 B	a 12,80 AB	a 19,62 C	a 10,25 A
40,7 (V2)	a 19,68 A	b 18,27 A	a 21,80 A	b 28,57 B
61,86 (V3)	b 29,64 A	c 42,98 C	b 37,66 B	c 36,86 B
82,83 (V4)	c 35,54 A	c 41,02 A	b 36,01 A	c 39,02 A

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical não se diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal não se diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Em geral, o peso de matéria seca do fruto tende a aumentar com o aumento da concentração de CO<sub>2</sub>; no entanto para o volume V1, os valores observados no ambiente C4 foi maior do que nos ambientes C1 e C3, apresentando diferença significativa em relação

ao ambiente C1. Nos tratamentos irrigados com volume V2 o peso da matéria seca dos frutos foi maior no ambiente C1, diferindo significativamente dos demais ambientes que não diferem entre si. Para os tratamentos irrigados com os volumes V3 e V4 o peso da matéria seca dos frutos foi maior em todos os ambientes enriquecidos com CO<sub>2</sub> entretanto, para o volume V4 a diferença entre os ambientes não foi significativa. Os maiores acréscimos no peso da matéria seca dos frutos foram observados nos tratamentos V2 e V3 nos ambientes C1 e C3 respectivamente, sendo os mesmos da ordem de 45%. Como pôde ser observado nos tratamentos irrigados com menor volume de água (V1 e V2) os maiores acréscimos foram obtidos nos ambientes com maior concentração de CO<sub>2</sub> (C2 e C1) diferindo significativamente do ambiente sem enriquecimento de gás. Os resultados dos estudos conduzidos com aumento da concentração de CO<sub>2</sub> apresentam uma grande diversidade devido a diversos processos que interferem na produção dos frutos. Há indicativos de que nos ambientes enriquecidos com CO<sub>2</sub> a resposta das plantas quando a água é fator limitante é maior do que quando não há restrição de água. Schaffer *et al.* (1999) obtiveram maior peso seco de frutos de manga e macadâmia em ambiente com concentração de CO<sub>2</sub> de 600 µmol . mol<sup>-1</sup>, comparativamente ao ambiente com 350 µmol . mol<sup>-1</sup>.

A análise de regressão aplicada aos valores médios de peso da matéria seca de fruto indicou que o modelo com efeito quadrático para volume de água aplicado e linear para concentração de CO<sub>2</sub> descreve bem o fenômeno, com coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) igual a 0,8574, a saber:

$$PSF = -34,7774 + 0,0054C + 1,8173V - 0,01186V^2 \quad R^2 = 0,8574$$

em que PSF é o peso da matéria seca do fruto, em gramas, C é a concentração de CO<sub>2</sub>, em µmol . mol<sup>-1</sup>, e V é o volume de água aplicado, em litros. Os coeficientes do modelo referentes ao volume de água e à constante foram significativos ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste de t, porém com relação à concentração de CO<sub>2</sub> o nível de significância foi de 24,16%.

### Matéria seca de raiz

Conforme pode ser observado na Tabela 2, o peso da matéria seca de raiz não apresentou tendência definida tanto para o volume de água aplicado quanto para a concentração de CO<sub>2</sub>. Nos ambientes enriquecidos com CO<sub>2</sub> (C1, C2 e C3) o peso da matéria seca da raiz aumentou

significativamente com o aumento do volume de água de V1 para V2 no ambiente C3 e de V2 para V3 nos ambientes C1 e C2. No ambiente C4 o peso da matéria seca da raiz foi menor no tratamento irrigado com volume V2, diferindo significativamente do volume V4. Em relação à concentração de CO<sub>2</sub>, pôde-se observar que os tratamentos irrigados com volume V1 o peso da matéria seca da raiz foi menor nos ambientes C3 e C1, os quais diferem significativamente dos ambientes C2 e C4. Nos tratamentos irrigados com volume V2, o maior valor foi observado no ambiente C3, o qual difere significativamente dos demais ambientes. Para os tratamentos irrigados com os volumes V3 e V4 não houve diferença entre os ambientes C4, C3 e C2. Paez *et al.* (1984), trabalhando com duas cultivares de tomate, em ambiente controlado, com concentração de CO<sub>2</sub> de 350 e 675 µL L<sup>-1</sup>, e dois regimes de irrigação (bem irrigadas e com estresse), verificaram que as plantas bem irrigadas de uma cultivar o peso seco da raiz não foi influenciado pela concentração de CO<sub>2</sub>, porém, nas plantas submetidas a estresse hídrico, o mesmo aumentou em função da concentração de CO<sub>2</sub>. Esses resultados são semelhantes aos observados nos tratamentos V2 (com déficit de água) e V3 e V4 (sem déficit de água).

**Tabela 2.** Médias de matéria seca de raiz da planta (g planta<sup>-1</sup>) para as diferentes combinações de volume de água aplicado (litros) e concentração de CO<sub>2</sub> (µmol . mol<sup>-1</sup>)

Volume de água aplicado	Concentração de CO <sub>2</sub>			
	367 (C4)	600 (C3)	800 (C2)	1000 (C1)
30,89 (V1)	ab 21,05 B	a 15,09 A	a 19,61 B	a 14,45 A
40,7 (V2)	a 16,95 A	b 25,65 B	a 19,39 A	a 16,76 A
61,86 (V3)	ab 22,11 AB	b 24,72 B	b 24,29 AB	b 21,78 A
82,83 (V4)	b 24,61 B	b 22,31 B	b 23,66 B	a 16,71 A

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical não se diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal não se diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

No ambiente C1, o peso da matéria seca das raízes foi menor do que nos demais ambientes, embora a diferença não tenha sido significativa nos tratamentos irrigados com volume V1, V2 e V3. De acordo com Peñuelas *et al.* (1995a), não está bem claro se alguma parte da planta é mais beneficiada do que outras com o aumento da concentração de CO<sub>2</sub>. Estudos sugerem que a parte aérea da planta é a principal beneficiária (Fajer *et al.*, 1991 e Ryle *et al.*, 1992, citados por Peñuelas *et al.*, 1995a). Nas plantas irrigadas com volume V4, o peso da matéria seca da raiz foi significativamente menor do que nos demais ambientes porém, após a retirada das raízes, verificou-se que a quantidade de raízes era menor e havia indícios de apodrecimento. Este resultado

pode ser um indicativo de que nos ambientes com enriquecimento de CO<sub>2</sub> o consumo de água pela planta seja menor.

Os valores médios de peso da matéria seca da raiz foram ajustados por um modelo de regressão múltipla, com termos quadráticos para volume de água e linear para concentração de CO<sub>2</sub>. O modelo não apresentou um bom ajuste ( $R^2 = 0,3546$ ), indicando que explicou apenas 35,46% da variação total dos dados. Os coeficientes do modelo não foram significativos aos níveis de 5% de probabilidade, pelo teste de t. O modelo ajustado foi o seguinte:

$$P_{sr} = 6,7471 - 0,0053C + 0,6007V - 0,0045V^2 \quad R^2 = 0,3546$$

em que  $P_{sr}$  é o peso da matéria seca da raiz, em gramas, C a concentração de CO<sub>2</sub> em  $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ , e V é o volume de água aplicado, em litros.

### Matéria seca da parte aérea

Analisando os dados da Tabela 3, verifica-se que o volume de água aplicado teve efeito significativo sobre o peso da matéria seca da parte aérea da planta, em todas as concentrações de CO<sub>2</sub> analisadas com exceção do ambiente C1 em que a diferença entre os volumes V3 e V4 não foi significativa. A maior taxa de acréscimo foi observada quando o volume de água aumentou de V2 para V3, sendo essas da ordem de 40,41% no ambiente C4, 61,37% no ambiente C3, 42,17% no ambiente C2, e 34,32% no ambiente C1.

**Tabela 3.** Médias de matéria seca da parte aérea da planta (g planta<sup>-1</sup>) para as diferentes combinações de volume de água aplicado (litros) e concentração de CO<sub>2</sub> ( $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ )

Volume de água aplicado	Concentração de CO <sub>2</sub>			
	367 (C4)	600 (C3)	800 (C2)	1000 (C1)
30,89 (V1)	a 56,46 BC	a 54,14 AB	a 60,85 C	a 50,90 A
40,7 (V2)	b 69,19 A	b 64,53 A	b 70,76 A	b 72,72 A
61,86 (V3)	c 97,15 A	c 104,13 A	c 100,60 A	c 97,68 A
82,83 (V4)	d 108,06 B	d 118,33 C	d 109,48 B	c 96,35 A

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical não se diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal não se diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

O aumento da concentração de CO<sub>2</sub> teve efeito significativo no peso da matéria seca da parte aérea somente nos tratamentos que receberam volume de água V1 e V4. Para a condição de estresse hídrico (V1 e V2), o peso da matéria seca da parte aérea nos ambientes C1 e C2 respectivamente, foi maior do que no ambiente C4, entretanto, a diferença não foi significativa. Resultados obtidos por Paez *et al.* (1984), em plantas de tomate cultivadas em ambiente enriquecidos com CO<sub>2</sub> e submetidas a

estresse hídrico, demonstram que o peso seco da parte aérea da planta aumenta com o aumento da concentração de gás carbônico. Para os volumes V3 e V4 o peso da matéria seca da parte aérea aumentou com o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> de 367 para 600  $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ , em seguida reduziu-se, e o maior valor foi obtido no ambiente C3. Resultados semelhantes foram encontrados por Ziska e Teramura (1992) em plantas de arroz cultivadas em ambientes com 360 e 660  $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ .

Os valores médios de peso da matéria seca da parte aérea da planta foram ajustados por um modelo de regressão múltipla, com termos quadráticos para volume de água e linear para concentração de CO<sub>2</sub>, sendo que a variável independente volume de água foi significativa ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de t, porém, a concentração de gás não foi significativa. O coeficiente de determinação foi 0,9367 e os valores dos coeficientes das variáveis independentes são:

$$P_{sa} = -21,1520 - 0,0043C + 3,09716V - 0,0180V^2 \quad R^2 = 0,9367$$

em que  $P_{sa}$  é o peso da matéria seca da parte aérea da planta, em gramas, C é a concentração de CO<sub>2</sub> em  $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ , e V é o volume de água aplicado em litros.

### Matéria seca total

Na Tabela 4 estão relacionados os dados médios de peso da matéria seca total e verifica-se que o mesmo aumentou em função do volume de água aplicado em todos os ambientes, exceto no ambiente C1 em que o maior valor foi observado para o volume V3, embora a diferença em relação ao volume V4 não seja significativa. As maiores taxas de acréscimo foram observadas entre os volumes V2 e V3, da ordem de 38,45% no ambiente C4, 42,88% no ambiente C3, 38,55% no ambiente C2, e 33,52% no ambiente C1.

**Tabela 4.** Médias de matéria seca total da planta (g planta<sup>-1</sup>) para as diferentes combinações de volume de água aplicado (litros) e concentração de CO<sub>2</sub> ( $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ )

Volume de água aplicado	Concentração de CO <sub>2</sub>			
	367 (C4)	600 (C3)	800 (C2)	1000 (C1)
30,89 (V1)	a 77,51 B	a 69,23 A	a 80,45 B	a 65,35 A
40,7 (V2)	a 86,14 A	b 90,18 A	a 90,15 A	b 89,48 A
61,86 (V3)	b 119,26 A	c 128,85 B	b 124,90 AB	c 119,47 A
82,83 (V4)	c 132,67 B	d 140,64 B	b 133,14 B	c 113,07 A

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical não se diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal não se diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

No tratamento V2 a concentração de CO<sub>2</sub> não teve efeito significativo no peso da matéria seca total,

no entanto, os maiores valores foram observados nos ambientes com enriquecimento de CO<sub>2</sub>. Tem sido demonstrado que plantas cultivadas em ambientes com enriquecimento de CO<sub>2</sub> e submetidas a estresse hídrico, a produção de matéria seca total é maior (Gifford, 1979; Tolley e Strain, 1984). No tratamento V2 os resultados estão de acordo com o que preconiza a literatura, porém no tratamento V1, nos ambientes C3 e C1, o peso da matéria seca total foi menor do que no ambiente C4.

Mesmo não havendo diferença entre os ambientes C4, C3 e C2 para o tratamento V4, verifica-se que neste tratamento e no tratamento V3 o peso da matéria seca total aumentou com o aumento da concentração de 367 para 600 μmol . mol<sup>-1</sup> reduzindo, a seguir nos ambientes com maior concentração de gás. Esses resultados são corroborados pelos obtidos por Tolley e Strain (1985), em plantas de seringueira. No ambiente C3, a taxa de acréscimo do peso da matéria seca total, em relação ao ambiente C4, foi de 8,04% para o volume V3 e 6,0% para o volume V4.

Embora vários estudos tenham demonstrado que o peso da matéria seca total da planta é maior nos ambientes com enriquecimento de CO<sub>2</sub> (Kimball e Mitchell, 1979; Ziska e Teramura, 1992) e que o efeito do aumento da concentração de CO<sub>2</sub> é mais acentuado na fase inicial da cultura (Peet, 1986; Retuerto e Woodward, 1993), neste trabalho verificou-se que o efeito do volume de água aplicado no peso da matéria seca total da planta foi mais evidenciado do que a concentração de CO<sub>2</sub>.

Os valores médios de peso da matéria seca total foram ajustados por um modelo de regressão múltipla, com termos quadráticos para volume de água aplicado e linear para concentração de CO<sub>2</sub>, apresentando um coeficiente de determinação R<sup>2</sup> = 0,9185, indicando que o ajuste foi bom. Os coeficientes das variáveis relativas ao volume de água aplicado foram significativos, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de t. Entretanto, a constante do modelo e os coeficientes da variável concentração de CO<sub>2</sub> não foram significativos. O modelo ajustado foi o seguinte:

$$Pst = -14,4049 - 0,0096C + 3,6915V - 0,0225V^2 \quad R^2 = 0,9185$$

em que Pst é o peso da matéria seca total, em gramas, C é a concentração de CO<sub>2</sub> em μmol mol<sup>-1</sup>, e V é o volume de água aplicado em litros.

O período de tempo em que o ambiente é enriquecido com CO<sub>2</sub>, a hora do dia em que a aplicação é realizada, a concentração de CO<sub>2</sub> e a fase

de desenvolvimento da cultura são alguns dos fatores que interferem na resposta da planta (Stanev e Tsonev, 1986). A aplicação de gás foi realizada ao longo do ciclo da cultura, no período da manhã, durante uma hora. Mesmo com estas condições há uma tendência de aumentar a produção de matéria seca nos ambientes enriquecidos com CO<sub>2</sub>. A produção de matéria seca dos frutos nos tratamentos irrigados com 30,89 L e 40,7 L foi maior nos ambientes com maior concentração de CO<sub>2</sub>, sugerindo que o enriquecimento da atmosfera com CO<sub>2</sub> pode aumentar a resistência da planta ao estresse hídrico. Nos tratamentos irrigados com 61,86 L a maior produção de matéria seca de frutos foi obtida no ambiente enriquecido com 600 μmol mol<sup>-1</sup>. Apesar de a matéria seca dos frutos do tratamento V2 ter sido maior no ambiente enriquecido com 1000 μmol . mol<sup>-1</sup>, os resultados obtidos para os demais volumes de água aplicado e para matéria seca de raiz, parte aérea e total da planta demonstram que esta concentração não foi adequada.

Os resultados obtidos indicam que o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> aumenta a produção de matéria seca planta no entanto, para regiões em que a temperatura ambiente é alta a aplicação de gás carbônico pode ser inviabilizada. A aplicação deve ser feita em ambiente fechado e nos períodos de maior atividade fotossintética, conseqüentemente, a temperatura pode atingir valores prejudiciais à planta.

## Referências

- CAIXETA, T. J. *et al.* Efeito da lâmina de água e da frequência de irrigação por gotejamento na cultura de pimentão. I - Produção de frutos maduros. *Revista Ceres*, Viçosa, v.278, n. 155, p.40-51, 1981.
- CHMORA, S. N.; MOKRONOSOV, A. T. The global increase of CO<sub>2</sub> in atmosphere: adaptive strategies in plants. *Russ. J. Plant Physiol.*, Moscow, v.41, n.5, p.768-778, 1994.
- ENOCH, H. *et al.* CO<sub>2</sub> enrichment to cucumber, lettuce and sweet pepper plants grown in low tunnels in subtropical climate. *Isr. J. Agric. Res.*, Bel-Dagan, v.20, n.2, p.63-69, 1970.
- GIFFORD, R. M. Growth and yield of CO<sub>2</sub> enriched wheat under water-limited conditions. *Austr. J. Plant Physiol.*, Collingwood, v.6, n.3, p.367-378, 1979.
- KEELING, C. D.; WHORF, T. P. Atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations (ppmv) derives from in situ air samples collected at Mauna Loa Observatory, Hawaii. <http://www.cdiac.esd.ornl.gov/ndps/nd001.html>, maio, 1999.
- KIMBALL, B. A. CO<sub>2</sub> stimulation of growth and yield under environmental restraints. In: ENOCH, H. Z.; KIMBALL, B. A. (Ed.). *Carbon Dioxide enrichment of*

- greenhouse crops. Boca Raton: CRC Press, 1986. v.2: Physiology, yield and economics, cap. 5, p. 53-67.
- KIMBALL, B. A. Carbon dioxide and agricultural yield: an assemblage and analysis of 430 prior observations. *Agron. J.*, Madison, v. 75, n.5, p.779-788, 1983.
- KIMBALL, B. A.; MITCHELL, S. T. Tomato yields form CO<sub>2</sub> enrichment in unventilated and conventionally ventilated greenhouses. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, Alexandria, v.104, n.4, p.515-520, 1979.
- MORRISON, J. I. L.; GIFFORD, R. Plant growth and water use with limited water supply in high CO<sub>2</sub> concentrations. I. Leaf area, water use and transpiration. *Austr. J. Plant Physiol.*, Collingwood, v.11, n.5, p.361-374, 1984a.
- MORRISON, J. I. L.; GIFFORD, R. Plant growth and water use with limited water supply in high CO<sub>2</sub> concentrations. II. Plant dry weight, partitioning and water use efficiency. *Austr. J. Plant Physiol.*, Collingwood, v.11, n.5, p.375-384, 1984b.
- MORTENSEN, L. M. Review: CO<sub>2</sub> enrichment in greenhouses. *Crop Response. Sci. Hortic.*, Amsterdam, v.33, n.1/2, p. 1-25, 1987.
- NEDERHOFF, E. M. *et al.* Leaf conductance and rate of crop transpiration of greenhouse grown sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) as affected by carbon dioxide. *Sci. Hortic.*, Amstrdam, v. 52, n.4, p.283-301, 1992.
- PAEZ, A. *et al.* Carbon dioxide enrichment and water stress interaction on growth of two tomato cultivars. *J. Agric. Sci.*, Cambridge, v.102, n.3, p.687-693, 1984.
- PEET, M. M. Acclimation to high CO<sub>2</sub> in monoecious cucumbers. I. Vegetative and reproductive growth. *Plant Physiol.*, Bethesda, v.80, n.1, p.59-62, 1986.
- PEÑUELAS, J. *et al.* Growth, biomass allocation, and phenology response of pepper to elevated CO<sub>2</sub> concentrations and different water and nitrogen supply. *Photosynthetica*, Prague, v.31, n.1, p.91-99, 1995a.
- PEÑUELAS, J. *et al.* Detrimental effects of fluctuating high CO<sub>2</sub> concentrations on peppers. *Photosynthetica*, Prague, v.31, n.3, p.361-370, 1995b.
- RETUERTO, R.; WOODWARD, F. I. The influences of increased CO<sub>2</sub> and water supply on growth, biomass allocation and water use efficiency of *sinapis alba* L. grown under different wind speeds. *Oecologia*, Berlin, v.94, n.3, p.415-427, 1993.
- SCHAFFER, B. *et al.* Atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment, root restriction, photosynthesis, and dry-matter partitioning in subtropical and tropical fruit crops. *HortScience*, Alexandria, v.34, n.6, p.1033-1037, 1999.
- SENTELHAS, P. C. *Estimativa diária de evapotranspiração de referência com dados de estação meteorológica convencional e automática*. 1998. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.
- SIONIT, N. *et al.* Growth and yield of wheat under CO<sub>2</sub> enrichment and water stress. *Crop Sci.*, Madison, v.20, p. 687-690, 1980.
- STANEV, V.P.; TSONEV, T.D. CO<sub>2</sub> enrichment in some countries of eastern Europe: research and practical application. In: ENOCH, H. Z.; KIMBALL, B. A. *Carbon dioxide enrichment of greenhouse crops*. Boca Raton: CRC Press, 1986. v.1: Status and CO<sub>2</sub> sources, cap.3, p.35-48.
- TIVELLI, S. W. A cultura do pimentão. In: GOTO, R.; TIVELLI, S. W. (Org.). *Produção de hortaliças em ambiente protegido: condições subtropicais*. São Paulo: Fundação Editora da Unesp, 1998. cap.8, p.225-256.
- TOLLEY, L. C.; STRAIN, B. R. Effects of CO<sub>2</sub> enrichment and water stress on gas exchange of *Liquidambar styraciflua* and *Prunus taeda* seedlings grown under different irradiance levels. *Oecologia*, Berlin, v.65, n.2, p.166-172, 1985.
- ZISKA, L. H.; TERAMURA, A. H. Intraspecific variation in the response of rice (*oriza sativa*) to increased CO<sub>2</sub> - photosynthetic, biomass and reproductive characteristics. *Physiol. Plant.*, Copenhagen, v.84, n.2, p.269-276, 1992.

Received on March 13, 2002.

Accepted on June 03, 2002.