

RESPIRAÇÃO E PRODUÇÃO DE ETANOL E DE ETILENO EM MANGAS ARMazenADAS SOB DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO E OXIGÊNIO¹

RENAR JOÃO BENDER² e JEFFREY BRECHT³

RESUMO - O objetivo deste trabalho foi avaliar a respiração e produção de etanol e etileno em mangas armazenadas sob reduzidas concentrações de oxigênio (O₂) e elevadas concentrações de dióxido de carbono (CO₂). Mangas pré-climáticas das cultivares Kent e Tommy Atkins foram armazenadas, sob fluxo contínuo, por 14 ou 21 dias, a 12°C em três concentrações de O₂: 3%, 5% ou 21% em mistura com concentrações de 5%, 15%, 25%, 35%, 45%, 50% ou 70% de CO₂. O tratamento-testemunha constou de armazenagem em ar sob fluxo contínuo. Após o período em atmosfera controlada (AC), as mangas foram transferidas e mantidas por 5 dias em ar a 20°C. Mangas sob concentrações de 50% e 70% de CO₂ produziram mais etanol que nas demais concentrações de CO₂. A redução para 3% de O₂ na atmosfera de armazenagem aparentemente não teve efeito adicional ao CO₂ na produção de etanol. A atividade respiratória de mangas em AC com CO₂ acima de 45% foi muito mais intensa do que a respiração sob as concentrações de CO₂ mais baixas; a produção de etileno, no entanto, esteve suprimida, e, mesmo após a transferência para ar, não se recuperou, permanecendo inferior aos demais tratamentos. A queda na atividade respiratória das mangas armazenadas a 50% e 70% de CO₂, quando foram transferidas para ar a 20°C indica que as elevadas concentrações de CO₂ causaram dano irreparável aos tecidos.

Termos para indexação: *Mangifera indica*, cultivar Kent, cultivar Tommy Atkins, armazenagem em atmosfera controlada, anaerobiose.

RESPIRATION RATES AND ETHANOL AND ETHYLENE PRODUCTION OF MANGOES STORED UNDER ELEVATED CARBON DIOXIDE AND REDUCED OXIGEN ATMOSPHERES

ABSTRACT - The objective of this work was to evaluate respiration rates and ethanol and ethylene production of mangoes stored in controlled atmosphere (CA) with reduced O₂ and elevated CO₂ concentrations. Pre-climacteric 'Kent' and 'Tommy Atkins' mangoes were stored for 14 or 21 days at 12°C in 5%, 15%, 25%, 35%, 45%, 50% or 70% CO₂ plus either 21%, 5% or 3% O₂ in a flow through CA system at 12°C. In the control treatment fruits were stored in air at the same temperature and also in the flow through system. After the CA storage the mangoes were transferred and kept for 5 days in air at 20°C. Mangoes stored in either 50% or 70% CO₂ had the highest ethanol production rates. The reduction to 3% of the O₂ concentration in the storage atmosphere does not seem to have an additional effect on ethanol production. Respiratory rates of mangoes in CA above 45% CO₂ atmospheres were higher than in the other treatments, while ethylene production rates were the lowest values. After transfer to air at 20°C, respiration rates of mangoes from these treatments dropped significantly below control levels, which, associated with lower rates of ethylene production, indicate that the mangoes had been damaged by the elevated CO₂ atmospheres.

Index terms: *Mangifera indica*, Kent cultivar, Tommy Atkins cultivar, controlled atmosphere storage, anaerobiosis.

¹ Aceito para publicação em 28 de junho de 1999.

² Eng. Agrôn., Dr., Prof. Adjunto, Dep. de Horticultura e Silvicultura, UFRGS, CEP 91510-970 Porto Alegre, RS. E-mail: rjbe@vortex.ufrgs.br

³ Eng. Agrôn., Ph.D., Horticultural Sciences Department, University of Florida, Gainesville 32611-0690, FL, EUA.

INTRODUÇÃO

O consumo de mangas em países mais desenvolvidos apresentou nas últimas décadas um significativo aumento. Haines (1991) relata um incremento anual de 10% no volume de mangas importadas pe-

los Estados Unidos. O transporte marítimo tem sido o meio principal para movimentar os crescentes volumes de fruta no mercado internacional (Medlicott et al., 1990), mas apresenta a desvantagem do tempo que o navio leva para chegar aos portos de desembarque (Noomhorn & Tiasuwan, 1995). Partindo da América do Sul, Caribe ou México, o navio leva de duas a três semanas para aportar nos Estados Unidos ou na Europa. O tempo de transporte tem influenciado negativamente a qualidade das mangas no mercado internacional em decorrência, principalmente, da colheita no estágio “de vez”, prática utilizada para obter uma melhor resistência da polpa e assim diminuir danos de impacto e de pressão em pós-colheita.

Outra prática, que também resulta em perdas qualitativas, é o tratamento com água quente, obrigatório para desinfestação de mosca-das-frutas (*Anastrepha suspensa*), para o que foram testados tratamentos alternativos, entre os quais, o uso de elevadas concentrações de CO₂ ou reduzidas concentrações de O₂. Yahia et al. (1989) observaram que uma exposição de cinco dias, a 50% de CO₂ e a uma temperatura de 20°C, não causou lesões em mangas da cultivar Keitt. Não há informações sobre alterações no metabolismo de mangas submetidas a atmosferas extremas.

Neste trabalho, objetivou-se avaliar a atividade respiratória e a produção de etanol e etileno em mangas armazenadas em atmosfera controlada com altas concentrações de CO₂ e reduzidas concentrações de O₂.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dois experimentos. No primeiro, mangas das cultivares Tommy Atkins e Kent, recém colhidas em pomares de Homestead e Pine Island/Fort Myers, na Flórida, foram transportadas de carro para as instalações do Departamento de Horticultura/IFAS, Universidade da Flórida, em Gainesville. A colheita baseou-se na cor de fundo da epiderme e no formato e tamanho dos frutos. As mangas foram colocadas, ainda no dia da colheita, em frascos de vidro de 1,75 L de capacidade e mantidos em um sistema de fluxo contínuo em diferentes combinações de O₂ e CO₂. Os gases para as misturas provinham de cilindros contendo CO₂, O₂ e nitrogênio (N₂) comprimidos. Foram aplicados os seguintes tratamentos: 5%, 25%, 50%

e 70% de CO₂ em mistura com 3% ou 21% de O₂, por 14 dias na cultivar Tommy Atkins e 21 dias na cultivar Kent. O tratamento-controle foi mantido em ar no sistema de fluxo contínuo. A temperatura de armazenagem foi de 12°C.

O segundo experimento foi conduzido com a cultivar Tommy Atkins importada do México pela importadora Brooks Tropicals de Homestead, Flórida. As mangas foram armazenadas por 21 dias, a 12°C, em atmosferas de 15%, 25%, 35% e 45% de CO₂, misturados a 5% de O₂. Neste experimento, as concentrações de O₂ foram obtidas misturando CO₂ e N₂ a ar fornecido por compressor. O tratamento-controle foi ar em sistema de fluxo contínuo a 12°C.

Ao final dos 14 ou 21 dias de armazenagem em atmosfera controlada (AC) ou ar a 12°C, as mangas foram transferidas para uma câmara de amadurecimento e mantidas em ar a 20°C.

Durante a armazenagem, foram tomadas amostras de ar dos frascos de cada uma das quatro repetições, e injetadas em cromatógrafo a gás (CG), para análises de etanol e etileno. Para determinação da atividade respiratória (produção de CO₂), a entrada e a saída das misturas de atmosfera nos frascos de vidro foram seladas por duas horas. A primeira amostra da composição da mistura do frasco de vidro foi feita logo após o fechamento das conexões, e a outra amostra foi feita após duas horas, para calcular a atividade respiratória conforme descrito em Talasila et al. (1992).

A produção de etanol foi determinada em um CG Hewlett-Packard, modelo 5890, equipado com uma coluna 80/120 mesh Carbopack B (5% Carbowax 20M) em níquel de 1520 x 3,12 mm e detector de ionização de chama. O CG foi operado com temperatura na coluna de 140°C e detector e injetor a 200°C. A produção de etileno foi determinada em CG de fotoionização, Photovac 10A10, equipado com uma coluna com alumina ativada 60/80 mesh e de 760 x 3,18 mm e operado a temperatura ambiente.

Os experimentos foram conduzidos em delineamento completamente casualizado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As mangas armazenadas em 50% ou 70% de CO₂ (Fig. 1) produziram mais etanol que as mangas dos demais tratamentos. Lakshminarayana & Subrahmanyam (1970) relataram incrementos similares na produção de etanol em mangas da cultivar Alphonso, armazenadas a temperaturas em torno de 12°C, por 21 dias, em concentração elevada de CO₂

em comparação a mangas armazenadas em ar. O'Hare & Prasad (1993) obtiveram resultados semelhantes

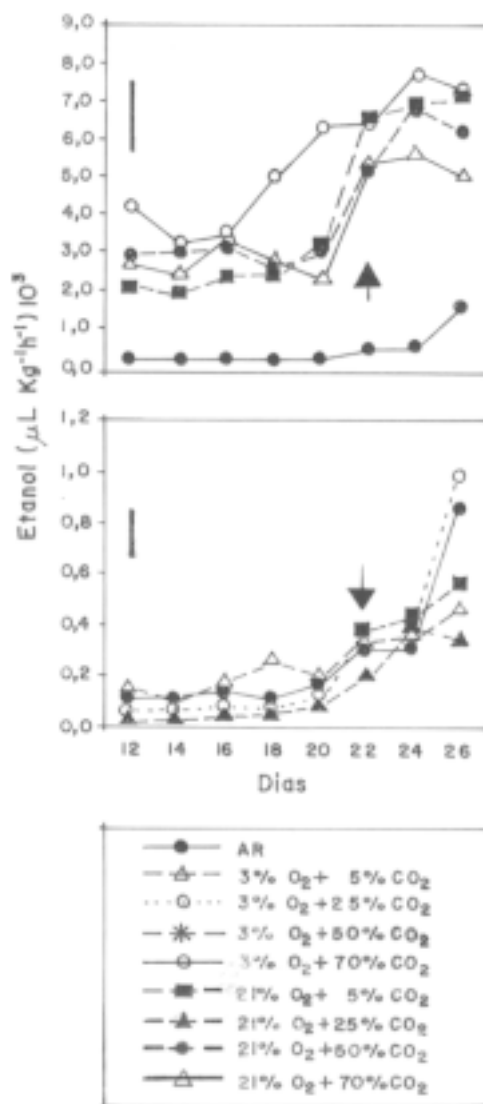


FIG. 1. Produção de etanol de mangas cultivar Kent armazenadas durante 21 dias em atmosfera controlada com diferentes concentrações de CO_2 e O_2 a 12°C e durante 5 dias em ar a 20°C . A seta indica a transferência para ar a 20°C . O tratamento controle consistiu do armazenamento das mangas em ar refrigerado a 12°C . (Barra vertical = diferença mínima significativa a $p < 0,05$).

em mangas da cultivar Kensington, em atmosfera com concentrações de CO_2 acima de 10% por até cinco semanas, a 7°C . Além disso, observaram que as mangas eram facilmente identificáveis pelo aroma e pela descoloração na epiderme. No presente trabalho, foram observadas alterações na coloração da epiderme das mangas apenas nos tratamentos com concentração de CO_2 igual ou superior a 45%.

As concentrações de O_2 não influenciaram significativamente a produção de etanol, o que pode ser uma indicação de que altas concentrações de CO_2 mascaram o efeito de baixas concentrações de O_2 , considerando que isto já foi observado em abacates (Kanellis et al., 1989) e pêras (Ke et al., 1994), nas quais, concentrações de O_2 abaixo de 5% induziram isoenzimas da álcool-deidrogenase (ADH) resultando em maior produção de etanol.

A atividade respiratória de mangas da cultivar Kent nos tratamentos de 50% e 70% de CO_2 foi significativamente mais intensa durante a armazenagem em AC do que a do controle, enquanto que a respiração das mangas dos tratamentos com 5% e 25% de CO_2 não diferiu do controle (Fig. 2). Após transferir para ar a 20°C , a atividade respiratória das mangas do controle e dos tratamentos com 5% e 25% de CO_2 duplicou, ao passo que a atividade respiratória das mangas dos tratamentos com 50% e 70% de CO_2 diminuiu significativamente, o que deve ser uma indicação de que houve dano irreparável aos tecidos. Neste experimento também não houve diferenças na produção de CO_2 que pudessem ser associadas à concentração de O_2 .

Logo após transferir para ar a 20°C as mangas da cultivar Tommy Atkins armazenadas por 21 dias em concentrações de CO_2 até 45% não apresentaram diferença na respiração (Fig. 3). Todos os tratamentos com CO_2 , exceto o tratamento com 45% de CO_2 , recuperaram o controle do metabolismo respiratório após cinco dias em ar a 20°C , uma vez que o padrão de respiração foi semelhante ao do tratamento-testemunha.

A alta atividade respiratória e produção de etanol de mangas armazenadas em atmosferas de CO_2 acima de 25% indicam claramente uma intensa anaerobiose, evidenciada também pela presença de aroma típico de tecido em fermentação. O mecanismo pelo qual altas concentrações de CO_2 estimulam

a respiração anaeróbica provavelmente envolve a inibição de enzimas do ciclo dos ácidos tricarbólicos, especialmente a succinato-deidrogenase

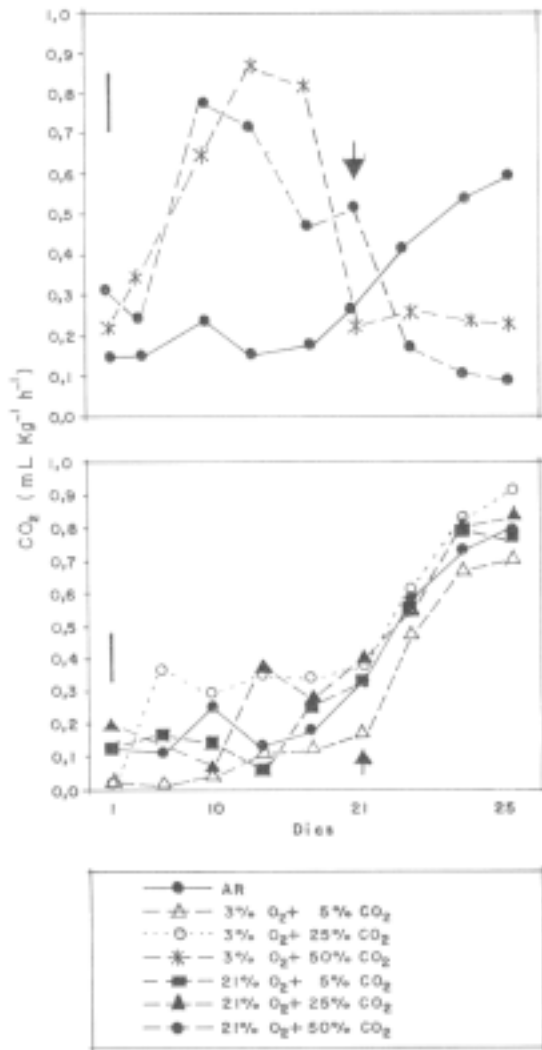


FIG. 2. Atividade respiratória de mangas cultivar Kent armazenadas durante 21 dias em atmosfera controlada com diferentes concentrações de CO₂ e O₂ a 12°C e durante 5 dias em ar a 20°C. A seta indica transferência para ar a 20°C. O tratamento controle consistiu do armazenamento das mangas em ar refrigerado a 12°C. (Barra vertical = diferença mínima significativa a p < 0,05).

(Monning, 1983; Kubo et al., 1990). Além do mais, como já foi indicado por Ke et al. (1995), quando o transporte de elétrons e a oxidação fosforilativa estão sendo inibidos, a única fonte de produção de energia para a manutenção dos tecidos é por fosforilação de substrato na via glicolítica, sendo que esta rota depende da disponibilização de potencial de redução via rota fermentativa (Leblova, 1978).

O continuado incremento na produção de etanol, acompanhado pelo decréscimo na atividade respiratória de mangas dos tratamentos com 50% e 70% de CO₂ após a transferência para ar a 20°C, pode ser decorrência de dano irreversível na estrutura dos mitocôndrios, em consequência da prolongada exposição a extremas concentrações de CO₂. Em contrapartida, Moriguchi & Romani (1995) observaram que mitocôndrios de abacates apresentaram a

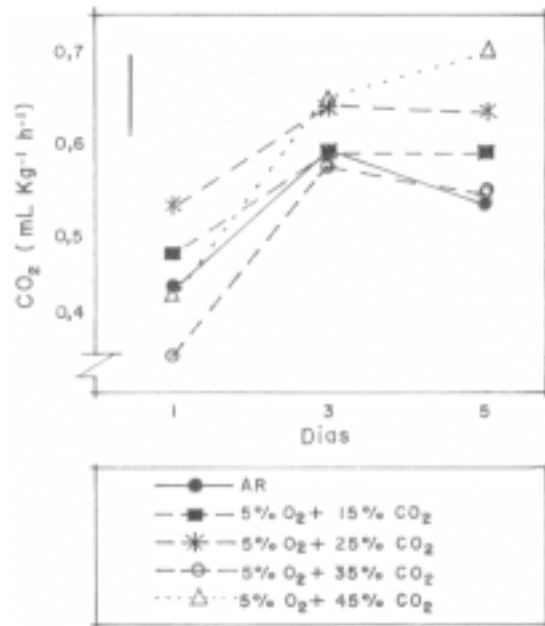


FIG. 3. Atividade respiratória de mangas cultivar Tommy Atkins armazenadas durante 5 dias em ar a 20°C após armazenagem por 21 dias em atmosfera controlada com diferentes concentrações de CO₂ e O₂. O tratamento controle consistiu do armazenamento das mangas em ar refrigerado a 12°C. (Barra vertical = diferença mínima significativa a p < 0,05).

habilidade de recuperar o controle respiratório após curta exposição a 75% CO₂.

Mangas expostas a 5% e a 25% CO₂ por 14 dias, a 12°C, recuperaram a atividade respiratória após transferência para ar a 20°C, o que indica que o transporte de elétrons não estava completamente suprimido, e que também não houve danos severos ao sistema (Fig. 4). Ke et al. (1995) observaram que o sistema de transporte de elétrons em abacates submetidos por três dias a 80% de CO₂ e níveis de ambiente de O₂ a 20°C foi apenas parcialmente inibido.

A produção de etileno de mangas do tratamento controle da cultivar Kent foi superior à de mangas mantidas em atmosfera de 50% e 70% de CO₂ durante o período de amadurecimento por cinco dias em ar

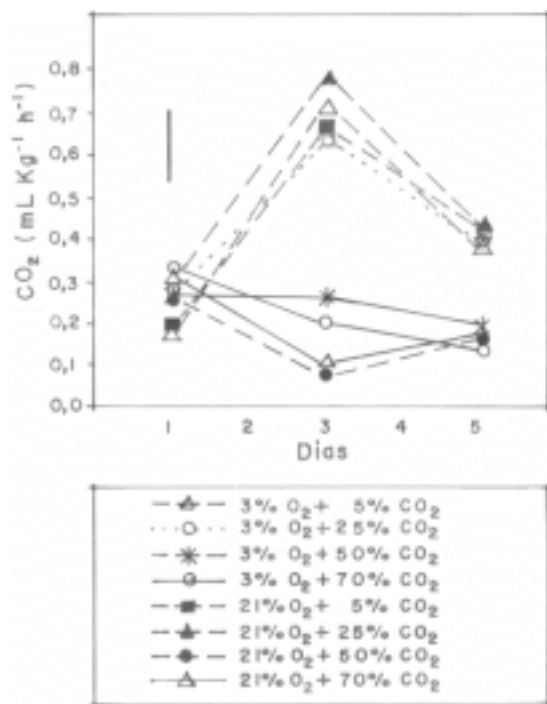


FIG. 4. Atividade respiratória de mangas cultivar Tommy Atkins armazenadas durante 5 dias em ar a 20°C após armazenagem por 14 dias em atmosfera controlada com diferentes concentrações de CO₂ e O₂ a 12°C. O tratamento controle consistiu do armazenamento das mangas em ar refrigerado a 12°C. (Barra vertical = diferença mínima significativa a $p < 0,05$).

a 20°C (Fig. 5). Mesmo que as atmosferas de 50% e 70% de CO₂ tenham estimulado a respiração anaeróbica, a produção de etileno não aumentou como seria de se esperar numa condição de estresse. Este fato pode indicar que a produção de etileno foi inibida pelas altas concentrações de CO₂, como já foi demonstrado em outras espécies (Cheverry et al., 1988; Kerbel et al., 1988; Rothan & Nicolas, 1994).

A produção significativamente menor de etileno nas mangas da cultivar Kent (Fig. 5) sob atmosfera de 50% e 70% de CO₂ pode ser consequência do efeito inibidor do CO₂ sobre a ácido-carboxílico-1-aminociclopropano (ACC) oxidase, conforme conclusões de Rothan & Nicolas (1994). Mesmo que tenha sido comprovado por Dong et al. (1992), em maçãs, que o CO₂ é um ativador essencial da ACC oxidase e, portanto, pode conduzir a uma maior pro-

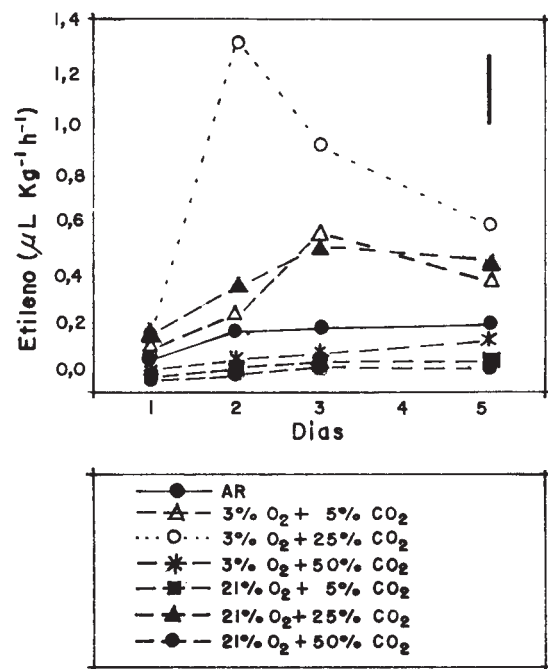


FIG. 5. Produção de etileno de mangas cultivar Kent armazenadas durante 5 dias em ar a 20°C após armazenagem por 21 dias em atmosfera controlada com diferentes concentrações de CO₂ e O₂ a 12°C. O tratamento controle consistiu do armazenamento das mangas em ar refrigerado a 12°C. (Barra vertical = diferença mínima significativa a $p < 0,05$).

dução de etileno, é provável que a exposição por 14 e 21 dias a concentrações acima de 50% de CO₂ esteja além do nível de estímulo para a atividade da ACC oxidase.

Os níveis de O₂ nos experimentos do presente trabalho tiveram pouca influência na biossíntese de etileno das mangas 'Kent' e 'Tommy Atkins' (Figs. 5 e 6). Apesar da necessidade de O₂ para a oxidação do ACC para etileno (Yang, 1985), os 3% de O₂ empregados nestes experimentos provavelmente ainda são muito acima do aparente Km para a ACC oxidase em mangas, utilizando como analogia o Km de 0,4% de O₂ determinado por Kuai & Dilley (1992) em maçãs.

A produção de etileno de mangas da cultivar Kent após a transferência para ar a 20°C dos tratamentos de 3% misturados a 5% ou 25% de CO₂ e níveis ambientais de O₂ misturados a 25% de CO₂ apresen-

taram produção significativamente superior à dos frutos do tratamento-controle (Fig. 5). Esta maior produção de etileno pode indicar uma resposta ao estresse, mesmo que a atividade respiratória (Fig. 2) não sinalize isto.

Mangas da cultivar Tommy Atkins armazenadas por 21 dias em atmosferas de até 45% de CO₂ voltaram a produzir etileno após transferência para ar a 20°C (Fig. 6). A recuperação da produção de etileno neste experimento pode indicar que o metabolismo foi apenas parcialmente inibido sob concentrações de CO₂ entre 25% e 45%. E, sobretudo, pode indicar a possibilidade de ocorrer dano irreparável aos tecidos de mangas se estas forem armazenadas por períodos maiores do que 14 dias em concentrações de CO₂ iguais ou superiores a 50%.

CONCLUSÕES

1. A armazenagem de mangas das cultivares Kent e Tommy Atkins em atmosferas de CO₂ superiores a 25%, por 14 ou 21 dias, resulta em incrementos na atividade respiratória e no metabolismo anaeróbico que podem causar prejuízos à qualidade dos frutos.
2. Concomitantemente ao aumento do metabolismo anaeróbico em atmosferas com elevado CO₂ ocorre a redução da produção de etileno, e após transferência para ar não ocorre retomada da biossíntese de etileno nos níveis observados em mangas apenas armazenadas em ar.
3. A redução da concentração de O₂ da atmosfera ambiente para 3%, na presença de elevado CO₂ tem pouco efeito nas produções de etanol e de etileno.

REFERÊNCIAS

- CHEVERRY, J.L.; SY, M.O.; POULIQUEN, J.; MARCELLIN, P. Regulation by CO₂ of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid conversion to ethylene in climacteric fruits. *Physiologia Plantarum*, Copenhagen, v.72, p.535-540, 1988.
- DONG, J.G.; FERNANDEZ-MACULET, J.C.; YANG, S.F. Purification and characterization of 1-aminocyclopropane-1-carboxylate oxidase from apple fruit. *National Academy of Science of the United States of America. Proceedings*, Washington, v.89, p.9789-9793, 1992.

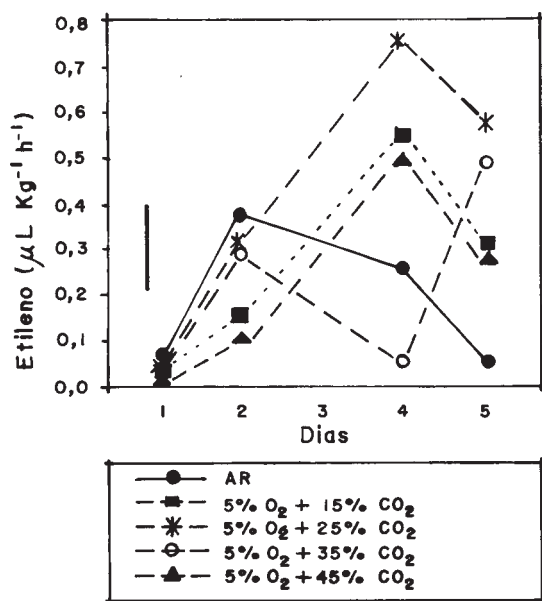


FIG. 6. Produção de etileno de mangas cultivar Tommy Atkins armazenadas durante 5 dias em ar a 20°C após armazenagem por 21 dias em atmosfera controlada com diferentes concentrações de CO₂ e O₂ a 12°C. O tratamento controle consistiu do armazenamento das mangas em ar refrigerado a 12°C. (Barra vertical = diferença mínima significativa a p<0,05).

- HAINES, W. The world mango situation: a market perspective. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v.291, p.1-11, 1991.
- KANELIS, A.K.; SOLOMOS, T.; MATTOO, A.K. Hydrolytic enzyme activities and protein pattern of avocado fruit ripened in air and low oxygen, with and without ethylene. **Plant Physiology**, Rockville, v.90, p.259-266, 1989.
- KE, D.; YAHIA, E.; HESS, B.; ZHOU, L.; KADER, A.A. Regulation of fermentative metabolism in avocado fruit under oxygen and carbon dioxide stresses. **American Society for Horticultural Science. Journal**, Alexandria, v.120, p.481-490, 1995.
- KE, D.; YAHIA, E.; MATEOS, M.; KADER, A.A. Ethanol fermentation of 'Bartlett' pears as influenced by ripening stage and atmospheric composition. **American Society for Horticultural Science. Journal**, Alexandria, v.119, p.976-982, 1994.
- KERBEL, E.L.; KADER, A.A.; ROMANI, R.J. Effects of elevated CO₂ concentrations on glycolysis in intact 'Bartlett' pear fruit. **Plant Physiology**, Rockville, v.86, p.1205-1209, 1988.
- KUAI, J.; DILLEY, D.R. Extraction, partial purification and characterization of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid oxidase from apple fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.1, p.203-211, 1992.
- KUBO, Y.; INABA, A.; NAKAMURA, R. Respiration and C₂H₄ production in various harvested crops held in CO₂-enriched atmospheres. **American Society for Horticultural Science. Journal**, Alexandria, v.115, p.975-978, 1990.
- LAKSHMINARAYANA, S.; SUBRAHMANYAM, H. Carbon dioxide injury and fermentative decarboxylation in mango fruit at low temperature storage. **Journal of Food Science and Technology**, Mysore, v.7, p.148-152, 1970.
- LEBLOVA, S. Pyruvate conversions in higher plants during natural anaerobiosis. In: HOOK, D.D.; CRAWFORD, R.M.M. (Eds.). **Plant life in anaerobic environments**. Ann Arbor : Ann Arbor Science, 1978. p.155-168, 1978.
- MEDLICOTT, A.P.; SIGRIST, J.M.M.; SY, O. Ripening of mangoes following low-temperature storage. **American Society for Horticultural Science. Journal**, Alexandria, v.115, p.430-434, 1990.
- MONNING, A. Studies on the reaction of Krebs cycle enzymes from tissue (cv. Cox's Orange) to increased levels of CO₂. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v.138, p.113-119, 1983.
- MORIGUCHI, T.; ROMANI, R.J. Mitochondrial self-restoration as an index to the capacity of avocado fruit to sustain atmospheric stress at two climacteric stages. **American Society for Horticultural Science. Journal**, Alexandria, v.120, p.643-649, 1995.
- NOOMHORN, A.; TIASUWAN, N. Controlled atmosphere storage of mango fruit, *Mangifera indica* L. cv. Rad. **Journal of Food Processing and Preservation**, Trumbull, v.19, p.271-281, 1995.
- O'HARE, T.J.; PRASAD, A. The effect of temperature and carbon dioxide on chilling symptoms in mango. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v.343, p.244-249, 1993.
- ROTHAN, C.; NICOLAS, J. High CO₂ levels reduce ethylene production in kiwifruit. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.92, p.1-8, 1994.
- TALASILA, P.C.; CHAU, K.W.; BRECHT, J.K. Effects of gas concentrations and temperature on O₂ consumption of strawberries. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v.35, p.221-224, 1992.
- YAHIA, E.M.; MEDINA, F.; RIVERA, M. The tolerance of mango and papaya to atmospheres containing very high levels of CO₂ and/or very low levels of O₂ as a possible insect control treatment. In: INTERNATIONAL CONTROLLED ATMOSPHERE RESEARCH CONFERENCE, 5., 1989, Wenatchee. **Proceedings**. Wenatchee : [s.n.], 1989. v.2, p.77-89.
- YANG, S.F. Biosynthesis and action of ethylene. **HortScience**, Alexandria, v.20, p.41-45, 1985.