常温下フィルム包装貯蔵におけるエチレン除去が輸入アボカド、 パパイアおよびマンゴー果実の鮮度保持に及ぼす影響

肖 麗 亞・清 田 信

大阪府立大学大学院農学生命科学研究科

Effects of Ethylene Removal on Retaining Freshness of Imported Avocado, Papaya
and Mango Fruits under Modified Atmosphere Packages at Normal Temperature

Liya XIAO and Makoto KIYOTA

Graduate School of Agriculture and Biological Sciences, Osaka Prefecture University,
Sakai 599-8531, Japan

(Received July 5, 2001)

Avocado (*Persea americana*), papaya (*Carica papaya*) and mango (*Mangifera indica*) fruits were separately sealed in low-density polyethylene (LDPE) packages and stored for 8 or 12 d at 20°C to study the effects of ethylene removal on changes of gas concentrations and retaining freshness of the fruits under modified atmosphere packages (MAP). Although the varying inclinations of steady-state O₂ and CO₂ partial pressure in packages with ethylene absorbent (treatment) for various fruits were about the same those in packages without ethylene absorbent (control), steady-state ethylene concentrations in the control were found to be the highest for avocado fruits and lowest for mango fruits. In this experiment, it was shown that there were few effects of ethylene removal on the appearance of browning or yellowing of the fruit skins and softening of the fruits, but decay of the fruits was inhibited for up to 8 or 12 d storage.

Keywords: CO₂ ethylene, modified atmosphere packages, O₂

2001 年 7 月 5 日受付

緒 言

エチレン (C₂H₄) は収穫後の果実に対してクロロフィルの分解, 呼吸や軟化の促進, 追熟などさまざまな生理現象を引き起こす植物ホルモンである。C₂H₄ は果実自身が成熟期に生成するだけでなく, 傷害, 病気や微生物感染などによっても誘導されるので, 1 ppm の微量でも果実の呼吸を促進させ, 追熟をもたらし, やがては老化, 腐敗へと導く (Yamasita, 2000)。したがって C₂H₄ を果実の周囲から除去することは鮮

度保持効果を高める上で極めて重要となる。このため, 多くの C₂H₄ 除去剤が開発され, その利用が増す傾向にある。C₂H₄ の生合成および作用は, それぞれの果実の種類, 品種および熟度により異なる (Akamine and Goo, 1974; McGlasson, 1985; Yang, 1985; Jiang et al., 1986; Basioumy, 1989; Wu et al., 1992; Luo and Liu, 1994) が, 果実周囲の O₂, CO₂ などのガス濃度および温度によっても大きく左右される (Sherman, 1985; Yoshida et al., 1986; Ke et al., 1990; Lange and Kader, 1997)。

フィルムを用いて果実を包装し, 鮮度を保持する場

合、包装内の C_2H_4 を制御することによって果実の鮮度保持にもたらす効果は、果実の種類、品種および熟度、さらに果実周囲のガス環境 (O_2 , CO_2 濃度) 条件などにより複合影響を受けると考えられる。そこで、異なる種類のアボカド、パパイヤ、マンゴー果実をポリエチレンフィルムで包装し、低 O_2 、高 CO_2 および C_2H_4 が共存する MA 包装 (Modified Atmosphere Packages) 下で、包装内の C_2H_4 を除去することによって果実の鮮度保持 (果実の色、硬さ、重量の変化および腐敗の状況) に与える影響を検討した。

材料および方法

1. 供試果実

供試果実として、大阪市内の卸売市場で購入した輸入直後のアボカド (*Persea americana* 'Hass'), パパイヤ (*Carica papaya* 'Solo'), マンゴー (*Mangifera indica* 'Carabao') を用いた。アボカドはメキシコ、パパイヤはハワイ、マンゴーはフィリピンから輸入したものである。これらの果実は現地の果樹園で収穫後、殺虫を目的とした蒸熱処理 (Vapor Heat Treatment) が施され、収穫日から3日以内に果実が船積みされて日本に輸入されている。輸送時の温度は $7\sim 13^{\circ}C$ で、船積みまでの温度管理はされていない。パパイヤの場合は空輸されたものである。輸送に要した日数はメキシコから11日間で、フィリピンでは5日間であった。そのため、アボカドの場合、収穫後約16日後、パパイヤでは約5日後、マンゴーでは約10日後に供試した。

アボカドは果皮が全面緑色のもの (後述する色評価値5) を用い、パパイヤは、果皮の表面積の20~50% (色評価値4~3)、マンゴーは5~25%が黄変した黄緑色のもの (色評価値4.5) を用いた。果実1個の重さはアボカドが220~245 g、パパイヤが525~580 g、マンゴーが225~270 g で、果実表皮に損傷を持つものを除いた。

2. 包装内の C_2H_4 除去による試験区の設定

試験区には、 C_2H_4 除去処理区 (以下処理区で示す) と対照区の計2試験区を用意した。処理区では、各種果実の包装内に C_2H_4 吸収剤 (臭素を添着させた特殊活性炭で、ニューグリーンパック 30 g, レンゴー (株)) を入れ包装内の C_2H_4 を除去する方法を用いた。

各試験区ではアボカド、パパイヤ、マンゴーの3種の果実をそれぞれ厚さ $40\ \mu m$ の低密度ポリエチレンフィルムで密封包装し、包装内果実の重量は、アボカド (4個)、パパイヤ (3個) およびマンゴー (4個) で

それぞれ $950\pm 5\ g$, $1\ 560\pm 10\ g$, $1\ 045\pm 10\ g$ であった。各試験区に対し各種果実について包装したサンプルを5組ずつ用意し、気温 $20\pm 2^{\circ}C$ のプレハブ恒温室でアボカド、パパイヤの場合8日間、マンゴーの場合12日間鮮度保持実験を行った。

3. 包装内のガス濃度の測定

フィルム包装内の CO_2 と C_2H_4 濃度は、経時的にガラスシリンジでそれぞれ1 ml ずつのガスサンプルを抜き取り、ガスクロマトグラフによって測定した。 CO_2 の測定はシリカゲルカラム ($60/80\ mesh$, $1\ m\times 3\ mm\ \phi$, $90^{\circ}C$) と TCD 検出器、 C_2H_4 の測定はアルミナカラム ($60/80\ mesh$, $2.1\ m\times 3.2\ mm\ \phi$, $75^{\circ}C$) と FID 検出器を用いて行った。キャリアーガスとして前者ではヘリウム、後者では窒素を用いた。 O_2 分圧は、包装内に設置した酸素センサ (KE-50, 日本電池) により、また、水蒸気濃度は (以下相対湿度で示す)、湿度センサ (CHS-MSS, TDK) を用いて測定した。

4. 果実の鮮度評価項目

果実の鮮度は、果皮の色、果肉硬度、果実の目減りなどの測定値により評価した。また、果実の腐敗あるいは果皮、果肉の褐色または黒色病斑障害およびカビの繁殖の有無などを含めた総合的な外観の評価を目視により行った。

果皮の色については、各果実の表面積について全体的に緑色を保持 (評価値5)、表面積の25%が退色 (褐変または黄変) (評価値4)、50%が褐変または黄変 (評価値3)、75%が褐変または黄変 (評価値2)、全体的に褐変または黄変 (評価値1) の5段階で緑色部分の表面積に対する退色割合により評価した。

果実の硬度は果実硬度計 (ユニバーサル型 (UB型) 科学光栄社) を用い、果実の表面に円錐型の針頭 (基部径12 mm, 高さ10 mm) をあてて静かに圧せるところまで押し、果肉の総合抵抗力として表した。果実の目減りは鮮度保持実験前後の果実の重量を測定して減量率で表した。

果実の外観の損傷については、0~4のスケール (Severity Index) を用いた。すなわち、0=無腐敗 (None), 1=わずかな腐敗 (Trace), 2=軽度腐敗 (Slight), 3=中度腐敗 (Moderate), 4=重度腐敗 (Severe) の5段階で目視により評価した。

結果および考察

1. C_2H_4 除去による包装内ガス環境の変化

C_2H_4 除去による包装内ガス濃度 (O_2 , CO_2 および

C_2H_4 濃度)の経時変化を Fig. 1 に示す。各種果実について、 C_2H_4 除去区(以下処理区とする)と対照区の O_2 分圧の経時変化はほぼ同様の傾向を示し、定常状態における O_2 分圧が約 1.4 kPa となった。アボカド、マンゴーの包装区では、 O_2 が包装後急激に減少したのに対し、パパイヤ包装区では O_2 分圧の減少がそれに比べてすこし緩やかであった。

包装内の CO_2 分圧の経時変化は、各種果実とも処理区と対照区とはほぼ同様の傾向を示した。処理区と対照区の定常状態における CO_2 分圧は、アボカドの包装区で 10.0 および 11.8 kPa、パパイヤの包装区で 9.1 および 10.5 kPa、マンゴーの包装区で 15.2 および 16.5

kPa であった。処理区では対照区に比べて約 1.5 kPa 減少したが大差なかった。

一方、包装内の定常状態における C_2H_4 濃度は、 C_2H_4 吸収剤を入れた処理区では、いずれの果実とも 0.01~0.3 ppm であったのに対して、対照区ではアボカドの場合 30.0 ppm で最も高く、ついでパパイヤで 8.7 ppm、マンゴーでは 0.1 ppm と最も低かった。これは、果実自体の C_2H_4 放出量に関係し、また、包装内の O_2 分圧の低下、 CO_2 分圧の上昇によってもたらされる果実からの C_2H_4 生合成抑制の程度によると考えられる (Yang, 1985; Lange and Kader, 1997)。

本実験で用いたアボカド、マンゴーの両果実とも呼

Fig. 1 Changes in O_2 (■), CO_2 (●) and C_2H_4 (▲) concentrations of avocado, papaya and mango fruits in sealed LDPE packages kept at 20°C.

Control: packages without ethylene absorbent. Treatment: packages with ethylene absorbent.

吸量が大きかったが、 C_2H_4 の生成量は、アボカドで多く、マンゴーでは少なかった。

2. 包装内の C_2H_4 除去による果実の鮮度保持効果

包装 8 日目 (アボカド、パパイア) あるいは 12 日目 (マンゴー) の果実の鮮度保持効果 (果実の目減り、硬度および色の变化) を Fig. 2 に示す。各種果実について、対照区と比べると、処理区の果実の目減りは大きかった。これは、特殊活性炭を利用した C_2H_4 吸収剤に処理区の包装内水分が吸収され、包装内の相対湿度が対照区と比べて約 3% 下がったことによって果実の目減りが増加したと考えられる。本実験で、各種果実について、対照区の包装内の相対湿度は 96~100% であった。

果実の硬度、果皮の色の变化に及ぼす C_2H_4 濃度と包装内の低 O_2 分圧、高 CO_2 分圧の影響には下記のようにより有意な拮抗作用が認められた。

アボカドでは、果実の硬度と果皮の色の变化について処理区と対照区には大差なかった。対照区の包装内 C_2H_4 濃度が 30 ppm に達したが、低 O_2 (1.4 kPa)、高 CO_2 (12 kPa) のため、果肉の軟化、果皮の変色の進行が抑えられ、包装 8 日後も 5% の褐変にとどまり、硬度も 0.02 kg の低下にすぎなかった。果実の硬度、果皮の変色に及ぼす C_2H_4 の影響が比較的小さかった。パパイアでは、対照区包装内の C_2H_4 濃度が 8.7 ppm であり、果実の硬度の変化は処理区と対照区との間にアボカドと同様大差なかったが、色の評価値に有意差が認められた。これらは、フィルム密封包装により、包装内に C_2H_4 が蓄積されても、同時に生ずる低 O_2 、高 CO_2 の作用により、果皮のクロロフィル分解、果肉の軟化に及ぼす C_2H_4 の影響が拮抗的に阻害されたと考えられる (Kato, 1984)。

マンゴーでは、包装 12 日後の果実の硬度、果皮の色の变化は処理区と対照区にはほとんど差が見られなかった。これは、マンゴー果実がアボカド、パパイアと比べて C_2H_4 の放出量が少なく、低 O_2 (1.4 kPa)、高 CO_2 (16.1 kPa) のガス環境により C_2H_4 の生成が抑制され、0.1 ppm の低濃度で平衡状態となったことで、果実の硬度、色の变化に有意に影響しなかった (Yosiooka, 2000) ことによるか、あるいは低 O_2 、高 CO_2 が C_2H_4 の生成や作用に抑制的に影響したと考えられる。

したがって、包装内の C_2H_4 を除去することによって果実の硬度、果皮の変色に及ぼす影響は、果実周囲のガス環境 (O_2 、 CO_2 分圧) と果実自体の C_2H_4 放出量

Fig. 2 Effects of ethylene removal on (a) weight loss, (b) firmness, (c) visually assessed mean pericarp coloration (brown or yellow) of avocado, papaya and mango fruits in sealed LDPE packages for 8 d or for 12 d kept at 20°C.

The classes of peel color index (P. C. I.): 5=full green; 4=25% brown or yellow; 3=50% brown or yellow; 2=75% brown or yellow; 1= full brown or yellow. Vertical bars represent S.E. of the mean. Control: packages without ethylene absorbent. Treatment: packages with ethylene absorbent.

の多少により影響された。

また、包装内の C_2H_4 を除去することによって、包装

8日目または12日目の果実の腐敗の発生に及ぼす影響をFig. 3に示す。包装内の C_2H_4 の除去によって包装後の果実の健全果の維持および腐敗の抑制が確認さ

Fig. 3 Effects of ethylene removal on spoilage of avocado, papaya and mango fruits in sealed LDPE packages for 8 d or for 12 d kept at 20°C. The severity index: 0=none; 1=trace; 2=slight; 3=moderate; 4=severe. Control: packages without ethylene absorbent. Treatment: packages with ethylene absorbent.

れた。果実によってその腐敗を抑制する効果は異なった。

アボカドの場合、包装8日目の果実の健全果率は対照区の25%に対し、処理区では80%に達した。また、中度腐敗以上の果実は実験中には観察されなかった。パイアの場合、包装8日目の果実の健全果率は対照区で20%であったが、処理区では55%と有意に高く、果実腐敗の発生が少なく、腐敗程度も軽かった。この結果から、包装内の低 O_2 、高 CO_2 のガス環境に加え、果実周囲の C_2H_4 の除去は果実の腐敗を抑制し、鮮度保持効果を高める好適な環境となったと考えられる (Spalding and Reeder, 1974; Wang, 1978; Li and Kader, 1989; Ke and Kader, 1992)。特に、低 O_2 、高 CO_2 のガス環境下で、包装内の C_2H_4 の除去によって果実の組織内部の C_2H_4 の拡散が促進され、その結果組織内部の C_2H_4 濃度低下が果実の追熟の進行を抑制し、果実の腐敗を抑え、鮮度保持効果を高めたこと、また、処理区の包装内の相対湿度が約3%下がったことも鮮度保持効果を高める一因となったと考えられる。一方、マンゴーの場合、処理区と対照区にはほとんど差がなかった。これは実験期間中マンゴー果実の C_2H_4 放出量が少なく、対照区では包装内 C_2H_4 濃度が0.1 ppmと低い値になっていたことによると推察する。

以上の結果から、果実をフィルムで密封包装した場合、包装内の O_2 分圧の低下、 CO_2 分圧の上昇および C_2H_4 が蓄積するガス環境下で、包装後の果実の軟化、果皮の変色および果実の腐敗に対する低 O_2 、高 CO_2 と C_2H_4 の複合影響を考察した。本研究ではそれぞれの果実については貯蔵前の初期条件としての収穫後の日数が異なるが、包装内の C_2H_4 除去によって鮮度保持にもたらす効果はアボカドにおいて顕著であった。

文 献

- Akamine, E. K., Goo, T. 1974. Respiration and ethylene production during ontogeny of fruit. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* **98**: 381-383.
- Basioumy, F. M. 1989. Ethylene evolution in strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch) during fruit ripening. *Acta Hortic.* **265**: 363-368.
- Jiang, J., Su, M., Lee, P. 1986. The production and physiological effects of ethylene during ontogeny and after harvest of *Litchi* fruit. *Acta Phytophysiol. Sin.* **12**: 95-103.
- Kato, K. 1984. Control of ethylene in the retaining freshness of fruit and ripening technology. *Res. Bull. Market. Technol. Agric. Prod.* **59**: 49-55.
- Ke, D., Kader, A. A. 1992. Potential of controlled atmospheres for postharvest insect disinfestation of fruits and vegetables. *Postharvest News Info.* **3**: 31N-37N.

- Ke, D., Gorsel, H. V., Kader, A. A. 1990. Physiological and quality responses of 'Bartlett' pears to reduced O₂ and enhanced CO₂ levels and storage temperature. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* **115**: 435-439.
- Lange, D. L., Kader, A. A. 1997. Effect of elevated carbon dioxide on key mitochondrial respiratory enzymes in 'Hass' avocado fruit and fruit disks. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* **122**: 238-244.
- Li, C., Kader, A. A. 1989. Residual effects of controlled atmospheres on postharvest physiology and quality of strawberries. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* **114**: 629-634.
- Luo, B. Y., Liu, X. 1994. Effects of ethylene on RNA metabolism in strawberry fruit after harvest. *J. Hortic. Sci.* **69**: 137-139.
- McGlasson, W. B. 1985. Ethylene and fruit ripening. *HortScience* **20**: 51-53.
- Sherman, M. 1985. Control of ethylene in the postharvest environment. *HortScience* **20**: 57-60.
- Spalding, D. H., Reeder, W. F. 1974. Low-oxygen high-carbon dioxide controlled atmosphere storage for control of anthracnose and chilling injury of avocados. *Phytopathology* **65**: 458-460.
- Wang, C. Y. 1978. Effect of CO₂ treatment on storage and shelf life of sweet peppers. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* **102**: 808-812.
- Wu, Y. M., Gu, C. Q., Tai, G. F., Liu, Y. 1992. Effects of ABA and ethylene on the ripening and senescence of postharvest strawberry fruit. *Acta Phytophysiol. Sin.* **18**: 167-172.
- Yamasita, I. 2000. A trend to development of technology retaining freshness of fruits. *J. Jpn. Soc. Facilities Hortic.* **111**: 8-13.
- Yang, S. F. 1985. Biosynthesis and action of ethylene. *HortScience* **20**: 41-45.
- Yoshida, T., Borgic, D. M., Chen, P. M., Mielke, E. A. 1986. Changes in ethylene, acids, and brown-core development of 'Bartlett' pears in low-oxygen storage. *HortScience* **21**: 472-474.
- Yosioka, H. 2000. Physiological and retaining freshness of fruit. *J. Jpn. Soc. Freshness Food Syst.* **29** (Suppl. 7): 14-19.