

不同發育階段'台農一號'百香果果實後熟特性之研究

李 瑤 萱¹⁾ 林 慧 玲²⁾

關鍵字：百香果、成熟度、後熟特性

摘要：本研究調查百香果在周年生產模式下，埔里地區正期果與高屏地區產調果果實後熟特性的差異，果實生長期間成熟度變化相似，花後 6 週果實採收後無法完全轉色且無乙烯生成，而花後 7 至 9 週果實，皆可在室溫順利轉色，且隨果實發育周數之增加而提前出現乙烯生成高峰。埔里地區果實後熟速度較高屏地區快，果實出現乙烯上升天數與乙烯高峰產生時間皆較高屏地區早 1-2 天，可能為季節差異所至，但兩地區之果實在後熟階段皆出現乙烯生合成速率高峰，約在 250-300 $\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ 之間。兩地區生產之百香果後熟特性相似，本試驗結果可提供百香果最適採收之成熟度，提供貯運期程長短之參考依據。

前 言

百香果 (*Passiflora edulis* Sims.) 為西番蓮科西番蓮屬之熱帶多年生蔓性果樹，主要栽種於巴西、哥倫比亞、肯亞、印度等國，其果實風味酸甜且香氣特殊，長期以來為全球重要果汁加工及鮮食果品。台灣百香果主要栽培種以紫色種和黃色種的雜交品種'台農一號'為主，其生產面積與產量逐年提升，根據農委會統計資料顯示，民國 108 年產量已達 25,130 公噸，種植面積有 809 公頃，是台灣重要的經濟果樹之一。

正常百香果的產期是在每年 6 月至隔年 1 月以南投縣埔里地區生產為大宗，近年來，高雄區農業改良場開發百香果冬季電照栽培模式，生產屏東地區春季的產調百香果，補足百香果在 3 至 5 月的果實供應缺口，使得目前台灣幾乎全年皆能生產百香果，百香果的年產值也從民國 106 年的 8 億元增加至 108 年的 14 億元。隨著百香果產值、產量的提升與週年供應果實的技術的開發，拓展外銷市場是未來百香果產業的一大目標。

果實外銷成功的關鍵為貯藏技術配合長程貯運，然而百香果是熱帶果樹，且為典型的

1) 國立中興大學園藝系碩士班研究生。

2) 國立中興大學園藝系教授，通訊作者。

更年性果實，在果實後熟階段產生高的乙烯釋放量與呼吸率，導致果品迅速進入老化，增加貯藏上的困難度，因此本試驗目的在於了解周年生產模式下不同地區百香果在不同發育階段採收後熟特性之差異，以做為未來調控百香果長期貯藏之依據。

材料與方法

一、試驗材料

本試驗選用兩個不同地區之'台農一號'百香果，分別為臺中區農業改良場埔里分場以及高雄區農業改良場設施內所栽種之果實，兩地區之果實於開花期進行標花，埔里地區使用花後 6 週至花後 9 週果實，高雄地區則取用花後 6 週至花後 10 週之外觀完整、無傷痕之果實進行試驗，採收後隔日低溫配送至中興大學園藝系採後處理實驗室。高雄地區果實試驗日期為 2019 年 3 月 21 日，埔里地區試驗日期為 2019 年 7 月 16 日。

二、試驗方法

果實經由挑選後，將其果梗剪除，並進行清洗動作，清洗分為三段式，第一段使用自來水將表面的塵土洗淨，並特別注意果梗附近的髒污，第二段與第三段使用 40ppm 電解次氯酸水進行殺菌兩次，將果實浸入次氯酸水溶液中來回滾動約 30 秒，取出後風乾。使用 1L 的呼吸缸，每個呼吸缸中放入兩個百香果果實，果實放入呼吸缸前先行稱重，以流通式測定法於室溫 25°C 測定百香果採收後每日的乙烯釋放率與呼吸率，每日測量 1 次，共測量 10 天，調查不同地區下，不同成熟度的百香果果實在後熟期間的生理差異，每個成熟度使用 5 個呼吸缸，共 5 重複。

三、調查項目

(一) 乙烯釋放率

以塑膠針筒自呼吸缸出氣口抽取 1 ml 氣體，以氣相層析儀 (Gas chromatograph, Shimadzu, GC-8A)，搭配火焰離子化偵測器 (Flame ionization detector, FID)，分離管以不銹鋼管住(1/8"× 6ft)填充活性氧化鋁 (Activated aluminum, 80-100 mesh)，管柱及注射口偵測器溫度分別為 90°C 及 130°C，並以氮氣作為攜帶氣體，測定呼吸缸內乙烯濃度，並由已知濃度的乙烯作為標準品進行果實乙烯濃度的換算，單位以 $\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ 表示。乙烯釋放率以 1 個呼吸缸為單位，共 5 重複。

(二) 呼吸率

呼吸率以果實所產生之二氧化碳速率表示。以塑膠針筒自呼吸缸出氣口抽取 1 ml 氣體，將氣體注入紅外線二氧化碳分析儀中 (Infrared analyzer, Maihak, UNOR610)，以氮氣作為攜帶氣體，測定呼吸缸內二氧化碳濃度，並由已知濃度的二氧化碳作為標準品進行果實二氧化碳濃度的換算，單位以 $\text{ml CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ 表示。呼吸率以 1 個呼吸缸為單位，共 5 重複。

結 果

一、不同地區下各成熟度之'台農一號'百香果外觀表現

在埔里地區與高屏地區不同成熟度的百香果果實，如圖 1(a)所示，果實依照果色的差異來判斷其成熟度，成熟度為花後 6 週的百香果，整顆果實呈青綠色，而花後 7 週之果實則呈黃綠色，相較 6 週果實顏色較淺，但用肉眼較難判斷花後 6 週與花後 7 週之果實的差別，而花後 8 週果實雖然還是呈現綠色，但在果殼表面出現紅色的斑紋痕跡，是果實開始轉色的象徵，花後 9 週果實則在整個果實表面呈現淡紅色但尚未轉色完全，花後 10 週果實已完全轉色，呈現紫紅色，是常見園藝成熟度之果實。經過在室溫 (25°C) 下後熟 10 天，如圖 1(b)所示，花後 7 至 9 週之果實均順利轉色，唯花後 6 週之果實在室溫下放至 10 天後無法順利轉色，果實表面還是呈青綠色狀態。



圖 1. 25°C 下不同成熟度之'台農一號'百香果於(a)採收當天與(b)後熟 10 天之外觀差異。

Fig. 1. 'Tainung No. 1' passion fruit with different maturities on (a) the first day of harvest, and (b) ripening for 10 days. (6 w = 6 weeks after flowering ; 7 w = 7 weeks after flowering, 8 w = 8 weeks after flowering, 9 w = 9 weeks after flowering, and 10 w = 10 weeks after flowering).

二、埔里地區不同成熟度'台農一號'百香果後熟特性

埔里地區不同成熟度的百香果在後熟階段的乙烯釋放率如圖 2 所示，花後 6 週的果實，在 10 日內均沒有明顯的乙烯生合成，其最高的乙烯量僅有 $0.056 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ ，花後 7 週的果實在採後第 4 至第 5 天時開始有明顯的乙烯生合成，第 5 天至第 10 天乙烯生成速率繼續上升，達到 $284.3 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ 。花後 8 週果實因成熟度較高，在採收後第 1 至第 2 天就有乙烯的生合成，在第 6 天時乙烯達到最高峰，有 $214.1 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ 的乙烯釋放量，而花後 9 週的果實在採收當日就能測量到顯著的乙烯，在第 4 天時出現最高的乙烯生成速率為 $231.2 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ ，第 4 天至第 10 天的乙烯釋放量則沒有顯著的變化。呼吸率方面如圖 3 所示，可發現花後 6 週之果實在採收後第 1 天時有著最高的呼吸率為 $47 \text{ ml CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ ，接著逐漸下降至第 10 天。花後 7 週的果實在採收後第 3 天時有著最高的呼吸率為 $41.7 \text{ ml CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ ，接著些微下降約在 $35\text{-}40 \text{ ml CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ ，第 10 天時其呼吸率顯著高於其他成熟度之果實，約是 $32.8 \text{ ml CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ 。花後 8 週在後熟 10 天中沒有出現明顯的呼吸高峰，第 4 天時呼吸率為 $39.4 \text{ ml CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ 是 10 天中最高的呼吸率，第 4 天後開始逐漸下降，花後 9 週呼吸率在採收後第 1 天就顯著低於其他成熟度的果實，且呼吸率沒有明顯的變化。

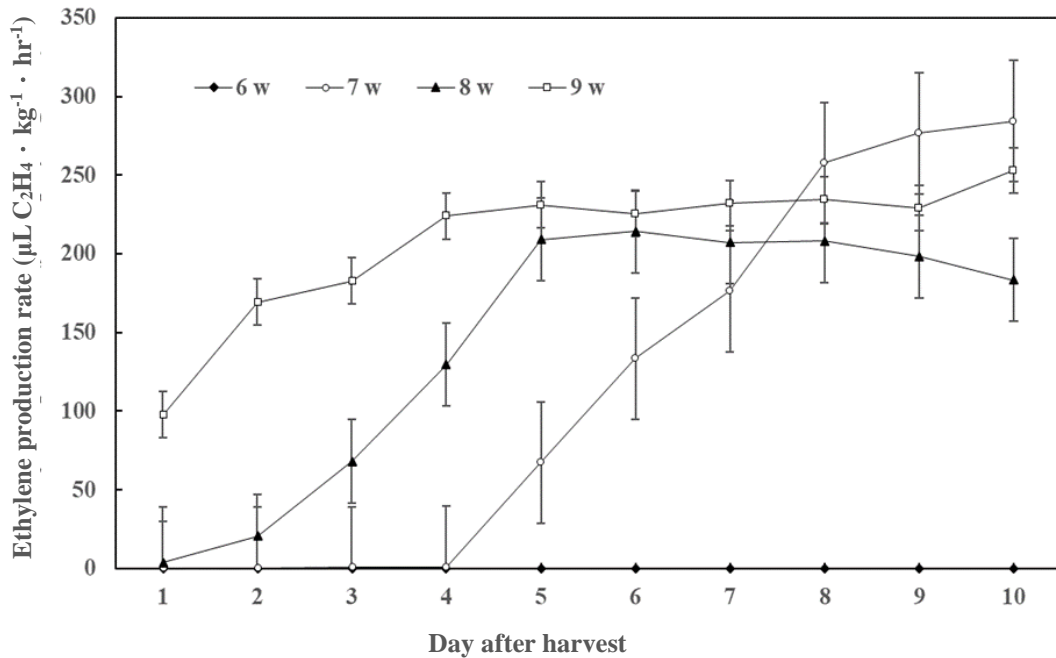


圖 2. 埔里地區採收後不同成熟度'台農一號'百香果在 25°C 下乙烯釋放率的變化。

Fig. 2. Change in ethylene production of 'Tainung No. 1' passion fruit with different maturities under 25°C after harvest in Puli district. (6 w = 6 weeks after flowering ; 7 w = 7 weeks after flowering, 8 w = 8 weeks after flowering, and 9 w = 9 weeks after flowering).

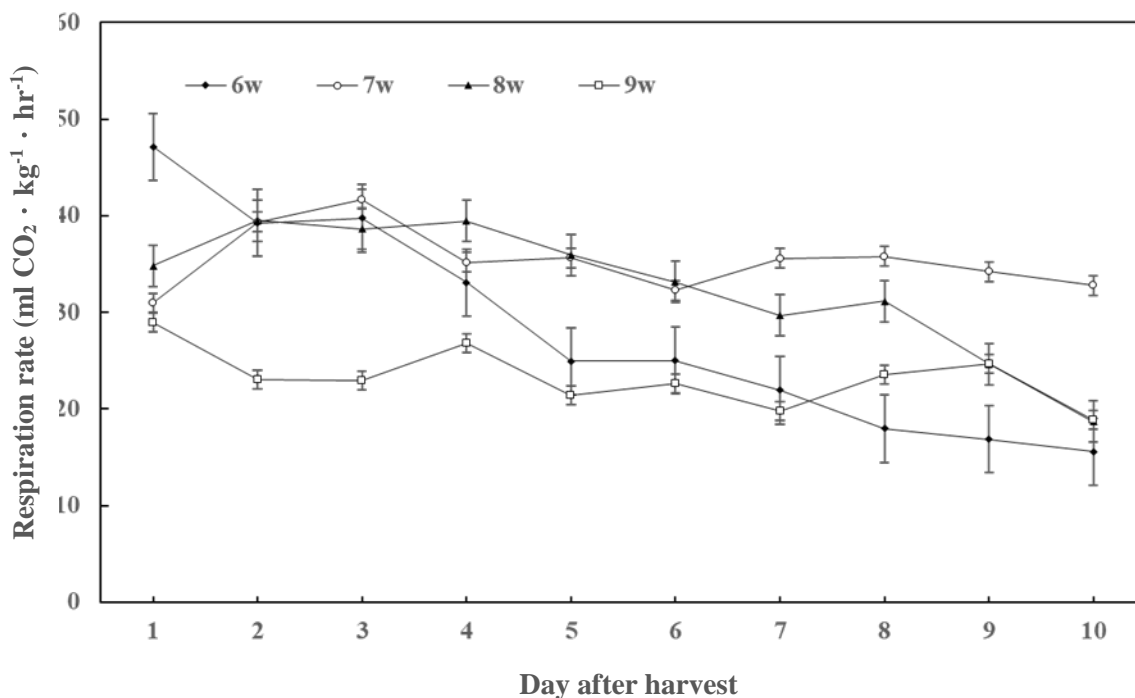


圖 3. 埔里地區採收後不同成熟度'台農一號'百香果在 25°C 下呼吸率的變化。

Fig. 3. Change in respiration rate of 'Tainung No. 1' passion fruit with different maturities under 25°C after harvest in Puli district. (6 w = 6 weeks after flowering; 7 w = 7 weeks after flowering, 8 w = 8 weeks after flowering, and 9 w = 9 weeks after flowering).

三、高屏地區不同成熟度'台農一號'百香果後熟特性

高屏地區使用電照產期調節的果實，在不同成熟度果實的採收後之乙烯釋放率如圖 4 所示。花後 6 週的果實在採收第 1 天至第 8 天均無明顯乙烯生合成，在第 8 天至第 9 天時開始有乙烯產生，且有逐漸升高的趨勢，花後 7 週果實在第 4 天至第 5 天開始出現乙烯，在第 8 天時達到乙烯的高峰，其速率為 $264.5 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ ，第 8 天後乙烯生成量則逐漸下降。花後 8 週之乙烯從採收後第 3 天開始出現，其乙烯高峰和花後 7 週果實相似，均在採收後第 8 天出現，其生成率為 $180.2 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ ，接著逐漸下降，花後 9 週果實則是在採後第 1 天就有明顯的乙烯生合成，在第 7 天時出現乙烯高峰，其速率為 $230 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ ，而第 7 天過後乙烯生成速率開始逐漸下降，此趨勢和花後 7 週與 8 週的果實相同。在花後 10 週的果實則是在採收後已有 $107.8 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ 的乙烯生合成速率，在室溫 10 天中，其速率在第二天達最高為 $176.6 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ ，接著開始逐漸下降，花後 10 週果實沒有出現明顯的乙烯高峰。呼吸率方面，如圖 5 所示，花後 6 週果實之呼吸率呈現先下降後上升的趨勢，於採收時呼吸率持續下降至第 7 後，呼吸

率開始上升，且在第 10 天時，其呼吸率顯著高於其他成熟度之果實，其速率為 $39.0 \text{ ml CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ 。花後 7 週與 8 週果實的呼吸率有著相近的趨勢，皆在採收後第 6 天出現呼吸高峰，花後 7 週果實呼吸率為 $44.6 \text{ ml CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ ，而花後 8 週果實為 $42 \text{ ml CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ ，高峰出現後呼吸率逐漸下降。花後 9 週果實則是於第 3 天出現呼吸高峰，其呼吸率為 $46.1 \text{ ml CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ ，花後 10 週果實在第 2 天出現最高的呼吸率為 $47.7 \text{ ml CO}_2 \cdot$

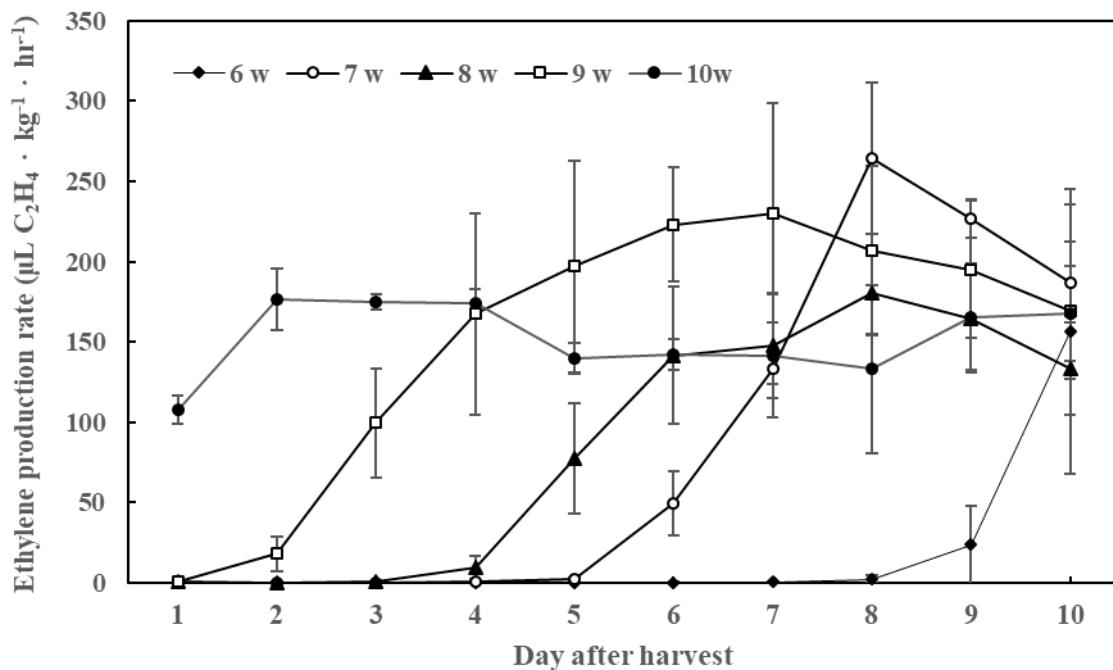


圖 4. 高屏地區採收後不同成熟度'台農一號'百香果在 25°C 下乙烯釋放率的變化。

Fig. 4. Change in ethylene production of 'Tainung No. 1' passion fruit with different maturities under 25°C after harvest in Kaohsiung-Pingtung district. (6 w = 6 weeks after flowering; 7 w = 7 weeks after flowering, 8 w = 8 weeks after flowering, and 9 w = 9 weeks after flowering).

討 論

一、不同地區下各成熟度之'台農一號'百香果外觀表現

百香果為更年性果實，採收後有自然後熟能力 (Shiomi *et al.*, 1996a)，採收成熟度影響果實後熟的表現，如轉色程度與果實品質 (陳，2006)，本試驗為了解不同地區生產百

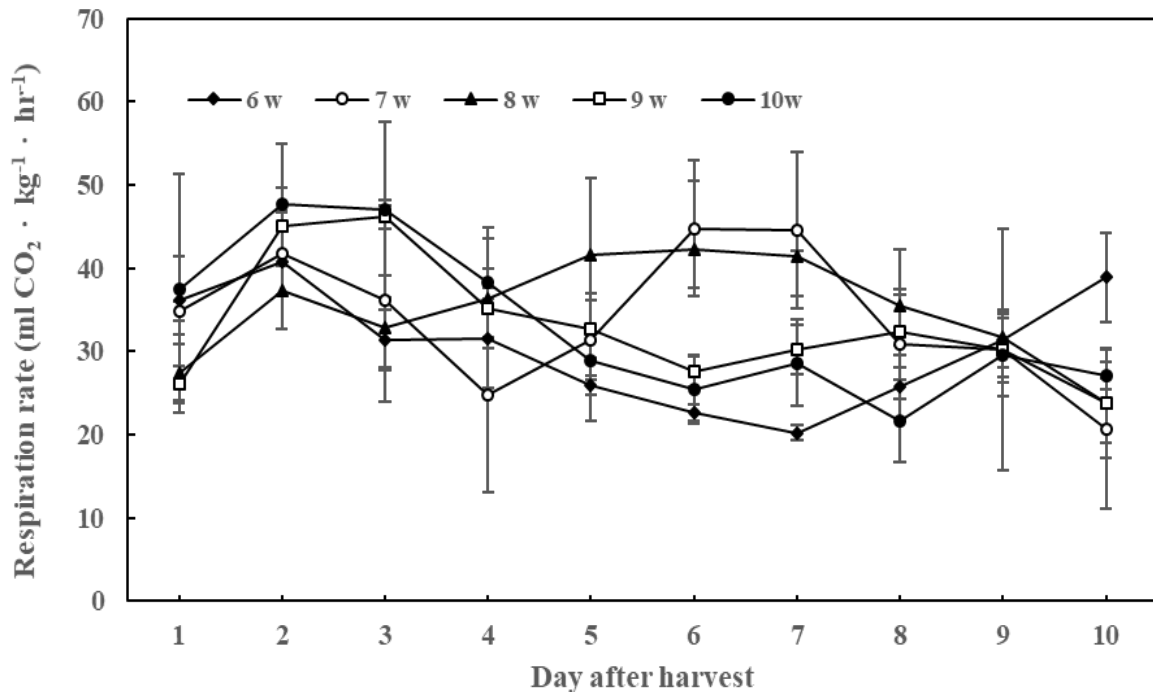


圖 5. 高屏地區採收後不同成熟度'台農一號'百香果在 25°C 下呼吸率的變化。

Fig. 5. Change in respiration rate of 'Tainung No. 1' passion fruit with different maturities under 25°C after harvest in Kaohsiung-Pingtung district. (6 w = 6 weeks after flowering ; 7 w = 7 weeks after flowering, 8 w = 8 weeks after flowering, and 9 w = 9 weeks after flowering).

香果及不同發育階段之後熟特性的表現，選用不同成熟度果實進行試驗（圖 1），在外觀上發現花後 6 週果實無法順利轉色，但採收花後 7 至 9 週之果實，皆可在室溫順利轉色，推測是因為採收成熟度太低未達自然後熟之臨界期，花青素的生合成與葉綠素的降解不完全，造成果實無法轉色後熟。百香果果實成熟度可以果皮外觀顏色來判斷（方等，1998），Pongener 等 (2014) 將紫色種百香果成熟度以果皮轉色程度分為 4 個等級，分別為生理成熟期 (stage I)、25% 果皮轉色 (stage II)、50% 果皮轉色 (stage III) 及 75% 果皮轉色 (stage IV)，分別放置於室溫後熟 30 天，成熟度低的 stage I 與 stage II 果實，無法順利轉色，其果皮 a^* 值顯著低於另外 2 成熟度果實，若將果皮轉色程度對照本試驗之百香果果實，與本試驗結果不符，

果皮 25% 轉色可視為花後 8 至 9 週的成熟度，其在後熟階段果實可完全轉色至園藝採收成熟度之果實外觀，由此結果可以推測在不同品種間百香果判斷成熟度之轉色特性上也會有所差異。

二、埔里與高屏地區不同成熟度'台農一號'百香果後熟特性

後熟階段乙烯高峰出現的時間會隨成熟度升高而提前 (Shiomi *et al.*, 1996a; Pongener *et al.*, 2014), 與本試驗結果相似, 但乙烯生成量上有所差異, 在 Shiomi 等 (1996a) 以紫色種百香果進行調查, 其乙烯量高達 $500-600 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$, 而本實驗乙烯生成僅在 $250-300 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ 間 (圖 2、圖 4)。Srikanya (2013) 相同以'台農一號'作為研究材料, 調查花後不同週數百香果後熟時乙烯釋放速率, 其結果在花後 7 週與 8 週之果實生成乙烯量較低, 最高僅有約 $100 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$, 但在花後 9 週與 10 週之果實則與本試驗較相似, 可達 $300 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ 。而花後 6 週果實在本試驗中, 兩地區的表現有所差異, 埔里地區果實在後熟 10 天中均無顯著的乙烯產生, 其值僅有 $0.06 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$, 而於高屏地區花後 6 週果實則在採收後第 8 天時乙烯開始上升, 可能高屏地區花後六週果實及埔里地區花後六週果實在前期發育階段因生長環境或有無電照引起成熟度之差異。在整體試驗結果, 埔里地區之果實後熟速度較高屏地區快, 埔里地區各成熟度果實出現乙烯之天數與乙烯高峰產生時間皆較高屏地區早 1-2 天, 而乙烯釋放量以高雄地區果實較高, 可能因生長環境有所影響, 埔里地區是露天栽培的夏季果實, 而高雄地區則是以設施栽培的電照產期調節的春季果實, 生長環境和採收時的溫度可能影響其後熟表現, 高屏地區因冬春果平均氣溫較埔里夏季果低, 果實發育速度較慢, 因此花後 7、8 及 9 周果實發育成熟度較埔里地區低。Goldenber 等 (2012) 指出在以色列的紫色種雜交黃色種之 'Passion Dream' (PD) 百香果, 在乙烯生成量上, 以冬季果實生成量稍微高於夏季果實, 但在乙烯高峰出現時間以冬季果實略早於夏季果實。在呼吸率的部分, 成熟度越低之果實在採收後其值較高, 此結果與 Shiomi 等 (1996b) 之試驗結果相同, 在呼吸率之值來看, 本試驗測得之果實呼吸率皆介於 $20-50 \text{ ml CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ (圖 3、圖 5), 其結果與 Srikanya (2013) 相同, 但在紫色種百香果測得呼吸率則介於 $60-140 \text{ ml CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ 之間 (Pongener *et al.*, 2014), 其差異可能是因為品種間後熟特性不同所造成。而在本試驗中, 相同品種之百香果在埔里與高雄兩地區栽培, 栽培模式與環境皆不同, 但試驗結果顯示其後熟特性並無太大差異, 僅花後天數果實成熟度稍有差異, 因此在未來貯藏試驗中, 兩者可以相同方式進行貯藏。

參 考 文 獻

- 方祖達、史宏財、陳雪娥。1998。百香果採收成熟度之研究(三)對果汁色澤與香氣之影響。中國園藝 34(1): 45-59。
- 陳靖儒。2006。百香果貯藏技術之研究。國立中興大學園藝學系碩士論文。臺灣:臺中。81pp。
- Goldenberg, L., O. Feygenberg, A. Samach, and E. Pesis. 2012. Ripening attributes of new

- passion fruit line featuring seasonal non-climacteric behavior. *J. Agric. Food Chem.* 60: 1810-1821.
- Pongener, A., V. Sagar, R. K. Pal, R. Asrey, R. R. Sharma, and S. K. Singh. 2014. Physiological and quality changes during postharvest ripening of purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims). *Fruits* 69(1): 19-30.
- Shiomi, S., Y. Kubo, L. S. Wamocho, H. Koaze, R. Nakamura, and A. Inaba. 1996a. Postharvest ripening and ethylene biosynthesis in purple passion fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 8: 199-207.
- Shiomi, S., L. S. Wamocho, and S. G. Agong. 1996b. Ripening characteristics of purple passion fruit on and off the vine. *Postharvest Biol. Technol.* 7: 161-170.
- Srikanya, S. 2013. Growth and development of 'Tainung No. 1' passion fruit and effect of dropping and ripening temperature on the fruit quality. Hort. MS thesis. Natl. Chung Hsing Uni. Taichung, Taiwan.

Ripening Behavior of 'Tainung No.1' Passion Fruit in Different Cultivation Areas

Yu-Hsuan Lee ¹⁾ Huey-Ling Lin²⁾

Key words : Passion fruit, Maturity, Ripening behavior

Summary

The study investigated the ripening behavior of passion fruit in Puli (in-season production) and Kaohsiung-Pingtung area (off-season production) under the annual production mode. Similar variation in fruit maturity was observed for fruits cultivated in Puli area and Kaohsiung-Pingtung area. The peel color only slightly changed for fruits harvested six weeks after flowering, but for those harvested seven to nine weeks after flowering, the color of the fruit was changed completely. Furthermore, the peak for ethylene production in fruits after harvest appeared earlier as the weeks of fruit development before harvest increased. The fruit ripening speed in the Puli area was faster than that in the Kaohsiung-Pingtung area. The days required to detect or reach a peak for ethylene generation at each maturity stage were 1-2 days earlier in Puli area than that in Kaohsiung-Pingtung area, and it probably due to the difference in growing season. However, high concentration of ethylene biosynthesis during ripening process was noticed for the fruits in both areas, and the content is between 250-300 $\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$. The ripening behavior of passion fruit produced in the two regions are similar. The results of this experiment indicated the most optimal maturity stage for harvesting and provided an important basis for duration of transport and storage in passion fruit.

1) Student in M.S. program, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

2) Professor, Department of Horticulture, National Chung Hsing University. Corresponding author.