

高溫處理對'台農二號'番木瓜果實 乙烯生合成之影響

趙筱倩¹⁾ 林慧玲²⁾

關鍵字：高溫、番木瓜、乙烯、後熟

摘要：由於全球暖化日益嚴重，許多果樹作物可能遭遇高溫逆境之衝擊。本試驗擬探討長期高溫對'台農二號'番木瓜果實後熟作用與轉色之影響。結果顯示高溫處理造成'台農二號'番木瓜果實乙烯釋放量下降，主要原因是 ACC 氧化酶對於高溫敏感，導致活性下降。由於高溫抑制果肉的呼吸作用及乙烯生合成，造成果實後熟作用受阻，導致果皮轉色不良。35、40°C 高溫處理 3 天，再經催熟處理，果實呼吸作用、乙烯釋放率、ACC 氧化酶活性恢復，並且正常後熟。但是 40°C 高溫處理 6 天，番木瓜果實受到熱傷害，即使經由催熟處理，果皮顏色依然轉色不良。

前 言

全球暖化日益嚴重，根據中央氣象局分析台灣氣象資料，發現過去 100 年台灣平均溫度上升 1.27°C，比聯合國氣候變遷小組(IPCC)所估計全球百年來溫度上升 0.6°C 還高出 1 倍，顯現台灣暖化的情況更嚴重。然而，高溫影響果實品質及採後後熟特性，包含熱休克蛋白的產生、細胞膜的破壞及果皮特性之改變等，也影響果實的後熟作用及食覺品質(Woolf and Ferguson, 2000)。

溫度越高，果實呼吸作用上升(王，1972；蔡，2003；Klein and Lurie, 1990)。但是當高溫累積到一定程度，造成細胞傷害或者蛋白質結構改變及酵素活性下降，即會導致呼吸速率下降(Inaba and Chachin, 1989; Antunes and Sfakiotakis, 2000; Paull and Chen, 2000)。

而在乙烯生合成方面，高溫達 36°C 以上會造成蘋果組織乙烯釋放率降低與 ACC 的累積(Yu *et al.*, 1980)。這是由於 ACC 氧化酶活性受抑制，但 ACC 合成酶卻尚未受抑制，顯

1) 國立中興大學園藝學系碩士班研究生。

2) 國立中興大學園藝學系副教授，通訊作者。

然 ACC 氧化酶對熱更敏感，同樣的情形發生於芒果及獼猴桃果實(Ketsa *et al.*, 1999; Antunes and Sfakiotakis, 2000)。番木瓜、蘋果及甜瓜果實若短暫放置在達 40°C 以上的環境下，ACO 活性會快速下降約 75%。同時 ACC 累積量也減少，指出果實內 ACC 合成酶與 ACC 氧化酶皆受到抑制(Paull and Chen, 2000)。並且熱逆境下梨、番茄、香蕉與獼猴桃對於外在乙烯沒有反應，高溫下導致乙烯受體不活化且喪失對乙烯之敏感度(Maxie *et al.*, 1974; Seymour *et al.*, 1987; Yang *et al.*, 1990; Antunes and Sfakiotakis, 2000)。

因此，本試驗目的為探討長時間的高溫環境下對於番木瓜果實後熟特性之影響，包含呼吸作用、乙烯生合成及後熟反應。並探討經由人工催熟處理，是否能減輕高溫所造成的番木瓜果實自然後熟障礙，而能達後熟一致性及食覺品質。

材料與方法

一、試驗材料與方法

本試驗材料為'台農二號'('Tainung No.2')番木瓜果實，於 2009 年 10 月 22 日採自六龜鄉農會果樹產銷班邱氏果園，採收成熟度為綠熟期至果溝約 1-2 條轉色，約 10-25%轉色階段。

高溫處理分為 35 與 40°C，而 30°C 為番木瓜果實最佳後熟溫度(謝，2001)，當作對照組。利用恆溫箱控制溫度，將番木瓜果實放置於 70L 壓克力箱內，並外加加濕設備以維持壓克力箱內濕度。分別放置 0、3、6、9、12 天後，取樣調查。另外一批則是經過高溫處理後，將果實放置於紙箱中，並放入適量電石，加以密封，移至 30°C 恆溫箱中催熟 3 天後，再取樣調查果實品質，並以液態氮固定外部果肉，以供待測相關酵素。每處理為四重複，每重複為一顆果實。

二、調查項目與方法

(一) 果實果皮與果肉顏色

果皮顏色測定以手持式色差儀(MiniScan[®]XE Plus, 4500S)於果實赤道部與尾部各取兩點，共 4 點求其平均值。果肉顏色則是將番木瓜果實自赤道部橫切，於切面中間取兩點並求其平均值，分別測定 L*、a*、b*、C*、h° 值。L*(Lightness)值表示果實明亮度，100 為白色，0 為黑色；a* 表示紅綠程度，正值表示偏紅色，負值表示偏綠色；b* 值表示黃藍程度，b* 值為正表示顏色偏黃，負值表示偏藍；C* 值為彩度(Chroma)，以 $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ 計算之，數值越高代表顏色越濃；h° 值為色相角度(Hue angle)，以 $h^{\circ} = \tan^{-1}(b^*/a^*)$ 計算之，表示果實顏色色相之變化，0 度為紅-紫色，90 度為黃色，180 度為藍-綠色，270 為藍色。

(二) 果實呼吸率與乙烯釋放率

將果實放入呼吸缸(4L)中，在密閉系統靜置 1 小時，自塑膠管內抽取 1ml 氣體偵測樣品之二氧化碳與乙烯濃度。二氧化碳測定採用紅外線二氧化碳分析儀(IR-analyzer, Maihak,

Model UNOR610)，計算其呼吸率，單位為 $\text{ml CO}_2 \text{kg}^{-1} \text{hr}^{-1}$ 。乙烯釋放率以氣相層析儀(Gas chromatograph, Shimadzu, Model GC-8A) 配以火焰離子檢出器(FID)測定，分離管採用不銹鋼管柱(1/8"×6ft)，填充活性氧化鋁(Activated alumina, 80-100 mesh)，管柱溫度為 90°C ，注入口及偵測器溫度為 130°C ，以氮氣為載行氣體，壓力設定為 3 kg/cm^2 ，燃燒氣體為氫氣，以氧氣助燃，兩者壓力均為 0.5 kg/cm^2 。再由乙烯濃度之變化計算乙烯釋放速率，單位為 $\mu\text{l C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{hr}^{-1}$ 。

(三) ACC 氧化酵素活性之測定

參考 Moya-leon 和 John(1994)之方法，以直徑 1mm 之鑽孔器將番木瓜果肉製備成圓柱，再將圓柱切成厚約 1mm 之果肉圓片 3 個，秤重後放入 25ml 三角瓶，依序加入 2.5ml 0.1M Tris 含 0.4M Mannitol、0.1ml 0.9M Ascorbic acid、0.1ml 3mM FeSO₄ (活化氧離子)、0.1ml 0.6M NaHCO₃、0.1ml 30mM cycloheximide (CHI ;蛋白質合成抑制劑) 及 0.1 ml 30mM 1-aminocyclopropane- 1- carboxylate (ACC)，以及對照組：a.加圓片不加 ACC；b.不加圓片，加全部藥為空白組。以血清塞密封後，放置於烘箱中 30°C ，以 100rpm 振盪 1.5 小時，以塑膠針筒抽取三角瓶內氣體 1ml 利用氣相層析儀(gas chromatograph, Shimadzu, Model GC-8A) 配以火焰離子檢出器 (FID) 測定乙烯濃度，換算為 ACC 氧化酶活性，單位以 $\text{nl C}_2\text{H}_4 \text{ g}^{-1} \text{hr}^{-1}$ 表示。

(四) ACC 濃度測定方法

ACC 之抽取：取 2g 鮮重果肉放置在試管中，加入 5ml 80%酒精，以 70°C 熱水浴中加熱 20 分鐘，收集酒精抽取液。殘渣加入 5ml 80%之酒精，重複抽取一次，將 2 次酒精抽取液合而為一，進行減壓濃縮，直到酒精完全蒸發為止，濃縮後以去離子水使其完全溶出後，再以微量離心管定量至 1ml。

ACC 濃度之測定：依 Lizada 與 Yang(1979)之方法，取上述樣品 ACC 之抽取液 200 μl 加入 10 mM 氯化汞 100 μl 及去離子水 600 μl 以血清塞密封，另準備一組試管除添加上述溶液外，並加入 0.1mM 純 ACC 10 μl 以計算轉換率。反應液加完後以血清塞將試管密封，置於冰浴中準備進行氧化反應。將冰冷之 NaOCl- NaOH (2:1) 試劑裝入 1ml 塑膠注射管。每隔 30 秒注 0.1ml，於上述試管中，強烈震盪 10 秒後放回冰浴中反應 2 分 30 秒，取出試管再強烈震盪 10 秒，以塑膠針筒抽取 1ml 之氣體樣品，以氣相層析儀(gas chromatograph, Shimadzu, Model GC-8A) 配以火焰離子檢出器 (FID) 測定乙烯濃度。經由轉化率換算得 ACC 濃度。單位以 nmole g^{-1} 表示。

(五) 果實葉綠素螢光測定

將不同生長階段之果實先進行 30 分鐘暗適應(dark-adapting)處理，以攜帶式葉綠素螢光分析儀(Portable chlorophyll fluorometer, MiNi-PAM, Walz, Germany)選取果實赤道部位內外側果皮對稱兩點測定。所連接的探針利用特殊光線(Special Fiberoptic 2010-F)瞬間提供測定光與飽和脈衝光，並由下列公式計算而得 PSII 活性。 F_0 為最小螢光釋放量， F_m 為螢光釋放量最大值， $F_v = F_m - F_0$ ，以 F_v/F_m 表示。

三、統計分析

將試驗之結果使用 Costat 軟體(Cohort software, Minneapolis, MN)計算平均值，並利用 ANOVA 進行變方分析(analysis of variance)及鄧肯氏多變域檢定(Duncan's multiple range test)比較各處理間差異顯著性。

結 果

一、高溫處理對'台農二號'番木瓜果皮與果肉顏色與葉綠素螢光之影響

果實採收成熟度為 1-2 條溝轉色，約 10-25%轉色階段。以 L*值來看，隨著時間各溫度果皮亮度增加，40°C處理第 3、6 天果皮呈現綠色 L*較低，但 35、40°C處理第 9 天，果皮綠色退去，呈現較淡之黃色，使 L*值有上升之現象。隨採後時間增加果皮色彩飽和度(Chroma)也增加，其中 40°C處理果皮色彩飽和度皆較低。而番木瓜果皮正常後熟會由綠色轉為橘紅色，在色相角中會由 116.5°降到 67.5°(如 30°C果實採收到第 9 天)，而 35°C下果皮顏色 h°降至 75°，40°C降至 82.9°，指出高溫處理使果皮轉色緩慢或抑制的現象(表 1)。

以非破壞性方式檢測果實內葉綠素螢光值之變化，調查高溫處理對於果實內葉綠體利用光能效率之影響。結果顯示，果實採後隨時間自然後熟變化也會造成葉綠素螢光值的下降，但是各溫度間比較，各高溫處理 3 天後即可發現溫度越高，葉綠素螢光值也越低。先以 30、35、40°C處理 3 天再催熟處理後則無明顯差異。但是高溫處理 6 天後，無論是否再經催熟處理，Fv/Fm 值隨處理溫度之升高而下降(表 2)。

二、高溫處理對'台農二號'番木瓜果實呼吸率之影響

高溫處理 3 天，呼吸率無明顯差異。但高溫處理 6 天後，35、40°C呼吸率低於 30°C果實，經過 9 天後呼吸率上升，處理溫度愈高呼吸率越低，而 40°C明顯低於 30°C之果實，但經過催熟 3 天後，各處理間無顯著差異(圖 1)。

三、高溫處理對'台農二號'番木瓜果實乙烯生合成之影響

果實採收後放置於 30°C下，乙烯釋放率快速上升，由 0.24 $\mu\text{l C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ hr}^{-1}$ 至第 9 天上升達 3.79 $\mu\text{l C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ hr}^{-1}$ 。而放置於 35、40°C，果實乙烯釋放率上升速度明顯減緩許多。第 6 天 35、40°C果實乙烯釋放率分別只有 0.05、0.25 $\mu\text{l C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ hr}^{-1}$ 而 30°C果實已達 1.5 $\mu\text{l C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ hr}^{-1}$ 。第 9 天 35、40°C果實乙烯釋放率依然只有 0.84、0.36 $\mu\text{l C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ hr}^{-1}$ ，遠低於 30°C之果實(圖 2A)。經過催熟處理後，高溫處理 3 天者，35、40°C果實乙烯釋放率有較低之趨勢。但 35、40°C高溫處理 6 天再經催熟處理，果實乙烯釋放率依然明顯受到抑制，而 30°C果實乙烯釋放率持續升高。30、35°C果實於第 9 天，外表明顯發霉，因此無調查數據。而 40°C果實乙烯釋放率依然無明顯上升之現象(圖 2B)，顯示無後熟反應。

表 1. 番木瓜果實高溫處理後及催熟後之果皮顏色

Table. 16. The peel color of papaya fruit after high temperature treatment and then ripening at 30°C for 3 days. The vertical bars represent \pm SE.

Temp.	L*			C*			h°					
	0 ^y	3	6	9	0	3	6	9	0	3	6	9
After temperature treatment												
30°C	38.7 C	52.5 aB	57.7 aA	57.9 bA	18.2 D	39.2 aC	49.6 aB	54.4 aA	116.5 A	85.5 bB	73.4 cC	67.5 cD
35°C	38.7 D	47.1 bC	55.8 aB	59.6 aA	18.2 D	32.5 abC	44.7 aB	56.2 aA	116.5 A	96.6 aB	82.2 bC	75.5 bD
40°C	38.7 D	43.5 bC	47.8 bB	59.1 abA	18.2 D	26.5 bC	33.6 bB	47.0 bA	116.5 A	102.7 aB	95.1 aC	82.9 aD
After ripening following temperature treatment												
30°C	51.3 B	55.8 aA	56.4 aA	- ^w	35.1 B	44.7 aA	50.1 aA	-	86.7 A	75.8 bB	68.5 cC	-
35°C	51.3 C	53.9abB	59.2 aA	-	35.1 B	39.0 abB	52.2 aA	-	86.7 A	87.0 aA	74.1 bB	-
40°C	51.3 B	51.6 bB	51.5 bB	59.9 A	35.1 B	36.4 bB	38.9 bB	50.0 A	86.7 A	87.9 aA	83.7 aA	77.0 B

^z L=lightness; C* (chroma)=(a²+b²)^{1/2}; h°(hue angle)=tan⁻¹(b/a)

^y Day after treatment.

^x Mean separation within column (small letter) and within row within color factor (capital letters) by Duncan's multiple range test at 5% level.

^w No data.

表 2. 番木瓜果實高溫處理後及催熟後之葉綠素螢光值

Table. 2. The chlorophyll fluorescence parameter (Fv/Fm) of papaya fruit after high temperature treatment and then ripening at 30°C for 3 days. The vertical bars represent \pm SE.

Temp. (°C)	Fv/Fm			
	0 ^z	3	6	9
After temperature treatment				
30	0.77 A ^y	0.75 aA	0.62 aB	0.12 aC
35	0.77 A	0.66 bA	0.43 bB	0.16 aC
40	0.77 A	0.57 cB	0.19 cC	0.01 bD
After ripening following temperature treatment				
30°C	0.45 A	0.29 aB	0.41 aAB	- ^x
35	0.45 A	0.33 aAB	0.25 bB	-
40	0.45 A	0.20 aB	0.03 cC	-

^z Day after treatment.

^y Mean separation within column (small letter) and within row (capital letters) by Duncan's multiple range test at 5% level.

^x NO data.

ACC 濃度方面，35°C 處理第 3 天果實 ACC 濃度急速升高至 0.29 nmole g⁻¹，而 40°C 則較低(0.06 nmole g⁻¹)，但均高於對照組(30°C)果實。而 40°C 高溫處理 9 天 ACC 濃度達 0.35 nmole g⁻¹，是為對照組(30°C)之 4 倍之多(圖 3A)。40°C 高溫處理 9 天再經過催熟處理，ACC 濃度又明顯增加至 2.78 nmole g⁻¹ (圖 3B)。

ACC 氧化酶活性對於高溫處理的反應顯示，果實採收當天 ACC 氧化酶活性為 1002.9 nl C₂H₄ g⁻¹hr⁻¹。經過高溫處理 3 天後，35、40°C ACC 氧化酶活性明顯低於 30°C，並且 40°C 果實之 ACC 氧化酶活性最低。經過 6、9 天 35°C 果實內 ACC 氧化酶活性有回升的現象，但是 40°C 之果實依然受到抑制(圖 4A)。果實採收後直接催熟處理，ACC 氧化酶活性增加至 1677.3 nl C₂H₄ g⁻¹hr⁻¹，而經過 3 天高溫處理再以催熟處理，35、40°C 之果實 ACC 氧化酶活性回升，35°C 與對照組(30°C)已無明顯差異，而 40°C 甚至高於對照組(30°C)。但 40°C 高溫處理 6 天再以催熟處理，ACC 氧化酶活性回升程度較小，依然明顯低於對照組(30°C)之果實(圖 4B)。

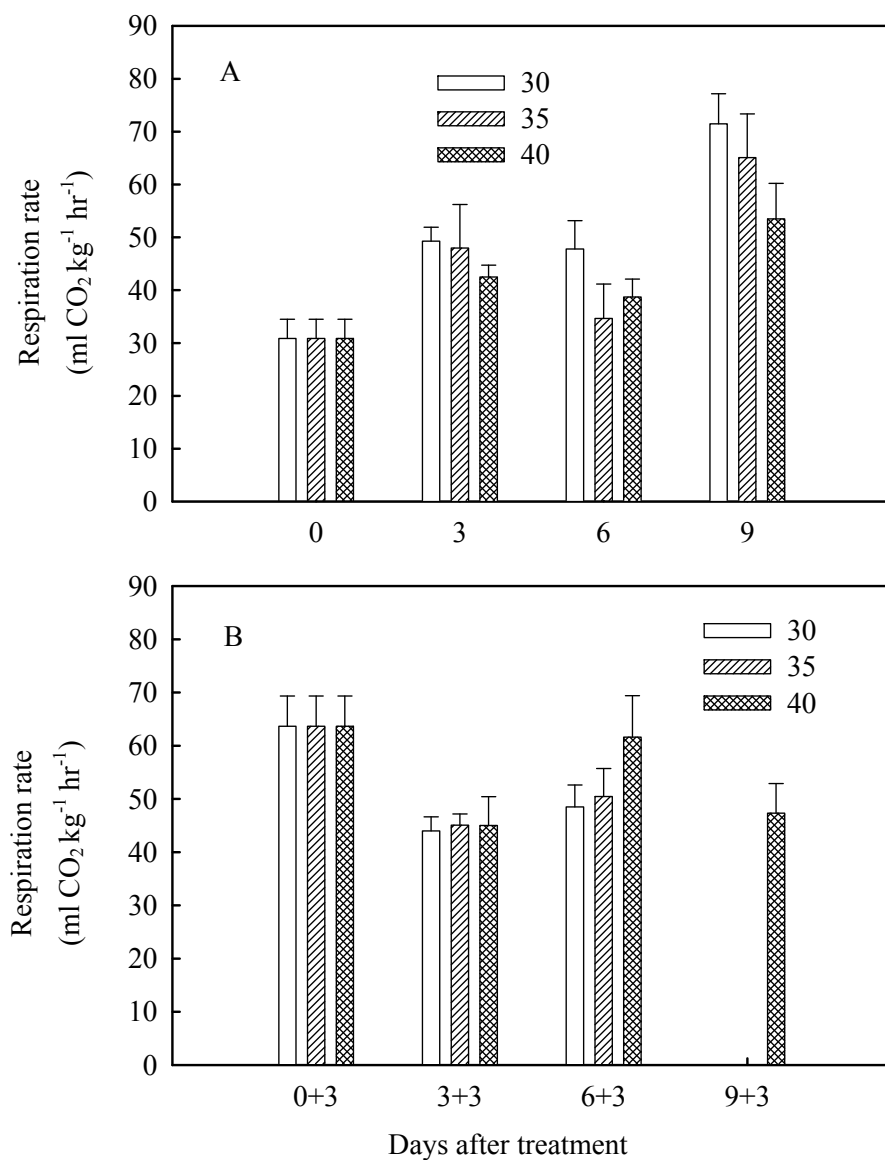


圖 1. 番木瓜果實高溫處理後(A)及催熟後(B)呼吸率之變化

Fig. 1. The respiration rate of papaya fruit after treated with high temperature (A) and then ripening at 30°C for 3 days (B). The vertical bars represent ± SE.

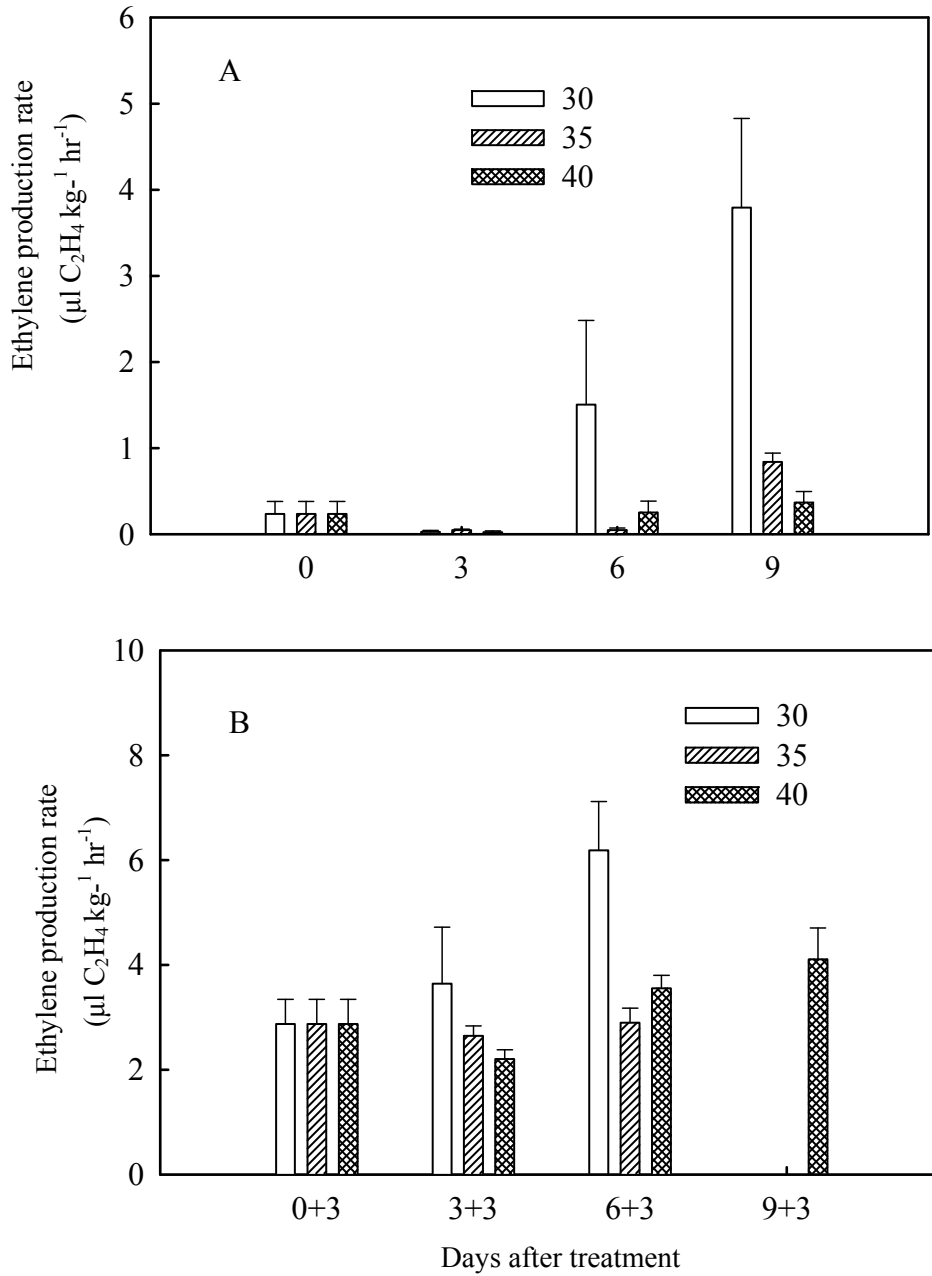


圖 2. 番木瓜果實高溫處理後(A)及催熟後(B)乙烯釋放率之變化

Fig. 2. The ethylene production rate of papaya fruit after treated with high temperature (A) and then ripening at 30°C for 3 days (B). The vertical bars represent ± SE.

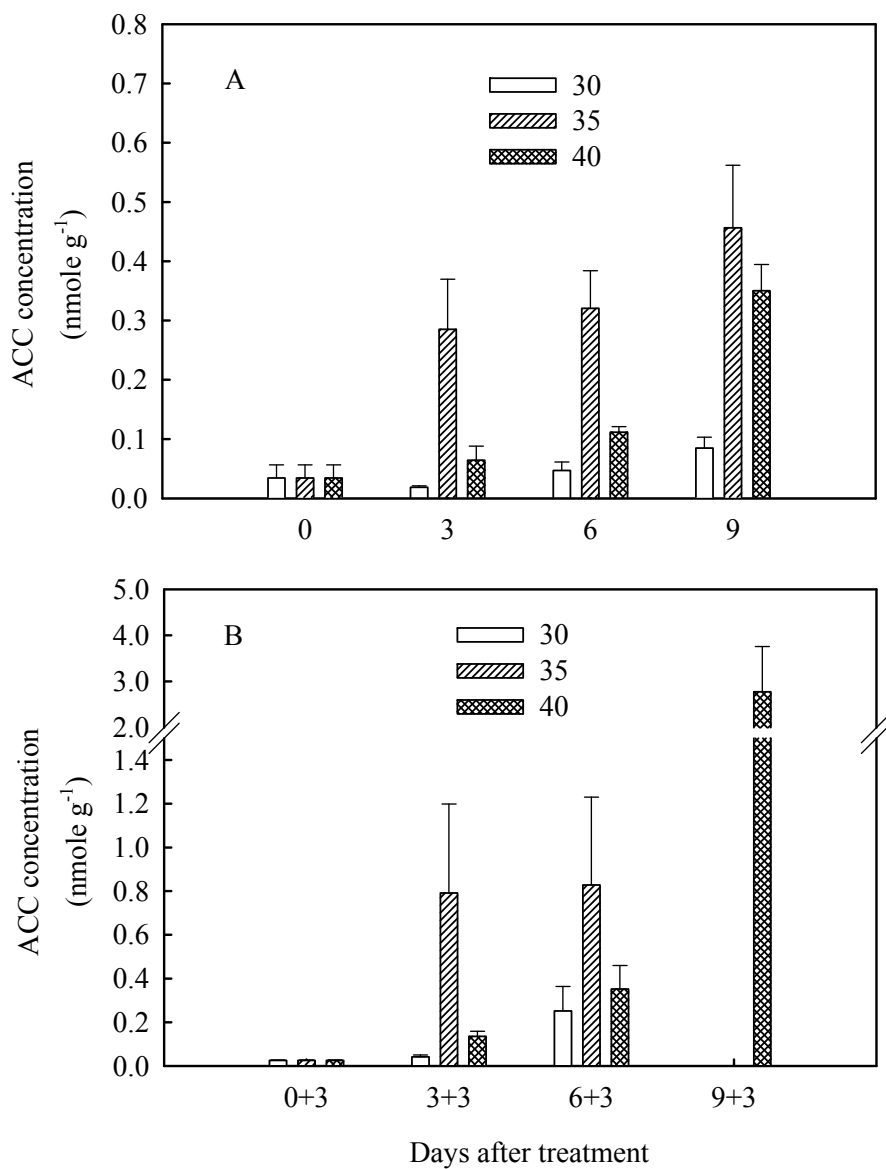


圖 3. 番木瓜果實高溫處理後(A)及催熟後(B) ACC 濃度之變化

Fig. 3. The ACC content of papaya fruit after treated with high temperature (A) and then ripering at 30°C for 3 days (B). The vertical bars represent ± SE .

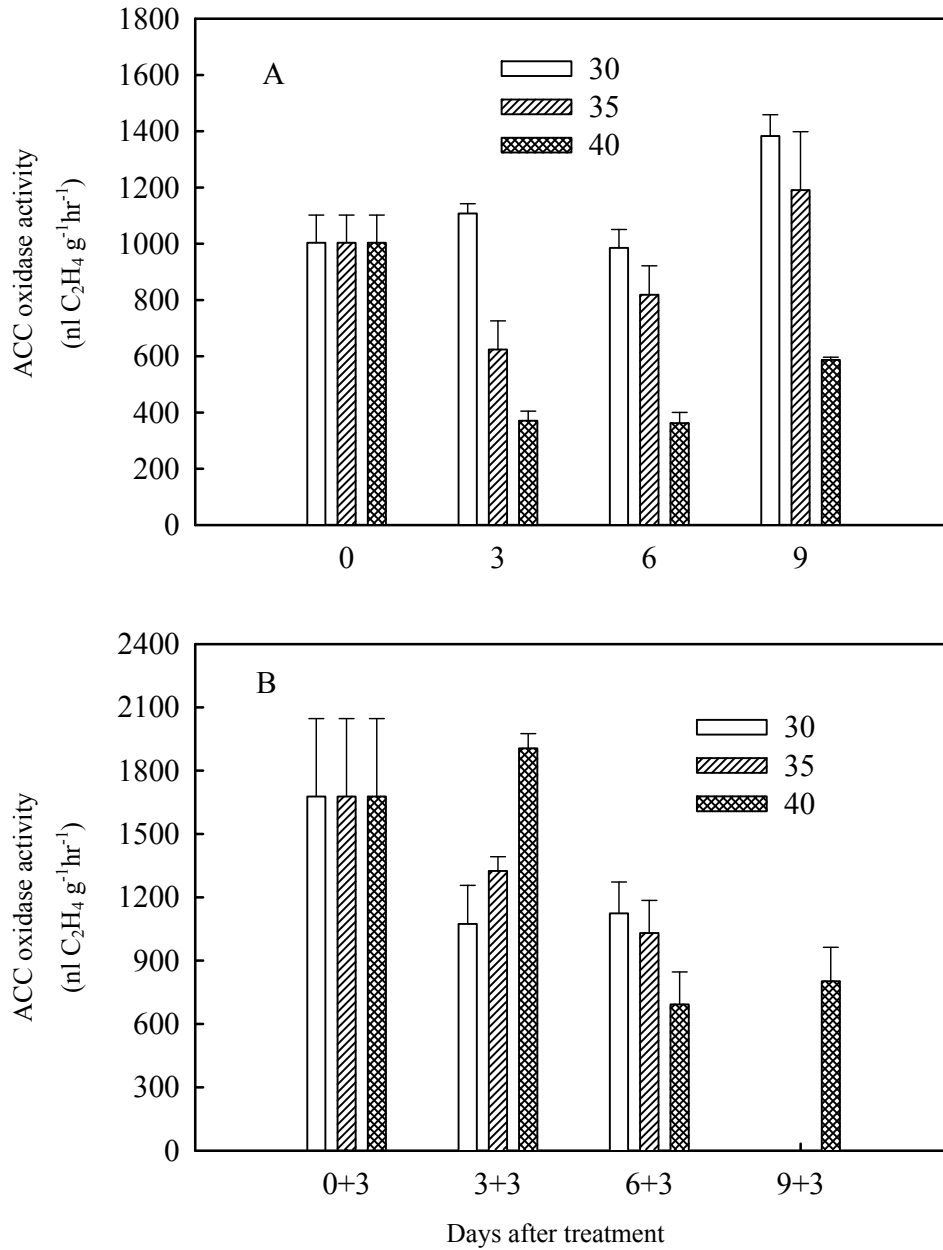


圖 4. 番木瓜果實高溫處理後(A)及催熟後(B) ACC 氧化酶活性之變化

Fig. 4. The ACC oxidase activity of papaya fruit after treated with high temperature (A) and then ripening at 30°C for 3 days (B). The vertical bars represent \pm SE.

討 論

一. 高溫處理對'台農二號'番木瓜果皮顏色和葉綠素螢光值之影響

當園產品遭受高溫逆境時，因類囊體膜受損造成能量的傳遞無法順利進行，因而葉綠素螢光值(Fv/Fm)下降，且可在壞疽症狀出現前即有下降之反應(Woolf and Laing, 1996；Song *et al.*, 2001)。番木瓜果實隨高溫處理時間，而葉綠素螢光值逐漸下降(表 2)，主要是因果實後熟果皮逐漸轉色(Bron *et al.*, 2004)。但是當高溫處理時間相同時，如 35、40°C 高溫處理 3 天，葉綠素螢光值即明顯低於對照組(30°C)。但是 35、40°C 高溫處理 3 天之果皮顏色色相角(h°值)較高(表 1)，果皮顏色黃而偏綠。因此葉綠素螢光值之下降，並非單純葉綠素降解較快所造成，此時 35、40°C 高溫處理果實之類囊體膜已經受到傷害。因而經催熟處理後高溫處理之果皮顏色色相角 h°依然較高，顯示有轉色之障礙。

Song 等人(2001)指出當 Fv/Fm 降至 0.3 時，表示蘋果果實遭受熱傷害，而吳(2007)指出當 Fv/Fm 降至 0.4 時，番木瓜果皮無法正常轉色。由表 2 中，40°C 高溫處理 6 天 Fv/Fm 值明顯下降至 0.19，且果皮顏色依然維持在黃偏綠(表 1)。再以催熟處理後 Fv/Fm 值更下降至 0.03 明顯低於 30、35°C 處理者，顯示除了後熟之葉綠素降解外，高溫處理將類囊體膜嚴重破壞。不同於高溫處理 3 天再經催熟處理後，40°C 處理之葉綠素螢光值與 30、35°C 處理者相似。顯示 40°C 高溫處理 6 天，果實所受的傷害已經無法回復。因而顯現 ACC 氧化酶與乙烯釋放率明顯受到抑制，造成後熟作用之障礙。

二. 高溫處理對番木瓜果實呼吸率之影響

高溫對果實呼吸作用的影響，因不同的果實組織與生理年齡對於溫度的反應都不相同。其中包含溫度係數(Temperature Quotient, Q10)，與蛋白質構造及安定性等因素，影響多種酵素活性之高低，而造成果實不同的呼吸作用與其他合成與分解之代謝速率(Paull and Chen, 2000)。

'Hass'酪梨在 20-35°C 下具有典型的更年型呼吸作用，當溫度增加更年性呼吸率上升，但是當溫度達 40°C 呼吸率反而下降(Eaks, 1978)。「Hayward」獼猴桃無論是否經過丙稀處理，於 40°C 具有最高呼吸率。但「Hayward」獼猴桃果實於 38-40°C，乙烯釋放率下降，因而抑制後熟作用。此時呼吸率之升高是受到外在丙稀刺激，並指出嚴重逆境之發生，最後導致組織受傷害與呼吸率之下降(Antunes and Sfakiotaks, 2000)。而長期將番茄果實放於高於適溫之 33°C 12 天以上，抑制呼吸作用、乙烯釋放率與果實軟化。並且移回室溫下，無法完全恢復其作用(Inaba and Chachin, 1988)。本試驗中，高溫處理累積達門檻溫度後將抑制番木瓜果實呼吸作用。當 35、40°C 處理 6 天，呼吸率即明顯下降，而後移除高溫環境加以催熟處理呼吸率會回復，並有升高之趨勢(圖 1)。此現象與 Klein and Lurie(1990)及 Inaba and Chachin(1988)移出高溫逆境後，呼吸率亦無法回復情況不同，推測此乃高溫對於蛋白質結構之影響。當溫度上升時，結構熵降低速度快於疏水鍵的增加，而使蛋白質結構散開，導致蛋白質變性，但此種變性是可逆的，因此後來呼吸率有回復之現象。但如果溫度再升

高，蛋白質就會發生凝固，當蛋白質凝固後，溫度再下降也不能恢復正常(朱，1995)。

三. 高溫處理對‘台農二號’番木瓜果實乙烯生合成之影響

在更年性果實中，可常見高溫抑制果實乙烯釋放率，以及移出熱逆境後恢復之現象。但不同的品種、所受高溫之程度皆會影響乙烯的恢復能力。綠熟番茄於 35°C 中，乙烯釋放率受到抑制，而移至 25°C 後會恢復(Inaba and Chachin, 1988)。在 35°C 蘋果果實乙烯釋放率不會受到影響，但在 38°C 並延長時間，乙烯釋放率受抑制。然而，熱處理的蘋果果實移至 20°C 後，乙烯釋放量更高於未處理的果實(Klein and Lurie, 1990)。38°C 下芒果果實乙烯釋放率也逐漸下降，第三天則完全受到抑制。而移至 25°C 後，可逐漸回升，延後達乙烯高峰之時間(Ketsa *et al.*, 1999)。本試驗中，35、40°C 高溫處理 6、9 天，也明顯抑制‘台農二號’番木瓜果實乙烯釋放率。而 35、40°C 高溫處理 6 天，再移至 30°C 3 天之催熟處理，乙烯釋放率回升，但依然明顯低於 30°C 處理之果實(圖 2)。

ACC 濃度與 ACC 氧化酶活性方面。35°C 處理 3、6 天 ACC 氧化酶活性即明顯下降(圖 4)，而造成 ACC 濃度累積(圖 3)，顯示此時 ACC 合成酶活性尚未受到明顯抑制。當溫度提高，以 40°C 處理 6 天，除了 ACC 氧化酶活性下降，ACC 濃度也低於 35°C 處理者。因此 ACC 氧化酶對於高溫較為敏感，芒果與獼猴桃中也有相同情形(Ketsa *et al.*, 1999; Antunes and Sfakiotakis, 2000)。

如果沒有造成熱傷害，果實的乙烯生合成能力很快就會恢復。在移出熱環境的 3 天內 ACC 活性會完全恢復(Dunlap *et al.*, 1990; Klein and Lurie, 1990; Paull and Chen, 1990)，但 ACC 合成酶卻無法完全恢復(Ketsa *et al.*, 1999)。本試驗中，於 35、40°C 高溫處理 3 天以及 35°C 高溫處理 6 天，再經 30°C 3 天催熟處理後，ACC 氧化酶活性皆回復。但 40°C 高溫處理 6 天，再經 30°C 3 天催熟處理，ACC 氧化酶活性依然低於對照組(30°C)(圖 4)。因此，番木瓜果實經 40°C 高溫處理 6 天，可能已造成果實熱傷害，而影響後熟作用。

參 考 文 獻

- 王德男。1972。包裝方式及貯藏溫度對木瓜果實更年期上昇抑制效果之研究。中國園藝 18: 86-93。
- 朱德民。1995。植物與環境逆境。國立編譯館主編。p. 122-145。
- 吳國政。2007。熱處理及氣變包裝對‘台農二號’番木瓜果實採後品質及炭疽病之影響。國立中興大學園藝學系碩士論文。96pp。
- 蔡雅惠。2003。三種番木瓜栽培品種果實生長發育之理化特性與採收後生理之研究。國立屏東科技大學熱帶農業暨國際合作研究所碩士論文。台灣:屏東。167pp。
- 謝慶昌。2001。採收成熟度、貯藏溫度、後熟溫度及強制熱風處理對‘臺農二號’番木瓜品質之影響。中國園藝 47: 391-408。

- Antunes, M. D. C. and E. M. Sfakiotakis. 2000. Effect of high temperature stress on ethylene biosynthesis, respiration and ripening of 'Hayward' kiwifruit. *Postharvest Biol. Technol.* 20: 251-259.
- Bron, I. U., R. V. Ribeiro, M. Azzolini, A. P. Jacomino, and E. C. Machado. 2004. Chlorophyll fluorescence as a tool to evaluate the ripening of 'Golden' papaya fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 33: 163-173.
- Dunlap, J. R., S. E. Lingle, and G. E. Lester. 1990. Ethylene production in netted muskmelon subjected to postharvest heating and refrigerated storage. *HortScience.* 25: 207-209.
- Eaks, I. L. 1978. Ripening, respiration, and ethylene production of 'Hass' avocado fruits at 20 to 40°C. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 103: 576-578.
- Inaba, M. and K. Chachin. 1988. Influence of and recovery from high-temperature stress on harvested mature green tomatoes. *HortScience* 23: 190-192.
- Ketsa, S., S. Chidtragool, J. D. Klein, and S. Kurie. 1999. Ethylene synthesis in mango fruit following heat treatment. *Postharvest Biol. Technol.* 15: 65-72.
- Klein, J. D. and S. Lurie. 1990. Prestorage heat treatment as a means of improving poststorage quality of apples. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 115: 265-269.
- Lazan, H., M. K. Selamat, and Z. M. Ali. 1995. β -galactosidase, polygalacturonase and pectinesterase in differential softening and cell wall modification during papaya fruit ripening. *Physiol. Plant.* 95: 106-112.
- Lizada, M. C. and S. F. Yang. 1979. A simple and sensitive assay for 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid. *Anal. Biochem.* 100: 140-145.
- Maxie, E. C., F. G. Mitchell, N. F. Sommer, R. G. Snyder, and H. L. Rae. 1974. Effects of elevated temperatures on ripening of 'Bartlett' pears *Pyrus communis* L. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 99: 344-349.
- Moya-leon, M. A. and P. John. 1994. Activity of 1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) oxidase in the pulp and peel ripening banana. *J. Hort. Sci.* 69: 243-250.
- Paull, R. E., K. Gross, and Y. Qiu. 1999. Change in papaya cell walls during fruit ripening. *Postharvest Biol. Technol.* 16: 79-89.
- Paull, R. E. and N. J. Chen. 2000. Heat treatment and fruit ripening. *Postharvest Biol. Technol.* 21: 21-37.
- Seymour, G. B., P. John, and A. K. Thompson, 1987. Inhibition of degreening in the peel of bananas ripened at tropical temperatures II. Role of ethylene, oxygen and carbon dioxide. *Annu. Appl. Biol.* 110: 153-161.
- Song, J., L. Fan, C. F. Forney, and M. A. Jordan. 2001. Using volatile emissions and chlorophyll fluorescence as indicators of heat injury in apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 32: 771-777.

- Woolf, A. B. and I. B. Ferguson. 2000. Postharvest responses to high fruit temperatures in the field. *Postharvest Biol. Technol.* 21: 7-20.
- Woolf, A. B. and W. A. Laing. 1996. Avocado fruit skin fluorescence following hot water treatments and pretreatments. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121: 147-151.
- Yang, R. F., M. T. S. Cheng, and R. L. Shewfelt. 1990. The effect of high temperature and ethylene treatment on the ripening of tomatoes. *J. Plant Physiol.* 136: 941-942.
- Yu, Y. B., D. O. Adams, and S. F. Yang. 1980. Inhibition of ethylene production by 2,4-dinitrophenol and high temperature. *Plant Physiol.* 66: 286-290.

Effect of High Temperature on Ethylene Biosynthesis of Papaya (*Carica papaya* L.) Fruits

Hsiao-Chien Chao¹⁾ Huey-Ling Lin²⁾

Key words: High temperature, Papaya, Ethylene, Ripening

Summary

Global warming become serious. This research will discuss that effect of high temperature on ripening of papaya (*Carica papaya* L.) fruits. The results showed that high temperature treatment caused 'Tainung No.2' papaya fruit ethylene production rate to decrease, mainly because of ACC oxidase's sensitivity to high temperatures, which resulted in decrease in ACC oxidase activity. High temperatures caused inhibition of respiration and ethylene biosynthesis which blocked fruit ripening. This further resulted in peel color changing poorly. After 3 days at 35 and 40°C, and then 3 days ripening with calcium carbide at 30°C, fruit respiration, ethylene produce rate, and ACC oxidase recovered. But after 6 days at 40°C, papaya fruits were thermal injury, even after further 3 days ripening with calcium carbide at 30°C, peel color still changing poorly.

1) Graduate Student in MS. Program, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

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

