

溫湯處理對‘臺農2號’ 番木瓜果皮抗氧化能力之影響¹

吳庭嘉²、吳承軒³、謝慶昌⁴

摘 要

本試驗探討‘臺農2號’番木瓜果實溫湯處理後於25°C放置24 hr期間，對番木瓜果皮抗氧化能力之影響。結果顯示55或57°C溫湯處理90 sec後會降低果皮葉綠素螢光Fv/Fm值及增加抗壞血酸(ascorbic acid)濃度，但對果皮離子滲漏率、丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量、抗氧化能力(ferric reducing ability of plasma, FRAP)、總酚類化合物(total phenolic compound)濃度及過氧化酶活性均無顯著影響。溫湯處理後於25°C放置24 hr期間之果皮葉綠素螢光Fv/Fm值及抗壞血酸濃度逐漸增加，過氧化物酶(peroxidase, POD)活性於25°C放置16 hr時有較高的活性。果皮離子滲漏率、丙二醛含量、抗氧化能力及總酚類化合物濃度處理間皆無顯著差異。

關鍵詞：葉綠素螢光、抗壞血酸濃度、過氧化物酶活性

前 言

番木瓜(*Carica papaya* L.)為多年生半草本熱帶果樹，原產於熱帶美洲，廣泛種植於熱帶及亞熱帶地區，為臺灣重要的經濟果樹之一，目前主要的栽培品種為‘臺農2號’，除了供應國內消費外，也外銷日本、中國與東南亞各地^(1,5)。番木瓜採收後主要的損失來自各項處理作業造成的機械傷害及病菌感染，故需利用溫湯處理控制病害及果實腐爛的發生⁽⁶⁾。熱處理為物理防治之方法，可替代化學藥劑的使用，近二十年間廣泛在商業上應用於芒果、番木瓜、柑橘等園產品採收後處理上，對病蟲害控制、減緩高、低溫逆境反應、延緩後熟、維持品質、延長貯藏壽命等具有效果^(11,18)。園產品後熟時會誘導合成後熟相關mRNA及新的酶，改變呼吸率、果實顏色、果實硬度及風味等。在熱處理時，這些後熟反應會受到抑制，後熟相關基因mRNA不表現，累積熱休克蛋白(heat shock protein, HSP)，減緩後熟現象的發生。但過高溫度的熱處理時，反而加速後熟及衰敗，必須視園產品對熱處理的忍受性及處理是否恰當所影響⁽¹⁸⁾。在嚴重熱逆境下便會誘導氧化逆境(oxidative stress)的發生，促使細胞內之活性氧族(reactive oxygen species, ROS)的生成，加速園產品採後品質的劣

¹ 行政院農業委員會臺中區農業改良場研究報告第 0939 號。

² 行政院農業委員會臺中區農業改良場助理研究員。

³ 行政院農業委員會農業試驗所助理研究員。

⁴ 國立中興大學園藝學系副教授。

變，造成生理障礙的發生^(11,12)。ROS包括單線態氧(singlet oxygen, $^1\text{O}_2$)、超氧陰離子(superoxide radical, O_2^-)、過氧化氫(hydrogen peroxide, H_2O_2)、羥基自由基(hydroxyl radical, OH^\cdot)，當活性高時容易與細胞內許多重要分子反應，造成細胞結構及組成的破壞、蛋白質分解、酶變性、膜體脂質過氧化產生丙二醛(malondialdehyde, MDA)等，危害植物體正常的生理代謝，嚴重將導致細胞死亡⁽²¹⁾。因此，植物體內為防範ROS大量生成所造成的危害，會啟動抗氧化系統以平衡內部ROS的生成及清除，減少ROS的累積，以減輕活性氧對細胞的傷害。抗氧化系統可分為酶類(enzymatic)的抗氧化酶及非酶類(nonenzymatic)的抗氧化物兩個部分^(15,21)。

影響果實耐熱性的因子有田間栽培時誘導的耐熱性、品種特性、果實的大小及形狀、果實成熟度及熱處理的溫度、時間和熱傳導速率等^(18,19)。另外可藉由熱馴化使園產品獲得耐熱性，先由次低溫度的熱處理誘導如熱休克蛋白、抗氧化物或抗氧化酶等抗逆境物質的產生，增加耐熱性及抗逆境能力，使得園產品能忍受第二次較高溫的逆境處理，對於熱處理後的低溫貯藏也較不容易產生寒害現象^(18,20,21)。番木瓜‘臺農2號’果實利用55或57°C溫湯處理90 sec能維持較高的採收後品質，降低果實採收後貯藏病害的發生^(2,4)，但溫湯處理後直接進行蒸熱處理會使果實產生嚴重的傷害，並造成果皮轉色不良⁽²⁾。溫湯處理後延遲24 hr再進行蒸熱處理，可有效減緩葉綠素螢光值的下降，顯示溫湯及蒸熱處理間隔24 hr，使其有一段時間恢復膜體之穩定性，對於聯合處理後之膜體傷害有顯著減緩的效果⁽³⁾。本研究探討溫湯處理後於25°C放置24 hr期間，對‘臺農2號’番木瓜果皮氧化逆境及抗氧化系統之影響。

材料與方法

一、材料來源

本試驗使用‘臺農2號’番木瓜果實為試驗材料，栽種於高雄縣六龜鄉邱氏果園(北緯22°52'15.05"，東經120°37'34.54")，選取果皮10~25%轉色的成熟度(果溝一至兩溝轉黃)，果形大小一致、外觀完整、無病與機械傷害及蟲害之果實進行試驗。

二、試驗方法

溫湯處理以水浴槽(water bath)將水加熱至設定溫度，溫湯處理組之果實經55或57°C溫湯處理90 sec，隨後於室內通風處風乾、回溫，置於25°C溫度下，分別於0、8、16、24 hr測量果皮葉綠素螢光Fv/Fm值、離子滲漏率；而對照組於0及24 hr測量果皮葉綠素螢光值、離子滲漏率，並以液態氮固定果皮，供作為分析之用，每處理4重複。

三、調查項目

(一)葉綠素螢光Fv/Fm值(chlorophyll fluorescence Fv/Fm)

在番木瓜果實長之1/4、2/4、3/4處各標定一個綠色的部位做為測定點，利用攜帶式葉綠素螢光測定儀(portable chlorophyll fluorometer, MiNi-PAM, Walz, Germany)測定。其探針藉由特

殊光纖(Special Fiberoptic 2010-F)提供測定光及飽和脈衝光，測得Fo及Fm值，計算光系統II的活性，以Fv/Fm表示。Fo為最小螢光釋放量；Fm為最大螢光釋放量；Fv = Fm-Fo，為光系統II反應中心所釋放的螢光量，代表具活性的光系統II量；Fv/Fm = (Fm-Fo)/Fm，光系統II的活性，可描述光合作用胞器之生理狀態。

(二)離子滲漏率(electrolyte leakage)

每果以打孔器取果皮圓片(直徑10 mm、厚度1 mm) 3片，取樣同葉綠素螢光值測定部位，經蒸餾水清洗後吸去表面水分，將果皮圓片置於含有10 mL之0.4 M甘露糖醇(mannitol)瓶中。在25°C下用震盪器100 rpm震盪3 hr，以電導度測定儀(Suntex, conductivity meter, SC-170)測定電導度EC_a。再將樣品冷置於-20°C冷凍1天，取出回溫溶解後，再以-20°C冷凍1天，第二次回溫溶解並震盪3 hr，測定EC_b。離子滲漏率計算：離子滲漏率(%)=(EC_a-EC_b)× 100%。

(三)丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量

秤取0.5 g果皮組織加入5 mL之5% (w/v) trichloroacetic acid (TCA)及適量海砂於冰浴中研磨，隨後於4°C以12000 ×g離心5 min後取上清液。分析時取1 mL上清液加入4 mL之0.5% (w/v) triobarbituric acid (TBA)，將於100°C熱水浴15 min，隨後置於冰水中終止反應。以Elisa Reader (BMG LABTECH, FLUOstar Omega Ω, Germany)測定在532 nm及600 nm波長下之吸光值。

(四)抗壞血酸(ascorbic acid)濃度

秤取0.5 g果皮組織加入5 mL偏磷酸抽取液(含6%之metaphosphoric acid的2 N acetic acid)，於冰浴中研磨後以抗壞血酸試條(Reflectoquact ascorbic acid test strip, 24~450 mg/L, Merck)沾取待測溶液，置於RQ-flex (Merck)讀取抗壞血酸濃度。

(五)抗氧化能力(ferric reducing ability of plasma, FRAP)

秤取0.5 g果皮組織加入5 mL醋酸緩衝溶液(pH 3.6)及適量海沙於冰浴中研磨，隨後於4°C以20000 ×g離心10 min後取上清液。分析時取50 μL上清液加入700 μL working reagent [將30 mM醋酸緩衝溶液、10 mM TPTZ (2,4,6-tripyridyl-s-triazine)及20 mM FeCl₃·6H₂O以10 : 1 : 1的比例配製]混勻，將試管置於37°C水浴10 min，隨後以Elisa Reader測定在593 nm波長下之吸光值，標準曲線以1,000 μM FeSO₄配製。

(六)總酚類化合物(total phenolic compound, TPC)濃度

秤取0.5 g果皮組織加入5 mL之0.1 M磷酸緩衝溶液(pH 7.0)及適量海沙於冰浴中研磨，隨後於4°C以20000 ×g離心20 min後取上清液。分析時取0.2 mL上清液稀釋至1 mL，加入0.1 mL之Folin-Ciocalteus phenol reagent (Merck)、0.2 mL之20% Na₂CO₃及8.7 mL去離子水震盪均勻後，利用沸水煮3 min後取出冷卻，隨後以Elisa Reader (BMG LABTECH, FLUOstar Omega Ω, Germany)測定660 nm波長下之吸光值，標準曲線以100 ppm caffeic acid配製。

(七)過氧化物酶(oxidase, POD, E.C. 1.11.1.7)活性

秤取0.5 g果皮組織加入5 mL之0.1 M磷酸緩衝溶液(pH 7.0)及適量海沙於冰浴中研磨，隨

後於4°C以20000 ×g離心20 min後利取上清液備用。分析時取10 μL上清液加入200 μL含 3.6×10^{-3} M Guaiacol之緩衝溶液(100 mL 0.1 M Phosphate buffer pH 6.0加入0.04 mL guaiacol)及40 μL去離子水，最後加入20 μL 0.0135 M H₂O₂開始反應。以Elisa Reader (BMG LABTECH, FLUOstar Omega Ω, Germany)測定470 nm波長下1 min內之吸光值的變化，為酶萃取液 ΔA_{470} 。

四、統計分析

將試驗結果以SAS 9.3軟體(Institute Inc, 2012)計算平均值，並利用ANOVA進行變方分析(analysis of variance)及最小顯著差異(least significant difference method, LSD)比較各處理間之差異顯著性。

結 果

一、溫湯處理後於25°C不同放置時間對‘臺農2號’番木瓜果皮葉綠素螢光值、離子滲漏率及丙二醛含量之影響

番木瓜‘臺農2號’果實對照組之果皮葉綠素螢光值(Fv/Fm)為0.76(表一)，經過55或57°C溫湯處理會使葉綠素螢光值(Fv/Fm)降低，其中57°C溫湯處理的葉綠素螢光值(Fv/Fm) 0.42顯著下降(表一)。對照組與55°C溫湯處理於25°C放置24 hr期間之果皮葉綠素螢光值(Fv/Fm)無明顯變化，對照組穩定維持在0.7~0.8之間，55°C溫湯處理維持在0.6~0.7之間。57°C溫湯處理後果實隨著在25°C放置8 hr內會使得葉綠素螢光值(Fv/Fm)有逐漸恢復的趨勢，由處理後葉綠素螢光值(Fv/Fm) 0.42逐漸回升至0.5~0.6之間，但57°C溫湯處理後於25°C放置24 hr的葉綠素螢光值(Fv/Fm)仍顯著低於對照組。

表一、溫湯處理後於25°C不同放置時間對番木瓜‘臺農2號’果皮葉綠素螢光值之影響

Table 1. Effect of different times set at 25°C after hot water treatment on the chlorophyll fluorescence (Fv/Fm) of ‘Tainung No. 2’ papaya peel

Treatment ¹	Fv/Fm			
	0 hr ²	8 hr	16 hr	24 hr
Control	0.76aA ³	- ⁴	-	0.75aA
55°C	0.66bA	0.65aA	0.62aA	0.66bA
57°C	0.42cB	0.56bA	0.55bA	0.52cA

¹Control: no hot water treatment; 55 and 57°C: hot water temperature, for 90 sec.

²Setting time at 25°C after hot water treatment.

³Different letters within columns (small letters) and rows (capital letters) indicate statistically significant differences by LSD at $p \leq 0.05$.

⁴-: no record.

番木瓜‘臺農2號’果實經57°C溫湯處理後有較高果皮之離子滲漏率(12.4%)(表二)，但與55°C溫湯處理(10.9%)及對照組(11.6%)無顯著差異。57°C溫湯處理之離子滲漏率隨放置時間增加有下降的趨勢，但統計上無顯著差異(表二)。處理後於25°C放置24 hr期間，各處理之果皮離子滲漏率也未有顯著的變化，離子滲漏率介於10~13%之間。丙二醛含量的變化情形與離子滲漏率相似(表二)，處理組與對照組之丙二醛含量無顯著差異，且放置時間增加丙二醛含量無顯著變化，丙二醛含量為19~24 nmol·g⁻¹ FW。

表二、溫湯處理後於25°C不同放置時間對番木瓜‘臺農2號’果皮離子滲漏率及丙二醛含量的影響

Table 2. Effect of different times set at 25°C after hot water treatment on electrolytes leakage and malondialdehyde contents of ‘Tainung No. 2’ papaya peel

Treatment ¹	Leakage (%)				MDA (nmol·g ⁻¹ FW)			
	0 hr ²	8 hr	16 hr	24 hr	0 hr	8 hr	16 hr	24 hr
Control	11.6aA ³	- ⁴	-	12.6aA	22.01aA	-	-	23.52aA
55°C	10.9aA	11.9aA	12.5aA	11.5aA	20.38aA	23.13aA	22.77aA	21.87aA
57°C	12.4aA	12.3aA	11.7aA	10.6aA	21.70aA	19.55aA	22.80aA	19.96aA

¹Control: no hot water treatment; 55 and 57°C: hot water temperature, for 90 sec.

²Setting time at 25°C after hot water treatment.

³Different letters within columns (small letters) and rows (capital letters) indicate statistically significant differences by LSD at $p \leq 0.05$.

⁴ -: no record.

二、溫湯處理後於25°C不同放置時間對‘臺農2號’番木瓜果皮抗氧化能力(FRAP)及抗氧化物(抗壞血酸及總酚類化合物)濃度之影響

番木瓜‘臺農2號’果實經55°C溫湯處理後有較高的果皮抗氧化能力(FRAP) 18.09 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ FW，但與對照組及57°C溫湯處理間無顯著差異(表三)，未顯著提升果皮抗氧化能力(FRAP)。於25°C放置24 hr期間各處理之果皮抗氧化能力(FRAP)未有顯著變化，果皮抗氧化能力(FRAP)為15~19 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ FW。

果皮抗壞血酸含量方面，經55或57°C溫湯處理後維持較高的抗壞血酸濃度。分別為96.4 $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ FW (55°C溫湯處理)及107.1 $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ FW (57°C溫湯處理)(表四)。隨著溫湯處理後於25°C放置時間的增加，55或57°C溫湯處理之抗壞血酸濃度整體有增加的趨勢，於25°C放置24 hr後分別增加為106.6 $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ FW (55°C溫湯處理)及111.8 $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ FW (57°C溫湯處理)。在總酚類化合物濃度方面，55或57°C溫湯處理與對照組間無顯著差異，且隨25°C放置期間增加總酚類化合物的濃度無顯著變化，總分類化合物濃度為637~760 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ FW (表四)。

表三、溫湯處理後於25°C不同放置時間對番木瓜‘臺農2號’果皮抗氧化能力的影響

Table 3. Effect of different times set at 25°C after hot water treatment on the antioxidant capacity of ‘Tainung No. 2’ papaya peel

Treatment ¹	FRAP ($\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$)			
	0 hr ²	8 hr	16 hr	24 hr
Control	16.11aA ³	- ⁴	-	16.39aA
55°C	18.09aA	16.33aA	18.12aA	18.28aA
57°C	17.55aA	15.73aA	16.46aA	16.52aA

¹control: no hot water treatment; 55 and 57°C: hot water temperature, for 90 sec.

²Setting time at 25°C after hot water treatment.

³Different letters within columns (small letters) and rows (capital letters) indicate statistically significant differences by LSD at $p \leq 0.05$.

⁴-.: no record.

表四、溫湯處理後於25°C不同放置時間對番木瓜‘臺農2號’果皮抗壞血酸及總酚類化合物濃度的影響

Table 4. Effect of different times set at 25°C after hot water treatment on the ascorbic acid, and total phenolic compound concentration of ‘Tainung No. 2’ papaya peel

Treatment ¹	Ascorbic acid ($\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}\text{FW}$)				Total phenolic compound ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$)			
	0 hr ²	8 hr	16 hr	24 hr	0 hr	8 hr	16 hr	24 hr
Control	94.5bA ³	- ⁴	-	94.2bA	752.0aA	-	-	736.0aA
55°C	96.4abB	98.4aAB	98.0bAB	106.6abA	636.6aA	648.9aA	690.2aA	689.7aA
57°C	107.1aAB	101.6aB	108.6aAB	111.8aA	759.2aA	686.0aA	734.5aA	647.9aA

¹Treatment: control: no hot water treatment; 55 and 57°C: hot water temperature, for 90 sec.

²Setting time at 25°C after hot water treatment.

³Different letters within columns (small letters) and rows (capital letters) indicate statistically significant differences by LSD at $p \leq 0.05$.

⁴-.: no record.

三、溫湯處理後於25°C不同放置時間對‘臺農2號’番木瓜果皮過氧化物酶(POD)活性之變化

番木瓜‘臺農2號’果皮過氧化物酶活性方面，經55或57°C溫湯處理果皮過氧化物酶活性與對照組無顯著差異(表五)，分別為6.5 units·g⁻¹FW(對照組)、5.8 units·g⁻¹FW(55°C溫湯處理)及5.9 units·g⁻¹FW(57°C溫湯處理)。隨著溫湯處理後於25°C放置時間的增加，57°C溫湯處理之過氧化物酶活性有增加的趨勢，且於16 hr有最高的過氧化物酶活性(8 units·g⁻¹FW)而後開始下降。雖然55°C溫湯處理之過氧化物酶活性變化趨勢與57°C溫湯處理相似，在25°C放置16 hr有較高的過氧化物酶活性(8.1 units·g⁻¹FW)，但於統計上無顯著差異。於25°C放置24 hr後各處理間無顯著差異，過氧化物酶活性分別為6.9 units·g⁻¹FW(對照組)、7.6 units·g⁻¹FW(55°C溫湯處理)及6.4 units·g⁻¹FW(57°C溫湯處理)。

表五、溫湯處理後於25°C不同放置時間對番木瓜‘臺農2號’果皮過氧化物酶活性的影響

Table 5. Effect of different times set at 25°C after hot water treatment on the peroxidase activity of ‘Tainung No. 2’ papaya peel

Treatment ¹	POD (units·g ⁻¹ FW)			
	0 hr ²	8 hr	16 hr	24 hr
Control	6.5aA ³	- ⁴	-	6.9aA
55°C	5.8aA	6.2aA	8.1aA	7.6aA
57°C	5.9aB	6.1aB	8.0aA	6.4aAB

¹control: no hot water treatment; 55 and 57°C: hot water temperature, for 90 sec.

²Setting time at 25°C after hot water treatment.

³Different letters within columns (small letters) and rows (capital letters) indicate statistically significant differences by LSD at $p \leq 0.05$.

⁴-.: no record.

討 論

在園產品採後處理上適當的熱處理可以降低蟲害、控制病害、延緩後熟、減輕二次逆境的影響、延長貯運時間及增加貯藏壽命等⁽¹⁸⁾。但在熱處理的過程中，所使用的高溫對於園產品而言是一種環境逆境，在嚴重熱逆境下便會誘導氧化逆境(oxidative stress)的發生，促使細胞內之活性氧族(reactive oxygen species, ROS)的生成，加速園產品採後品質的劣變，造成生理障礙的發生^(11,12)。在熱處理後可以藉由葉綠素螢光之測量，了解熱逆境對類囊體膜的結構及流動性的影響，可以在組織正常老化與環境逆境造成可視徵狀前測量出其變化⁽⁹⁾。熱處理後番木瓜果實之葉綠素螢光值低於 0.5 以下會使果實後熟受到影響，葉綠素螢光值降至 0.4 以下會使果實無法正常轉色^(2,3,4,7)。吳(2017)指出溫湯處理後延遲 24 hr 再進行蒸熱處理，可減緩葉綠素螢光值的下降，顯示溫湯及蒸熱處理間隔 24 hr，使其有一段時間恢復膜體之穩定性，對於連續溫湯及蒸熱處理後之膜體傷害有顯著減緩的效果⁽³⁾。本試驗中 57°C 溫湯處理明顯降低番木瓜果皮之葉綠素螢光值(表一)，顯示熱處理造成膜體傷害。但於 25°C 放置 24 hr 期間葉綠素螢光值(Fv/Fm)有逐漸恢復的趨勢，顯示溫湯處理對番木瓜果實為高溫逆境，處理後立即使葉綠素螢光值降低，造成氧化逆境，但隨後於 25°C 放置 24 hr 期間葉綠素螢光值含量有逐漸恢復，顯示細胞有進行修復，未造成嚴重的氧化危害。試驗中溫湯處理後於 25°C 放置 24 hr 期間，果皮圓片離子滲漏率及丙二醛含量並無顯著變化(表二)，表示細胞膜體仍維持其完整性，並未發生膜體脂質過氧化的現象。

前人研究指出菠菜葉片在經過 37、40 及 43°C 溫湯處理 3.5 min，觀察到溫湯處理溫度增加，導致葉綠素螢光值顯著降低，且過氧化氫含量明顯增加，但在 23°C 放置 3 天後可以保有較高的還原態抗壞血酸及還原態穀胱甘肽濃度，並延遲葉片的老化，增加貯藏壽命⁽¹⁰⁾。黑麥草及高羊茅先經 30°C 熱處理 3 天再處理 38、42 及 46°C 不同程度的高溫逆境，經 30°C 熱處理 3 天熱馴化後對葉片離子滲漏率、丙二醛、超氧陰離子及過氧化氫含量未有顯著影響，但於高溫逆境下經過 30°C 熱

馴化可明顯降低葉片的離子滲漏率、丙二醛、超氧陰離子及過氧化氫含量，且有效減緩抗壞血酸及穀胱甘肽濃度下降的程度，保有較高的抗氧化物質濃度，這可能與先經過 30°C 熱馴化誘導抗氧化酶活性，提高耐熱性有關⁽²²⁾。熱處理誘導抗氧化酶活性增加，並誘導作物耐熱性的現象在辣椒⁽¹³⁾、玉米及稻米⁽¹⁷⁾、肯塔基藍草⁽⁸⁾等觀察到。Jin等(2009)以 38°C 熱風處理桃果實 12 hr，可以提高在 0°C 貯藏時超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、POD活性及增加抗壞血酸濃度，並顯著降低寒害徵狀的產生⁽¹⁶⁾。在草莓⁽²³⁾、柑橘⁽¹⁴⁾等研究也有相似的結果。

番木瓜‘臺農 2 號’果實經溫湯處理後，未顯著提升果皮抗氧化能力及總酚類化合物濃度，於 25°C 放置 24 hr 期間，各處理之果皮抗氧化能力及總酚類化合物濃度未有顯著變化(表三、表四)。果皮抗壞血酸濃度經 55 或 57°C 溫湯處理後維持較高的抗壞血酸濃度(表四)。隨著溫湯處理後於 25°C 放置時間的增加，55 或 57°C 溫湯處理之抗壞血酸濃度有增加的趨勢。番木瓜‘臺農 2 號’果皮過氧化物酶活性方面，經 55 或 57°C 溫湯處理果皮過氧化物酶活性與對照組無顯著差異(表五)，隨著溫湯處理後於 25°C 放置時間的增加，57°C 溫湯處理之過氧化物酶活性有增加的趨勢，且於 16 hr 有最高的過氧化物酶活性(8 units·g⁻¹ FW)而後下降。雖然 55°C 溫湯處理之過氧化物酶活性變化趨勢與 57°C 溫湯處理相似，在 25°C 放置 16 hr 有較高的過氧化物酶活性(8.1 units·g⁻¹ FW)而後下降，但於統計上無顯著差異。試驗中各處理之 POD 活性無顯著差異，且隨 25°C 放置時間增加，有逐漸增加而再下降的趨勢。因此，55 或 57°C 溫湯處理皆可以增加番木瓜果實抗氧化酶之比活性，在溫湯處理後能增加並維持 POD 比活性的增加也有利於減輕氧化傷害。這些抗氧化酶活性增加有利於降低細胞內，減輕氧化逆境的危害，以及增加抵抗二次逆境的能力。

熱處理誘導耐熱性的增加除了抗氧化能力的參與外，也與熱休克蛋白有關^(18,19,20)。Du等(2013)將‘Midnight’及‘Brilliant’草坪草在 35/30°C (日/夜溫)熱處理 3 週，耐熱‘Midnight’熱傷害程度較低，且維持較佳的抗氧化酶活性。但在抗氧化酶基因表現的結果與酶活性不完全相符合，顯示熱逆境對於‘Midnight’及‘Brilliant’的抗氧化酶在基因表現及轉錄後的生合成代謝有不同的抑制情形，熱處理會影響轉錄後酶的不活化、降解或抑制蛋白質的生合成，會使得酶活性的表現量低於基因的表現。在高溫下細胞內的蛋白質變性，使得酶失去活性而被降解。若此時細胞中能產生 HSP 則可以避免蛋白質的變性及降解，且可以保護蛋白質在高溫下維持其結構及功能^(20,21)。

番木瓜果實採收後於貯運及銷售過程中容易產生炭疽病及蒂腐病等病害，導致商品價值的喪失，利用溫湯處理可以有效降低採收後病害的發生。‘臺農 2 號’番木瓜果實溫湯處理後會增加果皮抗壞血酸含量，於 25°C 放置 24 hr 期間，隨放置時間增加其果皮過氧化物酶活性上升。顯示溫湯處理造成果皮細胞輕微的氧化逆境，於 25°C 放置時間增加有助於細胞的修復，恢復其氧化還原的平衡。溫湯處理後於 25°C 放置時間增加有利於抗壞血酸濃度與過氧化物酶活性的增加，降低氧化逆境的危害，但因其含量及活性非穩定增加，且與對照組的含量及活性增加量不多。因此，溫湯處理增加抗氧化物(抗壞血酸)濃度及過氧化物酶活性，有助於提升果實耐熱性。未來可以測量其他本次試驗尚未測定的抗氧化物及抗氧化酶，或是熱休克蛋白及滲透節物質等的變化，以確定溫湯處理後於

25°C 放置期間增加耐熱性的主要因子。

參考文獻

1. 王德男、劉碧鵬、李文立 2006 臺灣木瓜產業之變遷 木瓜產業發展研討會專刊 p.1-20。
2. 吳國政 2007 熱處理及氣變包裝對‘臺農二號’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 p.96。
3. 吳庭嘉、吳承軒、謝慶昌 2017 熱處理對番木瓜‘臺農二號’果實轉色及腐爛程度之影響 臺中區農業改良場研究彙報 136: 15-25。
4. 吳庭嘉、謝慶昌 2013 溫湯處理對‘臺農二號’番木瓜葉綠素螢光質與果實轉色之影響 興大園藝 38(3): 15-29。
5. 李文立 2009 木瓜栽培管理手冊 行政院農業委員會農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所 p.83。
6. 李文立、黃慶文、謝慶昌 2012 番木瓜主要外銷果樹採後處理專刊 p.31-40。
7. 黃偉峻 2010 熱處理對‘臺農二號’番木瓜果實品質及抗氧化能力之影響 國立中興大學園藝學系碩士論文 p.93。
8. Du, H., P. Zhou and B. Huang. 2013. Antioxidant enzymatic activities and gene expression associated with heat tolerance in a cool-season perennial grass species. *Environ. Exp. Bot.* 87: 159-166.
9. Fan, L., J. Song and M. A. Jordan. 2011. Fruit maturity affects the response of apples to heat stress. *Postharvest Biol. Technol.* 62: 35-42.
10. Gómez, F., L. Fernández, G. Gergoff, J. J. Guiamet, A. Chaves and C. G. Bartoli. 2008. Heat shock increases mitochondrial H₂O₂ production and extends postharvest life of spinach leaves. *Postharvest Biol. Technol.* 49: 229-234.
11. Gonzalez-Aguilar, G. A., J. A. Villa-Rodriguez, J. F. Ayala-Zavala and E. M. Yahia. 2010. Improvement of the antioxidant status of tropical fruits as a secondary response to some postharvest treatments. *Food Sci. Technol.* 21: 475-482.
12. Hodges, D. M., G. E. Lester, K. D. Munro and P. M. A. Toivonen. 2004. Oxidative stress: importance for postharvest quality. *Hort. Sci.* 39: 924-929.
13. Hu, W. H., Y. A. Xiao, J. J. Zeng and X. H. Hu. 2010. Photosynthesis, respiration and antioxidant enzymes in pepper leaves under drought and heat stresses. *Biol. Plantarum* 54: 761-765.
14. Huajikaew, L., A. Uthairatanakij, S. Kanlayanarat and H. Gemma. 2005. Effect of heat treatment on antioxidants in papaya fruit stored at low temperature. *Proc. 5th Int. Postharvest Symp.* Eds. F. Mencarelli and P. Tonutti *Acta Hort.* 682: 1063-1068.
15. Jaleel, C. A., K. Riadh, R. Gopi, P. Manivannan, J. Ines, H. J. Al-Juburi, Z. Chang-Xing, S. Hong-Bo and R. Panneerselvam. 2009. Antioxidant defense responses: physiological plasticity in higher plants

- under abiotic. *Acta. Physiol. Plant* 31: 427-436.
16. Jin, P., Y. Zheng, S. Tang, H. Rui and C. Y. Wang. 2009. A combination of hot air and methyl jasmonate vapor treatment alleviates chilling injury of peach fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 52: 24-29.
 17. Kumar, S., D. Gupta and H. Nayyar. 2012. Comparative response of maize and rice genotypes to heat stress: status of oxidative stress and antioxidants. *Acta. Physiol. Plant* 34: 75-86.
 18. Lurie, S. 1998. Postharvest heat treatments. *Postharvest Biol. Technol.* 14: 257-269.
 19. Paull, R. E. and N. J. Chen. 2000. Heat treatment and fruit ripening. *Postharvest Biol. Technol.* 21: 21-37.
 20. Qu, A. L., Y. F. Ding, Q. Jiang and C. Zhu. 2013. Molecular mechanisms of the p;at heat stress response. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 432: 203-207.
 21. Wahid, A., S. Gelani , M. Ashraf and M. R. Foolad. 2007. Heat tolerance in plants: An overview. *Environ. Exp. Bot.* 61: 199-223.
 22. Xu, S., J. Li, X. Zhang, H. Wei and L. Cui. 2006. Effects of heat acclimation pretreatment on chnges of membrane lipid peroxidation, antioxidant metabolites, and ultrastructure of chloroplasts in two cool-season turf grass species under heat stress. *Environ. Exp. Bot.* 56: 274-285.
 23. Zhang, Z., K. Nakano and S. Maezawa. 2009. Comparison of the antioxidant enzymes of broccoli after cold or heat shock treatment ant different storage temperatures. *Postharvest Biol. Technol.* 54: 101-105.

Effect of Hot Water Treatment on Antioxidant Capacity of ‘Tainung No. 2’ Papaya (*Carica papaya* L.) Fruit Peel¹

Ting-Chia Wu², Chen-Hsuan Wu³ and Ching-Chang Shiesh⁴

ABSTRACT

This research aimed to investigate the change of antioxidant capacity of papaya peel after hot water treatment and placed under 25°C for 0-24 hr. The chlorophyll fluorescence (Fv/Fm) value, electrolyte leakage, malondialdehyde (MDA), antioxidant capacity (ferric reducing antioxidant power, FRAP), antioxidants (ascorbic acid and total phenolic compounds) concentration, and peroxidase (POD) activity of the fruit peel were investigated. The chlorophyll fluorescence value decreased after hot water treatment at 55 or 57°C for 90 sec., but the ascorbic acid content of the fruit peel increased. However, no significant influence on electrolyte leakage, MDA, FRAP, total phenolic compounds, and POD activity was found after treatment. During the time after hot water treatment and place under 25°C for 24 hr, the chlorophyll fluorescence value and ascorbic acid concentration increased gradually. The POD activity was higher at 16th hr. under 25°C after hot water treatment. During the time after hot water treatment and place under 25°C for 24 hr, there were no significant influence on electrolyte leakage, MDA concentration, FRAP, and total phenolic compounds among treatments.

Key words: chlorophyll fluorescence, ascorbic acid concentration, peroxidase activity

¹Contribution No. 0939 from Taichung DARES, COA.

²Assistant Researcher of Taichung DARES, COA.

³Assistant Researcher of Taiwan Agricultural Research Institute, COA.

⁴Associate Professor, Department of Horticulture, National Chung-Hsing University.

