

貯藏溫度對‘台農 17 號’鳳梨果實內部褐化之研究¹

薛百祺² 唐佳惠³ 官青杉³ 李堂察^{2,4}

摘 要

薛百祺、唐佳惠、官青杉、李堂察。2009。貯藏溫度對‘台農 17 號’鳳梨果實內部褐化之研究。台灣農業研究 58:273–282。

鳳梨以低溫或常溫等方式進行貯運，一般業者多以 5–10°C 為貯運時之貯藏溫度，僅少數業者使用 12.5°C。低溫貯藏 2 週再經 25°C 櫥架 4 天，貯於 5°C 之果實內部褐化症狀皆已達 5 級（即褐化面積佔果心及其附近果肉面積 50%），故評定為喪失櫥架壽命；而貯於 12.5°C 之果實，經同樣貯藏及櫥架期後，果實內部褐化程度才達 1 級（即褐化面積佔果心及其附近果肉面積 1–2%），顯示，最適合‘台農 17 號’之貯運溫度為 12.5°C，在此溫度下可貯藏 4 週再加 25°C 下 4 天櫥架仍保有商品價值。目視記錄褐化指數並綜合亮度、彩度及色相角之變化，可客觀表達較微小的顏色變化，有助於褐化情形之判讀。果實貯藏於 12.5°C 和 25°C 並移入 25°C 櫥架 4 天後，苯丙氨酸解氨酶 (phenylalanine ammonia lyase; PAL) 及過氧化物酶 (peroxidase; POD) 活性均隨貯藏時間之延長而增加，而貯於 5°C 之果實 PAL 和 POD 活性顯著低於貯於 12.5°C 之果實。多酚氧化酶 (polyphenol oxidase; PPO) 活性隨貯藏時間之延長而降低，但貯於 12.5°C 之果實顯著高於貯於 5°C 及 25°C 之果實。

關鍵詞：苯丙氨酸解氨酶、多酚氧化酶、過氧化物酶、老化、寒害。

前 言

鳳梨果實內部褐化 (internal browning, IB) 也常被稱為「黑心 (blackheart)」，發生原因與生育期或貯藏期遭遇果實無法調適的低溫 (Chang & Wu 1961; Paull & Rohrbach 1985; Simth 1987)、品種、微生物為害 (Cho *et al.* 1977)、施用生長調節物質及果實老化 (Paull & Rohrbach 1985; Simth 1987) 有關。有關鳳

梨果實因低溫而導致寒害的報告早被廣為討論，其症狀如冠芽異常、果實轉色異常、果皮褐化、變色及果實內部褐化等。內部褐化通常由基部近果心處果肉呈水浸狀組織，或果實內部出現褐色至黑色的變色情形 (Paull 1990)。鳳梨最適貯藏溫度已有多篇研究報告 (Miller & Heilman 1952; Huang 1968; Rohrbach & Paull 1982; Paull & Rohrbach 1985; Chang 1991)，但仍無定論，如國內曾有報告指出‘開英種’鳳梨

-
1. 行政院農業委員會農業試驗所研究報告第 2377 號。接受日期：98 年 11 月 18 日。
 2. 國立嘉義大學園藝學系前碩士班研究生及教授。台灣 嘉義市。
 3. 本所嘉義農業試驗分所園藝系助理研究員及助理研究員。台灣 嘉義市。
 4. 通訊作者，電子郵件: tclee@mail.ncyu.edu.tw；傳真：(05)2753295。

之貯藏適溫為 5–15°C (Huang 1968)，輸日果實可在 5°C 貯藏 1 週 (Chang 1991)，但也有報告指出貯藏適溫應為 8°C (Rohrbach & Paull 1982)，甚至貯藏期達 1 週時應高於 10°C (Miller & Heilman 1952) 或 12°C (Paull & Rohrbach 1985)。

‘台農 17 號’鳳梨為台灣栽培面積及外銷最多之品種，但貯運過程中常發生內部褐化，致使失去商品價值，然老化與低溫皆可能引起果實內部褐化。因此，是否能以其他項目，如酵素活性變化等予以釐清，仍可探討。鳳梨果實內部褐化與苯丙氨酸解氨酶 (phenylalanine ammonia-lyase, PAL) (Zhou *et al.* 2003)、多酚氧化酶 (polyphenol oxidase, PPO) (Stewart *et al.* 2001) 等之活性有關。PAL 催化苯丙胺酸 (phenylalanine) 分解生成兒茶素 (catechol) 等褐化基質。PPO 存在於葉綠體及粒線體中 (Mayer & Harel 1979)，當鳳梨老化 (Soler 1993) 或因寒害使膜質異常，在細胞隔室作用消失，使液泡中的酚類物質由 PPO 催化成醌類物質之反應而致褐色物質產生，因此，並非 PPO 活性增加即表示果肉已發生褐變。至於過氧化物酶 (peroxidase, POD) 亦參與酚類物質褐化反應，但與鳳梨果實內部褐化之對應關係則仍待探討。

本試驗之目的即探討貯藏溫度與‘台農 17 號’鳳梨果實內部褐化及 PAL、PPO 和 POD 等酵素活性之變化，期能瞭解溫度對果實內部褐化、酵素活性之影響及最適之貯運溫度。

材料與方法

試驗材料

本研究以‘台農 17 號’金鑽鳳梨果實供試，於 7 月份天候晴朗時，請嘉義縣民雄鄉陳姓專業鳳梨果農以鐮刀割取採收，成熟度為果實 1/3–1/2 轉色，採收當日立即以果實直立方式置於紙箱中，載運至實驗室，載運過程為 1 小時以內，並立即進行試驗。

試驗方法

將運回實驗室之果實逐果修整果梗、編號、秤重，除當天及櫥架 4 天用之果實以樣品籃裝盛備用，其餘果實分別直立置於紙箱中，於 12.5°C 及 5°C 進行連續 4 週之貯藏試驗，每隔 1 週取出乙次，分別於取出當天和移入 25°C 櫥架 4 天後進行各項調查，並以置於 25°C 之果實為對照，試驗中 3 種貯藏溫度皆為 $\pm 2^\circ\text{C}$ 。調查項目包括：果心及果肉顏色之變化、褐化症狀官能品評及酵素活性，每樣品 1 果，計 5 重複。

果心及果肉顏色測定：以色差計 (Hunter Lab color flex 450；標準色板 $L^* = 93.31$ 、 $a^* =$ 負 1.00 及 $b^* = 1.23$) 分別測定位於果實近果梗端 1/3 處左側及右側之 L^* 值、 a^* 及 b^* 值。 L^* 值為果肉之明亮度，介於 0 (黑)–100 (白)，以 $\tan^{-1}(b/a)$ 計算色相角度 (hue angle)，表示果實顏色色相變化。以紅色–紫色為 0° (360°)；黃色為 90° ；青色為 180° ；藍色為 270° 。以 $(a^2 + b^2)^{1/2}$ 計算彩度 (chroma)，介於 0 (灰色，弱)–100 (鮮明，強)。

果心症狀官能品評及酵素活性測定：內部褐化程度之官能品評方式按 Paull & Rohrbach (1985) 所述。酵素分析用組織取樣時，分別切取果實基部 (果梗端) 果心及果肉部位，以液態氮固定後置於 -70°C 冷凍櫃中備用，測定時取出不經回溫直接分析，酵素活性測定方法為：

苯丙氨酸解氨酶活性分析：依 Zhou *et al.* (2003)，修改為秤取果心組織 10 g，於冰浴中以海砂及含 5 mM β -mercaptoethanol、2 mM EDTA 及 1% PVPP (w/v) 配置成硼酸緩衝液 (borate buffer; 0.1 M, pH 8.8) 15 mL 進行研磨，於 4°C 靜置 1 小時後濾取 (Adventec 濾紙) 澄清液，再以 12,000 rpm 離心 15 分鐘取上清液，於 40°C 震盪 (含其後所稱震盪皆為 50 rpm 水浴) 15 分鐘成酶萃取液，取 0.25 mL 萃取液加

入含 60 mM L-苯丙氨酸之硼酸緩衝液為反應液 2.75 mL，於 40°C 震盪 1 小時，之後加入 6 N HCl 0.1 mL 終止反應。反應液以分光光度計 (日本島津公司出品，型號 UV-1601) 測定 290 nm 吸光值。以含 60 mM L-phenylalaninein 之硼酸緩衝液 3 mL 及 6 N HCl 0.1 mL 之溶液為空白做為活性比對，PAL 活性以每小時每克鮮重之測定值 $OD_{290} h^{-1} \cdot g^{-1}$ 表示。

多酚氧化酶及過氧化物酶活性分析：二種酶之萃取方法按 Lee & Smith (1979) 所述，修正為秤取 1 g 樣品，於冰浴中加入海砂及磷酸緩衝溶液 (phosphate buffer; 0.1 M, PPO 測定所用者為 pH 7.4, POD 測定所用者為 pH 6) 5 mL 進行研磨，其過濾、離心取上清液備用步驟如前述 PAL 方法。測定 PPO 活性時，以磷酸緩衝溶液 1.9 mL 加入 0.5 M 兒茶酚 0.2 mL，於 25°C 震盪 15 分鐘以穩定溫度製成反應液，加入前述製備之上清液 0.1 mL，以分光光度計測定 420 nm 吸光值。POD 活性之測定則按 Johnson & Cunningham (1972) 所述，修正為

反應基質以含 3.6 mM 創癒木酚之磷酸緩衝液 2 mL，加入蒸餾水 0.4 mL 及 13.5 mM 之 H_2O_2 0.2 mL，於 25°C 震盪 15 分鐘以穩定溫度製成反應液，加入前述製備之上清液 0.1 mL 震盪 3 分鐘，再以分光光度計測定 470 nm 吸光值。二種酶測定時皆以其反應液為空白組做為比對標準，PPO 及 POD 活性分別以其樣品組比對空白組在 OD_{420} 及 OD_{470} 波長下 1 分鐘內的數值變化量，並分別以每分鐘每公克鮮重之 OD_{420} 增加量 $\Delta OD_{420} min^{-1} \cdot g^{-1}$ 及 OD_{470} 變化量 $\Delta OD_{470} min^{-1} \cdot g^{-1}$ 表示。

結果與討論

貯藏溫度對果實內部褐化之影響

鳳梨果實於採收當日、經 25°C 櫥架 4 天及分別在 5°C、12.5°C 及 25°C 下貯藏 1 週，內部皆未呈現明顯變化，然貯藏 1 週再移到 25°C 櫥架 4 天後，內部褐化程度隨貯藏溫度之下降而增加 (圖 1)。貯藏 2 週之果實取出當日，果實內部仍無明顯變化，然再經 4 天之櫥架，則貯

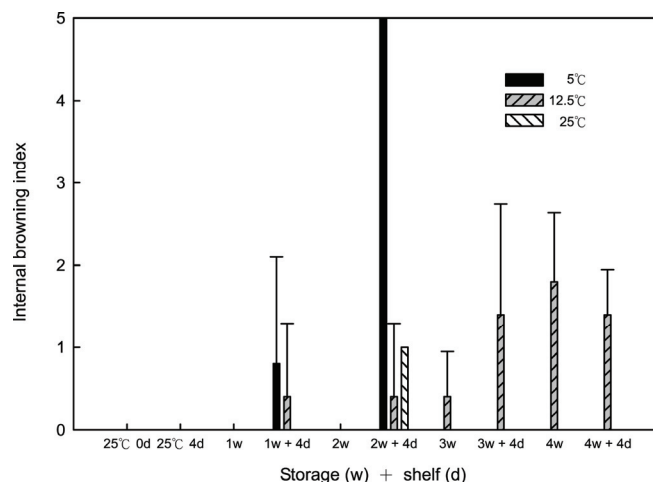


圖 1. 貯藏溫度對‘台農 17 號’鳳梨果實內部褐化之影響。貯於 5°C 及 25°C 之果實在貯藏 3 週取出時，即因劣變無商品價值而未列數據。

Fig. 1. Effects of storage temperatures on internal browning of ‘TN 17’ pineapple fruits. w: weeks of storage in cold room at 5°C, 12.5°C, and 25°C; d: days of storage on shelf at 25°C. Each bar represents the mean value (\pm SE) of 5 fruits.

於 5°C 之果實，果實內部褐化已達第 5 級，即褐化面積已超過 50%。而貯於 25°C 之果實，自採收日起迄該日已達 18 天，此時果實內部稍有褐變症狀，惟貯藏於 12.5°C 之果實，即使經 4 天櫥架後，內部褐化程度仍未達 1 級。貯藏期延長至 3 週後，貯於 5°C 及 25°C 之果實皆已明顯劣變而失去商品價值，而貯藏於 12.5°C 之果實，經 3 週貯藏、3 週貯藏再於 25°C 櫥架 4 天、4 週貯藏及 4 週貯藏再於 25°C 櫥架 4 天等處理，其果實內部褐化程度分別為 0.4 級、1.4 級、1.8 級及 1.4 級，褐化面積皆尚未達 10% (圖 1)。

顯示，‘台農 17 號’金鑽鳳梨果實貯運溫度宜採用 12.5°C，且可在此溫度下貯藏 4 週再經 25°C 櫥架 4 天仍保有商品價值。

貯藏溫度對果實內部顏色變化之影響

果實置於 25°C 之亮度，不論果心或果肉皆介於 77.0–81.1 之間，且無明顯變化趨勢 (表 1)。貯藏於 12.5°C，各次取出當天之亮度雖無明顯變化趨勢，但移至 25°C 櫥架 4 天後，則似有下降趨勢。至於貯藏於 5°C 之果實，經 2 週貯藏再移至 25°C 櫥架 4 天後，其果心及果肉之

表 1. 貯藏溫度對‘台農 17 號’鳳梨果實內部顏色變化之影響

Table 1. Effects of storage temperatures on internal color of ‘TN 17’ pineapple fruits

Treatment ^y	Internal color ^z					
	Lightness			Chroma		
	5°C	12.5°C	25°C	5°C	12.5°C	25°C
Core						
25°C+0d	77.0 a A	77.0 ab A	77.0 c A	34.4 b A	34.4 cd A	34.4 c A
25°C+4d	78.8 a A	78.8 ab A	78.8 bc A	34.7 b A	34.7 cd A	34.7 c A
1w	77.6 a A	79.0 a A	80.6 ab A	30.7 c B	31.3 d B	41.8 ab A
1w+4d	76.5 a A	73.9 b A	79.6 ab A	35.6 b B	37.5 bc AB	41.0 ab A
2w	76.4 a C	78.4 ab B	81.1 a A	34.1 bc B	35.3 c B	40.6 b A
2w+4d	73.0 b C	76.8 ab B	79.7 ab A	40.2 a B	50.4 a A	43.5 a B
3w	— ^x	78.5 ab	—	—	36.4 c	—
3w+4d	—	74.3 ab	—	—	38.1 bc	—
4w	—	75.3 ab	—	—	40.6 b	—
4w+4d	—	76.2 ab	—	—	40.6 b	—
Pulp						
25°C+0d	78.8 a A	78.8 a A	78.8 b A	45.7 a A	45.7 de A	45.7 b A
25°C+4d	79.6 a A	79.6 a A	79.6 ab A	46.2 a A	46.2 cd A	46.2 b A
1w	77.6 a A	79.0 a A	80.3 ab A	44.4 ab A	45.9 de A	44.4 b A
1w+4d	77.1 a B	77.0 ab B	81.1 a A	46.6 a A	51.0 a A	50.2 a A
2w	77.5 a B	79.1 a AB	80.6 ab A	45.4 a A	42.0 e AB	38.8 c B
2w+4d	73.0 b B	76.8 ab A	79.3 ab A	40.2 b B	50.4 ab A	43.1 b B
3w	—	78.4 a	—	—	46.9 bcd	—
3w+4d	—	74.3 b	—	—	47.5 abcd	—
4w	—	77.6 a	—	—	48.0 abcd	—
4w+4d	—	77.0 ab	—	—	50.1 abc	—

^z 25°C: storage temperature on shelf; 5°C and 12.5°C: storage temperature in cold room.

^y Means in each column with the same lower letter are not significantly different at 5% level among different storage duration treatments. Means in each row with the same capital letter are not significantly different at 5% level among different storage temperature treatments.

^x —: Not determined due to severe decay.

亮度已顯著低於新鮮果實，且經 2 週之貯藏，各貯藏溫度間之亮度有顯著差異。顯示，鳳梨果實貯藏於 5°C 下 2 週後將使亮度明顯下降 (表 1)，應可作為果實褐化指標。至於果實內部色相角度之變化情形則貯藏隨溫度而異，貯藏於 5°C 之果實內部顏色逐漸偏向暗沉，貯藏於 12.5°C 之果實可維持內部顏色較接近黃色，而貯於 25°C 之果實，內部顏色之色相角度由剛採收之 86–87° 逐漸降至 78–79°，顯示顏色逐漸由黃色偏向橙色 (圖 2)；貯藏於 12.5°C 下經移溫後彩度似有上升趨勢，貯藏於 5°C 之果實貯藏 2 週經櫥架 4 天後，雖果心彩度提高而果肉彩度降低，但因褐化嚴重果肉與果心顏色差異不大。

鳳梨果實在 25°C 貯藏至採後 18 天時 (貯藏 2 週 + 4 天櫥架)，其內部亦出現褐化症狀。此外，內部褐化等級隨貯藏溫度之下降而增加，惟經 4 週 12.5°C 之貯藏再經 4 天櫥架，其褐化面積仍未達 10% (圖 1)。貯藏於 5°C 顏色逐漸偏向暗沉 (表 1、圖 2)。Mohammed & Wickham (1997) 指出貯於 20°C 之鳳梨果實 L* 值較高，為 50.75，溫度降至 10°C 或提高至 30°C，皆使 L* 值顯著降低，延長貯藏天數同樣使 L* 值下降。而在 8°C 貯藏 3 週再經 4 天櫥架，會使 a* 值及 b* 值呈下降趨勢，但對 L* 值無明顯影響 (Abdullah *et al.* 2000)，此與本試驗貯於 25°C 之果實，不論果心或果肉之 a* 值皆逐漸增

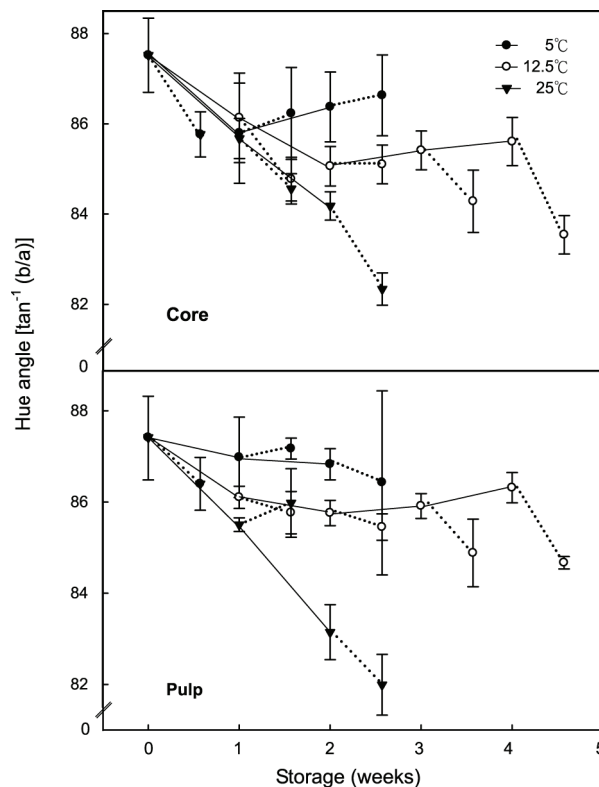


圖 2. 貯藏溫度對‘台農 17 號’鳳梨果實內部色相角度變化之影響。

Fig. 2. Effects of storage temperatures on internal hue angle of ‘TNG 17’ pineapple fruits. w: weeks of storage in cold room at 5°C, 12.5°C and 25°C; dotted line: 4 days of storage on shelf at 25°C. Each bar represents the mean value (\pm SE) of 5 fruits.

加，果肉之 b^* 值先上升後再下降之結果並不相符，而與貯藏於 5°C 及 12.5°C 之果實隨貯藏天數延長而有 L^* 值下降之變化似乎較為類似。此外，隨貯藏期之延長，彩度逐漸增加明度卻下降，顯示果心及果肉之顏色變深， 25°C 下貯藏 1 週，即使未經櫥架 4 天，果心的彩度已增加至比貯於 5°C 下 2 週加 25°C 下 4 天櫥架及 12.5°C 貯藏 4 週加 25°C 下 4 天櫥架更高，且再對應明度的下降趨勢，明白顯示顏色往褐化進行。因此，除以目視記錄褐化指數外，若能綜合亮度、彩度及色相角的變化，將可使讀者客觀瞭解較微小的顏色變化。

果心及果肉酵素活性測定

鳳梨果實分別在於 12.5°C 及 5°C 下貯藏 1、2、3 及 4 週，另在 25°C 下貯放 1 及 2 週，且皆分別有一組果實再經 4 天之櫥架，分別取樣後分析酵素之活性，結果顯示貯於較低溫度下之果實，不論果心或果肉在取出當天，組織內 PAL 活性皆較低。尤以貯於 5°C 之果實，在整個貯藏期間組織內之 PAL 活性皆較剛採收之果實為低。然貯藏後取出置於 25°C 櫥架 4 天後再分析 PAL 活性，其結果與貯放於 25°C 之果實相同，皆呈活性上升之趨勢 (圖 3)。PPO 之活性以貯藏於 12.5°C 者較高，貯於 25°C 者之

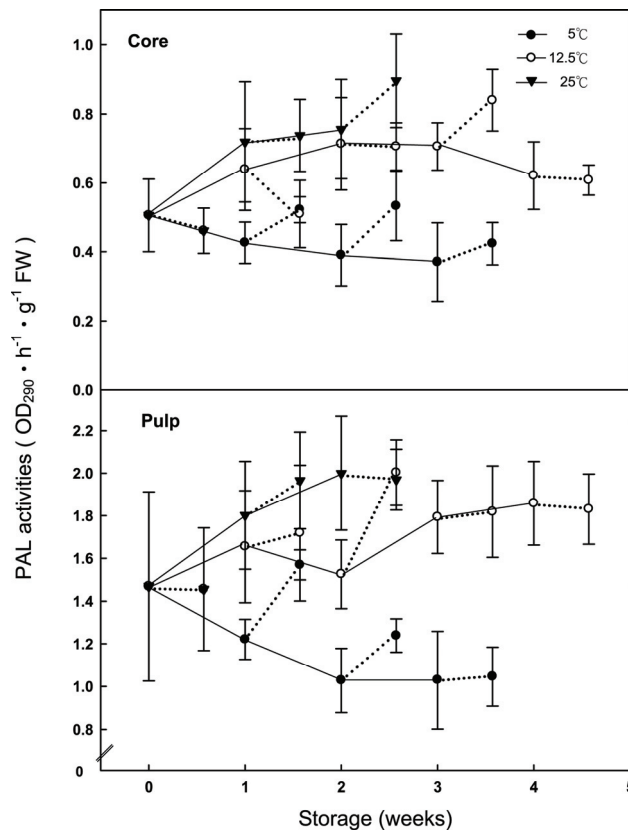


圖 3. 貯藏溫度對‘台農 17 號’鳳梨果實苯丙氨酸解氨酶活性之影響。

Fig. 3. Effects of storage temperatures on phenylalanine ammonia-lyase activities in ‘TNG 17’ pineapple fruits. w: weeks of storage in cold room at 5°C , 12.5°C and 25°C ; dotted line: 4 days of storage on shelf at 25°C . Each bar represents the mean value (\pm SE) of 5 fruits.

活性較低，貯於 5°C 者則介於前二者之間。貯藏後再 25°C 櫥架 4 天，果心之 PPO 活性較取出日更低，果肉之 PPO 活性，則僅在較高溫下貯藏，或貯藏於 12.5°C 下 1 週有活性上升之趨勢，其餘處理之活性皆呈下降之趨勢 (圖 4)。至於 POD 之活性，以貯藏於 12.5°C 以上之溫度者較高，貯於 5°C 者則較低，貯藏後再移置於 25°C 者，其活性大致呈下降之趨勢 (圖 5)。

許多學者指出鳳梨內部褐化為一種酵素性褐變，較常被討論與之有關者，如低溫貯藏可

造成鳳梨果實內部褐化，且有 PAL 及 PPO 活性上升之趨勢 (Stewart *et al.* 2001; Zhou *et al.* 2003)。POD 與貯藏溫度之關係則似尚無定論，有指出低溫使之活性增加 (Weerahewa & Adikaram 2005)，亦有二者間無關係之報告 (Zhou *et al.* 2003)；然而 Soler (1993) 指出過氧化氫酶 (catalase) 較 POD 更適合作為老化的標幟，但亦不否定其具減緩老化及水浸狀的作用，且 Zhou *et al.* (2003) 數據顯示於 25°C 下貯藏 4 週，其 POD 活性顯著高於 13°C 貯藏 3 週

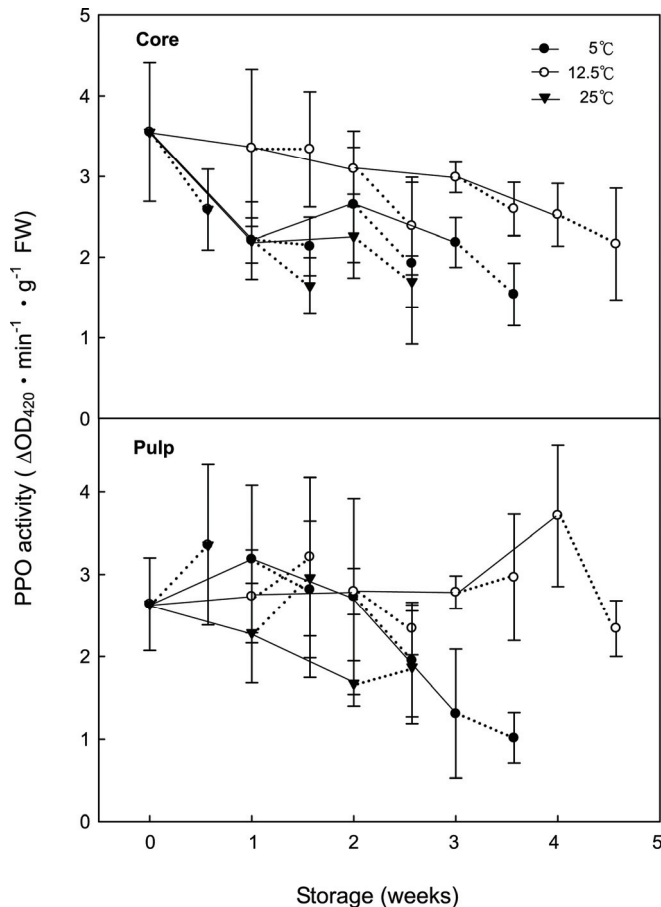


圖 4. 貯藏溫度條件對‘台農 17 號’鳳梨果實多酚氧化酶活性之影響。

Fig. 4. Effects of storage temperatures on polyphenol oxidase activities in ‘TNG 17’ pineapple fruits. w: weeks of storage in cold room at 5°C, 12.5°C and 25°C; dotted line: 4 days of storage on shelf at 25°C. Each bar represents the mean value (\pm SE) of 5 fruits.

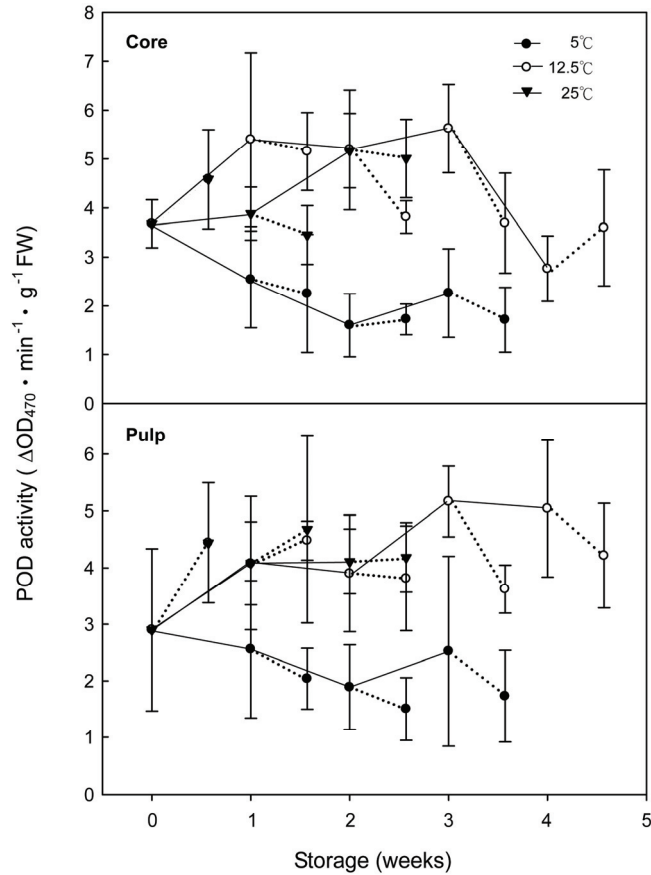


圖 5. 貯藏溫度對‘台農 17 號’鳳梨果實過氧化酶活性之影響。

Fig. 5. Effects of storage temperatures on peroxidase activities in ‘TN 17’ pineapple fruits. w: weeks of storage in cold room at 5°C, 12.5°C and 25°C; dotted line: 4 days of storage on shelf at 25°C. Each bar represents the mean value (\pm SE) of 5 fruits.

再經 25°C 櫥架 1 週者，catalase 雖未達顯著差異，但亦具相同現象，因此 POD 存在是造成褐變或減緩氧化逆境造成的傷害，有待進一步釐清。Zhou *et al.* (2003) 指出，鳳梨果心及果肉之 PPO 活性無顯著差異，但以果心為高。貯於 8.5°C 低溫者，PPO 活性較貯於常溫者高 (Chitarra & Silva 1996)，此二點與本研究之結果相符；惟本研究在 PAL 活性之分析結果，則並非經貯藏後之果實較高。由於 Zhou *et al.* (2003) 曾建議，分析因寒害造成褐變果肉之酵素活性時，需視貯藏後之時間而異，亦即貯藏初期宜

分析近果心處之果肉，而隨著貯藏期之推延，則以果實下半部果肉為宜。本研究在酵素活性上與前人指出不同等差異，是否與採樣時機及部位有關，仍待進一步探討。

誌 謝

本研究承蒙行政院農業委員會 97 農科-4.2.2-農-C2 (6)、農糧署 96 農科-4.2.2-糧-Z1 (13) 及 97 農科-4.2.2-糧-Z1 (12) 計畫補助經費，嘉義縣民雄鄉陳映延先生協助試驗始得以完成，謹此誌謝。

引用文獻 (Literature cited)

- Abdullah, H., M. A. Rohaya, H. Rosli, and N. M. Selamat. 2000. Handling and transportation trial of pineapple by sea shipment from Malaysia to the United Kingdom. *Acta Hort.* 529:317–327.
- Chang, C. C. 1991. Studies on the picking maturity of 'Tainung NO.4' pineapple for export. *J. Taiwan Agric. Res.* 40:37–44. (in Chinese with English abstract)
- Chang, T. S. and Y. C. Wu. 1961. Studies on internal (endogenous) brown spot of pineapple fruit. *Plant Prot. Bull.* 3:197–206. (in Chinese with English abstract)
- Chitarra, A. B. and J. M. Silva. 1996. Effect of modified atmosphere on internal browning of 'smooth cayenne' pineapple. *Acta Hort.* 334:85–89.
- Cho, J. J., K. G. Rohrbach, and W. J. Apt. 1977. Induction and chemical control of rot caused by *Creatocystis paradoxa* on pineapple. *Phytopathology* 67: 700–703.
- Huang, C. C. 1968. Studies on the stage of maturity and storage temperature in relation to the quality of pineapple fruits. *J. Chinese Soc. Hort. Sci.* 14: 125–131. (in Chinese with English abstract)
- Johnson, L. B. and B. A. Cunningham. 1972. Peroxidase activity in healthy and leaf-rust-infected wheat leaves. *Phytochemistry* 11:547–551.
- Lee, C. Y. and N. L. Smith. 1979. Blanching effect on polyphenol oxidase activity in table beets. *J. Food Sci.* 44:82–83.
- Mayer, A. M. and E. Harel. 1979. Polyphenol oxidase in plants. *Phytochemistry* 18:193–215.
- Miller, E. V. and A. S. Heilman. 1952. Ascorbic acid and physiological breakdown in the fruits of the pineapple (*Ananas comosus* L. Merr.) *Science* 116:505–506.
- Mohammwd, M. and L. Wickham. 1997. Biochemical changes and sensory evaluations in pineapple during storage at refrigerated and non-refrigerated temperatures. *Acta Hort.* 425:571–580.
- Paull, R. E. 1990. Chilling injury of crops of tropical and subtropical origin. p.17–36. *in: Chilling Injury of Horticultural Crops.* (Wang, C. Y., ed.) CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida.
- Paull, R. E. and K. G. Rohrbach. 1985. Symptom development of chilling injury in pineapple fruit. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 110:100–105.
- Rohrbach, K. G. and Paull, R. E. 1982. Incidence and severity of chilling induced internal browning of waxed 'Smooth Cayenne' pineapple. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 107:453–457.
- Simth, L. G. 1987. Blackheart development in growing pineapple. *Trop. Agric.* 64:7–12.
- Stewart, R. J., B. J. B. Sawyer, C. S. Bucheli, and S. P. Robinson. 2001. Polyphenol oxidase is induced by chilling and wounding in pineapple. *Aust. J. Plant Physiol.* 28:181–191.
- Soler, A. 1993. Enzymatic characterization of stress induced translucence of pineapple flesh in the Ivory Coast. *Acta Hort.* 334:295–304.
- Syue, P. C., C. H. Tang, and T. C. Lee. 2008. Studies on fruits internal browning of pineapple [*Ananas comosus* (L.) Merr.] by harvest method. *J. Taiwan Agric. Res.* 57:207–214. (in Chinese with English abstract)
- Weerahewa, D. and N. K. B. Adikaram. 2005. Heat-induced tolerance to internal browning of pineapple under cold storage. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 80:503–509.
- Zhou, Y., J. M. Dahler, S. J. R. Underhill, and R. B. H. Wills. 2003. Enzymes associated with blackheart development in pineapple fruit. *Food Chem.* 80: 565–572.

Studies on Internal Browning of ‘TN 17’ Pineapple Fruits [*Ananas comosus* (L.) Merr.] under Different Storage Temperatures¹

Pai-Chi Syue², Chia-Hui Tang³, Ching-San Kuan³, and Tan-Cha Lee^{2,4}

Abstract

Syue, P. C., C. H. Tang, C. S. Kuan, and T. C. Lee. 2009. Studies on internal browning of ‘TN 17’ pineapple fruits [*Ananas comosus* (L.) Merr.] under different storage temperatures. *J. Taiwan Agric. Res.* 58:273–282.

Although both cold and room temperatures are used for storage of pineapple fruits in industry, 5°C is currently more common storage temperature for this commodity than 12.5°C or 25°C. The purpose of this study is to investigate the optimum storage temperature for ‘TN 17’ pineapple fruit, a dominant cultivar in Taiwan. Our results showed that ‘TN 17’ pineapple fruits developed severe internal browning of fruit tissues (browning intensity index 5 or > 50% browning tissue area) and had lost marketability after 2 weeks at 5°C plus 4 days shelf (25°C); in contrast, the discoloration symptom of the fruits stored at 12.5°C was less obvious (browning intensity index 1 or 1–2% browning tissue area) for the same storage period. The phenylalanine ammonia-lyase (PAL) and peroxidase (POD) activities of ‘TN 17’ pineapple fruits stored at 12.5°C or 25°C plus 4 days at 25°C increased with storage time; but the enzyme activities of PAL and POD of the 5°C-treated fruits were significantly lower than those of fruits stored at 12.5°C. Moreover, the polyphenol oxidase (PPO) activity of 12.5°C-treated fruits was significantly higher than those of 5°C- or 12.5°C-treated samples, though the enzyme activity of all the three treatments decreased with storage time.

Key words: Phenylalanine ammonia-lyase, Polyphenol oxidase, Peroxidase, Senescence, Chilling injury.

-
1. Contribution No.2377 from Taiwan Agricultural Research Institute (TARI), Council of Agriculture. Accepted: November 10, 2009.
 2. Former graduate student and professor, Department of Horticultural Science, National Chiayi University, Chiayi, Taiwan, ROC.
 3. Assistant Researcher and Assistant Researcher, TARI, Chiayi Agricultural Experiment Station, Chiayi, Taiwan, ROC.
 4. Corresponding author, e-mail: tclee@mail.ncyu.edu.tw; Fax: (05)2753295.