

冷藏對'台農 17 號'鳳梨果實 不同部位果肉性狀之影響

曾 柏 瑄¹⁾ 陳 京 城²⁾

關鍵字：鳳梨、多酚氧化酵素、抗氧化力

摘要：本研究調查'台農 17 號'鳳梨果實不同部位果肉之性狀，結果發現可溶性固形物含量及總可滴定酸均由內而外遞增，且經 8°C 2 週再移至室溫 4 天後並無明顯變化，pH 值則由內而外逐漸降低，且貯藏後明顯降低。內果肉之檸檬酸、蘋果酸及總酸含量在貯藏後降低，但抗壞血酸則是在貯藏後有明顯提升，外果肉之抗壞血酸含量在貯藏前後均顯著高於果心。果實內主要礦物元素含量為鉀 > 氮 > 磷，除磷、錳及銅，大部分礦物元素果心含量皆低於其他部位，且貯藏後並無明顯變化，但內果肉之鈣含量貯藏後有明顯提升。果實各部位抗氧化力(FRAP)由內而外遞增，且貯藏後，除果心外，其他部位果肉 FRAP 皆明顯上升。貯藏前後果心 PPO 比活性均顯著高於其他部位，且貯藏後有明顯提升。綜合上述結果，果心之抗壞血酸含量、鈣含量及 FRAP 於貯藏後均顯著低於其他部位，但 PPO 比活性則顯著高於果肉，這些性狀均有利於黑心劣變之發生。

前 言

鳳梨為熱帶果樹，對低溫十分敏感。當果實置於低於最適貯藏溫度一段時間之後，便會發生寒害，其寒害徵狀包括果皮無法轉色、黃色成熟果果皮發生褐化及果冠萎凋褐化等。這些外觀病徵在冷藏果實移至較高的室溫後會有更劇烈的變化(Abdullah *et al.*, 2002)。除了外觀寒害徵狀之外，較敏感之鳳梨品種，其果心也會發生黑褐色病徵，稱為黑心劣變(blackheart)。

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助理教授，通訊作者。

鳳梨黑心劣變主要是低溫逆境所造成，採收前田間低溫或採收後低溫貯藏均可促使黑心劣變發生。鳳梨外銷及內陸之長途運輸的過程中，一般需要利用低溫貯藏來延長果實儲架壽命。對低溫敏感之 'Smooth Cayenne' 鳳梨果實在 10-15°C 貯藏 3 週後移至室溫，經常發現果實內部靠近果心部分有黑色斑點產生(Paull and Rohrbach, 1985)。經 12°C 低溫貯藏 17 天之'Smooth Cayenne'鳳梨 PPO 活性並無明顯變化也無黑心病徵發生，但移至室溫下 2 天後 PPO 活性明顯上升，黑心病徵也隨著貯藏天數增加而日漸嚴重(Stewart *et al.*, 2001)。

許多園產品發生生理劣變與組織內鈣含量有關，在採收前如果組織細胞內鈣離子濃度太低，容易造成生理失調，加速老化。鈣離子參與植物許多生理代謝作用(Hewajulige, 2003)。*'Kew'*鳳梨是耐黑心病品種，而'*Mauritius*'是感病品種，在相同栽培條件下，'*Mauritius*'鳳梨果實各部位鈣含量皆低於'*Kew*'鳳梨，且黑心劣變與果實內鈣含量呈正相關(Hewajulige, 2003)。

抗氧化劑(antioxidants)在生物體細胞內扮演重要角色，可避免細胞內 DNA 受損及減少脂質過氧化。鳳梨品種間黑心劣變發生率與嚴重程度的差異，可能與果實內所含的抗壞血酸含量差異有關，以'*Hawaiian Gold*'及'*Smooth Cayenne*'兩品種為例，採收後測量其壞血酸含量，易發生黑心劣變之'*Smooth Cayenne*'果實，其每 100 ml 果汁中含 14.6 mg 抗壞血酸，而不易發生黑心病徵之'*Hawaiian Gold*'果實則含有 64.6 mg(Sanewski and Gile, 1997)，因此推測抗壞血酸含量，可能為影響鳳梨黑心劣變發生的原因之一。

影響鳳梨黑心劣變發生之可能因子，包括品種遺傳特性、礦物元素含量、PPO 活性及抗氧力等，本研究之目的為調查'台農 17 號'鳳梨果實不同部位果肉之物化性狀差異，探討影響果實黑心劣變之可能因子。

材料與方法

1. 試驗材料

本研究之試驗材料為'台農 17 號'鳳梨，於 101 年 7 月購自台中市市區水果攤，果實為採收後 3 日內，成熟度約 1/3 至 1/2 轉色，將果實分為 0 天對照組(室溫 27°C、相對濕度 65-70%)，以及 8°C 2 週加室溫 4 天之處理組(相對濕度 70-75%)，每組處理均為 6 重覆。將果實分為果心(Core)、內果肉(Inner pulp)、中果肉(Middle pulp)以及外果肉(Outer pulp)四個部位。

2. 試驗方法

(1) 性狀調查：

調查項目：果實鮮重、可溶性固形物含量(TSS)、總可滴定酸(TA)、pH 值。

(2) 醣類分析：

分析蔗糖、葡萄糖、果糖及總糖(前 3 種糖之和)含量，單位以鮮重百分比表示。冷凍

果肉樣品以液態氮研磨，秤取 2 g 粉末加入 18 ml 90%酒精，在水浴中以均質機高速均質 2 分鐘，將備置完成樣品以瓶蓋封口，置於 4°C 冰箱中靜置，待 24 小時後取上清液 5 ml 加入試管中後，置於減壓濃縮機(VAPOUR-MIX KC-12)中，溫度設定為 55°C，待酒精完全蒸發至樣品呈現黏稠狀，即將試管取出，加入 5 ml 純水，使黏稠液體完全溶解後，取 1 ml 糖液以 0.45 μm 過濾膜(Millex, Millipore)過濾，然後以高效能液態層析儀(High performance Liquid Chromatography, HPLC) (Pump: Hitachi pump L-2130、Detector: Hitachi detector L-2490、Column: Waters Sugar-pak I)進行醣類分析，分析條件設定為：管柱溫度 80°C，移動相為 50 ppm EDTA-Ca，流速 0.5 ml/min。測定方法修自 Wang 等人(1993)。

(3) 酸類分析：

主要分析檸檬酸、蘋果酸、抗壞血酸以及總酸(前 3 種酸之和)含量，單位以鮮重百分比表示。將冷凍果肉以液態氮研磨，秤取 2.5 g 粉末加入 10 ml 純水，在冰浴中以均質機高速均質 2 分鐘後，將樣品放置於 40°C 溫水浴中 30 分鐘提取酸類，再放入離心機中以 10,000x g 離心 10 分鐘，取上清液 1 ml 以 0.45 μm 過濾膜(Millex, Millipore)過濾。樣品分析以高效能液態層析儀(High performance Liquid Chromatography, HPLC)(Pump: Hitachi pump L-2130、Detector: Hitachi detector L-2400、Column: Waters KC-811)進行檢測，分析條件設定為：管柱溫度 60°C，移動相為 0.1% phosphoric acid，流速 0.5 ml/min。測定方法修自 Paull 等人(1983)。

(4) 元素分析：

將樣品置入冷凍乾燥機中將內部水分完全去除，完成後再以液態氮磨成粉末備用。精秤 1 g 冷凍乾燥樣品於乾鍋中，放入灰化爐中將樣品達到完全灰化，並加入 5 ml 2N HCl (Merck)將灰分溶解，以 Whatman #42 無灰分濾紙過濾，以去離子水定量至 25 ml。各元素分析步驟如下：

氮之測定—凱氏氮(micro-Kjeldahl method)：精秤 0.2 g 樣品包於 Toyo No.1 濾紙，置入分解管中，並加入 1 g 之催化劑(K_2SO_4 : CuSO_4 : Se = 100 : 10 : 1, w/v)及 4.5 ml 濃硫酸，將分解管放置於 410°C 分解爐中加熱分解，待加熱至沒有白煙冒出，且管中液體為澄清綠色時取出，冷卻約 10 分鐘後加入 15 ml 蒸餾水，管內液體為澄清淺藍色，表示完全分解。完全分解之樣品移至 micro-Kjeldahl 裝置，加入 20 ml 之 12 N NaOH，通蒸氣使氮化，並使用含指示劑 2% boric acid 20 ml 接收氨氣及氨水，至總體積達 50 ml 為止。以 1/14 N 之 H_2SO_4 滴定，並計算 N 之百分比。測定方法修自 Miller 等人(1945)。

磷之測定—鉬黃法(Vanadate-molybdate yellow method)：取已備製好之灰化濾液 1 ml 於試管中，加入 3 ml 去離子水及 1 ml 鉬黃試劑，將液體均勻混合後靜置 10 分鐘，以分光光度計檢測液體在 470 nm 之吸光值。測定方法修自 Chapman 及 Pratt (1961)。

鉀、鎂、鈣元素測定：鉀、鎂元素各取 0.1ml 灰化濾液，加入去離子水稀釋，鈣元素取 0.1ml 灰化濾液加入 5%氧化釷(Lanthanum oxide)稀釋。灰化濾液以原子吸收光譜儀(Atomic-Absorption Spectroscopy, AA)(HITACHI/Z-2300)測定。

鐵、錳、鋅、銅元素測定：微量元素直接以灰化濾液以 AA 測定。

(5) FRAP (Ferric reducing antioxidant power) 分析

配置 working reagent：(1) 30 mmole/L acetate buffer (pH 3.6)；將 3.1 g $C_2H_3NaO_2 \cdot 3H_2O$ 加入 16 ml $C_2H_2O_4$ (醋酸)，並定量至 1 L。(2) 10 mmole/L TPTZ (2,4,6 tripyridyl-s-triazine) 溶於 40 mmole/L HCl 中。(3) 20 mmole/L $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ 。將(1)、(2)和(3)藥品以 10：1：1 比例混勻，即為 working reagent。將樣品以液態氮研磨後秤取 2 g 加入 5 ml 30 mmole/L acetate buffer 於冰浴中均質 2 分鐘，使用高速離心機，以 14000×g 轉速、溫度 4°C 離心 15 分鐘，上清液即為待測萃取液。分析方法：取萃取液 20 μ L 加入 1000 μ L working reagent (working reagent 須置於 37°C 水浴中預熱，液體成淺黃棕色)，均勻的混合完畢再置入 37°C 水浴中 10 分鐘，使其完全反應，最後以分光光度計(Thermo Spectronic, He λ ISO α)測量波長 593nm 之吸光值。測定方法修自 Benzie and Strain (1996)

(6) 多酚氧化酵素活性分析

以液態氮研磨樣品並秤取 2.5 g，加入 10 ml 0.1 M sodium phosphate buffer (含 1% PVPP 及 0.25% Triton X-100，並將 pH 值調整至 7.5)，均質 2 分鐘後置入高速離心機以 10500×g，於 4°C 下離心 30 分鐘，上層澄清液即為酵素液備用。將 2.7 ml (0.1 M pH7.5 之 sodium phosphate buffer) 加入比色管當中，並加入 0.2 ml 之 0.5 M 反應基質 4-methylcatechol，再加入 0.1 ml 酵素液混合後開始進行反應，測量波長 420nm 下反應 0 分鐘與 20 分鐘之吸光值。Blank 以緩衝溶液取代酵素液。測定方法修自 Das 等人(1997)。

(7) 總蛋白質質分析

取 3 ml Protein dye solution 於拋棄式比色管中，加入萃取液 60 μ l (萃取方法同 PPO 萃取方法)反應 2 分鐘，以分光光度計測其波長 595 nm 下吸光值。分析測定方法修自 Bradford(1976)。

(8) 總酚類分析

取玻璃試管，加入 4.35 ml 純水、50 μ l folin - Ciocalteu reagent (Merck)以及 0.1 ml 20% Na_2CO_3 ，並加入 0.5 ml 萃取液(萃取方法同 PPO)，均勻後放入沸水中滾煮 2 分鐘，待冷卻後，以分光光度計測量波長 660 nm 下之吸光值，以 caffeic acid 為標準曲線。分析方法修自 Keith 等人(1958)

結 果

本試驗以 8°C 低溫貯藏 2 週後移至室溫 4 天，調查果肉各部位品質性狀、礦物元素含量、抗氧化力，以及 PPO 活性。不同部位果肉性狀比較結果顯示，貯藏前果實各部位之可溶性固形物含量(TSS)由內而外遞增，由果心 9.1 °Brix 至外部果肉 13.5 °Brix，總可滴定酸(TA)也有相同趨勢，果心為 4.57 meq/100ml，外果肉為 8.83 meq/100 ml，而各部位

之 pH 值則呈現由內向外遞減趨勢(表 1)。經過 8°C2w+4d 貯藏後，果實各部位之 TSS 及 TA 並無顯著變化，但 pH 值均顯著降低 (表 1)。

表 1. '台農 17 號'鳳梨貯藏後果實不同部位之性狀調查

Table 1. The characteristics in different parts of 'TN17' pineapple fruit after storage.

Treatment ^z	Parts of fruit	TSS ^y (°Brix)	TA (meq/100ml)	pH
RT0d	Core	9.1±1.1 ^x c ^w A ^v	4.57±0.54 bA	4.74±0.12 aA
8°C2w+RT4d		9.3±0.5 cA	5.14±1.83 cA	4.61±0.06 aB
RT0d	Inner pulp	11.5±0.9 bA	8.64±1.26 aA	4.63±0.11 abA
8°C2w+RT4d		11.7±0.8 bA	8.71±1.35 bA	4.43±0.10 bB
RT0d	Middle pulp	13.5±0.8 aA	9.38±1.04 aA	4.67±0.07 aA
8°C2w+RT4d		12.7±0.8 aA	8.81±0.90 bA	4.38±0.14 bcB
RT0d	Outer pulp	13.5±1.2 aA	8.83±1.38 aA	4.54±0.10 bA
8°C2w+RT4d		12.8±0.5 aA	10.28±1.38 aA	4.26±0.12 cB

^z RT0d : 0 day storage, 8°C2w+RT4d : stored at 8°C for 2 weeks, then at room temperature for 4 days.

^y TSS : Total soluble solids, TA : Titratable acid.

^x Mean ± standard deviation.

^w Mean separation among fruit parts for the same treatment by Least Significant Difference (LSD) test, P=0.05.

^v Mean separation within fruit parts by T-test, P=0.05.

以 HPLC 測量貯藏前後各部位果肉有機酸含量之變化，結果如表 2 所示，檸檬酸為最主要的有機酸，而蘋果酸次之，果心之有機酸含量顯著低於其他部位，而抗壞血酸則是中、外果肉顯著高於內果肉及果心。果心及內果肉之檸檬酸貯藏後顯著低於貯藏前，中、內外部位果肉之檸檬酸在貯藏後則是無顯著差異，蘋果酸含量在貯藏後中、內果肉有降低情形，其他部位則是無顯著差異，果實中抗壞血酸含量除外部果肉，各部位在貯藏後皆明顯提升。果心之總酸含量於貯藏前後均顯著低於其他部位果肉，而內果肉之總酸含量於貯藏後明顯降低，其他部位則無明顯變化。

表 2. '台農 17 號'鳳梨貯藏後果實不同部位之有機酸含量變化

Table 2. Changes in organic acid content in different parts of 'TN17' pineapple fruit after storage.

Treatment ^z	Parts of fruit	Acid (%)			
		Citric acid	Malic acid	Ascorbic acid	Total acid
RT0d	Core	0.12±0.01 ^y b ^x A ^w	0.08±0.01 cA	0.020±0.001 bcB	0.22±0.02 cA
8°C2w+RT4d		0.11±0.01 cB	0.07±0.01 cA	0.022±0.002 bA	0.21±0.02 cA
RT0d	Inner pulp	0.50±0.06 aA	0.24±0.03 bA	0.017±0.002 cB	0.76±0.07 abA
8°C2w+RT4d		0.38±0.05 bB	0.19±0.03 bB	0.027±0.002 aA	0.59±0.08 bB
RT0d	Middle pulp	0.54±0.18 aA	0.27±0.02 bA	0.022±0.003 abB	0.83±0.18 aA
8°C2w+RT4d		0.48±0.05 aA	0.24±0.02 aB	0.028±0.002 aA	0.75±0.05 aA
RT0d	Outer pulp	0.41±0.19 aA	0.23±0.01 aA	0.025±0.003 aA	0.66±0.19 bA
8°C2w+RT4d		0.49±0.09 aA	0.26±0.04 aA	0.026±0.001 aA	0.79±0.11 aA

^z RT0d : 0 day storage, 8°C2w+RT4d : stored at 8°C for 2 weeks, then at room temperature for 4 days.

^y Mean ± standard deviation.

^x Mean separation among fruit parts for the same treatment by Least Significant Difference (LSD) test, P=0.05.

^w Mean separation within fruit parts by T-test, P=0.05.

各種元素含量大小依序為鉀>氮>鈣>磷、鎂>鐵>錳>鋅>銅，而貯藏前後各部位之礦物元素含量大多無顯著變化，但果心之氮、鉀、鎂、鐵、鋅含量都較果肉低，果心與內果肉之鈣含量明顯低於中、外果肉，但內果肉之鈣含量於貯藏後明顯增加，其他部位則無明顯變化(表 3)

貯藏前不同部位果肉之抗氧化力 FRAP 值，以果心最低，由內至外增加，經 8°C2w+4d 貯藏之果實各部位果肉 FRAP 也由內向外提升(表 4)，越往外側果肉抗氧化力越高，貯藏前後除果心外，各部位果肉抗氧化力皆明顯提升，且以外果肉增加比率最高，達 50%。

以 Methylcatechol 做為基質測量貯藏前後果實各部位 PPO 活性、總蛋白及總酚類含量之變化。結果顯示，貯藏前後果實各部位之 PPO 活性並無顯著差異，但貯藏後果心 PPO 比活性則顯著高於貯藏前，且果心 PPO 比活性於貯藏前後均明顯高於其他部位之果肉(表 5)。果心總蛋白含量最低，約為外部果肉之 1/2。各部位之總酚類含量並無明顯差異，且貯藏後也並無明顯變化，含量介於 0.90-1.02 mg/g fw。

表 3. '台農 17 號'鳳梨貯藏後果實不同部位之礦物元素含量變化

Table 3. Changes in mineral elements content in different parts of 'TN17' pineapple fruit after storage.

Treatment ^f	Parts of fruit	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
RT0d	Core	0.404± ^w	0.056±0.014 aA	0.66±0.05 cB	0.055±0.022 bA	0.045±0.008 bA
8°C2w+RT4d		0.550±0.099 bA	0.053±0.009 bcA	0.76±0.09 cA	0.050±0.007 bA	0.050±0.006 cA
RT0d	Inner pulp	0.890±0.059 abA	0.058±0.014 aA	1.53±0.14 bB	0.052±0.012 bB	0.076±0.015 aA
8°C2w+RT4d		0.955±0.141 aA	0.063±0.020 bA	1.85±0.19 aA	0.076±0.019 aA	0.093±0.011 bA
RT0d	Middle pulp	0.945±0.080 aA	0.040±0.006 bA	1.73±0.13 aA	0.068±0.008 abA	0.082±0.016 aA
8°C2w+RT4d		1.040±0.094 aA	0.044±0.002 cA	1.84±0.20 aA	0.076±0.010 aA	0.095±0.003 aA
RT0d	Outer pulp	0.825±0.077 bB	0.069±0.012 aB	1.44±0.22 bA	0.076±0.008 aA	0.072±0.020 aA
8°C2w+RT4d		0.936±0.072 aA	0.091±0.011 aA	1.60±0.16 bA	0.080±0.013 aA	0.083±0.009 aA
Treatment	Parts of fruit	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	
RT0d	Core	5.16±0.67 cA	17.44±2.54 aA	4.62±0.76 bA	8.24±2.03 aA	
8°C2w+RT4d		6.19±1.19 cA	11.07±2.04 aB	4.66±0.94 bA	10.20±2.29 aA	
RT0d	Inner pulp	14.07±3.32 bA	9.74±1.63 cA	11.03±0.82 aA	6.33±1.37 bA	
8°C2w+RT4d		13.57±1.34 bA	11.70±2.41 aA	11.07±0.91 aA	5.91±1.37 bA	
RT0d	Middle pulp	18.20±1.90 aA	8.74±1.62 bcB	10.78±1.80 aA	8.29±0.70 aA	
8°C2w+RT4d		17.23±2.12 aA	11.45±1.83 aA	11.40±1.13 aA	5.79±1.30 bB	
RT0d	Outer pulp	18.28±2.04 aA	11.49±2.81 bA	9.70±0.97 aB	9.62±1.03 aA	
8°C2w+RT4d		19.17±2.97 aA	12.69±2.59 aA	11.15±1.10 aA	8.86±2.47 aA	

^z RT0d : 0 day storage, 8°C2w+RT4d : stored at 8°C for 2 weeks, then at room temperature for 4 days.^y Mean ± standard deviation.^x Mean separation among fruit parts for the same treatment by Least Significant Difference (LSD) test, P=0.05.^w Mean separation within fruit parts by T-test, P=0.05.

表 4. '台農 17 號'鳳梨貯藏後不同部位之抗氧化力變化

Table 4. Changes in antioxidant power in different parts of 'TN17' pineapple fruit after storage.

Parts of fruit	FRAP ^z (Fe ²⁺ μmole/g · Fw)	
	RT0d ^y	8°C 2w+RT4d
Core	99.4 ± 15.6 ^x c ^w A ^v	104.9 ± 42.1 cA
Inner pulp	137.0 ± 18.7 bB	169.7 ± 15.5 bA
Middle pulp	160.2 ± 19.2 aB	194.4 ± 31.4 bA
Outer pulp	157.9 ± 5.0 abB	237.6 ± 15.4 aA

^z FRAP : Ferric reducing antioxidant power.

^y RT0d : 0 day storage, 8°C 2w+RT4d : stored at 8°C for 2 weeks, then at room temperature for 4 days.

^x Mean ± standard deviation.

^w Mean separation within columns by Least Significant Difference (LSD) test, P=0.05.

^v Mean separation within rows by T-test, P=0.05.

討 論

國內外銷之'台農 17 號'鳳梨果實經常以 5-10°C 貯藏，但以 5°C 貯藏之果實在移至室溫後經常有黑心劣變發生，即使將果實貯藏於 12°C，也有相同結果(薛等, 2009)。一般國外開英種鳳梨採收後貯藏溫度範圍為 7.5-12°C，可降低果實因貯藏而發生之劣變(Paull, 1993)。如將果實貯藏低於臨界值下之 7°C，雖可延長'Smooth Cayenne'果實貯藏壽命至 4 週，但果實移至室溫下 2-3 天即可能發生黑心劣變(Paull and Rohrbach, 1985)。本研究調查'台農 17 號'鳳梨果實，經低溫 8°C 處理之後，移至室溫 4 天，果實明顯發生黑心病徵。

分析'台農 17 號'鳳梨果實不同部位性狀，結果發現 TSS 及 TA 均由內向外遞增 (表 1)。鳳梨果實中間部位果心及周圍組織乃由花穗軸及小花花托等組織發育而來，果心屬莖之延伸，而果實食用之果肉部位包含了苞葉及萼片基部、花托及子房組織等(Okimoto, 1948; Singleton, 1965; Bartholomew and Paull, 1986)。本研究結果顯示，鳳梨果實各部位果肉之 TA 於貯藏前後並無顯著差異，但從數據中發現，除中果肉外，其餘部位之 TA 皆有些許提升，且果實各部位 pH 值顯著降低 (表 2)。從貯藏前後之各部位有機酸數據中得知，果心及內果肉檸檬酸含量在貯藏後皆顯著降低，蘋果酸在中、內果肉也有此變化趨勢，抗壞血酸則是在貯藏後有明顯提升，但果心含量仍低於其他部位。抗壞血酸含量在果心及內果肉部位含量較低，但經過低溫貯藏後各部位除外果肉，皆有明顯提升情形，且內果肉在冷藏後果實中抗壞血酸含量提升將近 60%(表 2)。一般鳳梨果實黑心劣變最初發生之部位皆由果目基部與鄰近果心組織開始，顯示果實冷藏後內果肉抗壞血酸提升，並不一定能抑制

表 5. '台農 17 號'鳳梨貯藏後果實不同部位之多酚氧化酵素、總蛋白及總酚類變化

Table 5. Changes in PPO activity、total protein and total phenol in different parts of 'TN17' pineapple fruit after storage.

Treatment ^a	Parts of fruit	Activity (units/g fw)	Spec. Activity (units/mg protein)	Total protein (mg/g fw)	Total phenol (mg/g fw)
RT0d	Core	1000.9 ± 86.0 ^y a ^z w	555.5 ± 70.0 aB	1.83 ± 0.29 cA	0.096 ± 0.004 aA
8°C 2w+RT4d		1118.6 ± 133.0 aA	686.6 ± 110.4 aA	1.66 ± 0.30 bA	0.090 ± 0.008 aA
RT0d	Inner pulp	1048.8 ± 70.1 aA	375.8 ± 41.1 bA	2.83 ± 0.43 bA	0.099 ± 0.005 aA
8°C 2w+RT4d		1177.4 ± 73.6 aA	444.9 ± 108.0 bA	2.76 ± 0.57 aA	0.098 ± 0.010 aA
RT0d	Middle pulp	1066.1 ± 136.9 aA	346.9 ± 58.8 bA	3.12 ± 0.49 aA	0.102 ± 0.011 aA
8°C 2w+RT4d		1185.7 ± 54.9 aA	401.9 ± 100.9 bA	3.08 ± 0.61 aA	0.098 ± 0.008 aA
RT0d	Outer pulp	1003.0 ± 105.5 aA	313.8 ± 32.7 bA	3.21 ± 0.30 aA	0.102 ± 0.010 aA
8°C 2w+RT4d		1200.0 ± 52.4 aA	385.9 ± 112.1 bA	3.28 ± 0.70 aA	0.098 ± 0.005 aA

^a RT0d : 0 day storage, 8°C 2w+RT4d : stored at 8°C for 2 weeks, then at room temperature for 4 days.

^y Mean ± standard deviation.

^z Mean separation among fruit parts for the same treatment by Least Significant Difference (LSD) test, P=0.05.

^w Mean separation fruit parts by T-test, P=0.05.

黑心劣變發生。抗壞血酸之增加，可能是鳳梨果實在低溫逆境下，提升抗氧化的反應之一，但抗壞血酸含量高低可能並非鳳梨黑心劣變發生與否之主要決定因子(Sanewski and Gile, 1997)。

'台農 17 號'鳳梨果實發育初期，內部礦物元素含量變化明顯，花後 6-8 週之後變化趨於平緩，且果實內主要礦物元素含量為鉀>氮>磷(陳，2010)，與本研究調查之結果(表 3)相似。果實經低溫貯藏後移至室溫下，礦物元素含量並無明顯變化，除了磷、錳及銅，大部分礦物元素果心含量皆低於其他部位。園藝作物常因鈣元素缺乏而導致生理劣變發生。Hewajulige 等人(2003)報告中指出，'Kew'及'Mauritius' 兩鳳梨品種果實中鈣含量與黑心劣變嚴重程度呈負相關，果實內部鈣含量由內向外遞增，且冷藏後果心及內部果肉鈣含量顯著降低，而外部果肉及果皮鈣含量則增加。本研究結果顯示，'台農 17 號' 鳳梨果實內部鈣含量也是由內向外遞增；與 Hewajulige 等人(2003)之結果相符，但貯藏前後除內果肉外，其餘部位並無顯著變化，與 Hewajulige 等人(2003)之研究結果並不完全一致，但中、外果肉經過貯藏後鈣含量仍有上升之趨勢，而 Hewajulige 等人(2006)之研究報告指出，'Mauritius' 品種在實驗中不論是否有經採收前鈣處理，經過低溫貯藏後果實之果心與果肉，其鈣含量皆下降。雖然品種特性及貯藏條件均可能影響果實貯藏期間鈣含量之移動及各部位之鈣含量，但上述研究有一共同點，即果心及內部果肉之鈣含量相對較低，而黑心劣變即由此部位開始發生。

以 FRAP 方式測量'台農 17 號'鳳梨果實各部位抗氧化力之差異，發現內部果肉抗氧化力明顯低於外部果肉，但經過冷藏後各部位果肉之 FRAP 皆有提升情形(表 4)，果實黑心劣變發病位置，由小果基部至果心周圍開始擴散，推測可能與果實各部位抗氧化力差別有關，且果實冷藏前後除果心無明顯變化外，中、內果肉 FRAP 提升比例約為 21-23%，外果肉之 FRAP 則是提升近 50%。許多研究報告指出，提供果實抗氧化能力之物質包含：維他命 E、抗壞血酸、類胡蘿蔔素、酚類化合物等，且通常以抗壞血酸做為果實提供抗氧化能力指標之抗氧化物質(Dahler *et al.*, 2002; Raimbault *et al.*, 2013; Sanewski and Giles, 1997)，但鳳梨果實抗壞血酸的含量並不高，且冷藏後之變化也不大，因此冷藏後 FRAP 之提升應該是其他抗氧化物質增加所致。

PPO 在鳳梨果實中，具有組織特異性，經過低溫誘導後靠果心部位之 PPO 會明顯提升(Zhou, 2003)，本研究結果亦顯示，貯藏前果心 PPO 比活性顯著高於其他部位，且貯藏後果心之 PPO 比活性顯著高於貯藏前(表 6)，與蘇(2008)之研究結果相似。各部位總酚類含量及貯藏前後均無顯著差異，因此，在可能影響鳳梨黑心劣變發生的因子之中，PPO 活性應該比酚類化合物含量重要。

綜合本研究之結果發現，果心之抗壞血酸含量、鈣含量及 FRAP 均較低，但 PPO 比活性較高，這些性狀均有利於黑心劣變之發生。

致 謝

本研究承蒙行政院農業委員會 102 農科-9.2.2-糧-Z1(9)計畫補助部分經費，謹致謝忱。

參考文獻

- 陳美齡。2010。鳳梨果實發育期間理化性狀、礦物元素及水浸狀生理劣變之研究。國立中興大學園藝學系碩士論文。
- 蘇俊麟。2008。植物生長調節劑與溫湯處理對鳳梨黑心劣變發生之影響。國立中興大學園藝系碩士論文。
- 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。
- Abdullah, H. R., M. N. Latifah, M. A. Rohaya, and M. S. Madom. 2002. Respiration rate, ethylene production and chlorophyll content of the fruit and crown of pineapple stored at low temperatures. *J. Trop. Agr. Food Sci.* 30: 99-108.
- Bartholomew, D. P. and R. E. Paull. 1986. Pineapple. pp. 371-388. In: Monselise, S. P. (ed). *Handbook of fruit of fruit set and development*. CRC Press. Boca Raton, Florida.
- Benzie, J. F. F. and J. J. Strain. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power: The FRAP assay. *Anal. Biochem.* 239: 70-79.
- Brandford, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.* 72:
- Chapman, H. D. and F. P. Pratt. 1961. "Ammonium vandate-molybdate method for determination of phosphorus." *Methods of analysis for soils, plants and water*. University of California, reiverside. pp. 184-203.
- Das, J. R., G. B. Santhoor, and R. G. Lalitha. 1997. Purification and characterization of polyphenol oxidase from the Kew cultivar of Indian pineapple fruit. *J. Agric. Food Chem.* 45:2031-2035.
- Dahler, J. M., S. J. Underhill, Y. Zhou, and J. E. Giles. 2002. Biochemical changes associated with chilling in pineapple fruit. *Acta Hort.* 575: 603-610.
- Hewajulige, I. G. N., R. S. W. Wijeratnam, R. L. C. Wijesundera, and M. Abeysekere. 2003. Fruit calcium concentration and chilling injury during low temperature storage of pineapple. *J. Sci. Food Agric.* 83: 1451-1454.
- Hewajulige, I. G. N., S. W. Wijeratnam, and R. L. C. Wijesundera. 2006. Pre-harvest application of calcium to control black heart disorder in Mauritius pineapples during low-temperature storage. *J. Sci. Food Agric.* 86: 420-424.

- Keith, R. W., D. L. Tourneau, and D. Mahlum. 1958. Quantitative paper-chromatographic determination of phenols. *J. Chromatogr.* 1: 534-536.
- Miller, L. and J. A. Houghton. 1945. The micro-kjeldahl determination of the nitrogen content of amino acid and proteins. *J. Biol. Chem.* 159: 373-383.
- Okimoto, M. C. 1948. Anatomy and histology of the pineapple inflorescence and fruit. *Bot. Gaz.* 110: 217-231.
- Paull, R. E. 1993. Postharvest handling of smooth Cayenne pineapple in Hawaii for the fresh fruit market. *Acta Hort.* 334:273-285.
- Paull, R. E and K. G. Rohrbach. 1985. Symptom development of chilling injury in pineapple fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 110:100-105.
- Paull, R. E., J. Deputy, and N. J. Chen. 1983. Changes in organic acid, sugars and headspace volatiles during fruit ripening of soursop (*Annona muricata* L.). *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108: 931-934.
- Raimbault, A. K., Y. Zuily-Fodil, A. Soler, P. Mora, and M. H. Cruz de Carvalho. 2013. The expression patterns of bromelain and AcCYS1 correlate with blackheart resistance in pineapple fruit submitted to postharvest chilling stress. *J. Plant Physiol.* (In press).
- Sanewski, G. M. and J. Giles. 1997. Blackheart resistance in three clones of pineapple [*Ananas comosus* (L.) Merr.] in subtropical Queensland. *Aust. J. Exp. Agr.* 37:459-461.
- Singleton, V. L. 1965. Chemical and physical development of pineapple fruit I. Weight per fruitlet and other physical attributes. *J. Food Sci.* 30: 98-104.
- 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.
- Wang, F., A. Sanz, M. L. Brenner, and A. Smith. 1993. Sucrose synthase, starch accumulation and tomato fruit sink strength. *Plant Physiol.* 101: 321-327.
- Zhou, Y. C., T. J. O'Hare, M. Jobin-Décor, S. J. R. Underhill, R. B. H. Wills, and M. W. Geahan. 2003. Transcriptional regulation of a pineapple polyphenol oxidase gene and its relationship to blackheart. *Plant Biotechnol. J.* 1:463-478.

Effect of Cold Storage on Characteristics in Different Parts of 'TN17' Pineapple Fruit Flesh

Bo-Shiuan Tseng¹⁾ Ching-Cheng Chen²⁾

Key words: pineapple, polyphenol oxidase, antioxidant power

Summary

The physical-chemical characteristics in different parts of 'TN17' pineapple fruit flesh were examined. The results indicated that the total soluble solid and total titratable acid increased progressively from the core to outer pulp, and there were no significant changes after storage. The pH value decreased progressively from the core to outer pulp, and there were significant decreases after storage. Contents of citric acid, malic acid and total acid in the inner pulp decreased after storage, but ascorbic acid content increased. Ascorbic acid content in the outer pulp was significant higher than that in the core before and after storage. The main mineral elements were $K > N > P$. Most mineral elements contents, except P, Mn and Cu, were lower in the core than in other parts, and there were no significant changes after storage. The calcium content in the inner pulp of pineapple fruit was significantly increased after storage. Ferric reducing activity power (FRAP) increased progressively from the core to outer pulp of fruit. After fruits were stored at 8°C for 2 weeks, followed by at room temperature for 4 days, the FRAP in pulps increased, but not in the core. Polyphenol oxidase activity in different parts of 'TN17' pineapple fruit flesh was analyzed. The results showed that PPO specific activity in the core of pineapple fruit was the highest, which increased after storage. In summary, the ascorbic acid content, calcium content and FRAP in the core were lower than those in other parts of fruit after storage, but the PPO specific activity was higher than that in the pulps. All of these characteristics are in favor of blackheart occurrence.

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

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

