

低溫對‘台農十七號’鳳梨植株發育之影響

曾顯皓¹⁾ 林慧玲²⁾

關鍵字：鳳梨、寒害、葉綠素螢光、離子滲漏率、乙烯

摘要：台灣地區鳳梨產業為達全年可生產果實之目的，常在秋末冬初進行人工催花以調節產期，台灣地區冬季偶有低於 10°C 的低溫出現，本研究目的在探討‘台農 17 號’鳳梨催花後不同時間低溫處理對於植株的影響。利用低溫(日溫 12°C、夜溫 3°C)持續 3~5 天，處理催花後不同發育階段的‘台農 17 號’鳳梨植株。植株於低溫處理後，葉片綠色部分的離子滲漏率會高於對照組，且葉綠素螢光參數 Fv/Fo 比值下降。葉片綠色部分的乙烯釋放量與呼吸率於低溫處理後亦高於對照組。在葉片白色部分的全碳含量與碳氮比則明顯低於對照組。於催花後 0~17 天期間經低溫處理的植株，葉片出現嚴重褐斑、葉綠素螢光 Fv/Fm 值下降、乙烯釋放量及呼吸率上升，且碳含量下降。

前 言

鳳梨(*Ananas comosus* L. Merr.)原產於南美洲，為世界上重要熱帶果樹之一，且廣泛種植於熱帶及亞熱帶無霜害地區(李, 1985)，鳳梨於台灣產值排名第三位，僅次於柑橘及檳榔，栽植面積約 12,225 公頃，產量高達 444,788 公噸，其中(農業統計年報, 2008)。鳳梨栽培品種非常多，如台農 4 號、台農 6 號、台農 11 號、台農 13 號、台農 16 號、台農 17 號、台農 18 號、台農 19 號、台農 20 號及台農 21 號等品種(農委會, 2006)，其中台農 17 號果實為圓筒形，果皮薄，果肉黃色或金黃色，肉質細緻，為目前台灣外銷的主力品種(張及官, 2001)。

台灣地區冬季的低溫常造成鳳梨出現自然開花的現象，果實於冬季低溫下發育後集中於三月至八月間盛產，導致價格大幅下降，為解決此問題，農民會進行人工催花，將產期

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。

全年平均分配，但若催花期於晚秋之後(12~2月)，可能會遇冬季的低溫，台灣嘉義地區冬季夜間及凌晨的低溫最低可至 2~3°C，且持續時間約 6~7 小時，平均溫度會低於 10°C(王, 2007)。2009 年寒害影響農作物面積 613 公頃、損害程度 19%、換算無收穫面積 116 公頃，損失金額約 61,000,000 元(農委會, 2008)，對於鳳梨開花期間或果實發育期間造成莫大損傷，造成農民損失，為鳳梨產業發展面臨的問題之一(黃, 2004)。

本試驗研究目的即在調查，植株經人工催花後，在花芽與花序發育在不同階段經低溫(12°C/3°C，3-5 天)處理後，植株發育及生長點的損害情形，期能尋求催花後對低溫傷害較敏感之階段，提供產期調節催花時間之參考。

材料方法

一、試驗材料與方法

具 10~12 片葉之‘台農十七號’鳳梨吸芽，將其最基部老葉剝除後陰乾 2 天，再將吸芽種植於 3 吋盆中，待其發根後再移至 18L 黑色硬塑膠盆中定植於玻璃溫室中，並以好康多做為基肥，定植後約六個月，植株長至 30~40 片葉片時進行處理。於 2008 年 8 月 4 日及 5 日進行人工催花兩次，每次利用 800ppm 益收+2%尿素，每株澆灌 100 cc 於植株心部。催花後分低溫處理與未低溫處理兩組。低溫處理為將植株移至生長箱中進行低溫處理，生長箱光週期明期從 8 時至 16 時，暗期從 16 時至隔天 8 時；明期溫度 12°C、暗期溫度 3°C。生長箱光度為 20~25 PAR，處理 3~5 天。低溫處理分別於催花後 0 天(8/8 未低溫處理)、6 天(8/8~8/14 低溫處理)、12 天(8/14~8/20 低溫處理)、17 天(8/21~8/25 低溫處理)、22 天(8/26~8/30 低溫處理)、36 天(9/10~9/13 低溫處理)及 50 天(9/24~9/27 低溫處理)進行，共 7 個處理，每次低溫處理 11 重覆，3 重覆進行破壞性分析，其餘 8 重覆於低溫處理後移回溫室中，觀察其後續生長，共 77 棵植株。未經低溫處理的植株一直放至於溫室中，於 8 月 5 日催花後 0、6、12、17、22、36 及 50 天進行採樣分析，前 4 次取樣 6 重覆，後 3 次取樣 4 重覆，共 36 棵進行破壞性分析。

二、調查項目與方法

(一) 葉綠素螢光反應

植株低溫處理前及低溫處理後第 0、1、2 及第 3 天進行測定，每次 8 重覆。植株取最高直立葉(D 葉)與次高直立葉(D+1 葉)之葉片中段進行測量，以攜帶式葉綠素螢光儀(protable chlorophyll fluorometer, MinNi-PAM, Walz Germany)測定。所連接的探針以(speciall fiberoptic 2010-F)瞬間提供測定光與飽合脈衝光，並由下列公式計算出 PSII 活性。Fo 為螢光釋放最小量，Fm 為螢光釋放最大量，Fv=Fm-Fo，以 Fv/Fm 表示。

(二) 離子滲漏率

取植株 D 葉及其鄰近兩片葉(D+1 及 D-1 葉)，並將葉片分為上段綠色部份與下段白

色部位進行試驗，以直徑 1.1cm 打孔器打成葉圓片，每片葉每個部位分別取三片圓片，莖頂部份取植株心部以 1.1cm 取條狀，再切成每片 0.2 cm 厚的圓片。圓片放入 EC 瓶中，每瓶 3 片，再加入 5ml 純水，置於 25°C 下，以 70rpm 振盪兩小時，再以 EC Meter(Suntex SC-120) 測定液體之 EC 值，為 EC1，將測完的樣品放入 -20°C 凍箱 24 小時後取出解凍，置於 25°C 下，以 70rpm 振盪兩小時，測量樣品 EC 值，為 EC2。EC1/EC2×100% 及為滲漏率。

(三) 乙烯釋放率與呼吸率

同上述(二)取圓片，圓片稱重後依不同部位放入 25ml 三角瓶中，加入 1ml 純水後以血清塞封口，置於 25°C±2°C 及 2500lux 環境下，密閉四小時後，以 1ml 注射針筒抽氣測量乙烯及二氧化碳。二氧化碳測定採用紅外線二氧化碳分析儀(IR-analyzer, Maihak, UNOR610)，計算其呼吸率，單位為 ml CO₂/kg·hr。乙烯以氣相層析儀(gas chromatograph, Shimadzu. Model GC-8A)用火鎘離子檢出器(FID)測定，再換算為乙烯之生成速率，單位為 μl C₂H₄/kg·hr。

(四) 全碳測定

取‘台農十七號’(D 葉)及(D+1 及 D-1 葉)並分為綠色及白色部份，與短縮莖部份，先以自來水沖洗，再以 1%HCl 快速清洗，然後用去離子水沖洗 3 次，瀝乾水分後裝置牛皮紙袋中，至於通風烘箱中，先以 100°C 殺菁 1 小時，再將溫度調降至 70°C 持續 3~4 天至樣品重量不再變化。將烘乾樣品以磨粉機磨成粉末，裝入硫酸紙袋內，放入盒中保存，於分析前一天再置於烘箱以 70°C 烘一天。測定時精秤 0.01g 樣品粉末置於磁舟中，同時再加入適量 MnO₂ 為催化劑，再置入已預熱至 950°C 之全碳分析儀之石英管中，以排水集氣法搜集 CO₂，液體為 0.1N 之 H₂SO₄，記錄排水體積，並以 1ml 注射針頭抽取氣體，以二氧化碳分析儀(IR-analyzer, Maihak, UNOR610)分析二氧化碳，精秤 0.0125g α-D(+)-glucose (sigma) 作為標準品，及空白磁舟為對照組。利用 glucose 算出回收率 R。

$$(\text{樣品長度}-\text{BK 長度}) \div \text{CO}_2 \text{ 標準品長度} \times \text{CO}_2 \text{ 標準品濃度} = \text{CO}_2 \text{ 濃度}\%$$

$$\text{CO}_2 \text{ 濃度}\% \div 100 \times \text{樣品排開水量體積} = \text{CO}_2 \text{ 體積}$$

$$\text{CO}_2 \text{ 體積} \div 24.5 \times 12 = \text{CO}_2 \text{ 毫克數}$$

$$\text{CO}_2 \text{ 毫克數} \times 100 \div \text{回收率 R} = \text{全碳含量}$$

結 果

一、葉片葉綠素螢光 Fv/Fm 之變化

Fv/Fm 的值在低溫處理前約為 0.8，催花後第 6、12 及 17 天經低溫處理回溫後，葉綠素螢光參數 Fv/Fm 會下降至 0.6，而於回溫 1~2 天內葉綠素螢光參數 Fv/Fm 會漸漸回復；催花後 22 及 36 天經低溫處理後葉綠素螢光參數 Fv/Fm 變化不大(圖 1)。

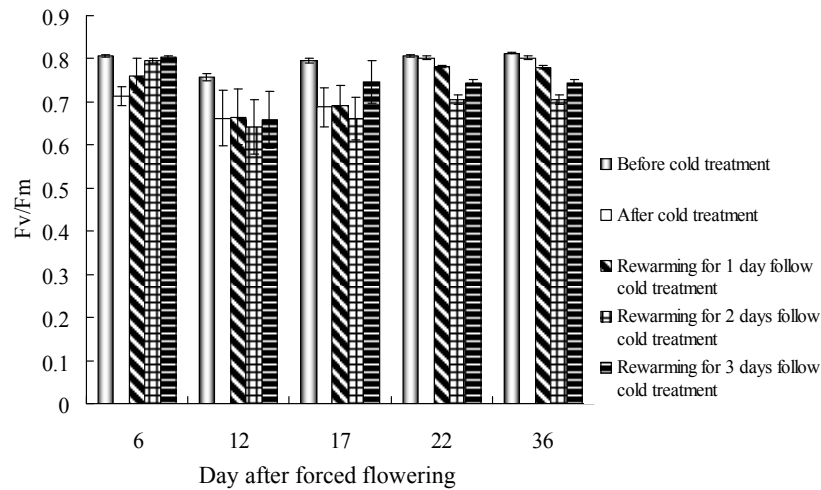


圖 1. ‘台農 17 號’鳳梨以 12°C 日溫及 3°C 夜溫處理 3~5 天及回溫後 1~3 天葉綠素螢光 (Fv/Fm) 變化。

Fig. 1. Effect of cold treatment(12°C/3°C, 3-5 days)and rewarming to ambient temperature at different days after forced flowering treatment on the Fv/Fm of ‘TN-17’ pineapple leaves.

二、葉片及莖頂離子滲漏率之變化

莖頂離子滲漏率最高，隨著催花後天數增加不論在低溫處理或未經低溫處理的植株都會呈一下降的趨勢。而莖頂部份，低溫處理的植株離子滲漏率較未處理的植株高，其中以催花後 12 與 22 天差異較大，而於 36 及 50 天植株，低溫處理者與對照組無顯著差異(圖 2C)。在葉片部分，綠色部份低溫處理後，離子滲漏率明顯高於未低溫處理的植株，以催花後 6 及 12 天葉片綠色部份滲漏值最高(圖 2A);白色部份則以催花第 6 及 12 天低溫處理組的離子滲漏率會略高於未低溫處理組，之後無顯著差異(圖 2B)

三、植株低溫前及回溫後外觀

低溫處理後葉片會在中段與尖端部分出現褐色塊斑，且大多出現於成熟展開葉(圖 3 A、B)，至回溫後 2 天褐斑中間部份開始轉為淡褐色(圖 3C、D)，回溫後 3 天褐斑中間部份轉為米白色，而外圈會呈較深的褐色(圖 3E、F)。

四、葉片及莖頂乙烯及呼吸率之變化

莖頂乙烯釋放量明顯高於葉片，在催花後，莖頂的乙烯釋放量約為 25.25 $\mu\text{l} \cdot \text{C}_2\text{H}_4/\text{Kg} \cdot \text{Hr}$ ，隨著催花天數的增加莖頂的乙烯釋放量呈下降趨勢，催花 50 天後莖頂的乙烯釋放量會降至 0.25 $\mu\text{l} \cdot \text{C}_2\text{H}_4/\text{Kg} \cdot \text{Hr}$ ，雖然低溫處理的植株乙烯釋放量會較未處理植株略高，但無顯著差異。葉片綠色部份的乙烯釋放量約為 0.7~1.0 $\mu\text{l} \cdot \text{C}_2\text{H}_4/\text{Kg} \cdot \text{Hr}$;

低溫處理的植株在催花 36 天前乙烯釋放量約為 $1.1\sim 1.5\mu\text{l} \cdot \text{C}_2\text{H}_4/\text{Kg} \cdot \text{Hr}$ ，比未處理組的釋放量高，但 36 天之後無顯著差異。葉片白色部分變化較大，催花後 6 天低溫處理 C_2H_4 生成量較對照組高，但隨催花後天數增加，乙烯釋放量會由 $1.0\mu\text{l} \cdot \text{C}_2\text{H}_4/\text{Kg} \cdot \text{Hr}$ 降至 $0.3\mu\text{l} \cdot \text{C}_2\text{H}_4/\text{Kg} \cdot \text{Hr}$ (圖 3)。

葉片綠色部份的呼吸率在催花後會由 $110 \text{ ml} \cdot \text{CO}_2/\text{Kg} \cdot \text{Hr}$ 漸漸上升，至催花後第 17 天呼吸率為 $190.17 \text{ ml} \cdot \text{CO}_2/\text{Kg} \cdot \text{Hr}$ ，隨後又下降，至催花後 50 天呼吸率為 $124.67 \text{ ml} \cdot \text{CO}_2/\text{Kg} \cdot \text{Hr}$ 。催花後 6 天低溫處理者顯著較對照組高，至催花後 12 天、22 天及 36 天，低溫處理與對照組差異不顯著。葉片白色部位的呼吸率為三部份中最低的，催花後呼吸率會由 $57.89 \text{ ml} \cdot \text{CO}_2/\text{Kg} \cdot \text{Hr}$ 漸漸下降至 $27.86 \text{ ml} \cdot \text{CO}_2/\text{Kg} \cdot \text{Hr}$ 。莖頂部份的呼吸率在催花後 6 天會上升至 $203.83 \text{ ml} \cdot \text{CO}_2/\text{Kg} \cdot \text{Hr}$ ，隨後下降至 $75.40 \text{ ml} \cdot \text{CO}_2/\text{Kg} \cdot \text{Hr}$ ，但莖頂呼吸率的波動較葉片白色部分大(圖 4)。

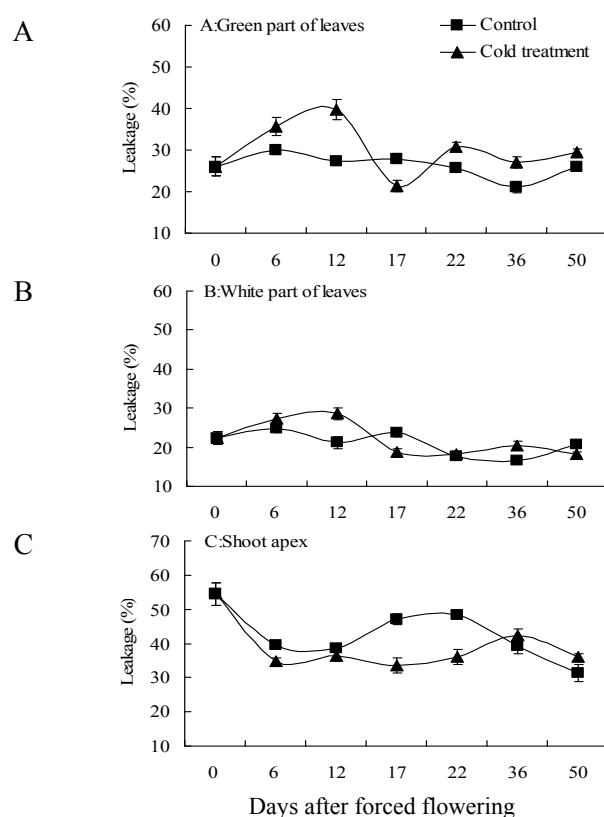


圖 2. ‘台農 17 號’鳳梨催花後於不同發育階段以 12°C 日溫及 3°C 夜溫低溫處理 3~5 天綠色葉片、白色葉片及莖頂滲漏率之變化。

Fig. 2. Effect of cold treatment ($12^{\circ}\text{C}/3^{\circ}\text{C}$, 3-5 days) at different days after forced flowering treatment on the leakage of ‘TN-17’pineapple leaves and shoot apex.

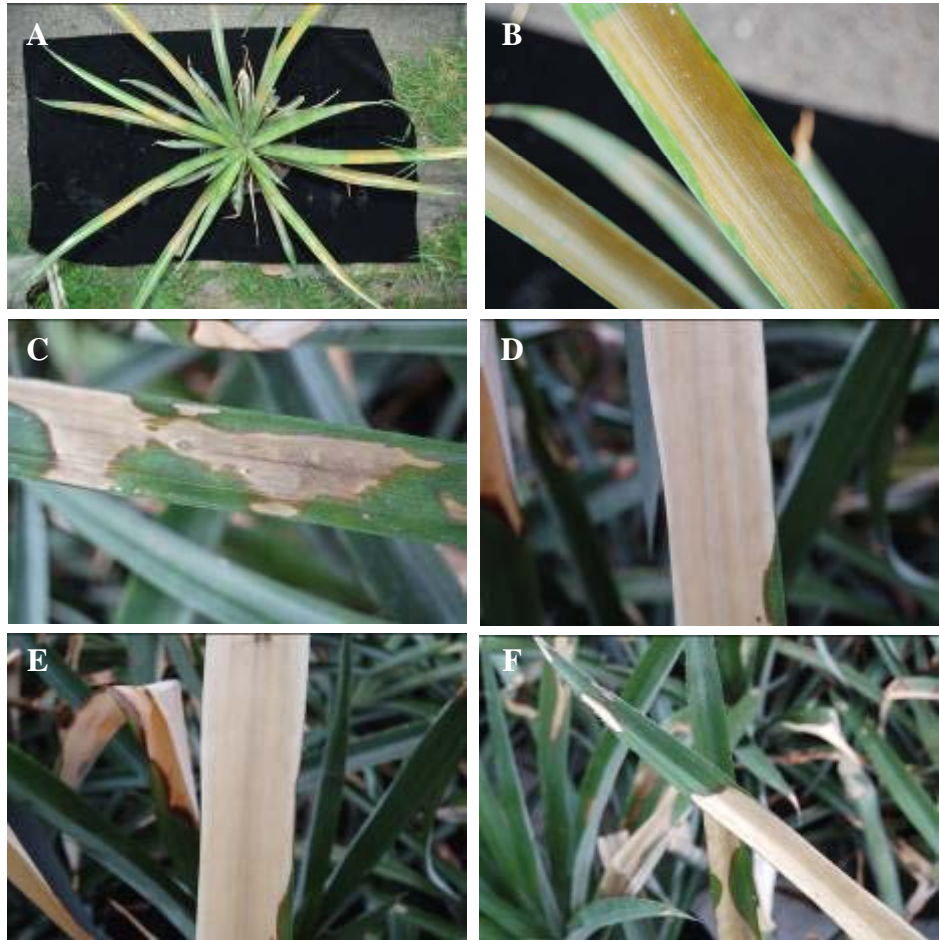


圖 3. '台農十七號' 催花後 22 天植株經低溫處理 (日溫 12°C、夜溫 3°C) 3~5 天後植株葉片寒害情形。

Fig. 3. The symptom of chilling injury of 'TN-17' pineapple leaves after cold treatment (12°C/3°C , 3-5 days).

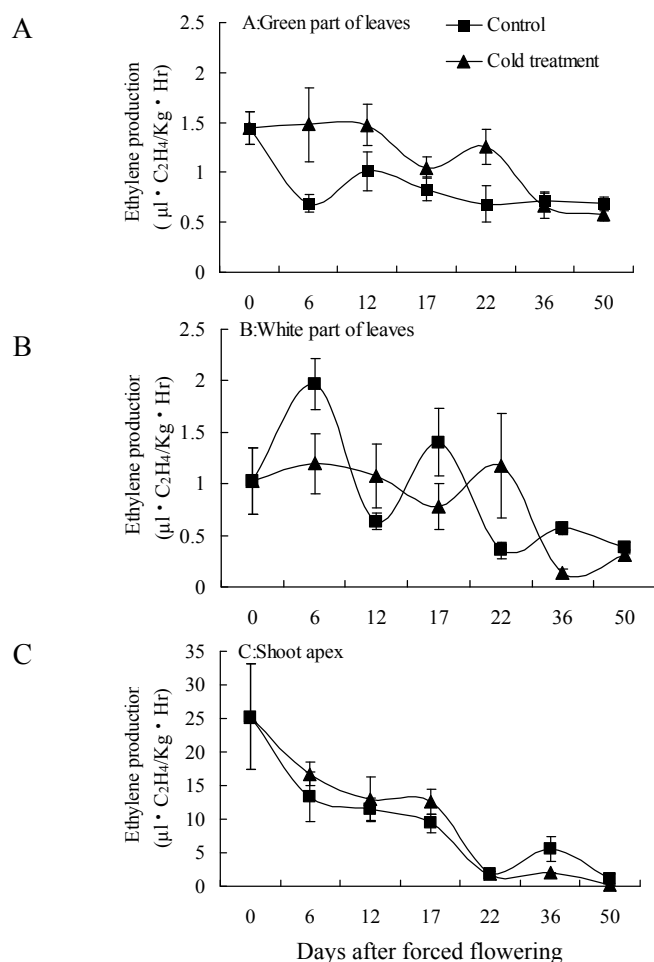


圖 4. '台農 17 號'鳳梨催花後於不同發育階段以 12°C 日溫及 3°C 夜溫低溫處理 3~5 天綠色葉片 (A)、白色葉片 (B) 及莖頂 (C) 乙烯釋放量之變化。

Fig. 4. Effect of cold treatment (12°C/3°C, 3-5 Days) and rewarming to ambient temperature at different days after forced flowering treatment on the ethylene production of 'TN-17' pineapple leaves (A, B) and shoot apex (C).

葉片綠色部分全碳含量在開花期間並無明顯變化，全碳含量大約在 60%-70%之間，於催花後第 6 天，低溫與未低溫處理者稍低。在葉片白色部份，未處理組碳含量於催花第 0 天為 54.79%，隨催花天數增加，碳含量也會漸漸上升，至催花後 50 天，葉片白色部分的碳含量為 73.21%；低溫後葉片白色部分碳含量會由 55.36%上升至 61.30%，比未經低溫處理的植株低。未處理低溫的莖頂部碳含量也會隨催花天數增加而增加，由 57.12%略微上升至 62.96%；催花後 6 及 12 天經低溫處理後，莖頂的碳含量會下降至 44.46%與 49.76%，而在 12 天之後碳含量，兩處理之間沒有明顯差異(圖 5)

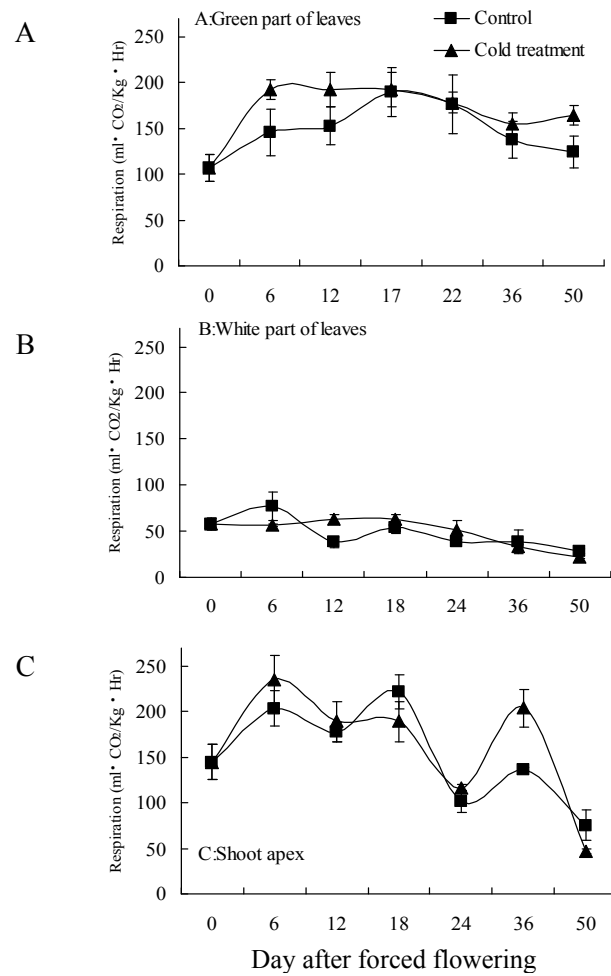


圖 5. '台農 17 號'鳳梨催花後於不同發育階段以 12°C 日溫及 3°C 夜溫低溫處理 3~5 天綠色葉片(A)、白色葉片(B)及莖頂(C)呼吸率之變化。

Fig. 5. Effect of cold treatment (12°C/3°C, 3-5 days) and rewarming to ambient temperature at different days after forced flowering treatment on the respiration rate of 'TN-17' pineapple leaves (A、B) and shoot apex (C).

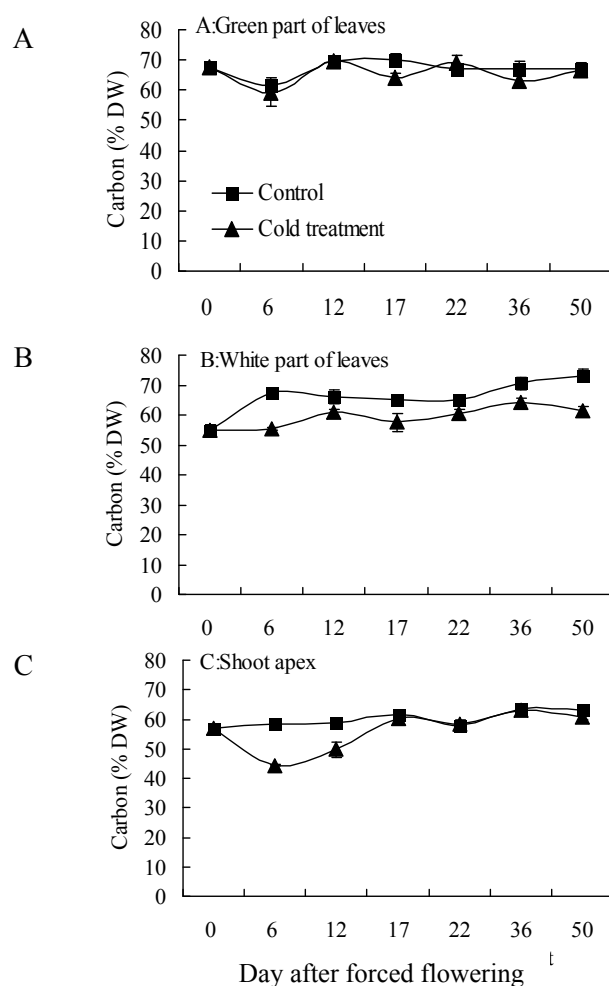


圖 6. '台農 17 號'鳳梨催花後於不同發育階段以 12°C 日溫及 3°C 夜溫低溫處理 3~5 天綠色葉片(A)、白色葉片(B)及莖頂(C)碳含量之變化。

Fig. 6. Effect of cold treatment(12°C/3°C , 3-5 days)and rewarming to ambient temperature at different days after forced flowering treatment on the C concentration of 'TN-17' pineapple leaves (A 、 B) and shoot apex (C).

討 論

一、植株低溫前及回溫後葉綠素螢光變化

低溫對於熱帶及亞熱帶作物的 PSII 系統的光抑制研究已經有許多學者探討，低溫除了降低反應速率、限制二氧化碳的吸收與光呼吸外，也會破壞膜體系統的完整性，影響膜的流動速度與膜上蛋白的生合成(Martin *et al.*, 1981; Aro *et al.*, 1993; Flexas *et al.*, 1999; Melis 1999; Allen *et al.*, 2000)，膜體系統的受傷程度也會反應於葉綠素螢光參數上，本次試驗中測量‘台農 17 號’鳳梨葉片綠色部份葉綠素螢光，在催花處理後 6、12 及 17 天後經低溫處理回溫第 0 天，Fv/Fm 都有一明顯下降的趨勢，反應出膜體系統受低溫影響，許多關於低溫對 PSII 反應中心的傷害，焦點都集中於 D1 蛋白上。低溫下 PSII 的 D1 蛋白因為 P680 的傷害或者受到單線氧(O[•])的攻擊(Gong and Nilson, 1989)，低溫使膜的流動性降低也會造成 D1 蛋白轉換與運作速率下降(Gong and Nilson, 1989; Aro *et al.*, 1993)，此外 D1 蛋白的轉譯需要還原相等量的三磷酸腺苷，但在低溫下三磷酸腺苷的濃度很低，因此 D1 蛋白的重新合成在低溫下會被打斷(Kudoh and Sonoike, 2002)，影響 PSII 的量子效率，造成鳳梨葉片在低溫後葉綠素螢光參數 Fv/Fm 的值下降(圖 1)，在寒害嚴重的部份 Fv/Fm 值下降快速，葉片白化後 Fv/Fm 降至 0，而影響較輕微的部分葉綠素螢光 Fv/Fm 在回溫後 1~2 天內會漸漸回復，Fryer 等學者(1995)指出在受到光傷害的 D1 蛋白會進行修復的動作，進而利用聚丙烯胺電泳分析低溫後回溫的玉米類囊體膜上的蛋白質改變，在回溫後 12 小時後 D1 蛋白會大量生合成，受傷的 D1 蛋白會降解，而新合成的 D1 蛋白會取代受傷的 D1 蛋白(Ohad *et al.*, 1994)，PSII 反應中心修復後可進行穩定的電荷分離，而此修復動作也反應至 Fv/Fm 參數的增加上，由螢光參數顯示，催花初期經低溫處理對植株傷害較嚴重。

二、低溫下植株葉片寒害情形

葉綠素含量在低溫處理後會下降，低溫會傷害葉綠體，使其內部的葉綠餅排列混亂，造成葉綠體的崩解，葉綠素含量的下降可能也是導致光合產物降低的原因之一(Kratsh and Wise, 2000)。低溫使得膜體系統由液晶狀變為固膠狀，甚至使膜體系統破壞，造成細胞內胞器中內容物質流出，造成電解質的滲漏率增加(King and Ludford, 1983; Autio and Bramlage, 1986; Woods *et al.*, 1991)。鳳梨屬於簇生狀的葉片，葉片綠色部份直接曝露於低溫與光照下，造成低溫處理後葉片綠色部分的滲漏率明顯高於對照組(圖 4A)，在回溫後葉片會出現褐色塊斑(圖 3)，可能與褐化的酵素有關，其中影響褐化的酵素如 polyphenol oxidase (PPO) (位於 Chloroplast 上)、Polyphenol (位於液泡內)，在自然狀態下兩者並不會結合，當膜破裂後兩者接觸後會產生褐化物質。另外 ascorbate peroxidase (AsPOD)、catalase (CAT)、peroxidase (POD)、phenylalanine (PAL)皆會釋出用來平衡過多的 reactive oxygen species (ROS)，清除過多的 H₂O₂。其中 PPO 又為褐化的關鍵酵素，PPO 為含銅的酵素，在許多高等植物中會催化單酚烴基與 o-二酚形成 o-醌，o-醌會繼續聚合並且與親核性的氨基酸共價結合形成黑色或褐色的化合物於細胞間隙中(Zhou *et al.*, 2003)。在自然環境下，

鳳梨葉片與根中就可以偵測到 PPO 的活性與相關基因的表達，而在受傷之後 PPO 的活性與相關基因的表現量都會大量增加(Stewart *et al.*, 2001)，當植株於低溫下時酵素活性較低，所以褐化情形較輕微，而將植株移至溫室回溫後，可能酵素活性上升，造成葉片褐化情形加劇(圖 3)。而在葉片白色部位與莖頂，在低溫下離子滲漏率並無較高的情形(圖 4B)，可能因白色部分與莖頂被包覆於簇生狀的植株中，低溫對其影響較小。在莖頂部份的滲漏率，未處理的組別反而會比低溫下的值來的高(圖 4C)，可能未經低溫處理的植株莖頂正進行花芽分化及花序發育階段，此時細胞正值快速發育期細胞因酸生長造成 H^+ 離子打出及其他正價離子之交換，而有較高滲漏值所致；而低溫處理因植株延遲發育尚未進入細胞快速生長期。

三、葉片及莖頂乙烯及呼吸率之變化

植株綠色葉片因直接曝露於低溫下，因此受低溫影響最嚴重。Wang 與 Adams 學者(1980)指出，對於低溫敏感的作物，低溫逆境後再回溫其乙烯釋放率會劇增，此種乙烯合成途徑與一般果實後熟後引起之更年期自生乙烯合成途徑相同。回溫後乙烯合成的關鍵可能為 ACC synthase，低溫下 ACC 與 ACC oxidase 仍會持續累積，當植株回溫後 ACC synthase 活性升高，造成乙烯大量生合成(Wang and Adams, 1982)。低溫處理後綠色葉片的乙烯釋放量高於對照組(圖 4A)，而葉片基部與莖頂的差異並不明顯，可能因簇生生長的形態，保護葉片基部與莖頂避免低溫的傷害，而葉片綠色部份直接曝露於低溫下，造成綠色部分的寒害情形較嚴重；也可能是低溫下 ACC 經由蒸散流運輸至葉片綠色部分，回溫後酵素活性增加使的乙烯量上升，造成綠色葉片回溫後乙烯產生量高於對照組。

呼吸率的變化也與乙烯類似，在回溫後，葉片綠色部分的呼吸率會高於對照組(圖 5A)。Wang(1982)指出，低溫下可能會導致作物的粒腺體發生氧化磷酸化不偶合現象，導致細胞喪失完整性。低溫後膜的完整性被破壞，也會導致代謝受阻，使得代謝中間產物會累積，而造回溫後，代謝速度會異常加快，造成呼吸率提高(Lyons, 1973；Wang, 1982)。但葉片白色部份與莖頂部分在回溫後並無明顯差異(圖 5B、C)。

四、葉片及莖頂全碳之變化

亞熱帶與熱帶植物在遭遇低溫下第一個受影響的為光合作用速率的降低(Wise and Naylor, 1987)，在 15°C 下 Rubisco 的活性約只有 PEPC 的二分之一至三分之一，且在 20°C 下 Rubisco 與 PEPC 的活性約是 15°C 下的 3 倍左右(Kingston-Smith and Foyer 2000)，造成在低溫下植株淨光合作用能力受到影響，固定二氧化碳的量下降，造成低溫下植株的碳含量較低，尤其是在葉片白色部份的碳含量，會明顯低於對照組。葉片白色部份為植株碳水化合物儲藏及轉運之處，當葉片綠色所固定的碳不足時，葉片白色部份的碳水化合物來源減少，造成白色葉片碳含量下降。

參考文獻

- 王怡尹。2007。鳳梨田間寒害與採收過程受傷之研究。國立嘉義大學園藝學研究所碩士論文。pp. 56-61。
- 台灣農業統計年報。2008。行政院農委會編印。
- 行政院農業委員會。2006。鳳梨知識主題網。取自 <http://kmweb.coa.gov.tw/subject/mp.asp?mp=7>。
- 行政院農業委員會。2008。農業新聞 / 寒害災害資料。
- 李學勇。1985。鳳梨演進簡史。中國園藝 31：1-5。
- 張清勤、官青杉。2001。鳳梨品種改良及回顧及未來展望。台灣鳳梨品種改良。與病蟲害管理研討會專刊。pp. 1-14。
- 黃碧海。2004。台灣鳳梨產業銷現況與發展。台灣鳳梨研究與發展研討會專刊。國立嘉義大學編印。pp. 1-12。
- Allen, D. J., K. Ratner, Y. E. Giller, E. E. Gussakovsky, Y. Shahak, and D. R. Ort. 2000. An overnight chill induces a delayed inhibition of photosynthesis at midday in mango (*Mangifera indica* L.). *J. Exp. Bot.* 51: 1893-1902
- Autio, W. R. and W. J. Bramlage. 1986. Chilling sensitivity of tomato fruit in relation to ripening and senescence. *J. Am Soc Hortic. Sci.* 111: 201-204.
- Aro, E. M., I. Virgin, and B. Andersson. 1993. Photoinhibition of photosystem II. Inactivation, protein damage and turnover. *Biochimica et biophysica acta. Bioenergetics.* 1143: 113-134.
- Flexas, J., M. Badger, W. S. Chow, H. Medrano, and C. B. Osmond. 1999. Analysis of the relative increase in photosynthetic O₂ uptake when photosynthesis in grapevine leaves is inhibited following low night temperatures and/or water stress. *Plant Physiol.* 121: 675-684.
- Gong, H. and S. Nilson. 1989. Effect of temperature on photoinhibition of photosynthesis, recovery, and turnover of the 32 kD chloroplast protein in *Lemna gibba*. *J. Plant Physiol.* 135: 9-14.
- Kingston-Smith, A. H. and C. H. Foyer. 2000. Bundle sheath proteins are more sensitive to oxidative damage than those of the mesophyll in maize leaves exposed to paraquat or low temperatures. *J. Experi. Bot.* 51: 123-130.
- Kratsch, H. A. and R. R. Wise. 2000. The ultrastructure of chilling stress. *Plant Cell Environ.* 23: 337-350.
- Martin, B., D. R. Ort, and J. S. Boyer. 1981. Impairment of photosynthesis by chilling-temperatures in tomato. *Plant Physiol.* 68: 329-334.
- Melis, A. 1999. Photosystem-II damage and repair cycle in chloroplasts: what modulates the rate of photodamage in vivo? *Elsevier Science* 4: 130-135.

- Ohad, I., N. Keren, H. Zer, H. Gong, T. S. Mor, A. Gal, S. Tal, and Y. Domovich. 1994. Light-induced degradation of the photosystemII reaction centre D1 protein in vivo: an integrative approach. pp. 161-177. In: N. R. Baker, J. R. Bowyer, (eds.). *Photoinhibition of Photosynthesis: From Molecular Mechanisms to the Field*. Bios Scientific, Oxford, UK.
- Wang, C. Y. 1982. Physiological and biochemical responses of plants to chilling stress. *HortScience* 17: 173-181.
- Wang, C. Y. and D. O. Adams. 1980. Ethylene production by chilled cucumber (*Cucumis sativus* L.) . *Plant Physiol.* 66: 841-843.
- Wang, C. Y. and D. O. Adams. 1982. Chilling-induced ethylene production in cucumbers (*Cucumis sativus* L.) . *Plant Physiol.* 69: 424-427.
- Wise, R. R., J. McWilliam, and A. W. Naylor. 1983. A comparative study of low-temperature-induced ultrastructural alterations of three species with differing chilling sensitivities. *Plant Cell Environ.* 6: 525-535.
- Woods, F. M., J. O. Garner, Jr, J. L. Silva, and C. Phromtong. 1991. Estimation of chilling sensitivity in leaves of sweet potato by chlorophyll fluorescence and electrolyte leakage. *Phyton* 52: 33-37.
- Zhou, Y., J. M. Dahler, S. J. R. Underhill, and R. B. H. Wills. 2002. Enzymes associated with blackheart development in pineapple fruit. *Food Chem.* 80: 565-572

Effect of Cold Treatment at Different Stage after Forced-flowering on the Development of ‘Tainung No.17’ Pineapple Plant.

Hsien-Hao Tseng¹⁾ Huey-Ling Lin²⁾

Key words: *Ananas comosus* L. Merr., Chilling injury, Chlorophyll fluorescence, Membrane leakage, Ethylene

Summary

In order to produce pineapple fruits year round in Taiwan, pineapple growers usually forced flowering in the late fall or winter to force the production of pineapple fruits by late spring or summer. The purpose of this study was to investigate the effects of low temperature upon the development of the ‘TN-17’ pineapple plants and fruits, during different time periods after forced flowering.

The ‘TN-17’ pineapple plants underwent an application of forced flowering. Next they were exposed to 12°C/8H, 3°C/16H for 3-5 day periods during different stages of their development, then they allowed to grow to maturity. On the 6th, 12th and 17th days after forced flowering, chlorophyll fluorescence parameter Fv/Fm decreased. However, in browning areas caused by chilling injury, Fv/Fm, chlorophyll fluorescence parameter and chlorophyll content decreased to almost 0. Additionally, the green part of leaves suffered high membrane leakage. Ethylene production and respiration rate increased slightly in the green part than control, but total carbon content decreased in the white part. In conclusion, forced flowering and low temperature treatments resulted in the following: browning spots on the green part of leaves, decreased Fv/Fm ratio, increased ethylene production, respiration rate, decreased total carbon content.

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.