

ISSN 0255-5921

興大園藝

第四十八卷 第一期

真空預冷對'初秋'甘藍降溫之探討

.....劉容毓 陳昶霖..... 1

黑芥子酶 (Myrosinase)和表皮特異硫蛋白修飾子 (Epithiospecifier modifier)

基因轉殖至青花菜葉綠體之研究響

.....陳柏亨 潘怡君 曾夢蛟.....17

根溫對黃秋葵營養生長期生育性狀之影響

.....彭禹川 黃三光.....31

光週期對薤菜開花之影響

.....馬彩容 黃三光.....43

國立中興大學園藝學系編印

中華民國一一二年三月

ISSN 0255-5921

HORTICULTURE NCHU

Vol. 48 No. 1

Study on Vacuum Cooling of 'K-Y-cross' Cabbage

.....J. Y. Liu and C. L. Chen..... 1

Study on Transformation of Myrosinase and Eptithiospecifier Modifier Genes

into Broccoli Chloroplast

.....P. H. Chen, I. C. Pan and M. J. Tseng.....17

Effect of Root Temperature on the Vegetative Growth Phenotype of Okra

(*Abelmoschus esculentus*)

.....Y. C. Peng and S. G. Hwang.....31

Effects of Photoperiod on the Flowering of Water Spinach (*Ipomoea aquatica*)

.....T. J. Ma and S. G. Hwang.....43

Published by
Department of Horticulture, National Chung Hsing University
Taichung, Taiwan, Republic of China
March, 2023

真空預冷對'初秋'甘藍降溫之探討

劉容毓¹⁾ 陳昶霖²⁾

關鍵字：甘藍、真空預冷、室內風冷、預冷終溫、呼吸率、乙烯釋放率

摘要：'初秋'甘藍為台灣重要的包菜類作物之一，為建立不同季節及不同等級甘藍之真空預冷標準化作業，測試合理的真空預冷終溫，利用真空預冷至不同溫度後調查呼吸率及乙烯釋放率。甘藍在 10°C 呼吸率為 $14.5 \text{ mL CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ ，與 1 及 5°C 相比無顯著變化；在 10°C 時的乙烯釋放率為 $0.43 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ ，與 1、5 及 15°C 相比皆無顯著差異。真空預冷至中心溫度 1°C 及 5°C 會使葉球表面產生凍害及寒害，失去商品價值。甘藍以中心溫度 10°C 為真空預冷終溫，可降低甘藍採收後的生理反應且未有明顯外葉萎凋及寒害症狀。本試驗比較冬收和春收甘藍之降溫速率，平均春收甘藍葉球降溫速度為 $0.35^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ ，冬收甘藍則降溫較慢，為 $0.28^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ ，其中等級小之甘藍降溫速度較快。甘藍透過真空預冷將中心溫度降至 10°C 只需約 30 分鐘，而室冷則需要花費 20~30 倍的時間才可降至 10°C。雖然真空預冷期間甘藍的失重率顯著較室冷處理高，但若以真空預冷至中心溫度 10°C 為目標終溫則失重率約為 3.5%，仍具商品價值。

前 言

甘藍 (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*) 又稱為結球甘藍或是高麗菜，為十字花科蕓苔屬一年或二年生植物，依照葉片特性可分為普通甘藍、紫甘藍及皺葉甘藍，其中台灣以種植普通甘藍為主 (蕭, 2017)。其中'初秋'甘藍為商業栽培大宗品種，佔市場約 8 成以上，適合在 15~25°C 冷涼氣候種植生產 (張與蕭, 2019)。因台灣位於亞熱帶氣候區，夏季氣候高溫潮濕，冬季則乾燥涼爽，一年中 10 月份至隔年 5 月份為平地最佳生產季節。於盛產時期進行低溫貯藏以應對夏季豪雨造成蔬菜短缺，或透過外銷以穩定市場價格，為近年來穩定農業之重要目標，建立標準化採收處理作業可維持品質降低損耗。

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。

呼吸作用為植物生化反應中提供能量的代謝過程，採收後的蔬菜仍具有生理活性會不斷地消耗能量，導致園產品的重量及營養價值流失。因此，降低呼吸率是延長蔬菜採後貯藏壽命的重要因子。Kramchote 等人 (2012)研究指出甘藍在 28°C呼吸率約 22.21 mL CO₂·kg⁻¹·hr⁻¹；在 10°C呼吸率約 12.22 mL CO₂·kg⁻¹·hr⁻¹；若在 4°C則呼吸率降低至約 6.66 mL CO₂·kg⁻¹·hr⁻¹。然而乙烯釋放率在採收當日放入不同溫度環境下並無顯著的變化約為 0.02 μL C₂H₄·kg⁻¹·hr⁻¹，但當甘藍在 28°C貯藏 6 天後，乙烯釋放率可達約 0.15 μL C₂H₄·kg⁻¹·hr⁻¹；在 10°C及 4°C貯藏 6 天後，乙烯釋放率達 0.05 及 0.03 μL C₂H₄·kg⁻¹·hr⁻¹，貯放環境溫度較低可使產品的呼吸率及乙烯釋放率下降。Porter 等人 (2003)研究指出收穫後的大白菜 (cv. 'Yuki')在 20°C下乙烯釋放率為 0.46 μL C₂H₄·kg⁻¹·hr⁻¹，貯藏於 0°C和 2°C下 3~9 週後乙烯釋放率分別顯著下降 38%及 18%。因此園產品在收穫後應迅速降溫達到最佳的貯藏溫度，減少園產品處在高呼吸熱的時間，且在低溫下貯藏不僅維持產品低呼吸率，同時乙烯生成率下降，可延緩產品老化的發生。

預冷技術的主要目的在於採收後將產品田間熱及呼吸熱盡快去除，減緩生理代謝反應。當熱能在產品內大量累積會使產品本身溫度上升，而溫度越高產品的呼吸作用越旺盛，從而加快能量代謝反應而加速老化萎凋，同時促進微生物的生長 (李與林, 2005)。除此之外，當產品溫度越高，水分會不斷地從表面氣孔、皮孔或是傷口散至空氣中 (Basediya *et al.*, 2013)。因此降低產品的溫度可減緩失水速率，蔬果在採收後使用預冷技術可加速去除體內多餘的熱能、降低呼吸作用及微生物的生長，減少貯藏期間所帶來的損耗，延長產品貯藏壽命。室內風冷為台灣普遍的預冷方式，將採收後的園產品置於冷藏庫中，以冷空氣帶走產品的熱量。室冷所需空間大，可將多樣產品在同個空間內降溫及貯藏，節省處理成本及不需要額外的預冷機器成本，但冷卻效率低需較長的時間才可達目標溫度 (Kongwong *et al.*, 2019)。真空預冷是基於水由液態汽化成水蒸氣可帶走大量的熱能 (Zhu *et al.*, 2019)，於接近真空的環境下水的沸點降低，水分汽化帶走大量汽化熱達到降溫效果 (徐與黃, 2015)。然而 Cheng 與 Hsueh (2007)指出甘藍因為葉球結構緊密，造成葉球表面降溫較快，內部的溫度降溫不易，包菜類作物降溫不均，最終目標溫度應以中心溫度為標準或需再修正仍無進一步研究。因此本試驗測試甘藍中心降至不同溫度時，平均溫度和中心溫度對應呼吸率的關聯性，並建立預冷曲線推算呼吸率。儘管真空預冷在降溫速度方面具有優勢，但水分子在預冷過程蒸發會造成園產品重量損失 (Zhu *et al.*, 2019)。結球萵苣、甘藍及空心菜經過真空預冷後失重率分別為 3.54%、4%及 6.5% (Cheng and Hsueh, 2007; Rahi *et al.*, 2013)。為了取得甘藍預冷終溫和失重率之間的平衡，本試驗分成兩個部分，第一部分調查甘藍真空預冷後葉球溫度及呼吸率，試驗中以真空預冷及室冷的方式使葉球中心溫度降至 1~15°C，調查產品的呼吸率並找出合適的預冷終溫；第二部分為了解不同季節和等級的甘藍是否皆適合以真空預冷方式進行降溫，分別於冬季及春季採收甘藍將其依照重量分級，並調查葉球性狀與預冷速度關聯性，期能建立相對應參數使甘藍真空預冷標準化。

材 料 與 方 法

一、試驗材料與試驗方法

於 2021 年 1 及 4 月、2022 年 4 月至彰化縣竹塘鄉採收'初秋'甘藍，並挑選大小相似、無病害且切口完整之甘藍作為試驗材料。

第一部分試驗於田間採收後將甘藍分成 4 大組，分別是中心溫度降到 1、5、10、15 °C 處理，每個處理有 4 箱，每箱裝有 6 顆甘藍。每個處理以 2 箱為單位使用真空預冷及室冷，前者常溫運送至臺中區農試所使用真空預冷機進行試驗，預冷壓力設置為 12 mmHg；後者則常溫運送至中興大學園藝系採後處理實驗室進行試驗。

(一) 真空預冷:

預冷前取 5 顆甘藍秤重，預冷後再次秤重計算預冷失重率。另取 2 顆插入外接式溫度記錄器 (Temperature and Relative Humidity Data Logger, U23-003, HOBO, United State)，再取 1 顆插入真空預冷機內之感溫器以即時監控預冷期間之中心溫度。真空預冷結束後，快速取出 4 顆甘藍縱切剖半，並使用手持式紅外線熱顯像儀 (Thermography Cameras, FLIR E75, Teledyne FLIR, United State) 記錄當下剖面圖像溫度數值。

(二) 室內風冷:

預冷前取 5 顆甘藍秤重，預冷後再次秤重計算預冷失重率。另取 2 顆插入藍芽型外接式溫度記錄器 (Temperature and Relative Humidity Data Logger, MX2303, HOBO, United State) 即時監控預冷期間甘藍中心溫度。預冷到目標中心溫度後，快速取出 4 顆甘藍縱切剖半，並使用手持式紅外線熱顯像儀 (Thermography Cameras, FLIR E75, Teledyne FLIR, United State) 記錄當下剖面圖像溫度數值。

第二部分試驗先將甘藍依照當日採收重量分成三級，等級大 (Large) 為 1900 g 以上，中等 (Medium) 為 1500~1900 g，及等級小 (Small) 為 1500 g 以下。每等級有 17 顆，取其中的 5 顆測量甘藍體積，先將塑膠容器裝滿水放在磅秤上秤重之後，再將甘藍放入裝滿水的容器並以鐵絲使甘藍懸浮在水中央，記錄重量後計算甘藍的體積。其餘 12 顆甘藍裝箱準備真空預冷，每等級中 2 顆插入外接式溫度記錄器 (Temperature and Relative Humidity Data Logger, U23-003, HOBO, United State) 記錄預冷期間中心溫度的變化，計算預冷時間方式為真空預冷機開始運作至預冷結束。1 月甘藍於採收後常溫運送至台中區農業改良場使用真空蔬果預冷機 (鎧量有限公司) 預冷，預冷壓力設置 12 mmHg；4 月甘藍於採收後常溫運送至雲林縣二崙鄉果菜合作社進行真空預冷，預冷壓力設置為 14 mmHg。

二、調查項目與方法

(一) 呼吸率 (Respiration rate) 及 乙烯釋放率 (Ethylene production):

將甘藍封入 6.6 L 呼吸缸中密閉 1 小時，以塑膠針頭自呼吸缸出氣口抽取 1 mL 氣體分析二氧化碳及乙烯濃度，前者將氣體注入紅外線二氧化碳分析儀 (Infrared CO₂ analyzer, X-stresam enhanced XEGK, Rosemount, United State)，後者以氣相層析儀 (Gas

chromatography, GC-8A, Shimadzu, Japan)分析，並計算出甘藍在採收當日以及不同溫度下之呼吸率和乙烯釋放率，單位分別以 $\text{mL CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ 及 $\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ 表示。1 顆甘藍為 1 重複，共 5 重複。

(二) 預冷溫度分布 (Precooling leaf temperature percentage)

預冷前縱切剖開 4 顆甘藍，以手持式紅外線熱顯像儀 (Thermography Cameras, FLIR E75, Teledyne FLIR, United State)記錄採收後之剖面溫度。預冷後每個處理再剖開 4 顆以相同方法記錄剖面溫度。使用 FLIR Thermal Studio 1.9.3 分析剖面溫度數據及計算平均溫度，於每個剖面畫上 3 點顯示溫度。

(三) 失重率 (Weight loss)

每顆甘藍於預冷前標記號碼並以電子桌秤 (DTW-30kg，東成衡器廠有限公司)測量重量，預冷後秤重計算預冷失重率，失重率計算公式如下：

$$\text{預冷失重率(\%)} = \frac{(\text{預冷前重量} - \text{預冷後重量})}{\text{預冷前重量}} \times 100\%$$

(四) 統計分析 (Statistical analysis)

試驗結果以 COSTAT 6 統計軟體 (CoHort Software, USA) 中 ANOVA (Analysis of variance) 進行變方分析及最小顯著差異檢定 (Least significant difference, LSD)，比較各處理間之顯著性差異 ($p < 0.05$)；進行獨立樣本 (Independent samples) t 檢定 (t-test)分析各處理平均數之差異。

結 果

一、不同預冷方法之葉球溫度與呼吸率及乙烯釋放率比較:

環境溫度影響園產品的呼吸率，為了解甘藍在不同溫度下呼吸率及乙烯釋放率的變化，甘藍採收後放入 1~30°C 環境，待葉球中心溫度與外界溫度平衡後測試甘藍呼吸率和乙烯釋放率。表 1 結果顯示，甘藍於 15~30°C 呼吸率隨著溫度降低顯著減少，從 59.16 $\text{mL CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ 降至 26.65 $\text{mL CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ ；而當甘藍於 10°C 呼吸率顯著低於 15°C，但與 1°C 及 5°C 無顯著差異。由此可知，甘藍於 15°C 以上的環境甘藍呼吸率隨著溫度越高顯著上升，而於 10°C 以下環境呼吸率逐漸穩定。乙烯釋放率隨著溫度增加顯著上升，於 20°C 乙烯釋放率顯著較高，然而在 25~30°C 則逐漸下降。

由於葉球結構緊密、中心降溫最慢，因此預冷期間溫度監測以中心點降至目標終溫為基準。2022 年 4 月收穫當日甘藍中心溫度大約 25°C，真空預冷後葉球內溫度分佈如圖 1，若將中心降溫至 5°C，葉球外葉會因長時間處在環境溫度低於 0°C 而出現結冰凍害的狀況 (圖 2A)；若中心降溫達 1°C 則表面溫度低於 -1°C，造成外表明顯凍害的現象 (圖 2B)。甘藍經室冷和真空預冷處理後之平均溫度皆無顯著差異 (表 2)，甘藍真空預冷後平均溫度和

葉球赤道距離中心 2/3 及 1/3 位點的溫度透過熱顯像儀測得如表 3，當甘藍預冷目標溫度為 15°C，葉球平均溫度與 2/3 及 1/3 位點溫度皆無顯著差異，分別為 14.48°C、15.15°C 及 15.8°C；當目標溫度為 10°C，葉球平均溫度與 1/3 位點溫度無顯著差異，分別為 7.05°C 及 6.95°C；當目標溫度為 5°C，葉球平均溫度與 1/3 位點溫度無顯著差異，分別為 5.6°C 與 4.73°C；當目標溫度為 1°C，葉球平均溫度為 1.98°C 與各點溫度皆無顯著差異。為了得知不同預冷終溫對甘藍呼吸率之影響，將表 1 不同環境溫度下測試之甘藍呼吸率以回歸分析得出公式： $y = 0.04x^2 + 0.38x + 9.28$ ($R^2 = 0.973$)，並將葉球平均溫度帶入此公式並推算出預冷後的呼吸率。計算結果可知真空預冷與室冷至中心溫度 1°C 的呼吸率分別是 10.83 和 11.09 mL CO₂·kg⁻¹·hr⁻¹ (表 2)，甘藍經真空預冷及室冷處理後兩者呼吸率無顯著差異。

二、甘藍體積及密度與真空預冷降溫之間的關係

為了了解不同季節生長的甘藍結球性狀，本試驗調查葉球的重量、體積及密度，結果如表 4，1 月份葉球體積以等級小之甘藍顯著較小為 1875.5 cm³，等級大及中分別為 3326.33 及 2780.25 cm³；4 月份葉球體積則不論等級大小皆無顯著差異，從等級大至小甘藍體積平

表 1、2022 年 4 月 '初秋' 甘藍於不同環境溫度及田間之呼吸率及乙烯釋放率。

Table 1. The respiration rates and ethylene production of 'K-Y-cross' cabbage heads at different temperature in April 2022.

Temperature (°C)	Respiration rate (mL CO ₂ ·kg ⁻¹ ·hr ⁻¹)	Ethylene production (μL C ₂ H ₄ ·kg ⁻¹ ·hr ⁻¹)
1	11.39 ± 0.33 f ^z	0.46 ± 0.11 bcd
5	10.82 ± 2.23 f	0.31 ± 0.11 d
10	14.50 ± 2.49 f	0.43 ± 0.07 cd
15	26.65 ± 3.01 e	0.67 ± 0.26 bcd
20	36.20 ± 2.36 d	1.09 ± 0.33 a
25	44.19 ± 1.59 c	0.82 ± 0.10 ab
30	59.16 ± 2.00 b	0.66 ± 0.04 bcd
At harvest ^y	72.16 ± 17.59 a	0.77 ± 0.18 abc

^zMeans within columns followed by the same letter are not significantly different at $p < 0.05$ by LSD test. ($n=5$)

^yCabbage heads were tested at room temperature after harvest.

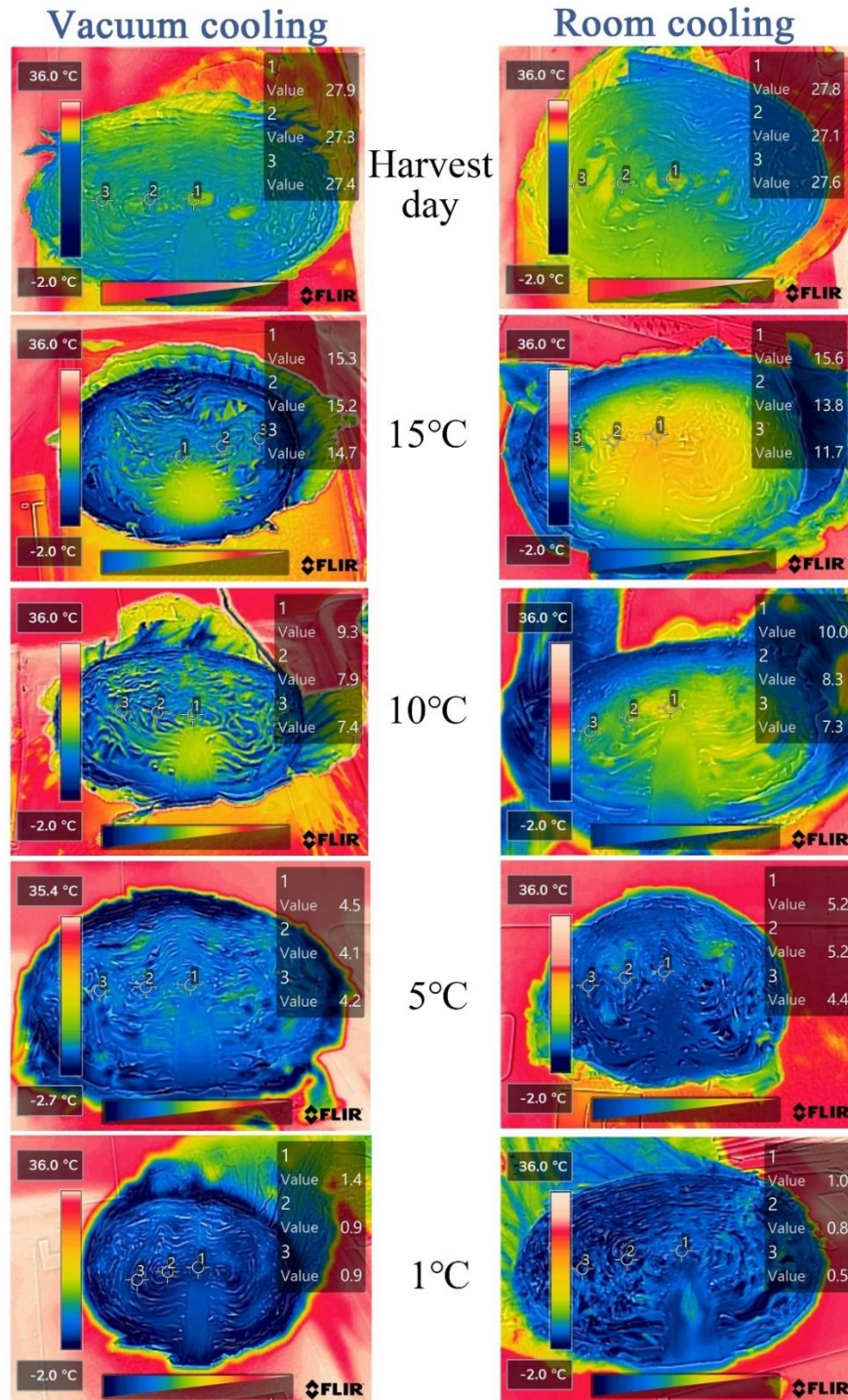


圖 1、甘藍採收後和真空預冷(左)與室冷(右)至中心溫度 1、5、10、15 °C 之剖面熱顯像圖。
Fig. 1. Thermal images of cabbage head at harvest and after (Left) vacuum cooling and (Right) room cooling at 1, 5, 10 and 15°C of core temperature. (by FLIR Thermal studio 1.9.3)

表 2、預測'初秋'甘藍真空預冷和室冷至中心溫度 1、5、10、15°C 後之平均溫度和呼吸率。

Table 2. Predicting the respiration rates of 'K-Y-cross' cabbage head by the average temperature after room cooling and vacuum cooling in April 2022.

Core temp. (°C)	Treatment	Mean temp. ^z (°C)	Sig.	Respiration rate ^y (mL CO ₂ ·kg ⁻¹ ·hr ⁻¹)	Sig.
1	Vacumm cooling	1.53 ± 0.49	NS	10.21 ± 0.28	NS
	Room cooling	1.98 ± 0.30		9.96 ± 0.15	
5	Vacumm cooling	5.60 ± 0.74	NS	12.78 ± 0.65	NS
	Room cooling	6.53 ± 0.52		13.60 ± 0.50	
10	Vacumm cooling	7.05 ± 1.54	NS	14.20 ± 1.53	NS
	Room cooling	8.98 ± 1.30		16.22 ± 1.50	
15	Vacumm cooling	14.48 ± 0.37	NS	23.77 ± 0.60	NS
	Room cooling	12.43 ± 0.15		20.63 ± 0.21	

*, **, ***: Significant at $p < 0.05$, $p < 0.01$, and $p < 0.001$, respectively; NS = no significant. (n=4)

^zThe mean temperatures of cabbage heads were tested by thermography cameras.

^ySubstitute the mean temperature of the head into formula: $y = 0.04x^2 + 0.38x + 9.28$ ($R^2 = 0.973$)

均分別為 4227.17、4218 及 4055.67 cm³。而葉球密度 1 月份採收之葉球不論等級大小皆無顯著差異，由等級大至小分別為 0.6、0.6 和 0.58 g·cm⁻³；同年 4 月採收以等級大之甘藍葉球密度顯著較大，為 0.54 g·cm⁻³，等級中與小之甘藍則顯著較小，分別為 0.43 g·cm⁻³ 及 0.35 g·cm⁻³。甘藍採收後運送至真空預冷室進行降溫，預冷結果如圖 3，真空預冷在降溫前會經過一段停滯時間，中心溫度無變化，待一段時間後甘藍中心溫度才會快速下降。從甘藍放入真空預冷機內開始計算真空預冷降溫速度，根據表 5 結果得知，2021 年 1 月以等級小之甘藍降溫速度較快為 0.32°C·min⁻¹，等級中與等級大之甘藍降溫速度皆為 0.26°C·min⁻¹；同年 4 月採收之甘藍以等級小降溫速度較快為 0.39°C·min⁻¹，等級大較慢為 0.33°C·min⁻¹，此降溫速度和 1 月等級小甘藍降溫速度相似，且葉片數皆約 35.75 片。1 月與 4 月收穫的甘藍相比，前者真空預冷期間降溫速度較為緩慢，不同季節生長與葉球體積及密度皆具高度相關性（表 4），推測 1 月份採收的葉球密度較 4 月份葉球高使真空預冷降溫速度較慢。除了密度外，葉片數少之預冷降溫速度較快，1 月份等級大和中之甘藍降溫較慢，葉片數目較高約 37~38 片；而 4 月份等級小之甘藍降溫速度最快，葉片數約 26.75 片。

表 3、'初秋'甘藍真空預冷至目標溫度 1、5、10、15℃後平均溫度、2/3 位點、1/3 位點溫度及中心溫度之比較。

Table 3. Comparison of the mean temperature, 2/3 site, 1/3 site and central temperature of 'K-Y-cross' cabbage after vacuum cooling.

Cabbage head	Temperature setting (°C)			
	1	5	10	15
Mean	1.98 ± 0.49 a ^z	5.60 ± 0.74 a	7.05 ± 1.54 ab	14.48 ± 0.37 b
2/3 site	1.83 ± 0.47 a	4.03 ± 0.64 b	6.45 ± 0.75 b	15.15 ± 1.06 ab
1/3 site	1.68 ± 0.52 a	4.73 ± 0.78 ab	6.95 ± 1.40 ab	15.80 ± 0.54 ab
Central	2.33 ± 0.84 a	5.58 ± 0.78 b	8.70 ± 1.19 a	16.40 ± 0.90 a

^zMeans within columns followed by the same letter are not significantly different at $p < 0.05$ by LSD test. ($n=5$)



圖 2、甘藍真空預冷至中心溫度 5℃後位於箱內上層的葉球外葉凍害呈現水浸狀 (A)及預冷至中心溫度 1℃後外葉呈現凍害結冰症狀 (B)。

Fig. 2. The outer leaves of cabbage were chilling injury after vacuum cooling to 5°C of core temperature (A) and 1°C of core temperature (B).

三、不同預冷方法之降溫速度與失重率比較

甘藍室冷需要花費的時間較真空預冷長 (圖 3)，收穫當日甘藍的中心溫度約 25~26℃，使用真空預冷約 17 分鐘可降至中心溫度 15℃，約 25 分鐘降至 10℃，約 36 分鐘降至 5℃。甘藍利用真空預冷降溫至中心溫度 5℃位於箱內上層的甘藍外葉出現明顯凍害 (圖 2A)；當降至中心溫度 1℃時所花費的時間約 53 分鐘，此時預冷機器內部溫度為-0.4℃左右，外

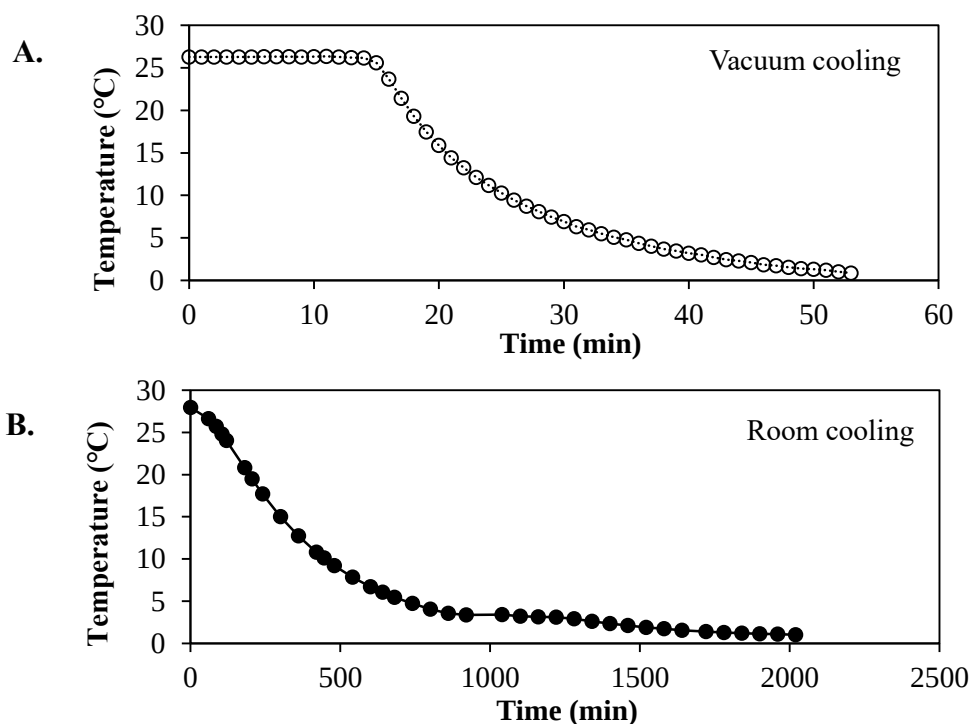


圖 3、'初秋'甘藍真空預冷 (A)及室冷 (B)至中心溫度 1°C 之溫度曲線 (最高等級甘藍為例)。
 Fig. 3. The temperature curves of 'K-Y-cross' cabbage during vacuum cooling (A) and room cooling (B) at 1°C. (examined by Large size of cabbage)

葉因暴露在 0°C 以下的環境約 20 分鐘，全數發生凍害使外葉呈凍害結冰的症狀 (圖 2B)。甘藍室冷則需要約 273 分鐘甘藍中心溫度從 25°C 降至 15°C，約 437 分鐘降至 10°C，約 637 分鐘降至 5°C，約 2023 分鐘降至 1°C。甘藍室冷至 15°C 所需要的時間約真空預冷之 20 倍，降至 1°C 所花費的時間約真空預冷之 40 倍，室冷降溫速度緩慢。但在預冷失重率方面 (圖 4)，真空預冷至中心溫度 15°C 的失重率為 2.46%，約為室冷處理的 15 倍，室冷的預冷失重率為 0.17%；真空預冷至中心溫度 10°C 的預冷失重率增加至 3.48%，室冷失重率為 0.32%，兩者相差大約 11 倍；真空預冷至中心溫度 5°C 其失重率增加為 4.12%，室冷為 0.47%，兩者相差約 8.8 倍；真空預冷至中心溫度 1°C 的失重率上升至 5.13%，室冷失重率為 1.25%，大約相差 4 倍。因此甘藍經過真空預冷處理後葉球失重率顯著高於室冷處理，且隨著預冷終溫越低失重率顯著上升。

表 4、比較 2021 年 1 月及 4 月於彰化縣不同採收時期之不同等級'初秋'甘藍與葉球重量、體積及密度之影響。

Table 4. Influence of harvest time and different sizes on weight, volume and density of 'K-Y-cross' cabbage heads harvested in January and April 2021.

Harvest time	Size	Weight (g)	Volume (cm ³)	Density (g·cm ⁻³)
January	Large	2000.00 ± 67.18 a ^z	3326.33 ± 165.99 a	0.60 ± 0.05 a
	Medium	1690.75 ± 184.30 a	2780.25 ± 243.16 a	0.60 ± 0.02 a
	Small	1083.38 ± 230.94 b	1875.50 ± 393.25 b	0.58 ± 0.02 a
April	Large	2247.67 ± 87.07 a	4227.17 ± 399.23 a	0.54 ± 0.06 a
	Medium	1826.67 ± 97.34 b	4218.00 ± 268.15 a	0.43 ± 0.03 b
	Small	1398.00 ± 94.04 c	4055.67 ± 507.49 a	0.35 ± 0.02 b
HT ^y (H)		**	***	***
Size (S)		***	***	NS

^zMeans within columns followed by the same letter in same harvest time are not significantly different at $p < 0.05$ by LSD test. ($n=5$)

^yHT=Harvest time.

*, **, ***: Significant at $p < 0.05$, $p < 0.01$, and $p < 0.001$, respectively; NS = no significant.

表 5、於 2021 年 1 及 4 月採收不同等級大小'初秋'甘藍真空預冷之葉球降溫速度。

Table 5. Cooling rate of different sizes of 'K-Y-cross' cabbage head harvested in January and April 2021 during the vacuum cooling process.

Harvest Time	Size	Initial temp. (°C)	Final temp. (°C)	CT ^z (min)	CR ^y (°C/min)	Leaf layers (no.)
January	Large	16.79 ± 0.45	10.17 ± 0.33	25	0.26	38.25 ± 1.48 a ^x
	Medium	17.06 ± 0.83	10.45 ± 1.53	25	0.26	37.75 ± 1.79 a
	Small	17.48 ± 0.78	9.53 ± 2.61	25	0.32	35.75 ± 0.83 a
April	Large	25.32 ± 0.28	17.07 ± 2.75	25	0.33	35.75 ± 1.34 a
	Medium	25.36 ± 0.17	16.90 ± 0.30	25	0.34	30.25 ± 0.47 b
	Small	25.38 ± 0.12	15.71 ± 0.37	25	0.39	26.75 ± 1.63 b

^zCT=Cooling time.

^yCR=Cooling rate.

^xMeans within columns followed by the same letter in same harvest time are not significantly different at $p < 0.05$ by LSD test. ($n=4$)

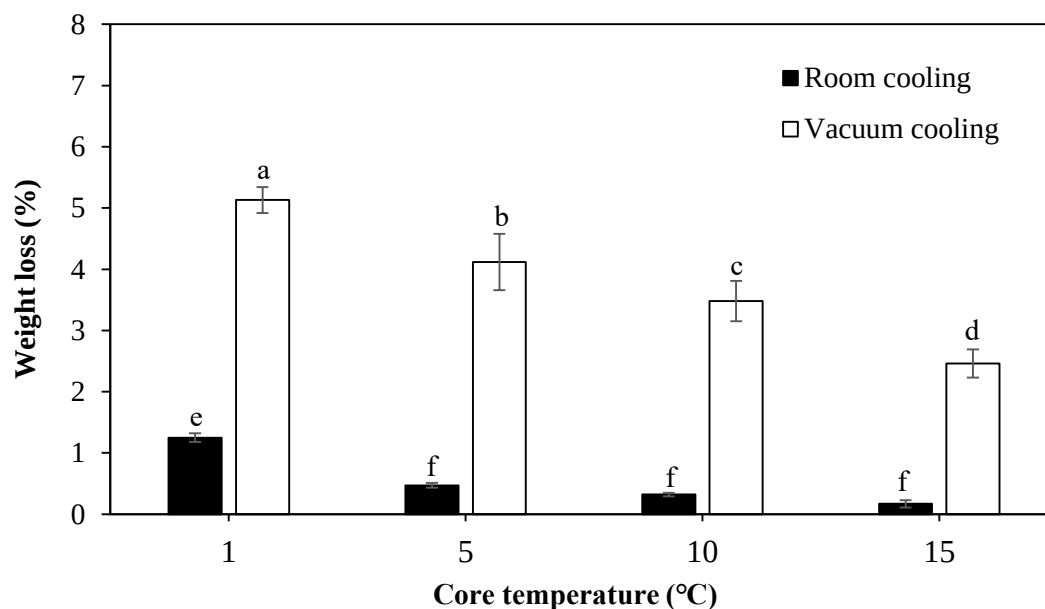


圖 4、'初秋'甘藍室冷及真空預冷至甘藍中心溫度 1、5、10 及 15°C 之預冷失重率。

Fig. 4. The weight loss rates under room cooling and vacuum cooling at 1, 5, 10 and 15°C of 'K-Y-cross' cabbage core temperature. ($n=5$)

討 論

一、預冷對甘藍呼吸率之影響

預冷目的主要是去除產品的田間熱及呼吸熱，前者為園產品生長期間受太陽照射、炎熱土壤反射及根部傳來的熱，以及周圍的熱空氣等產生的熱量；後者則是園產品在呼吸作用所產生的熱能，收穫後產品持續呼吸以延續生命，當產品溫度越高呼吸越快，呼吸越快所產生的熱能越多。試驗中在甘藍採收後立刻測得之田間呼吸率約 $72 \text{ mL CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ ，真空預冷處理於 30 分鐘內即可快速降低葉球溫度，甘藍中心溫度降至 10°C 時葉球表面溫度為約 0°C ，平均溫度約 7.05°C ，能有效降低採收後的呼吸率，得以延長產品的貯藏和櫥架期限 (Brosnan and Sun, 2001; Senti and Rizek, 1975)。甘藍於採收當天乙烯釋放率較低約 $0.66 \text{ } \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ ，於常溫下放置一天後乙烯含量會逐漸上升，老化的甘藍乙烯釋放率高達 $1.73 \text{ } \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ (Hu *et al.*, 2021)，本試驗於收穫時甘藍乙烯釋放率為 $0.77 \text{ } \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ ，經過預冷後乙烯釋放量顯著下降。

二、甘藍葉球性狀與甘藍降溫速率的因素探討

台灣位於亞熱帶氣候，一年中 10 月份至隔年 5 月份為生產溫帶蔬菜最佳時期。從表 4 得知，冬季收穫的甘藍重量越大體積也越大，而葉球的密度則不論重量大小皆相似；相

比之下，春季收穫的甘藍不論重量等級大小體積皆相似，而重量較大之甘藍的密度顯著較高。葉球密度或是緊實度 (solidity) 為最常用來判斷園藝成熟度的指標 (Reid, 1992)，從本試驗採樣的結果可知，葉球密度方面冬季甘藍不論等級大小皆相似，於秋冬季生長的甘藍生長較緩慢但葉球具有相似的成熟度；而春季採收甘藍依等級大小重量為 1400 g 至 2250 g，密度為 $0.35 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 至 $0.54 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ，葉球重量愈大其成熟度愈高，反之甘藍成熟度愈低、葉球結構較鬆散。冬季及春季收穫'初秋'甘藍因種植環境的差異，包含生長溫度、種植間距、施肥量、光照等可能為影響葉球成熟度的因素 (Radovich *et al.*, 2004; Zandstra *et al.*, 1988)，而葉球鬆散是因甘藍長時間在高於 25°C 環境生長且經常灌溉，最終導致葉球葉片數量多但緊實度不足 (Angmo *et al.*, 2020)。試驗中冬季甘藍生長 80 天平均溫度約 18.83°C ，而春季甘藍生長 74 天平均溫度約 20.13°C ，甘藍在溫度較高的季節生長快速，於較短的生長天數達可採收之標準，整體而言葉球體積較大，密度低且葉片數少應是導致真空預冷降溫速度較快的原因。

真空預冷降溫的速度與園產品的表面積和體積比有關，當表面積越大代表與空氣接觸面積更大，在預冷期間可快速由水蒸氣將熱能帶走，Teruel 等人 (2004) 指出蔬果體積越大，預冷降溫所需要的時間越長。從表 5 得知冬收和春收甘藍預冷降溫速度隨著等級大至小逐漸增加，且兩季節皆為等級小甘藍降溫速度較快，其中春收甘藍預冷降溫速度較冬收甘藍快。春收等級小之甘藍密度小但體積大，與冬收甘藍密度大但體積較小相比，春收甘藍降溫速度較快可能因葉球結構較鬆散使水分蒸發較快帶走熱能。此外葉球因結構緊密使預冷期間不均勻降溫 (圖 1)，本試驗將感溫器放在葉芯處監控溫度變化，然而因葉球緊密需花費較大的力氣才可將感溫器插入中心點，當力道控制不當過當會使感溫器尖端插入莖部，由圖 1 可知甘藍莖部為降溫最緩慢的部位，如此將造成監控溫度之誤差。建議改插入葉球赤道距離中心 1/3 位點可有效避免此情況，當甘藍真空預冷至 10°C 後此位點的溫度低於葉芯的目標終溫 (表 3)，若改以 1/3 位點監控溫度變化，與設定之目標溫度相近。

三、甘藍預冷降溫時間與失重率

真空預冷降溫的時間取決於作物的形狀、氣孔密度、氣孔大小及分布、水分含量和機器設定的壓力 (Rahi *et al.*, 2013)。當真空預冷降溫時間越長，失重率隨著時間逐漸增加，在同樣的大氣壓力下時間越長，失重率會顯著增加 (Kongwong *et al.*, 2019)。葉菜類真空預冷的失重率大多落在 1~4% (Haas and Gur, 1986)，Cheng 及 Hsueh (2007) 研究顯示甘藍和空心菜真空預冷至 1°C 的失重率分別約 1.5~4% 及 6~6.5%，因空心菜的表面積和體積比較大，與外界空氣接觸面積大容易失水，而甘藍因接觸表面積較小使其失重率較低。Isik (2006) 研究指出甘藍以真空預冷降溫需要約 33 分將溫度從 15°C 降低至 11°C ，失重率約 2.4%。本試驗於臺中市霧峰農試所小規模預冷機器中進行，甘藍真空預冷至中心溫度 10°C 時失重率達 3.48%，預冷至 5°C 失重率達 4.12%，預冷至 1°C 失重率增加至 5.13%，隨著中心溫度越低失重率逐漸增加，前人指出溫度每降低 $5\sim 5.5^{\circ}\text{C}$ 大約會損失 1% 的重量 (李與林, 2005; Hass and Gur, 1987)。真空預冷之前在表面噴撒一些水可使失重率降低至 1~1.5%

(Alibas and Koksai, 2014)。前人研究表示園產品真空預冷後若失重率在 5% 以下，造成葉片萎凋的情況較不明顯 (林, 2001)，然而甘藍構造是由多層葉片包裹而成的結球形狀，當失重率達 5% 仍可維持商品價值，若達 7% 以上則會出現萎凋 (HIA Ltd, 2017)。本試驗中真空預冷到中心溫度 1°C 的甘藍失重率超過 5%，外葉出現明顯凍害的狀況，已不具商品價值；甘藍室冷處理降溫至中心溫度 1°C 之失重率約 1.25%，與真空預冷相比少了 3 倍左右。預冷時間方面，甘藍室冷處理需要約 33.7 小時降至中心溫度 1°C；真空預冷則在 1 小時內即可將中心溫度降至 1°C。因室冷為將產品放入冷藏庫，以循環冷空氣降低產品溫度，而真空預冷為改變大氣壓力以降低水分沸點，由大量水蒸氣將熱能從產品內部帶離，使預冷期間失重率較室冷高但花費的時間較短。降溫效率方面室冷降溫所需的時間大約為真空預冷的 20~40 倍，真空預冷的降溫速率大約是 $0.3^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ ，室冷則約 $0.04^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ ，此結果與 Kongwong (2019) 等人研究之迷你萵苣真空預冷結果相似，迷你萵苣以真空預冷降溫速率為 $0.46^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ ，室冷降溫速率則為 $0.04^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

四、甘藍真空預冷之應用

Kongwong 等人 (2019) 研究指出真空預冷可以有效地增加迷你萵苣 (baby cos lettuce) 的櫥架壽命和品質，未預冷情況下迷你萵苣只能櫥架 9 天，室冷處理可以延長至 13 天，真空預冷後則可櫥架至 16 天。台灣近年來甘藍使用真空預冷降溫，可比室冷更快的去除熱能。Rahi 等人 (2013) 指出結球萵苣中心溫度從 30°C 降至 7°C 為適合貯藏的溫度，更低的溫度可能會使組織受損，發生寒害或是凍害症狀。為建立甘藍真空預冷降溫標準，本試驗使用感溫器在真空預冷期間測量甘藍中心溫度的變化。當真空預冷至中心溫度 5°C 時放在箱子上層的甘藍外葉出現凍害結冰症狀，而當中心溫度降至 1°C 則使甘藍發生凍害，除了葉片呈現半透明水浸狀外，也出現許多紫色的紋路 (圖 2B)。因此建議真空預冷降溫至中心溫度 10°C 較佳，能有效降低呼吸熱和田間熱，同時節省預冷時間及電力成本。

參 考 文 獻

- 王自存。1997。氣調技術應用在蔬菜採後保鮮之研究。園產品採後處理與運銷技術研討會專刊。pp. 204-217。
- 李允中、林棟樑。2005。台灣園產品預冷的研究與推廣。園產品採後處理技術之研究與應用研討會專刊 117: 221-227。
- 林棟樑。2001。蔬菜預冷保鮮技術。台南區農業改良場技術專刊 90-6 (No. 115)。pp. 14。
- 徐敏記，黃肇家。2015。園產品預冷處理與美國加州冷鏈管理發展現況。農業試驗所技術服務季刊 104: 26-30。
- 蕭政弘。2017。甘藍產業特性與品種類型。台中區農業專訊 96: 3-5。
- Alibas, I. and N. Koksai. 2014. Forced-air, vacuum, and hydro precooling of cauliflower

- (*Brassica oleracea* L. var. botrytis cv. Freemont): part I. Determination of precooling parameters. Food Sci. Technol., Campinas 34(4): 730-737.
- Angmo, P., T. Dolma, D. Namgail, O. P. Chaurasia and T. Stobdan. 2020. Growing cabbage (*Brassica oleracea* var capitata L.) in cold winter under passive solar greenhouse in trans-Himalayan Ladakh region. Def. Sci. J., 5(4), pp. 292-298.
- Basediya, I. A., D. V. K. Samuel and V. Beera. 2013. Evaporative cooling system for storage of fruits and vegetables - a review. J. Food Sci. Technol. 50(3):429-442.
- Brosnan, T. and D. W. Sun. 2001. Precooling techniques and applications for horticultural products — a review. Int. J. Refrig. 24(2): 154-170.
- Cheng, H. P. and C. F. Hsueh. 2007. Multi-stage vacuum cooling process of cabbage. J. Food Eng. 79: 37-46.
- Gómez-Lobato, M. E., J. H. Hasperué, P. M. Civello, A. R. Chaves and G. A. Martínez. 2012. Effect of 1-MCP on the expression of chlorophyll degrading genes during senescence of broccoli (*Brassica oleracea* L.). Sci. Hort. 144: 208-211.
- Haas, E. and G. Gur. 1987. Factors affecting the cooling rate of lettuce in vacuum cooling installations. Int. J. Refrig. 10: 82-86.
- Horticulture Innovation Australia, Horticultural Research Pty Ltd and Western Sydney University. 2017. Cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata). Retrieved January 28, 2023, from <https://www.postharvest.net.au/product-guides/cabbage/>
- Isik, E.. 2006. The effect of vacuum cooling of some products on the ratio of weight loss. J. Appl. Sci. 6: 2031-2035.
- Kongwong, P. 2019. Extending the shelf life and qualities of baby cos lettuce using commercial precooling systems. Postharvest Biol. Technol. 150: 60-70.
- Kramchote, S., V. Srilaong, C. Wongs-Aree and S. Kanlayanarat. 2012. Low temperature storage maintains postharvest quality of cabbage (*Brassica oleraceae* var. capitata L.) in supply chain. Int. Food Res. J. 19(2): 759-763.
- Porter, K. L., A. Klieber and G. Collins. 2003. Chilling injury limits low temperature storage of 'Yuki' Chinese cabbage. Postharvest Biol. Technol. 28: 153-158.
- Rahi, S., H. Bahrami and M. J. Sheikhdavoodi. 2013. Using vacuum cooling method of precooling process of cabbage. J. Life Sci. Biomed. 3(1): 56-59.
- Senti, F. R. and R. L. Rizek. 1975. Nutrient levels in horticultural crops. Hort Sci. 10, pp.243.
- Silva, E. 2008. Respiration and ethylene and their relationship to postharvest handling. Retrieved from eOrganic by Oregon State University website: <https://eorganic.org/node/2671>.
- Teruel, B., T. Kieckbusch and L. Cortez. 2004. Cooling parameters for fruits and vegetables of

different sizes in a hydrocooling system. *Sci. Agric.* 61(6): 655-658.

Zhu, Z., Y. Geng and D. W. Sun. 2019. Effects of operation processes and conditions on enhancing performances of vacuum cooling of foods: A review. *Trends Food Sci. Technol.* 85: 67-77.

Study on Vacuum Cooling of 'K-Y-cross' Cabbage

Jung-Yu Liu¹⁾ Chang-Lin Chen²⁾

Key words: Cabbage, Vacuum cooling, Room cooling, temperature, Respiration rate, Ethylene production

Summary

The cabbage cultivar 'K-Y-cross' is one of the important vegetables in Taiwan. In order to establish a standard procedure of vacuum cooling for different grades of cabbages in spring and winter, the respiration rate and ethylene production were investigated during 1°C and 15°C. The result showed that the respiration rate and the ethylene production of cabbage heads were 14.5 mL CO₂ · kg⁻¹ · hr⁻¹ and 0.43 μL C₂H₄ · kg⁻¹ · hr⁻¹ at 10°C, with no difference compared to 1°C and 5°C. In addition, it was easy to cause chilling injury when the core temperature arrived at 1°C and 5°C by vacuum cooling. The respiratory heat and ethylene production were dramatically inhibited by cooling to 10°C without chilling injury on the outer leaves. Furthermore, the temperature of the cabbage harvested in January decreased faster by vacuum cooling than the cabbage harvested in April. The cooling speed of small-size cabbage heads harvested in January was 0.39°C · min⁻¹. In comparison to vacuum cooling, room cooling spent 20~30 times longer dropping the final core temperature to 10°C of the cabbage. In spite of the fact that cabbages lost 3.5% weight after vacuum cooling to 10°C, the cabbages still keep the marketable value.

1) Student in M.S. program, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

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

Corresponding author.

黑芥子酶 (*Myrosinase*)和表皮特異硫蛋白 修飾子 (*Epithiospecifier modifier*)基因轉殖 至青花菜葉綠體之研究

陳 柏 亨¹⁾ 潘 怡 君²⁾ 曾 夢 蛟³⁾

關鍵字：青花菜、葉綠體基因轉殖、黑芥子酶、表皮特異硫蛋白修飾子

摘要：黑芥子酶-硫代葡萄糖苷系統為十字花目植物中獨特的防禦機制。硫代葡萄糖苷經黑芥子酶催化後產生的下游產物除了抗病蟲害之外，其中異硫氰酸酯對人體具有醫療保健效果，蘿蔔硫素為目前已知抗癌功效最強的異硫氰酸酯化合物。蘿蔔硫素於青花菜種子及幼苗有極高含量，然而供食用的青花菜花球則含量稀少。本研究將催化硫代葡萄糖苷轉變為異硫氰酸酯的關鍵蛋白基因-黑芥子酶和表皮特異硫蛋白修飾子，以粒子轟擊基因轉殖方式導入至青花菜葉綠體中大量表現，以增加青花菜異硫氰酸酯含量。使用粒子轟擊法對青花菜培植體進行基因轉殖，接著以含有 D-alanine 的再生培養基篩選培植體，PCR 分子驗證結果顯示可於青花菜轉殖株中檢測到目標基因，以 RT-PCR 分析發現目標基因可轉錄為 RNA。此外 GUS 活性檢測顯示轉殖株具有 GUS 活性，代表轉基因可被表現並進一步轉譯為蛋白。

前 言

青花菜 (*Brassica oleracea* var. *italica*)屬於十字花科 (Brassicaceae) 芸薹屬 (*Brassica*)之多年生植物，為世界重要的蔬菜作物之一。青花菜因其高度的營養價值及抗氧化功能成為

1) 國立中興大學園藝學系博士班研究生。

2) 國立中興大學園藝學系副教授。

3) 國立中興大學園藝學系教授，通訊作者。

許多國家日常飲食中常見的蔬菜，研究顯示青花菜富含胺基酸、膳食纖維、維他命 C、維他命 E 及人體必需微量元素如鋅、錳和鐵等，此外青花菜也含有許多抗氧化成分，如類胡蘿蔔素、黃酮類化合物、及異硫氰酸酯 (Li *et al.*, 2022)。蘿蔔硫素 (sulforaphan) 為已知具有最佳抗癌效果的異硫氰酸酯，其機制為誘導人體內產生第二階段解毒酵素能力，藉由與有毒物質形成共軛鍵結以去除其毒性，進一步減少體內自由基的產生，相反地，蘿蔔硫素能夠抑第一階段酵素活性，減少有毒物質進入人體代謝過程 (Boddupalli *et al.*, 2012)。青花菜擁有數倍高於其他十字花科作物的蘿蔔硫素含量，青花菜幼苗中的蘿蔔硫素含量為花椰菜的 9 倍，為蕪菁的 2 倍，青花菜可食用部位的蘿蔔硫素與甘藍相比高出約 4.8 倍 (Liang *et al.*, 2006; Sivakumar *et al.*, 2007)。青花菜種子及幼苗中的蘿蔔硫素含量極高，然而隨著青花菜株齡的增加蘿蔔硫素則急遽下降 (Fahey *et al.*, 1997)。硫代葡萄糖苷主要藉黑芥子酶催化產生不穩定的糖-苷配基 (aglycon)，糖-苷配基再經由不同的黑芥子酶相關蛋白催化產生下游不同產物，雖然異硫氰酸酯為糖-苷配基於 pH = 7 環境下分子結構自動產生改變生成，但已知表皮特異硫蛋白 (epithiospecifier, ESP) 會催化糖-苷配基產生腈類化合物，從而減少異硫氰酸酯產量。表皮特異硫蛋白修飾子 (epithiospecifier modifier, ESM) 為另一種黑芥子酶相關蛋白，能夠抑制表皮特異硫蛋白作用並促進異硫氰酸酯生成 (Zhang *et al.*, 2006)。

本研究構築可分別於青花菜中過量表現黑芥子酶(*Myr*)和表皮特異硫蛋白修飾子(*Esm*)基因之葉綠體轉殖載體 pMT91t-PpsbA-MyrDG 和 pMT91t-PpsbA-EsmDG，以粒子轟擊法將轉基因導入'綠王'青花菜葉綠體中，探討以粒子轟擊基因轉殖方式導入至青花菜葉綠體中大量表現此二個基因的可行性。

材 料 方 法

一、植物材料

植物材料選用青花菜'綠王'品種，為購自農友種苗公司 (KNOWN YOU SEED CO., LTD.) 的商業品種。青花菜種子首先以 75% (v/v) 酒精浸泡並搖晃 3 分鐘，去除酒精後以無菌水清洗一次，接著以 1% (v/v) 次氯酸鈉浸泡種子並搖晃 15 分鐘，去除次氯酸鈉 (NaOCl) 後已無菌水清洗 5-6 次。消毒完成的種子無菌播種於半量的 Murashige and Skoog (MS) 基礎培養基 (Murashige and Skoog, 1962)。

二、轉殖載體材料

本研究使用之轉殖載體分別為 pMT91t-PpsbA-MyrDG 及 pMT91t-PpsbA-EsmDG，兩者皆使用 *DAAO* 作為篩選基因，並以 *GUS* 作為報導基因，分別以 PpsA promoter 調控下游目標基因黑芥子酶基因 (*Myr*) 和表皮特異硫蛋白修飾子基因 (*Esm*) 基因表現 (圖 1)。

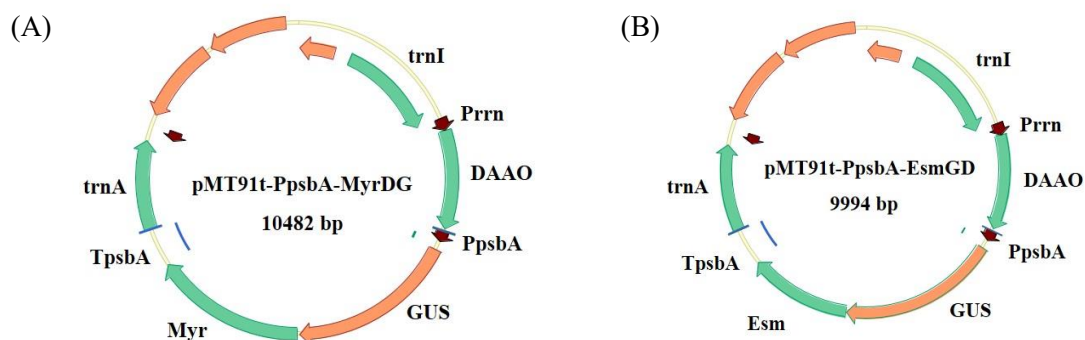


圖 1、轉殖載體圖譜。(A) pMT91t-PpsbA-MyrDG 及 (B) pMT91t-PpsbA-EsmDG。trnI 及 trnA 為自甘藍中選殖到的葉綠體同源重組區域；Prn 和 PpsbA 為葉綠體特異啟動子；TpsbA 為葉綠體特異終結子；DAAO 為抗 D-alanine 之篩選基因；GUS 為報導基因；Myr 為編碼黑芥子酶之 cDNA；Esm 為編碼表皮特異硫蛋白修飾子之 cDNA。

Fig. 1. Map of transformed vector. (A) pMT91t-PpsbA-MyrDG; (B) pMT91t-PpsbA-EsmDG. trnI and trnA are homologous recombination sites cloned from cabbage (*Brassica oleracea*); Prn and PpsbA are chloroplast specific promoters; TpsbA is chloroplast specific terminator; DAAO is D-alanine resistant gene for selection; GUS is marker gene; Myr is cDNA encodes myrosinase; Esm is cDNA encodes epithiospecifier modifier.

三、基因轉殖步驟

青花菜種子無菌播種於含有 1.5 g/l sucrose、7 g/l agar、pH=5.7 的 1/2 MS 培養基，培養於 25°C，日照時間 12 小時環境設定之生長室，培養 10 天。使用和無菌播種相同的培養基，取下胚軸放置於 90 x 15 mm 培養皿中間並於培養基上排列整齊。

使用 Biolistic® PDS-1000/He particle delivery system (BIO-RAD) 進行基因轉殖，轉殖前首先將壓力膜、鐵網、macrocarrier 及 holder 浸泡 70% (v/v) 酒精 10 分鐘，放置於無菌擦手紙上在操作台內晾乾，接著浸泡 95% (v/v) 酒精 5 秒，同樣置於無菌擦手紙上晾乾，接著以紫外燈殺菌 15 分鐘。吸取 10 µl 完成與 DNA 附著之金粉，緩慢滴於 macrocarrier 上，靜置 5 分鐘待酒精完全揮發，接著進行基因轉殖。基因槍轟擊前抽真空 (94.8 kPa)，基因轉殖使用 He 氣驅動基因槍轟擊，壓力膜與 macrocarrier 間距離固定為 1 cm，培植體轟擊距離固定為 6 cm，控制轟擊力道之壓力膜選擇 900 (pound per square inch) 轟擊壓力進行基因轉殖。

四、青花菜轉植株篩選

轉殖後培植體於含有 1.5 g/l sucrose、7 g/l agar、pH=5.7 的 1/2 MS 培養基培養 3 天。

接著將下胚軸切成 0.5 cm 長度，置於含有 30 mg/l 之 D-alanine 的再生培養基中篩選。篩選 1 個月後將存活之培植體繼代至含有 45 mg/l D-alanine 的抽芽培養基，抽芽培養基配方為 1/2 MS、1.5 g/l sucrose、2 mg/l BA、0.05 mg/l picloram、7 g/l agar、pH=5.7，使用此濃度持續篩選至 4 個月後取存活且已抽芽之培植體，放入含有 45 mg/l D-alanine 的發根培養基，發根培養基配方為 1/2 MS、1.5 g/l sucrose、0.5 mg/l NAA、7 g/l agar、pH=5.7，培植體培養於 25°C，日照時間 12 小時環境設定之生長室。待培植體發根後一個月，連同培養基移至溫室進行馴化，擬轉植株馴化一週後出瓶，使用混合完成之質（泥炭土：珍珠石：蛭石 = 1：1：1）種植於溫室。

五、青花菜轉植株檢測

1. 植物 DNA 萃取

植物 DNA 萃取方法修改自冷泉港實驗室植物 DNA 小量萃取法 (Clarke, 2009)。新鮮配製 CTAB buffer，混合均勻後於 60°C 水浴鍋預熱備用。秤取植物樣本 400-500 mg 置於研鉢中，加入液態氮研磨製粉狀，並將樣品移至微量離心管中，加入預熱之 CTAB buffer 400 ml 以及 5 µl RNaseA (1 mg/ml) 震盪混勻，樣品於 60°C 水浴鍋加熱 30 分鐘，每 5 分鐘取出溫和混勻。接著加入等體積 phenol:chloroform: isoamyl alcohol (25:24:1)，震盪混合均勻，再以低溫高速離心機離心，離心條件設定為 4°C、12000 rpm、5 分鐘，取上清液至新的 eppendorf，加入等體積 isopropanol，混合均勻，於 -20°C 凍箱沉澱 DNA 30 分鐘，以 4°C、12000 rpm、15 分鐘離心樣本，離心完後去除上清液，加入 1 ml 70% EtOH 清洗 DNA 沉澱物，再以 4°C、12000 rpm、5 分鐘離心，離心完成後去除上清液，接著風乾 DNA 樣品，使酒精揮發完全，最後加入 30-50 µl 無菌的去離子水回溶，DNA 樣品保存於 -20°C 環境。

2. Polymerase chain reaction (PCR) 分析

PCR 使用 EBL Master Mix (2x) red dye，預先配製反應溶液並混勻，接著加入樣本 DNA，反應溶液包含 12.5 µl 2x PCR Master mix、0.5 µl forward primer (1 µM)、0.5 µl reverse primer (1 µM)、11.5 µl ddH₂O、1 µl DNA 樣本 (100 ng/µl)。PCR 反應條件設定為 step 1：95°C 維持 2 min、1 cycle；step 2：95°C 維持 30 sec、55°C 20 sec、72°C 20 sec、30 cycle；step 3：72°C 5 min、16°C、1 cycle。最後使用 1x TAE buffer、1% agarose gel 進行膠體電泳確認。檢測 *DAAO* 基因之引子序列為 Forward：TCCCAATGCTTATCGCTCGG、reverse：ATCAGCCATGCCGTAAGAGG；檢測 *GUS* 基因檢測之引子序列為 Forward：TGGATCG CGAAACTGTGGA、Reverse：CGGTGATATCGTCCACCCAG；檢測 *Esm* 基因檢測之引子序列為 Forward：CCGGCGGAATCTATGACACT、Reverse：GCATTGTGAGTCCCTACCCC；檢測 *Myr* 基因檢測之引子序列為 Forward：TGCTTACCAGGTGGAAGGGG、Reverse：CTCCATGAACCATCCCAAGAAGA。

3. 植物 RNA 萃取

秤取植物樣本 100 mg，以液態氮磨成粉狀後，置於 eppendorf，加入 1 ml TRIzol™ Reagent，混勻後靜置冰上 5 分鐘，加入 200µl chloroform，混勻後靜置冰上 3 分鐘，以低溫高速離心機離心 15 分鐘，條件設定為 4°C、12000 rpm，取上清液至新的 eppendorf，加入 0.5 ml 預冷之 isopropanol，置於-20°C環境下 10 分鐘沉澱 RNA，接著以 4°C、12000 rpm 離心 10 分鐘，去除上清液後，加入 1 ml 預冷之 70% EtOH，以 4°C、7500 rpm 離心 5 分鐘後，去除上清液後，之後去將 EtOH 完全去除，風乾約 3 分鐘，最後以 DEPC 處理之無菌水回溶樣品。

4. cDNA 合成

cDNA 合成方法參考 BIONOVAS protocol，先配製 cDNA synthesis mix，於 eppendorf 中加入 10 µl 2x Fast premix 及 2 µl primer mix (oligo dT & random hexamers)，RNA 樣品總量以不超過 1 µg，不小於 10 pg 為原則，補 DEPC 處理之無菌水至總體積為 19 µl，接著以 PCR machine 打開 RNA 二級結構及 primer 黏合，溫度、時間設定為 65°C、5 分鐘，然後 4°C、1 分鐘，加入 1 µl HiScript I Reverse Transcriptase (2000 U/100 µl)，PCR machine 溫度、時間設定為 42°C、30 分鐘進行 cDNA 合成，然後 85°C、5 分鐘終止酵素反應，cDNA 樣品保存於-20°C。

5. GUS 組織化學染色分析

取植物 sample，將 staining solution 加入至可淹沒 sample 為止，接著抽真空 15 分鐘，於 37°C 靜置 12 小時。接著去除 stain solution，加入 75% (v/v) 酒精洗掉葉綠素，並觀察培植體顏色變化。staining solution 配法為取 5 mg 5-bromo-4-chloro-3-indolyl glucuronide (X-Gluc) 溶於 1.0 ml dimethylformamide (DMF)，加入 2.5 ml 200 mM NaPO₄ buffer (最終濃度為 50 mM)，以去離子水定量至 10 ml，存放於 4°C、避光備用。

結 果

一、青花菜篩選與再生

青花菜下胚軸首先於培養基中心排成圓形，以利基因槍轟擊時金粒子能夠均勻分布至培植體表面 (圖 2)，下胚軸經基因轉殖後切成 0.25 公分大小，以含有 30 mg/l D-alanine 進行培植體篩選 (圖 2)，篩選一個月後可以發現部分培植體膨大並開始形成癒傷組織，其餘培植體則產生黃化並停止生長 (圖 2)。將 D-alanine 提高濃度為 45 mg/l 且篩選至兩個月後，可觀察到培植體開始抽芽 (圖 2)，隨著篩選和繼代，部分存活之培植體生長呈現停滯，與持續再生的培植體有極大差異 (圖 2)。篩選 4 個月後，將培植體移至含有 45 mg/l D-alanine 的發根培養基中進行發根誘導 (圖 2)。

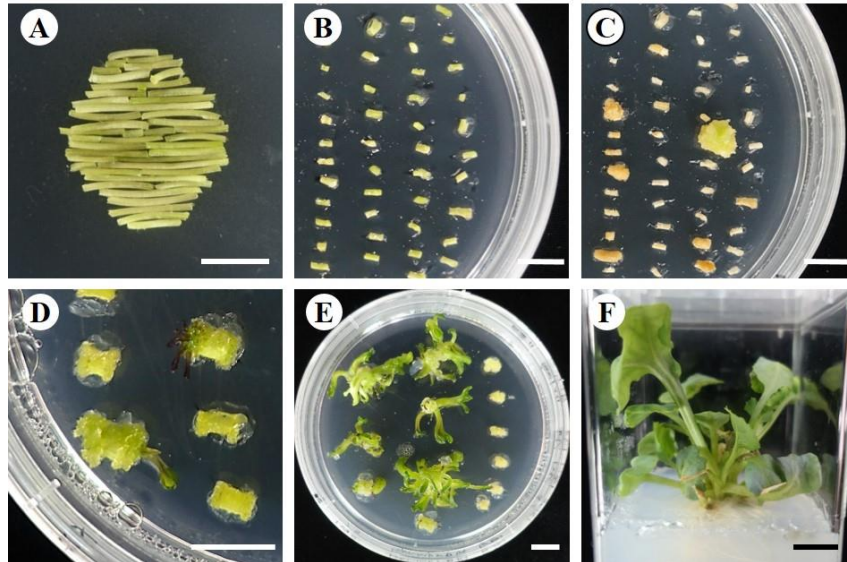


圖 2、青花菜下胚軸於基因轉殖後使用 d-alanine 篩選及再生。(A) 下胚軸排盤後基因轉殖；(B)、(C) 培植體經篩選後生成癒傷組織；(D)和 (E) 芽體形成及生長；(F) 培植體誘導發根。Bar = 1 cm。

Fig. 2. Broccoli hypocotyls were selected with d-alanine and spectinomycin, respectively, and induced regeneration after particle bombardment. (A) Hypocotyls were arranged before gene transformation. (B) and (C) Callus formation under D-alanine treatment. (D), and (E) Shoots were induced from callus and still selected with D-alanine. (F) Plantlet was achieved after rooting. Bar = 1 cm.

二、青花菜轉殖株 PCR 檢測

取適量大小之青花菜葉片，萃取 DNA 並以 PCR 檢測，發現可於轉殖株中檢測到轉殖的目標基因條帶。在 pMT91t-PpsbA-MyrDG 轉殖株中共有 7 棵植株可同時檢測到轉基因，包含 555 bp 大小的 *DAAO* 篩選基因片段 (圖 3A)，以及 498 bp 大小的 *GUS* 報導基因片段 (圖 3B)，最後是 757 bp 大小的 *Myr* 基因片段，值得注意的是由於 *Myr* 基因為青花菜內源基因，檢測轉基因的時也在包括非轉殖株及轉殖株偵測到了青花菜內源的 *Myr* DNA 片段 (圖 3C)。

在 pMT91t-PpsbA-EsmDG 轉殖株中也有 7 棵植株可同時檢測到轉基因，圖 4A 為檢測 555 bp 大小的 *DAAO* 基因，此外也可檢測到 498 bp 大小的 *GUS* 報導基因片段 (圖 4B)，並且也可檢測到 518 bp 大小的 *Esm* 基因片段 (圖 4C)。

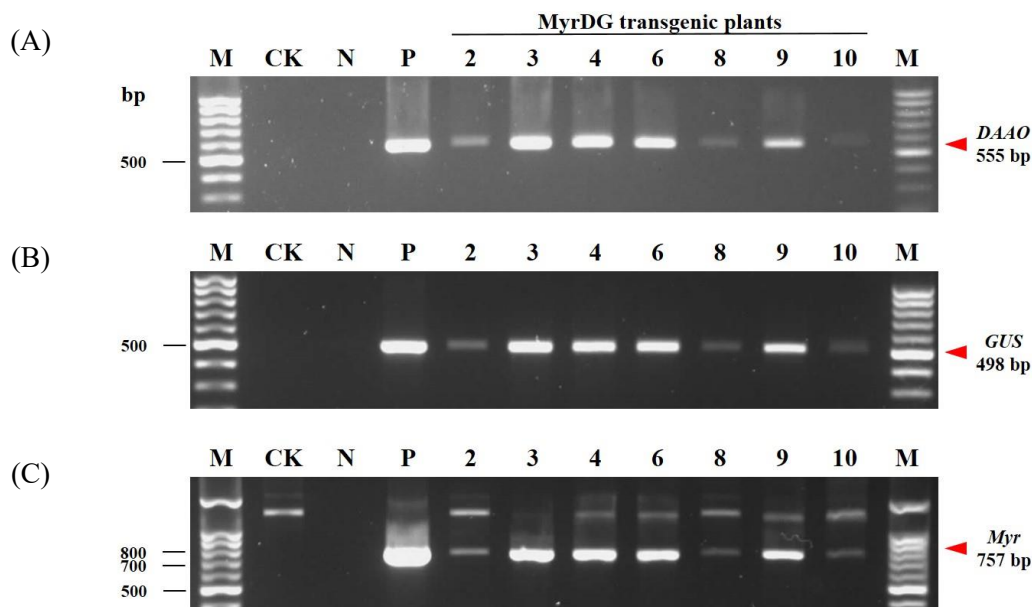


圖 3、PCR 檢測 pMT91t-PpsbA-MyrDG 轉植株。(A) 檢測 *DAAO* 基因；(B) 檢測 *GUS* 基因；(C) 檢測 *Myr* 基因。

Fig. 3. PCR analysis of *DAAO* (A), *GUS* (B) and *Myr* (C) genes in transplastomic pMT91t-PpsbA-MyrDG plants. M: 100 bp DNA marker ; CK: non-transgenic plant ; N: H₂O as negative control.

三、青花菜轉植株 RT-PCR 檢測

將 PCR 檢測結果中具有轉基因的轉植株萃取 RNA，進一步地以 RT-PCR 檢測轉基因是否於植株中表現，使用與 PCR 相同之引子，檢測目標基因 *Myr* 和 *Esm*。圖 5 顯示，相較於為轉植株，pMT91t-PpsbA-MyrDG 轉植株 no. 2、3、4、9 可檢測到大量 *Myr* 基因表現。而 pMT91t-PpsbA-EsmDG 轉植株 no. 3、4、6、8 可檢測到 *Esm* 基因大量表現，未轉植株則幾乎無 *Esm* 基因表現 (圖 6)。

四、轉植株 GUS 活性檢測

GUS 活性染色結果顯示 pMT91t-PpsbA-MyrDG 轉植株，於芽體及葉片具有 GUS 活性反應，而 pMT91t-PpsbA-EsmDG 轉植株則於葉片的檢測顯示具有 GUS 活性反應，代表轉載體中的 *GUS* 基因能夠轉錄、轉譯為具有功能的蛋白質 (圖 7)。

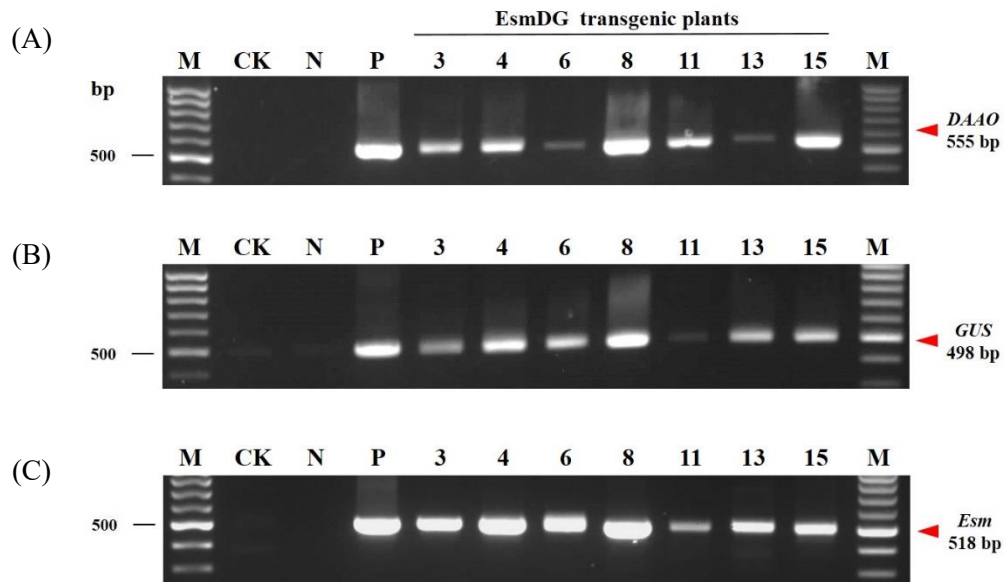


圖 4、PCR 檢測 pMT91t-PpsbA-EsmDG 轉植株。(A) 檢測 *DAAO* 基因；(B) 檢測 *GUS* 基因；(C) 檢測 *Esm* 基因。

Fig. 4. PCR analysis of *DAAO* (A), *GUS* (B) and *Esm* (C) genes in pMT91t-PpsbA-EsmDG transplastomic plants. M: 100 bp DNA marker ; CK: non-transgenic plant ; N: H₂O as negative control.

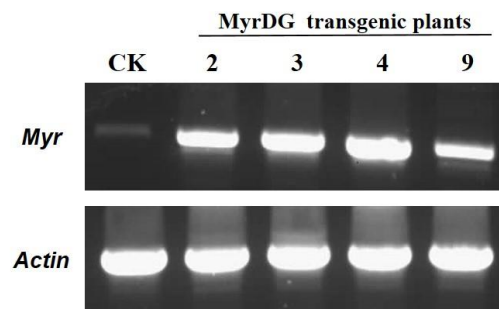


圖 5、RT-PCR 檢測 pMT91t-PpsbA-MyrDG 轉植株 *Myr* 基因。

Fig. 5. RT-PCR analysis for *Myr* gene in MyrDG transplastomic plants. CK: non-transgenic.

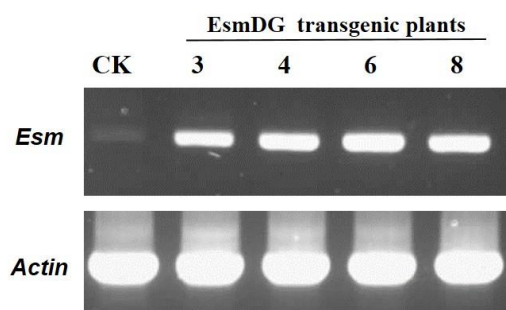


圖 6、RT-PCR 檢測 pMT91t-PpsbA-EsmDG 轉植株 *Myr* 基因。

Fig. 6. RT-PCR analysis for *Esm* gene in EsmDG tranplastomic plants. CK: non-transgenic.

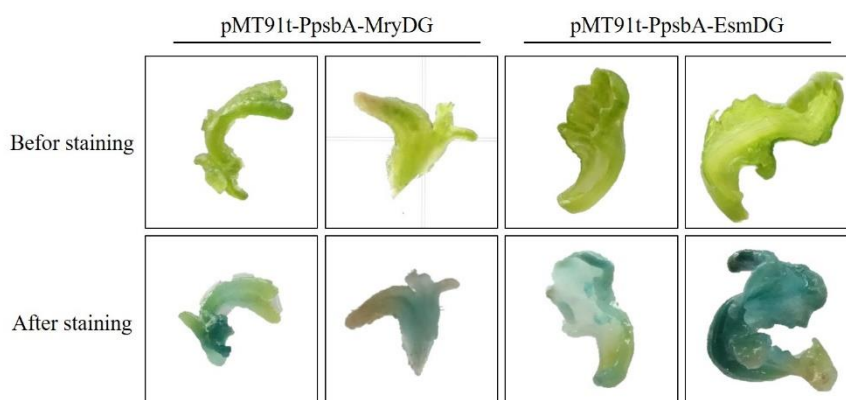


圖 7、以 GUS 活性染色檢測轉植株。

Fig. 7. GUS histochemical staining assay of tranplastomic plants.

討 論

葉綠體基因轉殖具有許多和基因轉殖所沒有的優點，如葉綠體的基因組具多重套數，且植物細胞具多個葉綠體，因此藉由葉綠體轉殖可表現大量外源基因。且農桿菌基因轉殖為將外源基因以隨機形式插入細胞和染色體中，基因表現或轉植株外表型態可能因插入染色體位置不同而產生基因靜默，葉綠體基因轉殖則可藉由選擇同源重組區域決定外源基因的插入位置，避免發生位置效應 (position effect)。最重要的是葉綠體基因轉殖之轉基因為母系遺傳，大部分作物的花粉中不存在葉綠體，故葉綠體基因轉殖不易出現轉基因隨花粉流出而汙染環境之情形 (Wang *et al.*, 2009)。葉綠體基因轉殖以往的研究多數為模式植物，

如水稻 (Lee *et al.*, 2006)、番茄 (Ruf *et al.*, 2001)和萵苣 (Kanamoto *et al.*, 2006)等，十字花科的園藝作物僅甘藍 (C.-W. Liu *et al.*, 2007)和油菜 (Cheng *et al.*, 2010)有葉綠體轉殖的報導。目前尚無葉綠體本基因轉殖應用於青花菜的紀錄，本研究以葉綠體基因轉殖將篩選基因 *DAAO*、報導基因 *GUS* 及目標基因 *Myr* 和 *Esm* 導入青花菜葉綠體中，期望能增加硫氰酸酯於轉植株的含量。青花菜下胚軸經測試發現較容易誘導再生抽芽，配合適當濃度 D-alanine 的篩選，於轉殖後約 4-5 個月能夠得到擬轉植株。篩選後期培植體抽芽後，原本的篩選濃度可能不足以對培植體產生影響 (圖 2E)，導致需要拉長篩選時間，且可能出現逃脫的未轉植株，此部分需再做試驗探討。轉植株的 PCR 檢測可發現位於兩側同源重組位置中間的轉基因皆進入青花菜細胞中，顯示葉綠體轉殖載體可以單一轉殖事件導入複數外源基因 (圖 3、4)。RT-PCR 結果顯示，相較於未轉植株 *Myr* 和 *Esm* 基因過量表現於轉植株中 (圖 5、6)，此結果與 Cao 等人 (2021)的研究相似，該研究將 *Myr* 基因以農桿菌方式轉殖進入青花菜，並以 CaMV35S 啟動子調控大量表現，未轉植株中的 *Myr* 基因呈現低表現量 (Cao *et al.*, 2021)。Liu 等人 (2018)的研究發現青花菜不同部位中，花的硫代葡萄糖苷含量較莖和葉片高，分別為 34.66、7.45、10.08 $\mu\text{mol/g dry weight}$ ，且花的 *Myr* 基因表現量為三者間最高，其次為莖；花的 *Esp* 基因同樣為最高，但 *Esm* 基因表現量最低，莖的 *Esm* 基因表現量最高，上述結果間接反應到花的腴類生成比例 (腴類/腴類和異硫氰酸酯生成率總和)相較於莖和葉為最高，莖的腴類生成比例反到最低，表示單獨增加 *Myr* 基因可能同時增加了下游腴類和異硫氰酸酯含量，但在 *Esp* 基因作用下則可能導致硫代葡萄糖苷最後多數形成腴類化合物，*Esm* 基因則可能為增加異硫氰酸酯含量的主要關鍵 (M. Liu *et al.*, 2018)。本實驗進行至轉植株分子驗證，欲比較單獨轉殖 *Myr* 和 *Esm* 基因的轉植株兩者間於異硫氰酸酯和腴類含量上的變化，需要進一步的實驗探討。

參 考 文 獻

- Boddupalli, S., J. Mein, D. James, and S. Lakkanna. 2012. Induction of phase 2 antioxidant enzymes by broccoli sulforaphane: Perspectives in maintaining the antioxidant activity of vitamins A, C, and E. *Front. Genet.* 3(7). DOI: 10.3389/fgene.2012.00007
- Cao, H., R. Liu, J. Zhang, Z. Liu, S. Fan, G. Yang, Z. Jin, and Y. Pei. 2021. Improving sulforaphane content in transgenic broccoli plants by overexpressing MAM1, FMO GS-OX2, and Myrosinase. *Plant Cell Tissue Organ Cult.* 146(3): 461-471.
- Cheng, L., H.-P. Li, B. Qu, T. Huang, J.-X. Tu, T.-D. Fu, and Y.-C. Liao. 2010. Chloroplast transformation of rapeseed (*Brassica napus*) by particle bombardment of cotyledons. *Plant Cell Rep.* 29(4): 371-381.
- Fahey, J. W., Y. Zhang, and P. Talalay. 1997. Broccoli sprouts: an exceptionally rich source of inducers of enzymes that protect against chemical carcinogens. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 94(19): 10367-10372.
- Kanamoto, H., A. Yamashita, H. Asao, S. Okumura, H. Takase, M. Hattori, A. Yokota, and K.-I. Tomizawa. 2006. Efficient and stable transformation of *Lactuca sativa* L. cv. Cisco (lettuce) plastids. *Transgenic Res.* 15(2): 205-217.
- Lee, S. M., K. Kang, H. Chung, S. H. Yoo, X. M. Xu, S.-B. Lee, J.-J. Cheong, H. Daniell, and M. Kim. 2006. Plastid transformation in the monocotyledonous cereal crop, rice (*Oryza sativa*) and transmission of transgenes to their progeny. *Mol. Cells* 21(3): 401.
- Li, H., Y. Xia, H.-Y. Liu, H. Guo, X.-Q. He, Y. Liu, D.-T. Wu, Y.-H. Mai, H.-B. Li, and L. Zou. 2022. Nutritional values, beneficial effects, and food applications of broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica* Plenck). *Trends Food Sci. Technol.* 119: 288-308.
- Liang, H., Q. Yuan, H. Dong, and Y. Liu. 2006. Determination of sulforaphane in broccoli and cabbage by high-performance liquid chromatography. *J. Food Compos. Anal.* 19(5): 473-476.
- Liu, C.-W., C.-C. Lin, J. J. Chen, and M.-J. Tseng. 2007. Stable chloroplast transformation in cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *capitata* L.) by particle bombardment. *Plant Cell Rep.*(10): 1733-1744.
- Liu, M., L. Zhang, S. L. Ser, J. R. Cumming, and K.-M. Ku. 2018. Comparative phytonutrient analysis of broccoli by-products: The potentials for broccoli by-product utilization. *Mol.* 23(4): 900.
- Murashige, T., and F. Skoog. 1962. A revised medium for rapid growth and bio assays

- with tobacco tissue cultures. *Physiol. plant.* 15(3): 473-497.
- Ruf, S., M. Hermann, I. J. Berger, H. Carrer, and R. Bock. 2001. Stable genetic transformation of tomato plastids and expression of a foreign protein in fruit. *Nat. Biotechnol.* 19(9): 870-875.
- Sivakumar, G., A. Aliboni, and L. Bacchetta. 2007. HPLC screening of anti-cancer sulforaphane from important European Brassica species. *Food Chem.* 104(4): 1761-1764.
- Wang, H.-H., W.-B. Yin, and Z.-M. Hu. 2009. Advances in chloroplast engineering. *J. Genet. Genomics* 36(7): 387-398.
- Zhang, J. A. Ober, and D. J. Kliebenstein. 2006. The gene controlling the quantitative trait locus *EPITHIOSPECIFIER MODIFIER1* alters glucosinolate hydrolysis and insect resistance in *Arabidopsis*. *Plant Cell* 18(6): 1524-1536.

Study on Transformation of Myrosinase and Eptithiospecifier Modifier Genes into Broccoli Chloroplast

Po-Heng Chen¹⁾ I-Chun Pan²⁾ Meng-Jiau Tseng³⁾

Key words: Broccoli, Chloroplast gene transformation, Myrosinase, Epithiospecifier modifier

Summary

Myrosinase-glucosinolate system is the defense mechanism specific in Brassicales plants. The downstream products from glucosinolate hydrolyzing by myrosinase can against insects and diseases. One of the products is isothiocyanate even have the pharmaceutical function for human. Sulforaphane is the most powerful anti-cancer isothiocyanate for now. Broccoli seeds and sprouts is rich in sulforaphane, but the edible flower head of broccoli has lower content of sulforaphane. To improve isothiocyanate content, the key genes of isothiocyanate biosynthesis *Myr* and *Esm* genes were introduced into broccoli chloroplast to overexpress by particle bombardment gene transformation in this study. The tranplastomic explants of broccoli were selected in regeneration medium with D-alanine after particle bombardment gene transformation. Results of PCR showed that foreign genes can be detected in tranplastomic broccolis. Furthermore, the target genes can be expressed in tranplastomic broccolis confirmed by RT-PCR. The GUS histochemical assay proved that the *GUS* transgene can be transcribed and translated into functional protein in tranplastomic broccolis.

1) Student in Ph.D. program, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

2) Associate Professor, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

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

根溫對黃秋葵營養生長期生育性狀之影響

彭 禹 川¹⁾ 黃 三 光²⁾

關鍵字：黃秋葵、根溫、莖徑、葉面積

摘要：本試驗探討根溫對黃秋葵營養生長期不同生育階段幼苗生育之影響，結果顯示在氣溫低於生長適溫情況下增加根溫能使二片、四片及六片本葉生育階段幼苗之莖徑、根長、總葉面積、植體鮮重、地上部乾重、葉片乾重、根乾重、地上部含水量及莖含水量均顯著高於未增加根溫之對照組，代表低於生長適溫情況下，增加根溫能有效改善植株之營養生長，且低溫乃為抑制黃秋葵營養生長的重要因素之一。

前 言

黃秋葵為一年生熱帶果菜作物，台灣位處熱帶、亞熱帶地區，屬黃秋葵適栽地區。民國 99 年至 109 年約 10 年之期間，黃秋葵之價格與產量逐年攀升，顯示黃秋葵之市場接受度逐年提高。依據農情報告資源網 2021 年之資料，黃秋葵主要產地為嘉義縣鹿草鄉，其地理位置位於北迴歸線，屬熱帶與亞熱帶交界處。黃秋葵主要盛產期為夏季而冬季產量稀少，使得全年價格波動幅度大。黃秋葵生長週期約 90-100 天，秋作若遭遇低溫，則會使黃秋葵剛結成的幼嫩蒴果生長停滯，並且造成果實黃化、畸形與死亡，使得產量下降且果實品質低落，導致農民血本無歸，也使得春季黃秋葵批發價居高不下。過去溫度與黃秋葵相關的研究多著墨於氣溫對黃秋葵生育及產量之影響，鮮少有根溫相關之報導，而對比於氣溫對黃秋葵生育之影響，根溫的影響或許更顯著，因此，本試驗乃針對根溫對黃秋葵營養生長階段生育性狀之影響進行探討。

1) 國立中興大學園藝學系研究生。

2) 國立中興大學園藝學系副教授、通訊作者。

材 料 與 方 法

一、試驗材料與設備

- (一) 育苗與栽培容器：分別為 35 格 PE 材質圓形穴盤及 1 呎無孔花盆(內徑 29.7 cm x 高度 23.5 cm)。
- (二) 泥炭土(peat moss)：使用德國 Klasmann-Deilmann 公司的 Potground H 商用育苗介質。
- (三) 植物材料：'永福'黃秋葵，種子購自農友種苗股份有限公司。
- (四) 走入式植物生長箱(FAME F-102)：尺寸為 200*100*190cm (L*W*H)，內部燈具高度可依植物材料高度進行調整，生長箱具備空氣循環裝置保持內部氣體流通，溫度設定為日/夜溫 20/15°C。
- (五) 普力桶(橘色 K-290)：型號為 K-290，長度 x 寬度 x 高度(L*W*H)為 93.5 cm x 73.0 cm x 47.5 cm，用於盛水浸泡盆栽使根部隔水加熱。
- (六) 加溫棒：根溫處理組利用加溫棒(內置式，ISTA 伊士達，台灣)將水溫加熱至 30±0.5 °C，對照組之水溫則未經加熱處理。
- (七) 循環馬達：使用 Power head (A-060-800)循環馬達(上鴻實業有限公司，桃園，台灣)，該馬達主要用以協助加溫水體之循環流動，使普力桶(K-290)內各處之水溫能維持均勻。

二、栽培管理與試驗處理

(一) 育苗與水分管理：

於 2021/09/13 開始育苗，待幼苗生長至 2 片本葉時(2021/09/27)，將幼苗移植至 1 呎無孔花盆(共計 45 盆)，置於中興大學園藝系溫室內，每盆以 1000 mL 自來水進行澆灌，每三天澆灌一次，以確保植株正常生長及盆底無積水之情形發生，持續澆水至幼苗達到試驗所需之本葉數後，篩選株高與葉片大小較均一的黃秋葵幼苗進行試驗。

(二) 根溫試驗：

於育苗後 14 天(2021/09/27)將二片本葉階段之黃秋葵幼苗(12 株)移入生長箱使用加溫棒進行根溫處理，處理組 6 株，對照組 6 株。間隔一週後(2021/10/05)將四片本葉階段之黃秋葵移入生長箱進行根溫試驗，並針對 2021/09/27 移入生長箱之植株進行生育性狀調查。於 2021/10/05 移入生長箱之植株經過處理七天於 2021/10/11 移出調查生育性狀，同時間(2021/10/11)將六片本葉階段之黃秋葵(共 12 株)移入生長箱進行根溫處理 14 天，於 2021/10/25 移出後進行生育性狀調查。

三、生育性狀調查及生長箱設定

- (一) 植株之生育性狀調查項目包含株高、莖徑、葉片數、單片本葉葉面積、總葉面積、地上部、葉片、莖及根之鮮、乾重，根冠比(root/shoot ratio, R/S ratio)，地上部、葉片、莖及根之含水量。

(二) 生長箱溫度及光強度之設定

生長箱日/夜溫設定為 20/15°C，光強度設定為 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。

結 果

一、根溫對二片本葉幼苗生育性狀之影響

黃秋葵於二片本葉階段時進行移植，於日/夜氣溫為 20/15℃ 之走入式生長箱中進行根溫處理，處理組以加溫棒將根溫加溫至 30℃，處理七天後進行生育性狀調查。結果顯示處理組之株高、莖徑、根長、第一片至第三片本葉之葉面積與總葉面積，皆顯著優於根溫未加熱之對照組，唯葉片數則與對照組相較並無顯著差異，處理組地上部、葉片、莖及根之鮮、乾重則皆顯著優於對照組，處理組根冠比與對照組相較則無顯著差異。處理組地上部、葉片、莖及根之含水量亦皆為顯著優於對照組(表 1)。

表 1. 根溫對黃秋葵二片本葉幼苗生育性狀之影響。

Table 1. Effects of root temperature on growth phenotype of okra seedling at two-leaf stage.

	株高 (cm)	莖徑 (mm)	根長 (cm)	葉片數	單片本葉葉面積(cm ²)			總葉面積 (cm ²)	
					第一片	第二片	第三片		
對照組	14.93	3.94	18.80	2.83	24.96	26.61	15.84	74.10	
處理組	15.93	4.32	40.98	3.17	30.38	47.83	39.12	122.24	
<i>t</i> test	0.043	0.003	0.0002	0.230	0.034	0.0004	0.001	0.000	
<i>P</i> value ^z	*	**	***	NS	*	***	***	***	
	地上部		葉片		莖		根		R/S ratio (%)
	鮮重 (g)	乾重 (g)	鮮重 (g)	乾重 (g)	鮮重 (g)	乾重 (g)	鮮重 (g)	乾重 (g)	
對照組	5.13	0.62	1.90	0.31	1.94	0.16	3.12	0.16	34.0
處理組	8.20	0.73	3.47	0.39	2.79	0.18	6.23	0.23	41.0
<i>t</i> test	0.0004	0.023	0.0001	0.023	0.004	0.015	0.001	0.009	0.072
<i>P</i> value ^z	***	*	***	*	**	*	***	**	NS
	地上部含水量 (%)		葉片含水量 (%)		莖含水量 (%)		根含水量 (%)		
對照組	88.0		84.0		92.0		95.0		
處理組	91.0		89.0		94.0		96.0		
<i>t</i> test	0.0003		0.0001		0.001		0.001		
<i>P</i> value ^z	***		***		***		***		

^z Value from *t* test: NS, *, **, *** represented nonsignificant or significant at $P \leq 0.05$, 0.01 or 0.001, respectively.

二、根溫對四片本葉幼苗生育性狀之影響

黃秋葵於二片本葉階段時進行移植，達四片本葉時，移入至日/夜溫 20/15℃之走入式生長箱中進行根溫處理，處理組以加溫棒將根溫加溫至 30℃，處理七天後進行生育性狀調查。結果顯示處理組之莖徑、根長、第四片、第五片葉面積及總葉面積皆顯著優於對照組，唯株高、葉片數及第一片到第三片本葉葉面積二組間無顯著差異。植體各部位之鮮、乾重方面，除莖乾重無顯著差異外，處理組皆顯著優於對照組，其中以莖鮮重及根鮮、乾重極顯著($P \leq 0.001$)優於對照組。處理組根冠比為 34.0%顯著優於對照組。此外，處理組地上部含水量與莖含水量皆極顯著($P \leq 0.001$)優於對照組，葉片含水量亦顯著優於對照組，然根含水量則二組間並無顯著差異(表 2)。

表 2. 根溫對黃秋葵四片本葉幼苗生育性狀之影響。

Table 2. Effects of root temperature on growth phenotype of okra seedling at four-leaf stage.

	株高 (cm)	莖徑 (mm)	葉片數	根長 (cm)	單片本葉葉面積(cm ²)					總葉面積 (cm ²)
					第一片	第二片	第三片	第四片	第五片	
對照組	21.53	5.78	4.67	34.68	41.13	67.38	87.71	78.08	56.09	311.61
處理組	23.73	6.42	5.17	57.48	31.85	58.33	83.93	122.79	115.73	412.65
<i>t</i> test	0.085	0.016	0.101	0.002	0.130	0.127	0.410	0.009	0.001	0.002
<i>P</i> value ^z	NS	*	NS	**	NS	NS	NS	**	**	**
	地上部		葉片		莖		根		R/S ratio (%)	
	鮮重 (g)	乾重 (g)	鮮重 (g)	乾重 (g)	鮮重 (g)	乾重 (g)	鮮重 (g)	乾重 (g)		
對照組	18.24	1.84	7.39	1.27	7.28	0.57	8.50	0.42	23.0	
處理組	26.39	2.17	10.01	1.57	10.37	0.60	14.84	0.74	34.0	
<i>t</i> test	0.001	0.013	0.009	0.009	0.001	0.294	0.001	0.0003	0.01	
<i>P</i> value ^z	**	*	**	**	***	NS	***	***	**	
	地上部含水量 (%)		葉片含水量 (%)		莖含水量 (%)		根含水量 (%)			
對照組	89.93		82.84		92.17		95.02			
處理組	91.76		84.27		94.18		94.98			
<i>t</i> test	0.0003		0.042		0.0001		0.888			
<i>P</i> value ^z	***		*		***		NS			

^z Value from *t* test: NS, *, **, *** represented nonsignificant or significant at $P \leq 0.05$, 0.01 or 0.001, respectively.

三、根溫對六片本葉幼苗生育性狀之影響

黃秋葵於二片本葉階段時進行移植，達六片本葉時，移入至日/夜氣溫為 20/15℃ 之走入式生長箱中進行根溫處理，處理組以加溫棒將根溫加溫至 30℃，處理十四天後進行生育性狀調查。結果顯示處理組之株高、莖徑、根長、第七片本葉面積與總葉面積皆顯著優於對照組，唯處理組葉片數與第四片至第六片及第八片本葉之葉面積與對照組無顯著差異。處理組地上部、葉片、莖及根之鮮、乾重皆顯著優於對照組，處理組根冠比為 25.0% 顯著優於對照組。此外，處理組莖含水量極顯著 ($P \leq 0.001$) 優於對照組，處理組地上部及根含水量亦顯著優於對照組(表 3)。

表 3. 根溫處理對黃秋葵六片本葉幼苗生育性狀之影響。

Table 3. Effects of root temperature on growth phenotype of okra seedling at six-leaf stage.

	株高 (cm)	莖徑 (mm)	葉片 數	根長 (cm)	單片本葉葉面積(cm ²)					總葉面 積 (cm ²)
					第四片	第五片	第六片	第七片	第八片	
對照組	34.33	8.81	8.17	47.80	137.69	194.58	219.08	156.87	87.63	854.73
處理組	37.93	10.88	8.83	66.25	179.98	252.96	314.28	326.54	254.81	1451.45
<i>t</i> test	0.006	0.013	0.148	0.009	0.221	0.230	0.085	0.002	0.052	0.001
<i>P</i> value ^z	**	*	NS	**	NS	NS	NS	**	NS	**
	地上部		葉片		莖		根		R/S ratio (%)	
	鮮重 (g)	乾重 (g)	鮮重 (g)	乾重 (g)	鮮重 (g)	乾重 (g)	鮮重 (g)	乾重 (g)		
對照組	38.05	4.06	19.99	2.41	19.87	1.64	13.57	0.79	20.0	
處理組	105.45	7.01	46.22	4.69	40.36	2.32	34.82	1.74	25.0	
<i>t</i> test	0.003	0.007	0.002	0.007	0.003	0.018	0.002	0.004	0.014	
<i>P</i> value ^z	**	**	**	**	**	*	**	**	*	
	地上部含水量 (%)		葉片含水量 (%)		莖含水量 (%)		根含水量 (%)			
對照組	93.29		87.91		91.72		94.15			
處理組	96.82		89.65		94.29		95.05			
<i>t</i> test	0.008		0.153		0.001		0.003			
<i>P</i> value ^z	**		NS		***		**			

^z Value from *t* test: NS, *, **, *** represented nonsignificant or significant at $P \leq 0.05$, 0.01 or 0.001, respectively.

討 論

黃秋葵雖原生於熱帶，但主要栽培區域現已遍及亞熱帶地區，屬耐熱蔬菜，在全球具有重要的經濟和營養價值，2021 年 FAO 之統計資料顯示其主要產區集中在印度與奈及利亞。在台灣，主要生產地為嘉義縣鹿草鄉，冬季因黃秋葵產量少，往往導致價格高漲。Sionit (1981) 等人之研究將黃秋葵之生育分為兩個階段：一為營養生長期(止於五片本葉大小)，其次為生殖生長期(始於可見花蕾期)，同時指出黃秋葵結果之生育溫度以日/夜溫 29/23°C 為最低，若溫度降低至 26/20°C 時則只能維持其營養生長而無法開花結果，當日/夜溫降至 23/17°C 時，黃秋葵兩階段之生育情形皆會受到抑制，於日/夜溫 20/14°C 時，黃秋葵只能維持短時間的生長後隨即死亡。此外，黃秋葵幼苗於更低溫條件下，例如經過 5°C 及 10°C 低溫處理 48 與 96 小時均會產生不同程度寒害且延遲始花天數，在 5°C 處理 144 小時會導致幼苗死亡(Omran and Powell, 1971)。綜合上述，黃秋葵結果之最低日/夜溫為 29/23°C，日/夜溫為 23/17°C 時，生育會受抑制，而在 5 及 10°C 則會造成永久傷害甚至死亡，顯示黃秋葵生育期間日/夜溫低於 29/23°C 時，則無法正常生育。

在各種非生物逆境中，低溫是抑制植物生長發育的主要逆境之一。植物根系的主要功能為吸收、固定以及與土壤微生物產生相互作用，植物根系最主要吸收水分的部位為根毛，當根毛感應到低溫時，會使根尖生長在幾分鐘內迅速產生變化，另外低溫最主要感應區域則為延長部至根冠的區間稱為 translation zone (TZ)，不僅是各種環境感知區域，也是激素作用的活躍區域，生長激素與環境的交感進而會使根毛生長、密度、長度和形態發生動態的變化(Kong *et al.*, 2018)。根毛於發育期間會不斷因應根區周遭環境之變化，以促進或抑制吸收面積。Nagel (2009) 等人之研究顯示低溫會導致主根與側根間的分枝角度變小、主根與側根長度及根尖伸長率降低，進而使根部體積減少。在 10°C 的處理下，水耕葉萵苣之生長性狀如莖長、地上部及根乾、鮮重、根長、葉面積與葉長和葉寬均顯著受到抑制；萵香之葉綠素含量、淨光合速率、氣孔導度與蒸散速率亦皆顯著下降，並造成根部壓力下降，使得地上部葉片缺乏水分，而使生長速率下降(Lam *et al.*, 2020; Sakamoto and Suzuki, 2015)。王(2016)研究番木瓜發現於台灣冬季低溫期提高番木瓜之根溫，將根溫控制於 27°C 時，株高、莖徑及根長皆顯著高於對照組，此外，植株的乾鮮重亦優於對照組，上述之結果說明了低於生長適溫之條件下提升根溫乃有利於作物之生長。

苗期生育狀況優良與否對作物後期的抗逆性與產量具有重要的影響(Xia *et al.*, 2021)。Kurunc and Ünlükara (2009) 的研究顯示，使用 1 呎盆之盆栽定植黃秋葵三週後，植株的株高與蒸散作用會因盆器空間不足而受限，故 1 呎盆栽定植黃秋葵不應超過三週，此外，當根系生長於有限的盆器中則會因資源不足而產生變化，例如根系之生長會使得盆器內的孔隙量減少，降低可用的氧氣(Peterson *et al.*, 1991)，進而影響植物的生理與形態，包括生物量積累與分配、光合作用、葉綠素含量、植物水分關係、養分吸收、呼吸作用、開花及產量等(Kurunc and Ünlükara, 2009)。本試驗結果顯示，二片本葉階段之黃秋葵幼苗經根溫處

理七天後，株高、莖徑與根長皆顯著高於對照組(表 1)。四片本葉階段之幼苗經根溫處理七天後，雖株高高於對照組，但於統計上並無顯著差異，莖徑則顯著優於對照組(表 2)。六片本葉階段之幼苗經根溫處理十四天後，其株高、莖徑與根長皆顯著優於對照組(表 3)，此外，二、四、六片本葉階段之幼苗經根溫處理後之葉片數雖略高於對照組，但在統計上並無顯著差異。上述結果顯示不同生育階段幼苗之生育性狀，如莖徑及根長於低於生育適溫下皆會因根溫提升而增加。Xia *et al.* (2021)發現在提高根溫至 30°C 的處理下，能夠使玉米之株高、莖徑、葉面積、根表面積、根重量和總根長皆顯著增加，結果與本試驗相符。

根部最主要的功能為吸收、固定、運輸及儲藏，當根系感應溫度逆境時，會使根系的生長速率及吸收水分速率改變，進而造成吸收水分總量改變，根系主要吸收水分的部位為根毛，根系吸水方式又可分為被動吸收與主動吸收。被動吸收為水分藉由擴散作用進入植物體內，並經由葉片的蒸散拉力將水分帶至植體各部位，而主動吸收則是藉由水分穿越細胞的半透膜而被吸收，此過程是需要消耗能量的，這些能量的供給來自呼吸作用，所以主動吸收與呼吸作用是密切相關的。本試驗結果顯示，對各生育階段黃秋葵幼苗而言，根溫處理組地上部與莖含水量及植體鮮重皆顯著高於對照組，顯示增加根溫能提高根系吸水量(表 1、表 2、表 3)，此或與根溫提升促進了根部之呼吸率進而增進水分之主動吸收有關，然此仍有待進一步之探討。另一方面，黃秋葵幼苗二片、四片與六片本葉階段處理組的地上部、葉片及根乾重也會因提升根溫而顯著增加。

低根溫條件下，根部型態會發生改變，導致呼吸作用減少，使得根系吸水減少連帶減少養分吸收(He *et al.*, 2022)，此現象已於許多作物上被發現，例如：葡萄(Clarke *et al.*, 2015)、水稻(Jia *et al.*, 2019)及春大麥(Füllner *et al.*, 2012)。本研究結果顯示二片、四片及六片本葉階段處理組之根乾重顯著優於對照組，顯示增加根溫能增加黃秋葵根系之生長，或使得根系產生更多的根毛，進而提升水分及養分之吸收能力。前人研究指出根毛於發育期間會不斷適應根區周遭環境之變化，以促進或抑制吸收面積，提升根溫會增加主根與側根間的分枝角度、主根與側根長度及根尖伸長率上升，進而使根部體積增加(Poire *et al.*, 2010)。過去亦有研究發現提高玉米幼苗根溫對根部與地上部之乾物重累積有顯著正面之影響(Xia *et al.*, 2021)，本研究結果指出經根溫處理之黃秋葵無論地上部或地下部乾重都有顯著的提升，與前人研究相符。

二片本葉階段黃秋葵幼苗經根溫處理七天後，第三片本葉(進入生長箱內才新生的葉片)之葉面積極顯著($P \leq 0.001$)高於對照組(表 1)，顯示根溫處理能增加新生本葉之葉面積。四片本葉階段黃秋葵幼苗經根溫處理七天後，第四片及第五片本葉之葉面積則顯著高於對照組(表 2)，黃秋葵六片本葉階段幼苗經根溫處理十四天後，也有觀察到類似之現象，處理組第七片本葉之葉面積顯著高於對照組(表 3)，上述結果顯示，增加根溫能提升新生葉片之葉面積。

根冠比(R/S ratio)為作物健康的重要指標，能夠反應植物地上部與地下部間的相關性，近幾年來，根冠比常作為逆境的敏感指標，如果根區溫度適度提高，能顯著提高根冠比

(Zhao *et al.*, 2011)。在具有營養物質相互交流的根、莖及葉中，莖、葉所製造之光合產物，能供根部生長所需，而根部則提供了莖及葉部生長所需之水分及礦物元素。氮多時，葉片較大使得根冠比較小，而磷、鉀多時則利於根系生長，則根冠比較大。本研究發現二片本葉幼苗處理組之根冠比相較於對照組雖未達顯著差異，但高於對照組，且四片及六片本葉階段之幼苗，其根冠比則顯著高於對照組，與前人研究相類似。另一方面，Stratópoulos *et al.* (2019)發現根冠比增加能提高作物對乾旱的耐受性。本研究結果顯示黃秋葵四片及六片本葉階段處理組幼苗的根冠比也高於對照組，代表根溫處理或可同時提升幼苗對乾旱之耐受性。綜合上述，增加黃秋葵營養生長期之根溫能提升植體鮮重、地上部乾重、葉片乾重、根乾重、地上部含水量及莖含水量，並能有地效幫助作物於低溫逆境下維持較佳的生長表現(表 1、表 2、表 3)。

總而言之，增加根溫能有效改善黃秋葵幼苗於低於生長適溫下之生長，然而對生殖生長之影響仍屬未知，未來農民於冬季栽培黃秋葵時可藉由提升根溫來改善其營養生長，至於根溫對生殖生長之影響則仍有待進一步之探討。

參考文獻

- 王裕杰。2016。根溫處理對'台農二號'番木瓜生長之影響。國立中興大學園藝學系碩士論文。
- Clarke, Simon J, K.J. Lamont, H.Y. Pan, L.A. Barry, A. Hall, and S.Y. Rogiers. 2015. Spring root-zone temperature regulates root growth, nutrient uptake and shoot growth dynamics in grapevines. *Aust. J. Grape. Wine R.* 21:79-89.
- Füllner, K, V.M. Temperton, U. Rascher, S. Jahnke, R. Rist, U. Schurr, and A.J. Kuhn. 2012. Vertical gradient in soil temperature stimulates development and increases biomass accumulation in barley. *Plant Cell Env.* 35:884-892.
- He, F., B. Thiele, T. Kraska, U. Schurr, and A.J. Kuhn. 2022. Effects of root temperature and cluster position on fruit quality of two cocktail tomato cultivars. *agronomy*. 12:1275.
- Jia, Y, J. Wang, Z. Qu, D. Zou, H. Sha, H. Liu, J. Sun, H. Zheng, L. Yang, and H. Zhao. 2019. Effects of low water temperature during reproductive growth on photosynthetic production and nitrogen accumulation in rice. *Field Crop. Res.* 242:107587.
- Kong, X., G. Liu, J. Liu, and Z. Ding. 2018. The Root Transition Zone: A Hot Spot for Signal Crosstalk. *Trends Plant Sci.* 23:403-409.
- Kurunc, A. and A. Ünlükara. 2009. Growth, yield, and water use of okra (*Abelmoschus esculentus*) and eggplant (*Solanum melongena*) as influenced by rooting volume. *New Zeal. J. Crop. Hort.* 37:201-210.
- Lam, V.P., S.J. Kim, G.J. Bok, J.W. Lee, and J.S. Park. 2020. The effects of root temperature on growth, physiology, and accumulation of bioactive compounds of *agastache rugosa*. *Agriculture-london*. 10:5-162
- Nagel, K. A, B. Kastenholz, S. Jahnke, D.V. Dusschoten, T. Aach, M. Mühlich, D. Truhn, H. Scharr, S. Terjung, and A. Walter. 2009. Temperature responses of roots: impact on growth, root system architecture and implications for phenotyping. *Funct. Plant Biol.* 36:947-959.
- Omran, R. G., and R.D. Powell. 1971. Chilling injury in okra (*Hibiscus esculentus* L.) in relation to plant development and nitrogen metabolism. *Plant Soil.* 35:357-69.
- Poire, R., H. Schneider, M.R. Thorpe, A.J. Kuhn, U. Schurr, and A. Walter. 2010. Root cooling strongly affects diel leaf growth dynamics, water and carbohydrate relations in *Ricinus communis*. *Plant Cell Environ.* 33:408-417.
- Peterson, T.A., M.D. Reinsel, and D.T. Krizek. 1991. Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill., cv. 'Better Bush') plant response to root restriction. *J. Exp. Bot.* 42:1233-1240.
- Sakamoto, M., and T. Suzuki. 2015. Effect of root-zone temperature on growth and quality of hydroponically grown red leaf lettuce (*Lactuca sativa* L. cv. Red Wave). *American J. Plant*

Sci. 06:2350.

Sionit, N., B.R. Strain, and H.A. Beckford. 1981. Environmental Controls on the Growth and yield of Okra. I. Effects of temperature and CO₂ enrichment at cool temperature 1. Crop Sci. 21:885-888.

Stratópoulos, L. M. Faní, C. Zhang, K.H. Häberle, S. Pauleit, S. Duthweiler, H. Pretzsch, and T. Rötzer. 2019. Effects of drought on the phenology, growth, and morphological development of three urban tree species and cultivars. Sustainability. 11:5117.

Xia, Z., G. Zhang, S. Zhang, Q. Wang, Y. Fu, and H. Lu. 2021. Efficacy of root zone temperature increase in root and shoot development and hormone changes in different maize genotypes. Agricult. 11:477

Zhao, X., K.H. Dong, Y. Zhang, H.S. Zhu, W.D. Yang, and M.H. Yang. 2011. Drought resistance and root anatomy of *Lespedeza davurica* (Laxm.) Schindl. Huaxue Xuebao. 19: 13-19.

Effect of Root Temperature on the Vegetative Growth Phenotype of Okra (*Abelmoschus esculentus*)

Yu-Chuan Peng¹⁾ San-Gwang Hwang²⁾

Keywords : Okra (*Abelmoschus esculentus*), Root temperature, Stem diameter, Leaf area

Summary

The effect of root temperature on different vegetative growth stages of okra seedlings was investigated in this study. Our results indicated that treatment with increase in root temperature under suboptimal temperature conditions significantly enhances stem diameter, root length, total leaf area, plant fresh weight, above-ground dry weight, leaf dry weight, root dry weight, above-ground water content and stem water content in two-leaf, four-leaf, and six-leaf stage seedlings as compared to non-treated control. These results suggested that increase root temperature under suboptimal temperature conditions may effectively improve vegetative growth of okra and low temperature is one of the important factors inhibiting vegetative growth of okra.

1) Student in M.S. Program, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

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

光週期對薤菜開花之影響¹⁾

馬 彩 容²⁾ 黃 三 光³⁾

關鍵字：光週期、開花、臨界日長

摘要：薤菜為台灣夏季重要的蔬菜之一，於冬季雖可種植但易開花，而開花會使薤菜作為食用蔬菜的商品價值降低。過去與薤菜開花相關之研究相對較少，是以本研究乃針對光週期對薤菜開花之影響進行探討。試驗結果顯示薤菜為短日植物，且臨界日長介於 11-12 小時之間，當日長高於 12 小時，兩供試品種皆無花芽形成。另一方面，兩供試品種薤菜於 3-8 片本葉生育階段之幼苗經短日誘導後均能開花，推測薤菜或許並無幼年期對光週誘導不敏感之現象，即使存在，其幼年期應非常短暫。在每日光照 8 小時之短日條件下，兩供試品種之始花節位與短日處理前幼苗之本葉數均有高度相關性，或可應用短日處理前幼苗之本葉數來預測不同營養生育階段之薤菜幼苗於短日處理(每日 8 小時光照)下之始花節位。

前 言

薤菜的主要產季為 4-9 月的夏季，因此被視為台灣重要的夏季蔬菜，但消費者於秋、冬季對薤菜依然有需求，然而秋冬的低溫易使薤菜產生寒害，且冬季易遭遇開花的問題，過去中部地區多以塑膠棚隧道進行冬季薤菜保溫栽培(謝等，2009)，但冬季開花的問題依然沒有解決，若能釐清影響薤菜開花之環境因子條件為何，對冬季薤菜之生產定能有所助益。植物的開花會受到外在環境因子與內在基因之影響，環境因子主要分為光週期、溫度、光強度等，上述這些環境因子皆會因不同物種而產生不同的影響，而大部分物種則會受光週期與溫度之交互影響，導致植株由營養生長轉為生殖生長，以繁衍後代。過去研究結果顯示冬季因溫度較低，薤菜生長緩慢，且易受應環境因子影響而開花(楊，

1) 本文為第一作者碩士論文之一部分。

2) 國立中興大學園藝系研究生。

3) 國立中興大學園藝系副教授、通訊作者。

2004)，然而迄今薤菜開花之臨界日長及不同營養生育階段幼苗對短日之感應性仍未釐清，是以本研究乃針對此方面進行探討，期能進一步了解光週期對薤菜開花之影響。

材料與方法

試驗一、影響薤菜開花之臨界日長

(一) 植體作物品種及栽培材料

1. 作物品種：採用品種為'新桃園一號'、'白骨'兩個品種，'新桃園一號'購自於農友種苗股份有限公司；'白骨'為台灣常用品種，購自於豐田種子。
2. 栽培介質：Potgrond H 商用育苗介質(中纖黑泥炭 90%、白泥炭 10%)，由德國的 Klasmann-Deilmann 公司生產。
3. 種植容器：三吋盆(直徑×高=9×7 cm)。

(二) 試驗方法:

1. 植株栽培：試驗於 2021 年 4 月 1 日開始，先於中興大學園藝學系溫室進行育苗，將薤菜種子播於三吋盆中，發芽後進行疏苗至每盆 1 株，並在長至 8 片本葉時，將植株移至生長箱(Model LBG-500; Lead-Biotech Instruments Co., Ltd., Taichung City, Taiwan)進行光週期處理，植株於栽培期間，每週以葉綠精(N:P:K=15-10-15)稀釋 500 倍進行施肥一次，以澆灌方式施肥，每一品種 3 重複，每重複 4 株。
2. 生長箱設定：因薤菜為短日植物，故將光週期處理設定為 8、9、10、11 及 12 小時，溫度設定為日溫 30°C，夜溫 25°C，光度為 PPFD 425 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。
3. 開花性狀調查：
 - (1) 始花日數(Days to the first visible flower bud, DTF)：記錄由進生長箱開始起算至首次出現花芽達 2 mm 時所需的天數。
 - (2) 始花節位(Node-count increase to the first visible flower bud, NTF)：薤菜首次出現可見花芽長度達 2 mm 時，記錄該花芽所在之節位。花芽與葉芽間的差異判斷，可由尖端形狀來區分，葉芽的尖端則呈現三角形，尖端較平且寬的為花芽(圖 1、2)。
 - (3) 開花株比例：出現花苞株數/栽培總株數×100，單位為%，於植株移入生長箱後的第 28 天進行調查。

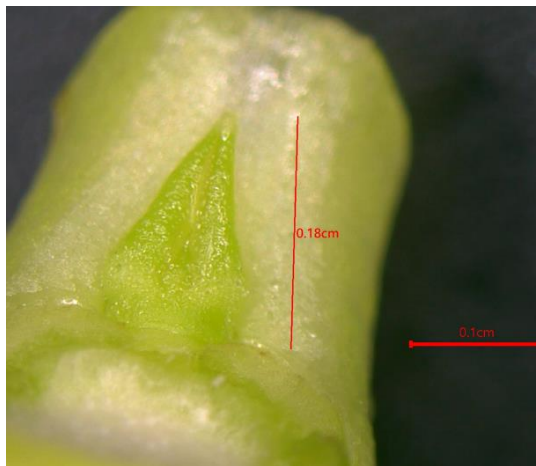


圖 1. 解剖顯微鏡下薤菜葉芽之型態



圖 2. 解剖顯微鏡下薤菜花芽之型態

試驗二、短日處理對不同營養生育階段幼苗開花之影響

(一)作物材料、栽培介質及種植容器同試驗一。

(二) 試驗方法

1. 植株品種：試驗於 2021 年 6 月 29 日開始，試驗地點與試驗一相同，將薤菜種子分批播於三吋盆中，發芽後進行疏苗至每盆 1 株，待本葉生長至 3、4、5、6、7 及 8 片本葉時，將不同營養生育階段之幼苗同時移至生長箱進行短日處理，施肥及澆水的方式皆與試驗一相同。
2. 生長箱設定：光週期設定為日/夜 8/16 小時之短日處理，日/夜溫度設定為 30/25℃，光度為 PPFD 425 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。
3. 營養生育階段(短日處理前之本葉數)與始花節位之相關性分析:運用 Excel(2016 版本)進行營養生育階段(短日處理前之本葉數)與始花節位之相關性分析，相關係數 r 若介於 0.1-0.39 代表兩者為低度相關，0.4-0.69 為中度相關，0.7 以上則為高度相關。

(三) 試驗設計與統計分析

兩試驗皆採用隨機完全區集設計(Randomized Complete Block Design, RCBD)設計，試驗數據以 SAS 套裝軟體(Version 9.1, SAS Institute Inc., Cary, NC, U.S.A.)進行 ANOVA 變方分析，各處理間平均值以最小顯著差異(Least significant difference, LSD)分析差異顯著性。兩供試品種間之相互比較則以 Excel(2016 版本)進行 t -test 檢定，比較兩樣本平均值之差異。

結 果

一、影響薤菜開花之臨界日長

'白骨'及'新桃園一號'在 8、9、10 及 11 小時的光照處理下之始花日數，於兩品種間並無顯著差異(表 1)；在 9 小時處理下，兩品種之始花節位有顯著差異，其餘 8、10 及 11 小時之處理，兩品種間之始花節位則無顯著差異(表 2)。「白骨」在 11 小時光照處理下，有最高的始花日數(21.2 天)，「白骨」其餘處理彼此間則無顯著差異，其中以 8 小時之處理為最低(13.3 天)，「新桃園一號」在 11 小時處理下也同樣有最高的始花日數(20.0 天)，其次依序是 9、10 小時(16.6 天、14.6 天)，最低的為 8 小時之處理(13.4 天)(表 1)。始花節位也與始花日數有類似的趨勢，「白骨」以 11 小時處理下有最高的始花節位(17.8 節)，其次依序為 9、10 小時(16.6 節、15.9 節)，8 小時處理則有最低的始花節位(14.6 節)，「新桃園一號」同樣在 11 小時處理下，有最高的始花節位(17.3 節)，8、9 及 10 小時處理則彼此間無顯著差異，其中又以 8 小時處理下有最低的始花節位(14.1 節)(表 2)。「白骨」之開花株比例在 8-11 小時處理下均無顯著差異，於 10 小時處理中為最高，11 小時下降至 58.3%，而在 12 小時處理下則無任何花芽產生，「新桃園一號」之開花株比例在 9 小時處理下為最高，達 100%，隨著光照時數增加至 11 小時而下降至 58.3%，12 小時處理下與「白骨」的結果相同，皆無花芽產生(表 3)。

二、短日對不同營養生育階段幼苗開花之影響

在日/夜設定為 8/16 小時之短日處理下，調查 3-8 片本葉營養生育階段之二品種薤菜，「白骨」與「新桃園一號」，之始花日數及始花節位，並於處理 28 天後計算其開花株比例。結果顯示兩品種在同一營養生育階段下之始花日數及始花節位均無顯著差異(表 4、5)。「白

表 1. 光週處理對「白骨」與「新桃園一號」薤菜始花日數之影響

Table 1. Effects of photoperiodic treatment on DTF of 'Baigu' and 'Xintaoyuan No.1' water spinach.

品種	8 小時	9 小時	10 小時	11 小時	12 小時
'白骨'	13.3±1.7b ²	16.0±2.7b	14.0±1.7b	21.2±4.3a	ND ³
'新桃園一號'	13.4±1.6c	16.6±2.2b	14.6±2.1bc	20.0±3.6a	ND
<i>t</i> -test	0.886	0.637	0.406	0.481	
<i>P</i> ¹	ns	ns	ns	ns	

¹ *P* from *t*-test: ns representing nonsignificant at *P* < 0.05.

² Means in a row with the same letter are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

³ ND: Non-Detected.

骨'6片本葉生育階段處理組有最高的始花日數(18.8天)，8片本葉生育階段處理組則有最低的始花日數(14.7天)(表4)；'新桃園一號'在不同營養生育階段處理組之始花日數彼此間皆無顯著差異，其中數值最低的為8片本葉生育階段處理組之15.8天，不同營養生育階段處理組之始花日數，由3片本葉生育階段之16.5天緩慢上升至5片本葉生育階段之17.9天，爾後緩降，至8片本葉生育階段降至15.8天(表4)。「白骨」與「新桃園一號」薺菜在3-8片本葉生育階段處理組中，皆以8片本葉生育階段處理組有最高的始花節位(15.3節與15.6節)，「白骨」於3片及4片本葉生育階段處理組有最低的始花節位(10.9節)，「新桃園一號」則於4片本葉生育階段處理組有最低的始花節位(10.5節)(表5)，兩品種的營養生育階段與始花節位有很高的相關性，尤以「白骨」品種兩者之相關性更高($r=0.894$)，「新桃園一號」兩者之相關係數則為0.831(圖1、2)。「白骨」與「新桃園一號」之開花株比例皆大於70%，且於各本葉階段均無顯著差異，其中兩品種於7片本葉生育階段處理組之開花株比例均達100%(表6)。

表2. 光週處理對「白骨」與「新桃園一號」薺菜始花節位之影響

Table 2. Effects of photoperiodic treatment on NTF of 'Baigu' and 'Xintaoyuan No.1' water spinach.

品種	8 小時	9 小時	10 小時	11 小時	12 小時
'白骨'	14.6±1.1c ²	16.6±1.0ab	15.9±0.9bc	17.8±2.0a	ND ³
'新桃園一號'	14.1±0.3b	15.1±1.2b	15.3±1.1b	17.3±2.2a	ND
<i>t</i> -test	0.275	0.013	0.268	0.632	
<i>P</i> ¹	ns	*	ns	ns	

¹ *P* from *t*-test: ns, * representing nonsignificant or significant at $P < 0.05$, respectively.

² Means in a row with the same letter are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

³ ND: Non-Detected.

表 3. 光週處理對'白骨'與'新桃園一號'開花株比例之影響

Table 3. Effects of photoperiodic treatment on flowering percentage of 'Baigu' and 'Xintaoyuan No.1'.

品種	8 小時	9 小時	10 小時	11 小時	12 小時
'白骨'	75.0 ^{1a2}	66.7a	91.7a	58.3a	ND ³
'新桃園一號'	91.7 ab	100.0a	83.3ab	58.3b	ND
<i>t</i> -test	0.374	0.116	0.519	1.000	
<i>P</i> ⁴	ns	ns	ns	ns	

¹ 開花株比例之單位為%。

² Means in a row with the same letter are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

³ND: Non-Detected.

⁴ *P* from *t*-test : ns representing nonsignificant at *P* < 0.05.

表 4. 短日處理對不同營養生育階段'白骨'與'新桃園一號' 薺菜始花日數之影響

Table 4. Effects of short-day treatment on DTF at different growth stages of 'Baigu' and 'Xintaoyuan No.1' water spinach.

品種	S3L ¹	S4L	S5L	S6L	S7L	S8L
'白骨'	16.9±1.4 ^{2ab3}	17.7±1.6ab	15.0±3.0b	18.8±3.9a	17.6±2.7ab	14.7±3.1b
'新桃園一號'	16.5±1.6 a	16.9±1.7a	17.9±4.3a	17.8±3.7a	17.4±4.0a	15.8±2.9a
<i>t</i> -test	0.516	0.350	0.385	0.524	0.712	0.194
<i>P</i> ⁴	ns	ns	ns	ns	ns	ns

¹S: 生育階段，3L: 三片本葉數，以此類推。

² 始花日數之單位為天。

³ Means in a row with the same letter are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

⁴ *P* from *t*-test: ns represented nonsignificant.

表 5. 短日處理對不同營養生育階段'白骨'與'新桃園一號' 蕹菜始花節位之影響

Table 5. Effects of short-day treatment on NTF at different vegetative growth stages of 'Baigu' and 'Xintaoyuan No.1' water spinach.

品種	S3L ¹	S4L	S5L	S6L	S7L	S8L
'白骨'	10.9±0.4 ^{2d3}	10.9±0.5d	13.6±1.2d	13.6±1.1c	14.8±1.3b	15.3±0.9a
'新桃園一號'	10.9±0.7 cd	10.5±0.4d	14.0±1.4c	14.3±0.7b	15.3±1.4ab	15.6±1.9a
<i>t</i> -test	0.878	0.234	0.191	0.126	0.211	1.000
<i>P</i> ⁴	ns	ns	ns	ns	ns	ns

¹S: 營養生育階段，3L: 三片本葉數，以此類推。

²始花節位單位為節

³Means in a row with the same letter are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

⁴*P* from *t*-test: ns representing nonsignificant at *P* < 0.05.

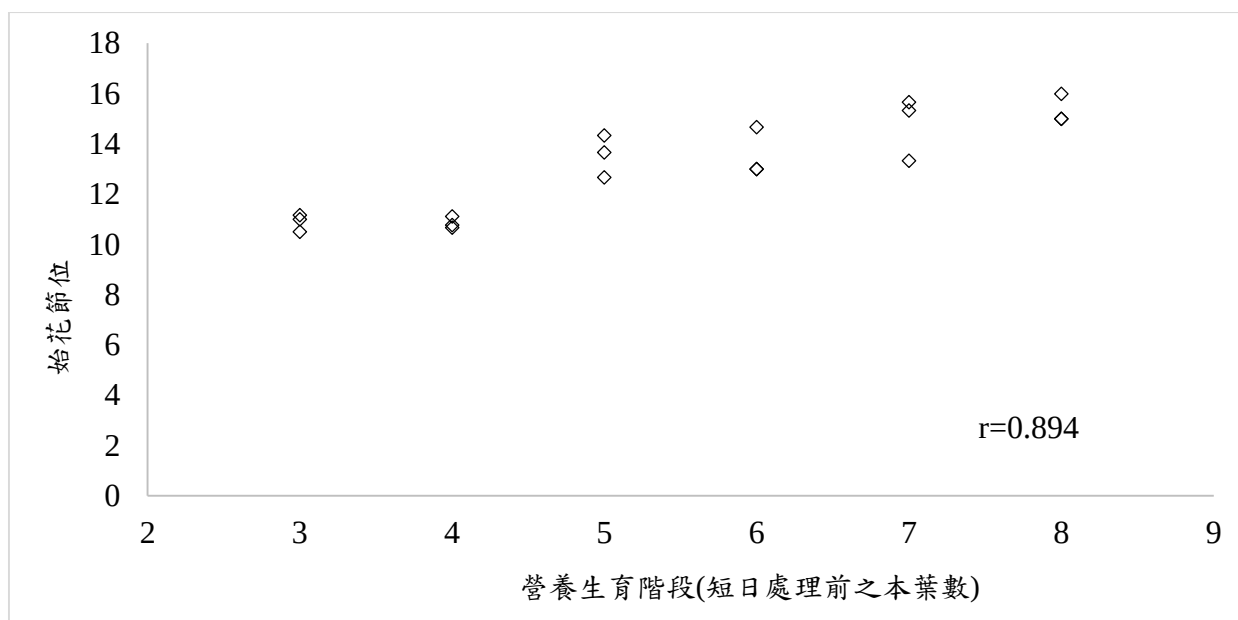


圖 1. '白骨'蕹菜營養生育階段(短日處理前之本葉數)與始花節位之相關性

Fig 1. Correlation between vegetative growth stages (number of leaves before short-day treatment) and NTF of 'Baigu' water spinach.

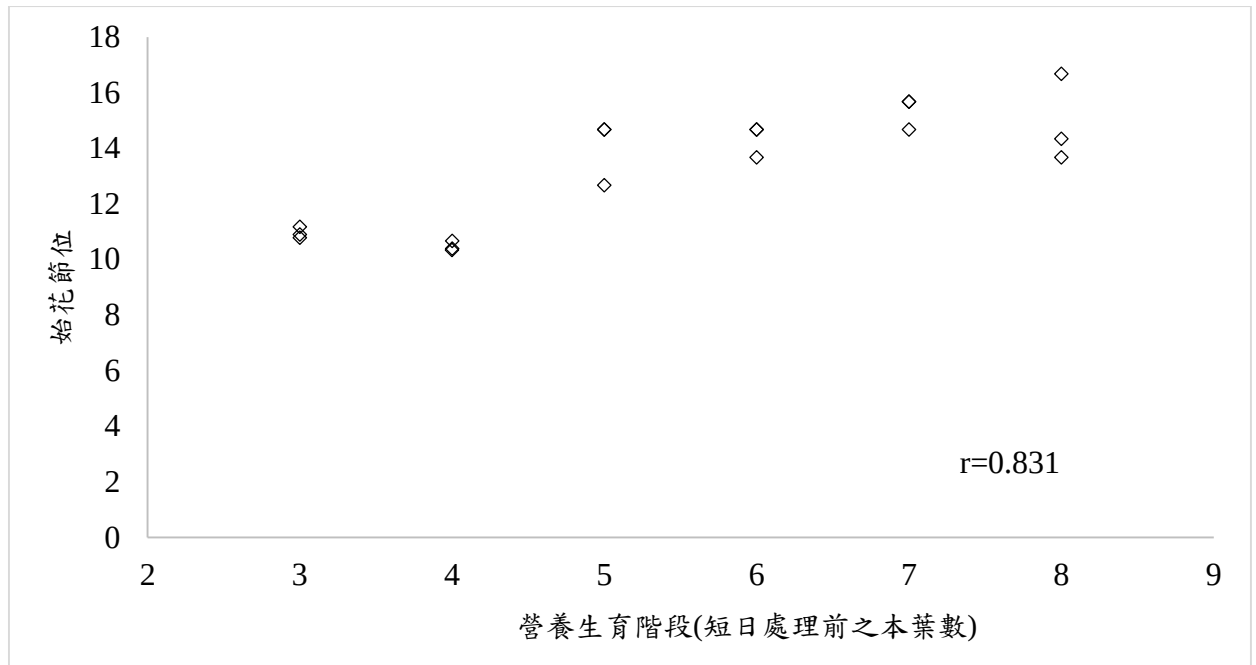


圖 2. '新桃園一號'蕹菜營養生育階段(短日處理前之本葉數)與始花節位之相關性

Fig 2. Correlation between vegetative growth stages (number of leaves before short-day treatment) and NTF of 'Xintaoyuan No.1' water spinach

表 6. 短日處理誘導不同營養生育階段蕹菜產生開花株之比例

Table 6. Flowering percentage induced by short-day treatment on different vegetative growth stages of water spinach.

品種	S3L ¹	S4L	S5L	S6L	S7L	S8L
'白骨'	96.0 ^{2a3}	96.0a	83.3a	91.7a	100.0a	91.7a
'新桃園一號'	96.0 a	96.0a	75.0a	91.7a	100.0a	91.7a
t-test	1.000	1.000	0.643	1.000	1.000	1.000
P ⁴	ns	ns	ns	ns	ns	ns

¹S: 營養生育階段, 3L: 三片本葉數, 以此類推。

²開花株比例之單位為%。

³Means in a row with the same letter are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

⁴P from t-test: ns representing nonsignificant at $P < 0.05$.

討 論

一、影響薤菜開花之臨界日長

植物依光週期之需求大致可分為下列幾種，長日型植物(long-day plant)，指在一天的晝夜日長中，當日照長度高於臨界日長時，才能開花的植物，暗期延長時則延期開花或是無法開花，例如：白菜、菠菜、甘藍、萵苣...等冬季葉用蔬菜大多是屬於此種，在長日植物中，若再細分，其中有部分屬於必須在固定的臨界日長以上才能開花，稱為絕對長日性植物(obligate long-day plant)；短日性植物(short-day plant)則是指在一天的晝夜日長中，當日照長度低於臨界日長時，才能開花的植物，縮短光照與暗期延長可促進或提早開花，例如：聖誕紅、長壽花、百日草、萬壽菊...等皆屬於此種類型，同樣地，短日植物若屬於必須在固定的臨界日長以下才能開花，就稱為絕對短日性植物(obligate short-day plant)；前兩種類型相比，有部分植物的開花對日照的長短較不敏感，則為相對短日性與相對長日性植物，例如：大波斯菊在長日及短日下皆可開花，但是日照長短會影響其始花日數，處理短日 8 與長日 17 小時相比，8 小時之始花天數較短，隨著光週期增加始花日數也增加(Jalal-ud-Din *et al.*, 2010)；另一類型為中日性植物(day-neutral plant)，此類植物對日照並不敏感，只要滿足其他開花條件(如春化作用、營養需求等)則無論光照長短皆可開花；長短日植物(long short-day plant)指植物必須先經長日照再經短日照才能開花；短長日植物則反之(林和楊，2011；Hopkins and Huner, 2013)。

本研究結果顯示 8-12 小時光照處理中，薤菜兩品種在 8-11 小時處理下皆有花芽形成，以 8 小時之始花日數及節位皆為最低，11 小時最高，12 小時則兩品種皆則無花芽形成(表 1、2)，代表薤菜開花之臨界日長介於 11-12 小時之間。Adams *et al.* (1998)表示矮牽牛(*Petunia hybrid*)為相對性短日植物，從播種至始花的時間隨著光週期的增加而線性增加，直至臨界日長(14 ± 3 小時)，而當光週期超過臨界日長時則無花芽形成，本試驗薤菜對光週之反應結果與上述文獻相類似。以 2020-2021 年在中興大學溫室以 Hobo 記錄之日照時數為例，4-10 月日照時數皆大於 12 小時，11 月至隔年 3 月日照時數為 11 小時左右(資料未列)，而本試驗結果顯示薤菜在日照 11 小時條件下仍會開花，此也進一步說明了為何與薤菜易於冬季開花。

二、短日對不同營養生育階段幼苗開花之影響

薤菜的生長適溫為 25~35°C，在夏季生長快速、栽培容易、可連續多次採收，但採收次數及節位會影響產量及品質；相對冬季因溫度較低，薤菜生長緩慢，且易受環境因子影響而開花(楊，2004)，除了環境因子會影響植株的生育外，葉片的成熟度是另一影響因子，例如：蝴蝶蘭的幼苗需經過一段時間的營養生長，方能接受環境刺激而抽梗開花，稱之為蝴蝶蘭之幼年性(蔡等，2013)。幼年性(juvenile)是植物的實生苗處於營養生長狀態並不具備開花之能力，大多數植物具幼年性，指在達到一定的發育階段之前無法誘導開花，從而確保植物有足夠的資源來供應開花和果實生產(Jackson, 2009)。通常木本植

物的幼年期時間較草本植物來得長，草本植物如阿拉伯芥的幼年期很短，可短至幾天就可進入到成熟期，木本植物如果樹類作物，幼年期則相對較長，可長至數年(Hackett, 1985)。

本研究室前期試驗結果發現薤菜 8-11 片本葉生育階段之幼苗經 8 小時短日處理後皆有花芽形成，推測 8 片本葉生育階段之幼苗已無幼年期不開花之問題，為確認 8 片本葉以下生育階段之幼苗是否存在幼年期不開花之問題，因此以 8 片本葉為基準，依序減少本葉數，調查 3-8 片本葉生育階段之幼苗是否存在因幼年期而不開花之問題。過去研究指出番木瓜之幼年期與成熟期可以用葉片型態來區分(Hackett, 1985)，因幼年期與成熟期時的葉片特徵不同，例如：台農二號番木瓜節位會隨著種植時間延長而增加，而上端的葉片裂角數目會隨著節位增加而隨之增加(邱，2012)，有些甚至葉序也會隨之改變，幼年性的長短依植物品種的不同而有很大的差異，草本一、二年生植物於成熟期時外觀表現大多已成形，經過適當刺激後會開花、結果至死亡，多年生植物轉入成熟期後，則可接受內在荷爾蒙或是外在環境影響而誘導花芽分化，但植株並不會死亡，只是生育階段轉為生殖生長。本試驗結果顯示在短日處理下兩品種在同一營養生育階段幼苗之始花日數及始花節位均無顯著差異(表 4、5)，代表兩品種在短日處理下均會開花，且開花株之比例皆高於 70%，具有相當高比例的開花株(表 6)，'白骨'與'新桃園一號'於 3-8 片本葉生育階段幼苗之始花日數彼此間皆無顯著差異，介於 14.7-18.8 天(表 4)，在試驗過程中，無發現如前人研究所述，葉片型態會有從幼年期轉為成熟期的明顯外觀變化及葉序上的轉變，且經過短日處理 14 天以上皆有超過 70%之植株會有花芽形成(表 6)。香薷(*Elsholtzia angustifolia*)為香薷屬，屬於長日植物，過去研究發現香薷植株經育苗期 6 週及移植 3 週之後，每隔 2-3 天將光照由 9 小時延長至 16 小時來誘導開花，結果顯示經過日照延長處理大於一次者與只經一次延長處理者之始花日數彼此間並無顯著差異，表示營養生長 9 週(育苗期 6 週及移植 3 週)對香薷植株來說已越過幼年期，植株可於接收到光週刺激後即可由營養生長轉為生殖生長(Im et al., 2021)；罌粟(*Papaver somniferum*)為長日植物，播種發芽起給予連續短日處理與於發芽 4 天後方開始短日處理之始花日數彼此間無顯著差異，代表此物種無幼年期不開花之現象(Wang et al., 1997)，'白骨'與'新桃園一號'薤菜於 3-8 片本葉生育階段之幼苗經短日誘導後均能開花，代表'白骨'與'新桃園一號'薤菜在 3 片本葉生育階段即不存在幼年期不開花之問題，推測薤菜或許並無幼年期對光週不敏感之現象，即使存在，此時期應非常短暫。

'白骨'與'新桃園一號'薤菜於各相同生育階段幼苗之始花節位彼此間均很類似，以 8 片本葉生育階段有最高的始花節位，始花節位大致隨著植株生育階段增加而增加。另一方面，本研究結果亦顯示'白骨'與'新桃園一號'薤菜不同營養生育階段之幼苗於短日處理(每日 8 小時光照)下，均約於新長 7 節位後即可達至始花節位(表 5)，且'白骨'與'新桃園一號'薤菜幼苗短日處理前之本葉數與其始花節位具有高度的相關性，相關係數分為 $r=0.894$ 及 $r=0.831$ (圖 1、2)。此結果或可應用於預測不同營養生育階段之薤菜幼苗於短日處理(每日

8 小時光照)下之始花節位，然而於不同之短日光照時數處理下(例如每日光照 9 小時、10 小時或 11 小時)，薤菜幼苗短日處理前之本葉數與其始花節位是否仍具有高度之相關性則仍有待進一步之評估。

綜合上述，由過去研究已知薤菜為短日植物，而本研究進一步發現影響薤菜開花之臨界日長乃介於 11-12 小時之間，且薤菜對光週期之感應或許並無幼年期對光週不敏感之現象，即使存在，其具光週不敏感之生育時期應於 3 片本葉生育階段之前，這些結果有助於更深入釐清光週期對薤菜開花之影響。

參考文獻

- Hopkins, W. G. and N. P. Huner. 著；徐善德、廖婉玉. 2013. 植物生理學. 偉明圖書有限公司.
- 林郁馨、楊純明. 2011. 利用光週期調節花卉之開花期. 農業試驗所技術服務 22(87):31-34.
- 邱禮弘. 2012. 作物節齡與幼年性之利用. 臺中區農業改良場特刊. 臺中區農業改良場. p. 109-112.
- 楊雯如. 2004. 薺菜遺傳歧異性之分析與白銹病(白銹菌屬)抗感病性之探討. 國立臺灣大學園藝學系碩士論文. 台北
- 蔡娟婷、賴思倫、陳珊妮、戴廷恩、謝廷芳、呂椿棠. 2013. 白花蝴蝶蘭葉片性狀與開花性狀之相關性探討. 台灣農業研究 62(1):11-20.
- 謝明憲、許涵鈞、劉依昌、黃圓滿、林棟樑、王仕賢. 2009. 設施栽培專輯. 設施薺菜周年生產. 台南區農業專訊 67 期. 行政院農業委員會. p. 10-12.
- Adams, S. R., P. Hadley. and S. Pearson 1998. The effects of temperature, photoperiod, and photosynthetic photon flux on the time to flowering of *Petunia Express Blush Pink*!. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 123(4):577-580.
- Hackett, W. P. 1985. Juvenility, maturation, and rejuvenation in woody plants. Hort. Rev. 7:109-155.
- Im, N. H., H. Kang, J. S. Mun, H. B. Lee, S. K. An. and K. S. Kim. 2021. Flowering control of *Elsholtzia angustifolia* (Loes.) Kitag., a short-day plant. Hortic. Sci. Technol. 39(4):424-430.
- Jackson, S. D. 2009. Plant responses to photoperiod. New Phytol. 181(3):517-531.
- Jalal-ud-Din, B., M. Q. Khan, M. Munir. and. M. Zubair. 2010. Effects of different photoperiods on flowering time of facultative short day ornamental annuals. J. Appl. Hort. 12(1):10-15.
- Wang, Z., M. C. Acock. and B. Acock. 1997. Phases of development to flowering in opium poppy (*Papaver somniferum* L.) under various temperatures. Ann. Bot. 80(4):547-552.

Effects of Photoperiod on the Flowering of Water Spinach (*Ipomoea aquatica*)¹⁾

Tsai-Jung Ma²⁾ San-Gwang Hwang³⁾

Key words: Photoperiod, Flowering, Critical day length

Summary

Water spinach is one of the important summer vegetables in Taiwan. It can be cultivated in winter but is easy to encounter flowering and flowering reduces its commercial value as an edible vegetable. Since there were relatively few studies related to water spinach flowering in the past, this research aims to investigate the effects of photoperiod on the flowering of water spinach. Results from this study showed that water spinach is a short-day plant, and its critical day length is between 11 and 12 hours. When the day length was more than 12 hours, no flower bud was formed in two varieties tested. On the other hand, for both varieties tested, flowering was induced after receiving short-day treatment in the seedlings at 3-8 leaf growth stages. It was therefore assumed that the phenomenon of photoperiod-insensitivity juvenile phase was not present in water spinach, even it did exist, the juvenile phase must be very short. Under eight-hour day length conditions, a high correlation was observed between the nodal position of the first visible flower bud and the number of true leaves before short-day treatment in seedlings of both varieties tested. The number of true leaves before short-day treatment in water spinach seedlings may be applied to predict the nodal position of the first visible flower bud under 8-hour short day conditions.

1) This paper is a part of the first author's M.S. thesis.

2) Student in M.S. program, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

3) Associate Professor, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

Corresponding author.

興大園藝 第四十八卷第一期
中華民國一一二年三月編印
發行人：張哲嘉
編輯委員：宋 玗 林慧玲 吳振發
潘怡君 張 正 張哲嘉
國立中興大學園藝學系編印
臺中市南區興大路145號

Horticulture NCHU Vol. 48 No. 1
March, 2023

Publication Committee

Director	Prof. Jer-Chia Chang
Editor	Prof. Yu Sung
	Prof. Huey-Ling Lin
	Prof. Chen-Fa Wu
	Assoc. Prof. I-Chun Pan
	Prof. Chen Chang
	Prof. Jer-Chia Chang

Published by the Department of Horticulture,
National Chung Hsing University, Taichung,
Taiwan 402, Republic of China

ISSN 0255-5921

興大園藝

第十八卷 第二期

熱處理結合真空包裝對鮮切麻竹筍品質之影響

.....吳沛榕 林慧玲..... 1

半木質化插穗與未木質化插穗對木鼈果扦插繁殖之影響

.....邱永森 黃三光.....15

水楊酸處理對'巨峰'葡萄耐高溫逆境能力與果實品質之影響

.....段世峰 陳京城.....29

Shoot tip culture of 'Italia'grapevines (*Vitis vinifera* Bicané ×

V. vinifera Muscat' Hamburg)

.....T. Rungreung and J.C. Chang.....43

國立中興大學園藝學系編印

中華民國一一二年六月

ISSN 0255-5921

HORTICULTURE NCHU

Vol. 48 No. 2

Effects of Heat Treatment on the Storage Quality of Vacuum Packaged Fresh-Cut
Bamboo Shoots (*Dendrocalamus latiflorus* Munro)

.....P. R. Wu and H. L. Lin..... 1

Effects of Semi-Woody and Non-Woody Cuttings on Cutting Propagation of Gac
(*Momordica cochinchinensis*)

.....Y. S. Qiu and S. G. Hwang.....15

Effect of Salicylic Acid Treatment on Heat Stress Tolerance and Berry Quality of
'Kyoho' Grapevines

.....S. F. Duan and C. C. Chen.....29

‘義大利’ 葡萄之莖頂培養

.....王嘉嫻 張哲嘉.....43

Published by
Department of Horticulture, National Chung Hsing University
Taichung, Taiwan, Republic of China
March, 2023

熱處理結合真空包裝對鮮切麻竹筍品質之影響

吳 沛 榕¹⁾ 林 慧 玲²⁾

關鍵字：褐化、過氧化物酶、多酚氧化酶、貯藏品質

摘要：本研究探討熱處理結合真空包裝對鮮切麻竹筍於 1°C 貯藏期間品質及褐化之影響。結果顯示，100°C 熱處理 30 秒的鮮切麻竹筍雖有較低的乙醛乙醇含量、POD 活性，但以 70°C 熱處理 30 秒的鮮切麻竹筍外觀顏色變化最少，失重率及截切力較低，鮮切麻竹筍的質地仍維持較佳狀態，與新鮮之整筍外觀及內部品質接近，並且於 1°C 下貯藏 4 週仍具有商品價值。

前 言

隨著現代人對健康、方便、即食的飲食需求提升，鮮切蔬果(fresh-cut fruits and vegetables)的產量與產值年年增加，蔬果採收後經篩選、清洗及輕度加工(minimally processed)，如削皮、切片、切塊、切絲或其它物理方式處理，最終以非原型態進行販售(葉，2014; Oliveira *et al.*, 2015)，如何維持鮮切蔬果產品品質與食安問題為重要課題，經過輕度加工可能改變產品質地、外觀及風味，導致營養成分流失或微生物汙染 (Oliveira *et al.*, 2015; Ma *et al.*, 2017)。

麻竹筍(*Dendrocalamus latiflorus* Munro)為禾本科竹亞科(Bambusoideae)多年生單子葉植物，適合栽培在溫暖潮濕的熱帶與亞熱帶，為台灣重要的夏季經濟蔬菜，產季主要集中在 5-9 月(歐等，2013；鍾等，2014)。麻竹筍殼約佔整筍重量的 30-45%，對消費者來說是無用的垃圾，若在產地對麻竹筍進行輕度加工，將農業廢棄物留在田間，可以減輕運輸對環境的汙染，亦可提高年輕消費者的購買意願。

鮮切蔬果經截切等輕度加工後因有切口引發呼吸率較高、櫥架壽命較短，而低溫貯藏可以抑制鮮切竹筍的呼吸作用，鮮切孟宗竹筍(*Phyllostachys heterocycla* var *pubescens*)在

1) 國立中興大學園藝學系碩士班研究生。本文為第一作者碩士論文之一部分。

2) 國立中興大學園藝學系教授，通訊作者。

4°C貯藏 10 天後呼吸率比剛採收時下降約 60% (Lu and Xu, 2004)。此外，研究指出一氧化氮(NO)、二氧化氯(ClO₂)溶液結合幾丁聚醣覆膜、草酸(oxalic acid)等處理，可藉由延緩鮮切竹筍貯藏期間的褐化、木質化及微生物汙染，可以有效延長櫥架壽命 4-20 天 (Yang *et al.*, 2010; Yang *et al.*, 2015; Zheng *et al.*, 2019)。

適當的熱處理條件可維持園產品細胞膜的完整性、啟動自身抗氧化系統如影響總酚類化合物含量、苯丙胺酸裂解酶(phenylalanine ammonia lyase, PAL)、多酚氧化酶(polyphenol oxidase, PPO)、過氧化酶(peroxidase, POD)活性以延緩褐化發生而達維持品質並延長貯藏壽命之保鮮效果 (Aghdam and Bodbodak, 2013)。經 95°C的 0.5%NaCl 水溶液殺菁的麻竹筍片，其 POD、PAL、PPO 的活性皆隨殺菁時間增加而下降，外觀顏色亦隨殺菁時間增加而改變 (Zheng *et al.*, 2014)。經 55°C熱水浸泡 45 秒的鮮切芋以真空包裝貯藏在 4°C，藉由延緩外表褐化與微生物滋長，延長櫥架壽命至少 9 天 (Chang and Kim, 2015)。

本試驗欲探討不同熱處理溫度結合真空包裝對鮮切麻竹筍貯藏品質之影響，並進一步評估熱處理對褐化相關酵素活性之抑制效果，尋求最適合之保鮮條件以延長鮮切麻竹筍的櫥架壽命，供產業應用之參考。

材 料 與 方 法

(一) 試驗材料

麻竹筍取自台中太平區麻竹筍園，於當日清晨採收後，立即裝箱後快速送往實驗室。選用特小等級且外觀無損的麻竹筍作為試驗材料。特小等級之麻竹筍筍形及色澤優良且無病蟲害及出青、重量約 2kg。

(二) 試驗方法

麻竹筍先以自來水清洗外殼，並修整竹筍基部高約 1-2 cm，剝去外殼後對半切，以真空 PE 袋逐個包裝，再以桌上型真空包裝機(TH-350)抽真空並封口，對半鮮切竹筍連同真空包裝放入 70°C、100°C熱水中熱處理 30 秒，熱處理後迅速取出放入冰水中降溫，對照組(CK)則未經熱處理，鮮切竹筍皆於 1°C下貯藏至 4 週，每處理 6 重複。分別於貯藏第 2、3 及 4 週調查竹筍品質，並取樣竹筍基部 5 cm 高之筍肉以液態氮固定樣品存在-20°C的凍箱，以待後續測定總酚類化合物含量、PPO 活性以及 POD 活性。

(三) 調查項目與分析方法

1. 鮮切竹筍切面顏色(Color)

以手持式分光色差計(Portable Spectrophotometer, MiniScan EZ 4000S, HunterLab)測定竹筍基部切面與剖半切面的顏色，顏色以 L*、a*、b*、C*、h°表示。

2. 失重率(Weight loss)

鮮切竹筍以電子天平秤重，紀錄貯藏前與貯藏後的鮮切竹筍重量，並計算貯藏期間的

重量損失率，單位為%，計算公式如下：

$$(\text{貯藏前鮮切竹筍鮮重} - \text{貯藏後鮮切竹筍鮮重}) \div \text{貯藏前鮮切竹筍鮮重} \times 100\%$$

3. 硬度(Firmness)

以物性測定儀(COMPSC-100)測定麻竹筍基部 5 公分高的筍肉硬度，半徑 0.25 公分的圓形探針，紀錄以 $100 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 的速率垂直穿刺筍肉深度 10 mm 處的讀值，上下各測定一點後取平均代表此竹筍的硬度。物性測定儀的讀值單位為 kg，將讀值換算成牛頓(N)並除以圓形探針之面積，以 $\text{N} \cdot \text{cm}^{-2}$ 作為表示硬度之單位。

4. 截切力(Cutting force)

以直徑 16 mm 的鑽孔器取下麻竹筍基部 5 公分高的筍肉，以物性測定儀測定麻竹筍肉肉的截切力，截切用刀片，截切力測定方向與竹筍纖維垂直，紀錄以 $100 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 的速率垂直切穿筍肉深度 10 mm 處的讀值，測定兩點後取平均代表此竹筍的截切力。物性測定儀的讀值單位為 kg，將讀值換算成牛頓(N)作為表示截切力之單位。

5. 乙醛及乙醇量(Acetaldehyde and Ethanol)

稱取 5 g 新鮮筍肉，放入 25 mL 三角瓶中，以 16 號血清塞密封，於 30°C 恆溫水浴槽反應 1 小時。以塑膠針筒抽取三角瓶中 1 mL 氣體，注入氣相層析儀(Gas Chromatograph, Chromatec, Crystal 9000)進行氣體成分分析，配以火焰離子檢出器(flame ionization detector)測定，溫度設定 240°C ，氫氣流速設定 $35 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ，空氣流速設定 $350 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ，氮氣流速設定 $30 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ 。管柱採石英毛細管柱 Rtx-BAC Plus 2 Column，管柱長 30 m (inner diameter 0.32 mm, film thickness 0.60 μm)，置於溫度設定為 100°C 烘箱(oven)內，注射孔溫度設定為 200°C 。同時取已知濃度的標準品 5 mL，反應條件與測定方法同樣品。利用已知濃度的標準品進行樣品的乙醛及乙醇濃度計算。單位為 $\mu\text{mole} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ 。

6. 離子滲漏率(Electrolyte leakage)

參考 Woolf (1997)及 Luo 等人 (2012)之方法，同 4.以直徑 16 mm 的鑽孔器取下麻竹筍基部 5 公分高的筍肉，並取基部高約 1mm 的筍圓片一片，將筍圓片以去離子水清洗後擦乾，放入裝有 10 mL 0.3 M 甘露醇(mannitol)溶液的 EC 瓶中，於室溫下 100 rpm 震盪 3 小時，以桌上型微電腦電導度測定儀(Conductivity Meter, Suntex SC-2300)測定初始電導度。測定完初始電導度的筍圓片放回電導度測定塑膠瓶中，放入 -20°C 的凍箱冰凍 3 天後取出回溫解凍，再放入 -20°C 的凍箱冰凍使細胞完全破壞，最後將冰凍第二次的樣品取出回溫解凍，於室溫下 100 rpm 震盪 3 小時，測定總電導度。單位為%，計算公式如下：

$$(\text{初始電導度} / \text{總電導度}) \times 100\%$$

7. 總酚類化合物(Total phenolic compound, TPC)含量

參考 Keith 等人 (1958)之方法。將 2 g 新鮮筍肉樣品加入 5 mL 0.1 M 磷酸緩衝溶液(pH 7.0) 以及少許海砂，在冰浴研鉢內研磨萃取，將萃取液倒入離心管後，在 4°C 下 $20000 \times \text{g}$ 離心 20 分鐘，以 Miracloth(Merck)過濾出上清液。

分析時取 0.1 mL 上清液加入 0.9 mL 的去離子水稀釋 10 倍，再加入 0.1 mL Folin-

Ciocalteus phenol reagent(Merck)、0.2 mL 20% Na_2CO_3 以及 8.7 mL 的去離子水，震盪均勻後於沸水中加熱 3 分鐘，冷卻後使用 Elisa Reader(BMG LABTECH, FLUOstar Omega Ω , Germany)測定在 660 nm 波長之吸光值。標準曲線以 100 ppm caffeic acid 配置，TPC 含量以 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ FW 表示。

8. 多酚氧化酶(Polyphenol oxidase, PPO)活性

參考 Lee 和 Smith (1979)之方法。將 2 g 新鮮筍肉樣品加入 5 mL 0.1 M 磷酸緩衝溶液(pH 7.0，含 1% PVP 及 0.25% Triton) 以及少許海砂，在冰浴研鉢內研磨萃取，將萃取液倒入離心管後，在 4°C下 20000 $\times$ g 離心 20 分鐘，以 Miracloth(Merck)過濾出上清液。

分析時取 0.1 mL 上清液加入 1.9 mL 0.1 M 磷酸緩衝溶液(pH8.0)，以 0.2 mL 0.5 M catechol 作為受質開始反應。空白組以 0.1 mL 去離子水代替酵素萃取液進行測定。使用分光光度計(Shimadzu, UV-200S)以及記錄器(Recorder)紀錄在 420 nm 波長下一段時間內吸光值的變化。PPO 活性以 $\Delta A\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ FW 表示。

9. 過氧化酶(Peroxidase, POD)活性

參考 Johnson 和 Cunningham (1972)之方法。將 2 g 新鮮筍肉樣品加入 5 mL 0.1 M 磷酸緩衝溶液(pH 7.0，含 1% PVP 及 0.25% Triton) 以及少許海砂，在冰浴研鉢內研磨萃取，將萃取液倒入離心管後，在 4°C下 20000 $\times$ g 離心 20 分鐘，以 Miracloth(Merck)過濾出上清液。

分析時取 0.1 mL 上清液加入 2 mL 3.6×10^{-3} M Guaiacol 之緩衝溶液(0.2 mL Guaiacol 溶於 0.1 M pH6.0 磷酸緩衝溶液中)以及 0.4 mL 去離子水，以 0.2 mL 0.0135 M H_2O_2 作為受質開始反應。空白組以 0.1 mL 去離子水代替酵素萃取液進行測定。使用分光光度計(Shimadzu, UV-200S)以及記錄器(Recorder)紀錄在 470 nm 波長下一段時間內吸光值的變化。POD 活性以 $\Delta A\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ FW 表示。

(四) 數據統計分析

試驗數據以 COSTAT 6.4 統計軟體(CoHort Software, USA)進行 ANOVA 中的最小顯著差異分析(Least significant difference, LSD)，比較各處理間之顯著性差異分析($p<0.05$)。

結 果

一、熱處理結合真空包裝對鮮切麻竹筍切面顏色之影響

麻竹筍經截切後，較容易因老化、褐化及微生物污染等問題而使櫥架壽命縮短，本試驗採用熱處理並結合真空包裝的目的為抑制鮮切麻竹筍的生理代謝反應，以維持其鮮度並延長貯藏壽命。70°C、100°C 熱處理結合真空包裝對鮮切麻竹筍於 1°C 下貯藏 2、3、4 週外觀顏色之影響，結果如圖 1、表 1，貯藏時間對鮮切麻竹筍外觀顏色有顯著影響($p<0.001$)， L^* 、 b^* 、 C^* 隨貯藏時間增加而下降， a^* 與 h^* 隨貯藏時間增加先下降後上升。其中以 70°C

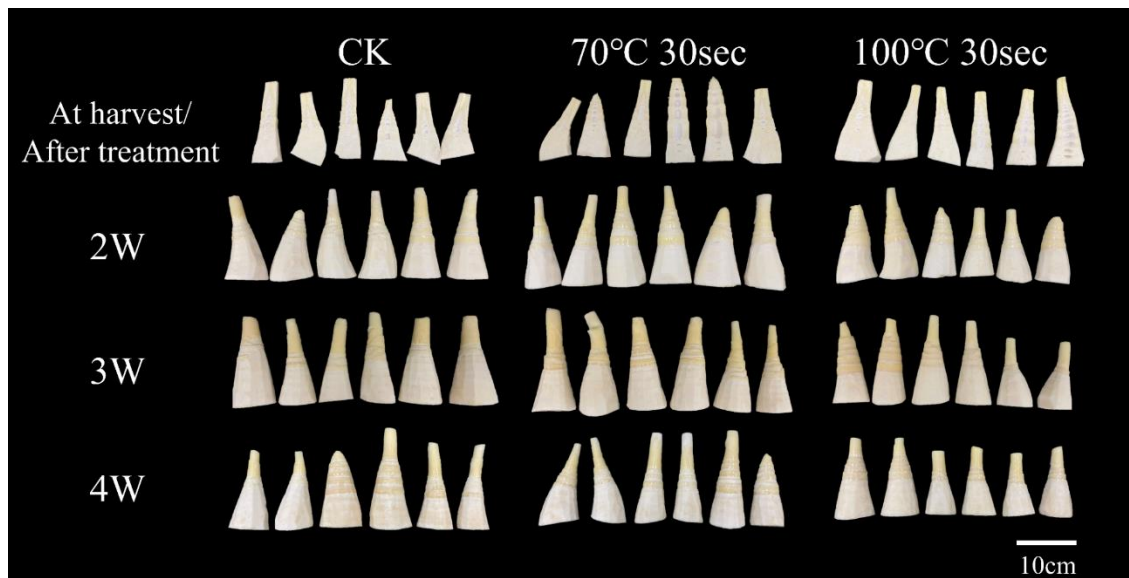


圖 1. 熱處理結合真空包裝對鮮切麻竹筍於 1°C 下貯藏 2、3、4 週外觀之影響

Fig. 1. Effect of heat treatment on appearance of vacuum packaged fresh-cut bamboo shoots during storage at 1°C for 4 weeks.

30 秒的熱處理有顯著較高的 L^* 與顯著較低的 b^* 、 C^* ，表示 70°C 熱處理後鮮切竹筍外觀較亮白，而 100°C 30 秒的熱處理 a^* 、 b^* 、 C^* 顯著較高， L^* 、 h° 顯著較低，表示 100°C 熱處理後鮮切竹筍外觀偏黃且較暗。

二、熱處理結合真空包裝對鮮切麻竹筍內部品質及生理反應之影響

探討 70°C、100°C 熱處理結合真空包裝對鮮切麻竹筍失重率、硬度、截切力影響結果如表 2。各處理的失重率隨貯藏時間增加而增加 ($p < 0.001$)，剛熱處理處理完即可發現以 100°C 熱處理的失重率 (1.39%) 顯著高於 70°C (0.50%)，並且在貯藏期間皆以 100°C 熱處理失重率顯著高於對照組。

在硬度與截切力方面，各處理的硬度隨貯藏時間增加而下降 ($p < 0.001$)，並以 70°C 熱處理在貯藏第 2 週時有顯著較高的硬度 ($135.80 \text{ N} \cdot \text{cm}^{-2}$)；貯藏時間顯著影響截切力 ($p < 0.001$)，各處理在貯藏第 2 週時截切力顯著增加而後下降，貯藏期間以 100°C 處理有較高的截切力。表示 100°C 熱處理可能因溫度較高，使鮮切竹筍口感轉為軟韌。

以離子滲漏率探討不同熱處理對細胞膜體系統受損程度的影響，各處理的離子滲漏率隨貯藏時間增加而增加 ($p < 0.001$)，僅在剛熱處理後，以 100°C 熱處理有顯著較高的離子滲漏率 (49.58%)，表示 100°C 可能對細胞造成損害使膜體系統不完整，導致細胞內物質流出 (表 3)。

真空包裝雖然可以藉由降低袋內氧氣量來抑制園產品呼吸作用，但過度低氧環境可能會造成無氧呼吸而產生異味，因此藉由測定乙醛及乙醇含量探討殺菁對無氧呼吸的抑制。乙醛及乙醇含量隨貯藏時間增加而增加($p < 0.001$)，剛處理完時以 100°C 熱處理的乙醛及乙醇含量較高，分別為 $0.080 \mu\text{mole}\cdot\text{g}^{-1} \text{FW}$ 與 $2.01 \mu\text{mole}\cdot\text{g}^{-1} \text{FW}$ ，但貯藏期間卻以 100°C 熱處理有乙醛及乙醇含量顯著低於對照組(表 3)，因此以 100°C 熱處理可以顯著抑制鮮切麻竹筍真空包裝所致的無氧呼吸，降低異味來源乙醛及乙醇的含量。

進一步比較熱處理與貯藏時間之複因子分析，其中貯藏時間顯著影響失重率、硬度、截切力、離子滲漏率及乙醛乙醇之濃度，而熱處理則對離子滲漏率並無顯著影響，而兩者之交感作用對乙醛及乙醇濃度具顯著之影響。

三、熱處理結合真空包裝對鮮切麻竹筍總酚類化合物與酵素活性之影響

不同熱處理結合真空包裝對鮮切麻竹筍褐化反應生理的影響結果如表 4。貯藏時間對總酚類化合物有顯著影響($p < 0.001$)，但對 PPO 活性與 POD 活性則無顯著影響($p > 0.05$)， 70°C 熱處理在剛處理完的總酚類化合物顯著較低($646.60 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1} \text{FW}$)，而在貯藏 2 週後增加，對照組(CK)與 100°C 熱處理則是在貯藏第 2 週時總酚類化合物含量較低而後增加，並在貯藏 4 週時顯著高於 70°C 熱處理。PPO 活性不受熱處理溫度與貯藏時間影響，而熱處理溫度對 POD 活性有顯著影響($p < 0.001$)，剛處理完後與貯藏期間皆以 100°C 熱處理有顯著較低的 POD 活性。進一步分析熱處理與貯藏時間之複因子統計，兩者之交感作用對 PPO 及 POD 活性無顯著影響。

表 1. 熱處理結合真空包裝對鮮切麻竹筍於 1°C 下貯藏 2、3、4 週外觀顏色之影響

Table 1. Effect of heat treatment on color of cut surface of vacuum packaged fresh-cut bamboo shoots during storage at 1°C for 4 weeks.

Storage time	Treatment	L*	a*	b*	C*	h°
At harvest/ After treatment	CK	87.40 a ^z	-0.94 a	13.23 a	13.28 a	94.03 a
	70°C 30sec	86.50 b	-1.02 a	13.23 a	13.27 a	94.43 a
	100°C 30sec	86.60 ab	-0.93 a	13.73 a	13.77 a	93.89 a
2W	CK	86.10 a	-0.67 a	12.92 b	12.94 b	92.96 a
	70°C 30sec	86.00 a	-0.74 a	12.43 b	12.46 b	93.40 a
	100°C 30sec	81.70 b	-0.79 a	13.95 a	13.98 a	93.23 a
3W	CK	83.30 a	-0.78 ab	12.35 b	12.37 b	93.63 a
	70°C 30sec	84.20 a	-0.83 b	12.45 b	12.48 b	93.87 a
	100°C 30sec	81.50 b	-0.66 a	14.31 a	14.33 a	92.68 b
4W	CK	79.90 c	-1.00 b	11.55 b	11.60 b	94.96 a
	70°C 30sec	84.40 a	-0.88 ab	11.29 b	11.33 b	94.54 a
	100°C 30sec	82.00 b	-0.84 a	13.33 a	13.36 a	93.64 b
Storage time		***	***	***	***	***
Treatment		***	ns	***	***	***
Storage time × Treatment		***	ns	*	*	ns

^zMeans within a column followed by the same letter are not significantly different at $p < 0.05$ by LSD test.

*, **, ***: Significant at $p < 0.05$, $p < 0.01$, and $p < 0.001$, respectively; ns= no significant.

表 2. 熱處理結合真空包裝對鮮切麻竹筍於 1°C 下貯藏 2、3、4 週失重率、硬度及截切力之影響

Table 2. Effect of heat treatment on weight loss, firmness and cutting force of vacuum packaged fresh-cut bamboo shoots during storage at 1°C for 4 weeks.

Storage time	Treatment	Weight loss (%)	Firmness (N·cm ⁻²)	Cutting force (N)
At harvest/ After treatment	CK	-	146.61 a	1.56 b
	70°C 30sec	0.50 b ^z	158.59 a	1.62 b
	100°C 30sec	1.39 a	148.94 a	1.86 a
2W	CK	1.95 c	120.41 ab	1.90 a
	70°C 30sec	2.36 b	135.80 a	1.77 a
	100°C 30sec	2.92 a	117.67 b	2.00 a
3W	CK	2.67 b	111.55 a	1.44 ab
	70°C 30sec	3.09 ab	119.58 a	1.36 b
	100°C 30sec	3.56 a	106.10 a	1.66 a
4W	CK	3.31 b	104.44 a	1.46 b
	70°C 30sec	3.59 ab	111.26 a	1.84 a
	100°C 30sec	3.86 a	106.85 a	1.58 ab
Storage time		***	***	***
Treatment		***	**	*
Storage time × Treatment		ns	ns	ns

^zMeans within a column followed by the same letter are not significantly different at $p<0.05$ by LSD test.

*, **, ***: Significant at $p<0.05$, $p<0.01$, and $p<0.001$, respectively; ns= no significant.

表 3. 熱處理結合真空包裝對鮮切麻竹筍於 1°C 下貯藏 2、3、4 週離子滲漏率、乙醛及乙醇含量之影響

Table 3. Effect of heat treatment on electrolyte leakage, acetaldehyde and ethanol of vacuum packaged fresh-cut bamboo shoots during storage at 1°C for 4 weeks.

Storage time	Treatment	Electrolyte leakage (%)	Acetaldehyde ($\mu\text{mole}\cdot\text{g}^{-1}$ FW)	Ethanol ($\mu\text{mole}\cdot\text{g}^{-1}$ FW)
At harvest/ After treatment	CK	23.04 b	0.003 b	0.91 b
	70°C 30sec	24.39 b	0.014 b	1.21 b
	100°C 30sec	49.58 a	0.080 a	2.01 a
2W	CK	77.64 a	0.196 a	12.22 a
	70°C 30sec	62.10 a	0.177 a	11.13 a
	100°C 30sec	65.87 a	0.145 a	6.95 b
3W	CK	76.40 a	0.310 a	17.00 a
	70°C 30sec	70.07 a	0.238 a	14.33 b
	100°C 30sec	83.78 a	0.251 a	9.12 c
4W	CK	97.16 a	0.656 a	15.56 a
	70°C 30sec	93.46 a	0.333 b	13.70 a
	100°C 30sec	93.46 a	0.335 b	9.90 b
Storage time		***	***	***
Treatment		ns	*	***
Storage time $\times$ Treatment		ns	*	***

²Means within a column followed by the same letter are not significantly different at $p<0.05$ by LSD test.

*, **, ***: Significant at $p<0.05$, $p<0.01$, and $p<0.001$, respectively; ns= no significant.

表 4. 熱處理結合真空包裝對鮮切麻竹筍於 1°C 下貯藏 2、3、4 週總酚類化合物、POD 活性、PPO 活性之影響

Table 4. Effect of heat treatment on TPC content and activities of POD and PPO of vacuum packaged fresh-cut bamboo shoots during storage at 1°C for 4 weeks.

Storage time	Treatment	TPC ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ FW)	POD ($\Delta\text{A}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ FW)	PPO ($\Delta\text{A}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ FW)
At harvest/ After treatment	CK	803.89 a ^z	17.21 a	3.15 a
	70°C 30sec	646.60 b	15.54 ab	2.95 a
	100°C 30sec	787.79 a	14.04 b	2.98 a
2W	CK	722.65 ab	17.05 a	3.38 a
	70°C 30sec	806.62 a	15.21 ab	3.24 a
	100°C 30sec	640.24 b	12.93 b	3.24 a
3W	CK	879.98 a	16.97 a	3.25 a
	70°C 30sec	802.38 a	17.82 a	3.41 a
	100°C 30sec	850.16 a	12.80 b	3.08 a
4W	CK	893.40 a	18.59 a	3.13 a
	70°C 30sec	801.64 b	15.99 a	3.13 a
	100°C 30sec	884.49 a	13.14 b	2.84 a
Storage time		***	ns	ns
Treatment		ns	***	ns
Storage time × Treatment		**	ns	ns

^zMeans within a column followed by the same letter are not significantly different at $p<0.05$ by LSD test.

*, **, ***: Significant at $p<0.05$, $p<0.01$, and $p<0.001$, respectively; ns= no significant.

討 論

殺菁的主要目的為抑制產品本身的酵素活性，以防止產品在貯藏期間褐化或軟化，此外殺菁還具有保持產品原有色澤、去除不良風味、部份殺菌等功能，而殺菁處理常以 POD 失去活性作為殺菁完成的指標 (Xiao *et al.*, 2017)。蔬果經截切後有較高的呼吸率且容易褐化，因此需透過適當的保鮮技術以延緩品質劣變 (Oliveira *et al.*, 2015)。鮮切竹筍的褐化與 PAL、POD、PPO 活性及總酚類化合物含量有關 (Yang *et al.*, 2010; Yang *et al.*, 2015; Zheng *et al.*, 2019)，而外觀褐化與內部生理木質化為影響鮮切竹筍櫥架壽命的關鍵，NO 處理有效抑制貯藏期間去殼早竹筍的 PAL、POD、PPO 活性以及乙烯的生合成，ClO₂ 溶液與幾丁聚醣覆膜複合處理顯著抑制貯藏期間鮮切雷竹筍的 PAL、POD、苯丙烯醇脫氫酶 (cinnamyl alcohol dehydrogenase, CAD)、PPO 活性，草酸處理抑制貯藏期間去殼高節竹筍的 PAL、CAD、輔酶 A 鏈合酶 (4-coumarate CoA ligase, 4CL)、POD、PPO 活性，上述研究結果皆顯示藉由抑制木質化與褐化相關酵素之活性，可以延緩鮮切竹筍的外觀褐化與內部生理木質化，以延長櫥架壽命。

而熱處理在鮮切馬鈴薯、鮮切蓮藕、鮮切芋頭及鮮切蘋果中被證實可以有效延緩因輕度加工的機械傷害而造成產品外觀的褐化 (Tsouvaltzis *et al.*, 2011; Chang and Kim, 2015; Son *et al.*, 2015; Rux *et al.*, 2019)，鮮切芋頭經 55°C 溫湯處理 45 秒後再真空包裝，有效延緩芋頭外觀 L* 下降與 a*、b* 增加，由於是真空低氧環境可以有效抑制 PPO 與基質總酚類化合物向下反應進一步形成褐色物質，同時熱處理結合真空包裝可能藉由減緩失重來維持鮮切芋頭的硬度 (Chang and Kim, 2015)。本試驗結果與上述前人研究相似，對照組的 L* 隨貯藏時間增加而下降，70°C 或 100°C 熱處理 30 秒的鮮切竹筍在貯藏期間有顯著較高的 L*，表示熱處理可以有效延緩褐化，但 100°C 熱處理 30 秒的鮮切竹筍在貯藏期間的 b*、C* 較高而 h° 較低，可能是因 100°C 溫度較高導致熱處理後的竹筍顏色偏向熟化，因此需降低熱處理溫度如降至 70°C 或減少熱處理時間以降低熱處理對外觀顏色的影響(表 1)。

貯藏期間熱處理對鮮切竹筍之 PPO 活性影響不顯著，但 100°C 熱處理後在剛處理完就顯著降低 POD 活性，並且在貯藏 2、3、4 週時維持顯著較低的 POD 活性，POD 為對熱穩定酵素(heat stable enzyme)，本試驗中 100°C 熱處理對 POD 活性影響較大(表 4)。真空包裝容易導致產品因無氧呼吸產生異味，鮮切桃子在真空包裝前先經高壓處理可以顯著降低的乙醇含量 (Denoya *et al.*, 2015)，此試驗中各處理的乙醛及乙醇含量隨貯藏時間增加而累積，但經 100°C 熱處理的鮮切竹筍在貯藏期間有顯著較低的乙醛及乙醇含量，可能是高溫破壞無氧呼吸相關酵素活性，因此真空包裝前先熱處理可有效抑制異味產生(表 3)。100°C 及 70°C 熱處理後即有水分損失，在整個貯藏期間皆以 100°C 熱處理後的鮮切竹筍有顯著較高的失重率，而 70°C 熱處理失重率較低，因此鮮切麻竹筍逐個真空包裝再以 70°C 熱處理 30 秒於 1°C 下貯藏，具 4 週之貯藏壽命，而且外觀及內部品質與未去殼之整筍接近，可提供鮮切筍保鮮及貯藏之參考。

參考文獻

- 葉文彬。2014。蔬果輕度加工保鮮處理。台中區農業改良場 102 年專題討論專集: 275-279。
- 歐書瑋、陳財輝。2013。麻竹產筍林栽培管理技術回顧。林業研究專訊 20: 41-45。
- 鍾一榮、陳財輝。2014。麻竹的培育管理與竹筍的產銷。林業研究專訊 21: 58-62。
- Aghdam, M. S. and S. Bodbodak. 2013. Postharvest heat treatment for mitigation of chilling injury in fruits and vegetables. Food Bioprocess Technol. 7:37-53.
- Chang, M. S. and G. H. Kim. 2015. Combined effect of hot water dipping and vacuum packaging for maintaining the postharvest quality of peeled taro. Hort. Environ. Biotechnol. 56:662-668.
- Denoya, G. I., S. R. Vaudagna, and G. Polenta. 2015. Effect of high pressure processing and vacuum packaging on the preservation of fresh-cut peaches. LWT-Food Sci. Technol. 62:801-806.
- Johnson, L. B. and B. A. Cunningham. 1972. Peroxidase activity in healthy and leaf-rust-infected wheat leaves. Phytochemistry 11:547-551.
- Keith, R. W., D. Le Tourneau, and D. Mahlum. 1958. Quantitative paper-chromatographic determination of phenols. J. Chromatogr. A 1:534-536.
- Lee, C. and N. Smith. 1979. Blanching effect on polyphenol oxidase activity in table beets. J. Food Sci. 44:82-83.
- Lu, S. M. and Y. G. Xu. 2004. Physiological and biochemical changes of fresh-cut bamboo shoot (*Phyllostachys heterocycla var pubescens*) during cold storage. J. Sci. Food Agr. 84:772-776.
- Luo, Z., X. Wu, Y. Xie, and C. Chen. 2012. Alleviation of chilling injury and browning of postharvest bamboo shoot by salicylic acid treatment. Food Chem. 131:456-461.
- Ma, L., M. Zhang, B. Bhandari, and Z. Gao. 2017. Recent developments in novel shelf life extension technologies of fresh-cut fruits and vegetables. Trends Food Sci. Technol. 64:23-38.
- Oliveira, M., M. Abadias, J. Usall, R. Torres, N. Teixidó, and I. Viñas. 2015. Application of modified atmosphere packaging as a safety approach to fresh-cut fruits and vegetables – A review. Trends Food Sci. Technol. 46:13-26.
- Rux, G., E. Efe, C. Ulrichs, S. Huyskens-Keil, K. Hassenberg, and W.B. Herppich. 2019. Effects of pre-processing short-term hot-water treatments on quality and shelf life of fresh-cut apple slices. Foods 8:653.
- Son, J., J. E. Hyun, J. W. Lee, S. Y. Lee, and B. Moon. 2015. Combined application of antibrowning, heat treatment and modified-atmosphere packaging to extend the shelf life of fresh-cut lotus root. J. Food Sci. 80:C1178-1187.

- Tsouvaltzis, P., A. Deltsidis, and J. K. Brecht. 2011. Hot water treatment and pre-processing storage reduce browning development in fresh-cut potato slices. *HortScience* 49:1282-1286.
- Woolf, A.B. 1997. Reduction of chilling injury in stored hass' avocado fruit by 38° C water treatments. *HortScience* 32:1247-1251.
- Xiao, H. W., Z. Pan, L. Z. Deng, H. M. El-Mashad, X. H. Yang, A. S. Mujumdar, Z. J. Gao, and Q. Zhang. 2017. Recent developments and trends in thermal blanching—A comprehensive review. *Info. Processing Agr.* 4:101-127.
- Yang, H., J. Zheng, C. Huang, X. Zhao, H. Chen, and Z. Sun. 2015. Effects of combined aqueous chlorine dioxide and chitosan coatings on microbial growth and quality maintenance of fresh-cut bamboo shoots (*Phyllostachys praecox* f. *prevernalis*.) during storage. *Food Bioprocess Technol.* 8:1011-1019.
- Yang, H., C. Zhou, F. Wu, and J. Cheng. 2010. Effect of nitric oxide on browning and lignification of peeled bamboo shoots. *Postharvest Biol. Technol.* 57:72-76.
- Zheng, J., S. Li, Y. Xu, and X. Zheng. 2019. Effect of oxalic acid on edible quality of bamboo shoots (*Phyllostachys prominens*) without sheaths during cold storage. *LWT-Food Sci. Technol.* 109:194-200.
- Zheng, J., F. Zhang, J. Song, M. Lin, and J. Kan. 2014. Effect of blanching and drying treatments on quality of bamboo shoot slices. *Int. J. Food Sci. Technol.* 49:531-540.

Effects of Heat Treatment on the Storage Quality of Vacuum Packaged Fresh-Cut Bamboo Shoots (*Dendrocalamus latiflorus* Munro)

Pei-Rong Wu¹⁾ Huey-Ling Lin²⁾

Key words: Browning, Peroxidase, Polyphenol oxidase, Storage quality

Summary

This study focused on investigating the effects of heat treatment on the storage quality and browning of vacuum packaged fresh-cut bamboo shoots during storage at 1 °C . The results revealed that fresh-cut bamboo shoots with heat treatment at 100°C for 30 seconds exhibited lower levels of acetaldehyde, ethanol, and peroxidase (POD) activity. However, the least color change in appearance was observed in fresh-cut bamboo shoots with heat treatment at 70°C for 30 seconds. These bamboo shoots also exhibited lower weight loss and cutting force, contributing to a better preservation of the texture. The appearance and internal quality were similar to the freshly harvested bamboo shoots. Furthermore, heat treatment at 70°C for 30 seconds maintained their commercial value even after storage at 1 °C for 4 weeks.

1) Student in M.S. Program, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

This article is a part of a master's thesis written by the first author.

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

半木質化插穗與未木質化插穗對木鱨果 扦插繁殖之影響¹⁾

邱 永 森²⁾ 黃 三 光³⁾

關鍵字：木鱨果、插穗、扦插繁殖

摘要：木鱨果(*Momordica cochinchinensis*)為近年來台灣新興蔬菜之一，其全果包含種子、假種皮、果肉及果皮，皆具有藥用價值。由於木鱨果屬於雌雄異株之作物，因此需透過無性扦插繁殖大量繁殖優良雌株，以解決種子繁殖性別不定之問題。在扦插繁殖中，插穗木質化程度對扦插植物之生長影響重大，是以本研究探討木鱨果半木質化與未木質化之插穗對其扦插繁殖之影響。試驗結果顯示半木質化與未木質化插穗之存活率、抽芽率、側枝長度及側枝葉片數彼此間並無顯著差異，而發根率亦無顯著差異，但半木質化插穗之根鮮重、根乾重及總根數均顯著高於非木質化插穗，另一方面，扦插前半木質化插穗內之澱粉濃度、可溶性糖濃度及可溶性蛋白含量顯著高於未木質化插穗，代表半木質化插穗較未木質化插穗可提供較多之碳水化合物及蛋白質供後續生長所需。此外，扦插前插穗營養元素濃度分析顯示，氮、鈣、硼等對扦插繁殖有正面影響之元素於半木質化插穗亦顯著高於未木質化插穗。綜上所述，木鱨果使用半木質化插穗對扦插繁殖之效率優於使用非木質化之插穗。

1) 本文為第一作者碩士論文之一部分。

2) 國立中興大學園藝系研究生。

3) 國立中興大學園藝系副教授、通訊作者。

前 言

木鼈果(*Momordica cochinchinensis*)為葫蘆科苦瓜屬之多年生蔓性藤本作物，花性屬雌雄異株，為近年來台灣新興蔬菜之一。其全果包含種子、假種皮、果肉及果皮，皆具有製藥或藥用價值，故被冠以來自天堂的果實之美稱(Parks *et al.*, 2013)。木鼈果人工繁殖主要透過扦插及種子繁殖，而透過種子繁殖的主要問題為幼苗性別無法確定，需要等開花後才能辨別(葉，2016；Parks *et al.*, 2013)。因此透過扦插繁殖大量繁殖具優良性狀之雌株幼苗定植於田間，不僅能維持果實品質之穩定性，亦能增加農民田間果實之生產效率與單一面積木鼈果產量。影響插穗發根之因子如吲哚-3-乙酸(indole-3-acetic acid, IAA)、作物品種、插穗取樣之節位或部位、插穗成熟度、插穗莖徑與長度及其他發根輔助物質如抗氧化物質(抗壞血酸、酚類化合物)、營養元素(氮、磷、鉀、鈣、硼)及能量儲備物質(碳水化合物、蛋白質)等均會影響扦插繁殖之效率(da Costa *et al.*, 2013；Druege *et al.*, 2019)。據 Couvillon 與 Pokorny (1968)的研究，較年輕之插穗通常有較良好的發根表現，然而對於某些物種而言，更成熟的插穗如木質化或半木質化的枝條，比起未木質化之年輕插穗，反而更容易生根(Couvillon *et al.*, 1975；Sen and Couvillon, 1983)，目前木鼈果扦插繁殖相關之研究多有探討外源生長激素及發根介質等因子對木鼈果扦插繁殖之影響(Hamidon *et al.*, 2020；Tran *et al.*, 2020；Parks *et al.*, 2013)，鮮有針對木鼈果插穗木質化程度對木鼈果插穗生長與發根能力(rooting ability)之影響進行探究，是以本研究乃探討木鼈果半木質化與非木質化之插穗對木鼈果扦插繁殖之影響，並分析木鼈果插穗內可能影響插穗發根之化學物質與營養元素，期能對木鼈果之栽培繁殖有所助益。

材 料 與 方 法

一、試驗材料

供試插穗取自中興大學園藝試驗場所培育之嘉義在地種木鼈果植株，扦插苗定植於中興大學園藝系溫室內。

二、試驗地點與日期

試驗地點為中興大學園藝系溫室，扦插床設有自動噴霧系統，每 4 小時噴霧 5 分鐘，噴霧時段於早上 6 點起至下午 6 點止，無遮陰，試驗日期自 2022.07.19 至 2022.08.016 為止。

三、試驗方法

供試插穗分為未木質化插穗及半木質化插穗等二處理(圖一)，自木鼈果植株之子蔓選取莖徑相近的插穗，木質化程度依據插穗莖部表面皮孔的木質化突起面積所占之表面積比為界

定依據，半木質化插穗莖部表面約 40-50%具木質化突起，而未木質化插穗莖部表面則光滑未有突起，每處理三重複，每重複 8 個插穗，共 24 個插穗。扦插時採用雙節插穗，插穗長度約 20-25 cm，留有一片剪去 1/2 的成熟葉，插穗基部先以 250 ppm NAA 水溶液浸泡 5 分鐘，再插於填有泥炭土(potgrond H, Klasmann, Germany)之 3.5 吋長形黑軟盆(高 14 cm)中，每處理取一半插穗進行扦插前性狀調查，另一半於扦插四週後進行性狀調查。

四、插穗性狀調查

於扦插前，調查下列之性狀：

1. 插穗重量：測量整枝帶葉片之插穗重量，單位為克(g)。
2. 插穗莖徑：測量枝條基部以上兩公分處之寬度，單位為毫米(mm)。

於扦插試驗結束後，調查下列之性狀：

1. 存活率：地上部未呈現萎凋性狀之插穗百分比。
2. 抽芽率：具有側芽長度大於 1 cm 之插穗百分比。
3. 側枝長度：測量最接近頂芽側枝之長度，單位為公分(cm)。
4. 側枝葉片數：最接近頂芽之側枝所著生之葉片數。
5. 發根率：根長大於 2 mm 之插穗百分比。
6. 根鮮重：單一插穗所有長出之根(長 > 2 mm)之鮮重，單位為克(g)。
7. 根乾重：單一插穗所有長出之根(長 > 2 mm)烘乾後之乾重，單位為克(g)。
8. 總根數：單一插穗所長出之總根數。

五、插穗內化學物質分析

1. 抗壞血酸含量

測定取 1 g 新鮮木鼈果插穗莖部置於研鉢中，加入 9 ml 6% metaphosphoric acid 緩衝溶液，於研鉢中研磨，後以紗布過濾出水溶液，以抗壞血酸試紙(reflectoquant ascorbic acid test strip, Merk, Germany)沾取水溶液，使用反射光度計(reflectometer, RQflex 10 plus, Merk, Germany)測定抗壞血酸含量。

2. 乾燥樣本製備

將插穗以 1%鹽酸(HCl)漂洗後，再以去離子水漂洗兩次後，置於牛皮紙袋中，先以 100°C 殺青 2 小時後，用 80°C 持續烘乾至重量恆定，使用研磨機研磨成乾粉，以無酸紙裝袋，保存於室溫備用。

3. 可溶性糖濃度測定

以微量天秤精秤前述製備之乾粉樣本 0.1 g，加入含 10 ml 去離子水之 15 ml 離心管中震盪混和均勻，於恆溫震盪水浴槽內以 32°C 震盪 4 小時，於室溫以 3578 g 離心 10 分鐘，使用濾紙濾取上清液，上清液用於全可溶性糖分析，濾出之樣品殘渣以 70°C 烘乾用於澱粉濃度

測定，取 0.2 ml 上清液加入 4.8 ml 去離子水震盪混合均勻，混合均勻後取 2 ml 混和液加入 0.1 ml liquid phenol 及 6 ml 濃硫酸震盪均勻，靜置 30 分鐘，以分光光度計測量樣品在 490 nm 之吸光值，標準曲線使用葡萄糖(glucose)製成。

4. 澱粉濃度測定

取前述可溶性糖濃度測定所烘乾之樣品殘渣，加入 2 ml 去離子水，於 100°C 沸水中煮 15 分鐘，取出後置於冰水中迅速冷卻，加入 2 ml 9.2 N 過氯酸 (HClO₄) 震盪均勻，加入 6 ml 去離子水，於室溫以 3578 g 離心 10 分鐘，取 0.1 ml 上清液加入 1.9 ml 去離子水，再加入 0.1 ml liquid phenol 及 6 ml 濃硫酸震盪均勻，靜置 30 分鐘，以分光光度計測量樣品在 490 nm 之吸光值，標準曲線使用葡萄糖(glucose)製成。

5. 總酚類化合物含量測定

取 1 g 新鮮木鼈果插穗莖部置於研鉢中，加入 0.1 M pH 7 磷酸緩衝溶液 10 ml 及適量海砂，在冰浴下研磨，於 2°C 以 50310 g 離心 10 分鐘，以濾紙過濾，再以 2°C 於 50310 g 離心 10 分鐘，取 0.1 ml 上清液加入 0.9 ml 去離子水、0.2 ml 20% Na₂CO₃、0.1 ml Folin-Ciocalteu phenol reagent (Sigma, USA) 及 8.7 ml 去離子水震盪混合均勻，以 100°C 沸水加熱 3 分鐘，後迅速置於冰水內降溫終止反應，以分光光度計測量波長 660 nm 下樣品之吸光值，標準曲線使用咖啡酸(caffeic acid)製成。

6. 總可溶性蛋白含量測定

取 1 g 新鮮木鼈果插穗莖部置於研鉢中，加入 0.1 M pH 7 磷酸緩衝溶液 10 ml 及適量海砂，在冰浴下研磨，以 2°C 於 50310 g 離心 10 分鐘，以濾紙過濾，再以 2°C 於 50310 g 離心 10 分鐘，取上清液 0.1 ml 加 1.9 ml 去離子水、5 ml reagent A (1 ml 2% potassium tartarate、1 ml 1% CuSO₄·5H₂O、10 ml 1 N NaOH、2 g Na₂CO₃ 及 90 ml H₂O) 震盪均勻靜置 10 分鐘，加入 0.5 ml reagent B (folin-reagent : H₂O = 1:1, v/v)，以分光光度計測量波長 660 nm 下樣品之吸光值，標準曲線使用牛血清白蛋白(bovine serum albumin, BSA, TCL, Japan)製成。

7. 游離胺基酸含量測定

取 1 g 新鮮木鼈果插穗莖部置於研鉢中，加入 0.1 M pH 7 磷酸緩衝溶液 10 ml 及適量海砂，在冰浴下研磨，以 2°C 於 50310 g 離心 10 分鐘，以濾紙過濾，再以 2°C 於 50310 g 離心 10 分鐘，取 0.2 ml 上清液加 0.8 ml 去離子水，加入 1 ml ninhydrin reagent (將 5 g ninhydrin、95 g KH₂PO₄、43 g Na₂HPO₄、3 g fructose 混合後加去離子水定量至 1000 ml)，置於 100°C 沸水中加熱 10 分鐘，取出後靜置冷卻，加入 5 ml color diluent (將 2 g KIO₃ 以 600 ml 去離子水溶解，以 95% 乙醇定量至 1000 ml)，以分光光度計測量波長 660 nm 下樣品之吸光值，標準曲線使用丙胺酸(alanine)製成。

六、插穗營養元素分析

1. 灰化液製備

在灰化前一天，將前述五、2.所製備之乾粉樣本以 80°C 烘乾一夜，去除濕氣，利用微量天秤精秤 0.5 g 樣品置於坩鍋中，再將坩鍋放入灰化爐，升溫至 200°C 加熱兩小時，400°C 加熱 1 小時，最後再以 550°C 加熱 2 小時，灰化完畢後，取出並靜置冷卻，接續於坩鍋內加入 2 N 鹽酸(HCl) 5 ml，靜置一夜以充分溶解灰分，灰化液使用濾紙過濾後定量至 25 ml，裝入塑膠瓶內室溫保存，用於後續營養元素分析。

2. 總氮含量測定

以凱氏定氮法進行，將前述五、2.所製備之乾粉樣本以 80°C 烘乾一夜，利用微量天秤精秤 0.2 g，包於無灰分濾紙 Whatman 1 號濾紙中，將樣本置於分解管內，加入 1 g 的催化劑 (selenium reagent mixture, Merck, USA)及 4.5 ml 濃硫酸，於分解爐內以 410°C 加熱至管中樣本成淡綠色無白煙繼續飄出為止，取出靜置冷卻後，加入 15 ml 蒸餾水，如樣本呈現淡藍色，則分解完全，將樣本移至 Micro-Kjeldahl 裝置，加入 12 N NaOH 20 ml，樣本利用蒸氣使其氮化，使用 2% Boric acid 20 ml 作為指示劑接收氨水及氨氣，直至總體積達到 50 ml 後，以 1/14 N H₂SO₄ 滴定還原，計算氮之百分比。

3. 鉀、鎂元素測定

取 0.1 ml 灰化液樣本，以 3.9 ml 去離子水稀釋，再取 1 ml 稀釋液加入 4 ml 去離子水中，震盪混和均勻後，以原子吸收光譜儀(Atomic absorption spectrophotometer, HITACHI Z-2300, Japan)測定濃度。

4. 鈣元素測定

取 0.1 ml 灰化液樣本，以 3.9 ml 去離子水稀釋，並加入 1 ml 5%氧化釧(La₂O₃)震盪混和均勻，以原子吸收光譜儀測定濃度。

5. 磷元素測定

以鉬黃法進行濃度測定，取 1 ml 灰化液樣本於試管中，加入 3 ml 去離子水以及 1 ml 鉬黃試劑[將(NH₄)₆Mo₇O₂₁·4H₂O 22.5 g 及 NH₄VO₃ 1.25 g 以 25% HNO₃ 1000 ml 溶解配置而成]，震盪混和均勻後以 ELISA reader (BMG LABTECH, FLUOstar Omega, Germany)，測量樣品在 470 nm 之吸光值，標準曲線乃使用磷酸二氫鉀(KH₂PO₄)製成。

6. 硼元素測定

取 0.2 ml 灰化液樣本加入 0.4 ml Buffer Masking Reagent (將 20 g tetrasodium salt of EDTA、8 g nitriloacetic acid、280 g ammonium acetate 及 20 g potassium acetate 依序加入 50 ml 去離子水中溶解，後定量至 400 ml，加入 125 ml acetic acid，混和均勻後靜置一夜，接續使用 Whatman 1 號濾紙過濾)，震盪均勻後加入 0.2 ml Azomethine-H Reagent (將 0.8 g fresh azomethine-H 及 2 g ascorbic acid 溶於 60 ml 去離子水中，並定量至 100 ml，避光儲藏)，震盪

均勻後避光靜置 1 小時，最後以 ELISA reader 測量樣品在 420 nm 之吸光值，標準曲線乃使用 analytical grade boric acid 製成。

七、統計分析

試驗採用完全隨機區集設計(Randomized Complete Block Design, RCBD)，插穗性狀、化學物質濃度或含量及營養元素濃度等數據乃使用 Excel (Microsoft 365, USA)進行 *t*-test 分析，比較平均值間的差異。

結 果

一、未木質化插穗與半木質化插穗對木鼈果扦插繁殖植株性狀之影響

以未木質化與半木質化之成熟枝條作為扦插材料(圖 1、2)，未木質化插穗存活率 83.3%、抽芽率 91.7%、側枝長度 15.1 cm、側枝葉片數 4.5；半木質化插穗存活率 91.7%、抽芽率 83.3%、側枝長度 17.9 cm、側枝葉片數 5.6，上述之性狀兩處理間皆無顯著差異。未木質化插穗發根率 100%、根鮮重 1.36 g、根乾重 0.09 g、總根數 13.2，半木質化插穗發根率 100%、根鮮重 2.68 g、根乾重 0.15 g、總根數 59.7，均顯著高於未木質化插穗(表 1、2)，插穗扦插前調查結果顯示，未木質化插穗之重量為 7.4 g，半木質化插穗為 9.0 g，半木質化插穗顯著高於未木質化插穗，未木質化插穗之莖徑為 4.6 mm，半木質化插穗之為 5.0 mm，兩者間無顯著差異(表 3)。



圖 1、未木質化插穗(A)與半木質化插穗(B)外觀之差異，Bar = 5 cm。

Fig. 1. The difference in appearance between non-woody cuttings (A) and semi-woody cuttings (B), Bar = 5 cm.



圖 2、未木質化插穗(A)與半木質化插穗(B)扦插四週後根部之生長性狀，Bar = 5 cm。

Fig. 2. Root phenotype of non-woody cuttings (A) and semi-woody cuttings (B) after four weeks of cutting, Bar = 5 cm.

表 1、木鼈果未木質化插穗與半木質化插穗於扦插四週後之存活率、抽芽率及地上部之生長性狀

Table 1. Survival rate, sprouting percentage, and shoot phenotype of non-woody and semi-woody cuttings of gac after four weeks of cutting propagation.

插穗類型	存活率 (%)	抽芽率 (%)	側枝長度 (cm)	側枝葉片數
未木質化插穗	83.3±14.4	91.7±14.4	15.1±6.8	4.5±1.8
半木質化插穗	91.7±14.4	83.3±14.4	17.9±4.0	5.6±0.6
<i>t</i> -test	0.27	0.52	0.59	0.41
<i>P</i> ^x	ns	ns	ns	ns

^x*P* from *t*-test: ns representing nonsignificant at *P* < 0.05.

表 2、木鼈果未木質化插穗與半木質化插穗於扦插四週後之發根率及根部生長性狀

Table 2. Rooting rate and root phenotype of non-woody and semi-woody cuttings of gac after four weeks of cutting propagation.

插穗類型	發根率 (%)	根鮮重 (g)	根乾重 (g)	總根數
未木質化插穗	100.0±0.0	1.36±0.4	0.09±0.02	13.2±0.8
半木質化插穗	100.0±0.0	2.68±0.3	0.15±0.05	59.7±9.0
<i>t</i> -test	1.0	0.01	0.19	0.01
<i>P</i> ^x	ns	*	*	*

^x*P* from *t*-test: ns, * representing nonsignificant or significant at *P* < 0.05.

表 3、木鼈果未木質化插穗與半木質化插穗扦插前之重量、莖徑、澱粉及可溶性糖濃度

Table 3. The cutting weight, stem diameter, starch and soluble sugar concentrations in non-woody and semi-woody cuttings of gac before cutting propagation.

插穗類型	插穗重量 (g)	插穗莖徑 (g)	澱粉 (%)	可溶性糖 (%)
未木質化插穗	7.4±0.2	4.6±0.3	3.8±0.8	4.3±0.7
半木質化插穗	9.0±0.5	5.0±0.2	5.3±0.8	5.5±0.4
<i>t</i> -test	0.018	0.12	0.04	0.03
<i>P</i> ^x	*	ns	*	*

^x*P* from *t*-test: ns, * representing nonsignificant or significant at *P* < 0.05.

二、不同木質化程度插穗內之化學物質濃度或含量

針對插穗不定根形成過程中重要之能量來源包含澱粉、可溶性糖、蛋白質及游離胺基酸及防止生長素氧化之重要抗氧化劑包含酚類化合物及抗壞血酸進行分析，分析結果顯示未木質化插穗之澱粉濃度與可溶性糖濃度分別為 3.8%與 4.3%，而半木質化插穗則分別為 5.3%與 5.5%，皆以半木質化插穗顯著較高(表 3)。未木質化插穗之總酚類化合物含量 1940.8 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ FW、游離胺基酸含量 0.035 $\text{mmol}\cdot\text{g}^{-1}$ FW 及抗壞血酸含量 31.9 $\text{mg}/100\text{ g FW}$ 皆顯著高於半木質化插穗，但半木質化插穗之可溶性蛋白質含量 11.2 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ FW 則顯著高於未木質化插穗(表 4)。

三、不同木質化程度插穗內之營養元素濃度

針對插穗不定根形成過程中重要之輔助營養元素進行分析，分析結果顯示，半木質化插

穗之氮元素濃度 1.05%、磷元素濃度 0.16%、鉀元素濃度 0.96%、鈣元素濃度 1.03%及硼元素濃度 12.44 ppm，而未木質化插穗之氮元素濃度 0.99%、磷元素濃度 0.20%、鉀元素濃度 1.76%、鈣元素濃度 0.63%及硼元素濃度 11.58 ppm，其中以半木質化插穗之氮、鈣及硼元素濃度顯著高於未木質化插穗，而未木質化插穗之磷及鉀元素濃度則顯著高於半木質化插穗 (表 5)。

表 4、木鼈果未木質化插穗與半木質化插穗扦插前之總酚類化合物、游離胺基酸、抗壞血酸及可溶性蛋白含量

Table. 4. The contents of total phenolic compounds, free amino acids, ascorbic acid and soluble protein in non-woody and semi-woody cuttings of gac before cutting propagation.

插穗類型	總酚類化合物 ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)	游離胺基酸 ($\text{mmol}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)	抗壞血酸 ($\text{mg}/100\text{ g FW}$)	可溶性蛋白 ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)
未木質化插穗	1940.8 $\pm$ 178.0	0.035 $\pm$ 0.002	31.9 $\pm$ 5.9	7.3 $\pm$ 0.3
半木質化插穗	1268.5 $\pm$ 153.9	0.026 $\pm$ 0.002	9.8 $\pm$ 1.5	11.2 $\pm$ 0.8
<i>t</i> -test	0.001	0.0002	0.004	0.001
<i>P</i> ^x	*	*	*	*

^x*P* from *t*-test: * representing significant at *P* < 0.05.

表 5、木鼈果未木質化插穗與半木質化插穗扦插前之氮、磷、鉀、鈣及硼元素之濃度

Table .5. Concentrations of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and boron in non-woody and semi-woody cuttings of gac before cutting propagation.

插穗類型	氮 (%)	磷 (%)	鉀 (%)	鈣 (%)	硼 (ppm)
未木質化插穗	0.99 $\pm$ 0.04	0.20 $\pm$ 0.03	1.76 $\pm$ 0.29	0.63 $\pm$ 0.13	11.58 $\pm$ 0.44
半木質化插穗	1.05 $\pm$ 0.02	0.16 $\pm$ 0.02	0.96 $\pm$ 0.16	1.03 $\pm$ 0.03	12.44 $\pm$ 0.05
<i>t</i> -test	0.03	0.049	0.003	0.002	0.01
<i>P</i> ^x	*	*	*	*	*

^x*P* from *t*-test: * representing significant at *P* < 0.05.

討 論

扦插繁殖中常利用半木質化插穗又稱半硬木插穗作為扦插繁殖材料，其優點為插穗內容物充實不易腐爛且扦插後存活率高，但因枝條木質化過程須經過 2-3 個月，因此常使用冬季過後萌發的新梢所形成的半木質化插穗進行扦插，故採集插穗時間常落於春夏(萬, 1994)。據此本研究乃於 2022 年夏季採集了木藍果未木質化插穗與半木質化插穗作為扦插繁殖之試驗材料，試驗結果顯示半木質化插穗存活率 91.7%與未木質化插穗存活率 83.3% (表 1)兩處理間無顯著差異，但插穗根部生長表現則顯著優於未木質化插穗(表 2、圖 2)。為瞭解半木質化插穗根部生長表現較佳之原因，試驗中調查了可能影響插穗生根表現之相關內生因子，結果顯示半木質化插穗扦插前之重量為 9.0 g，未木質化插穗為 7.4 g，兩者間有顯著差異(表 3，表 4)，半木質化插穗扦插前之澱粉濃度、全可溶性糖濃度及可溶性蛋白含量顯著高於未木質化插穗(表 3)，代表半木質化插穗具備較充分不定根形成所需之能量，而碳水化合物與插穗的發根能力習習相關，澱粉為插穗不定根形成前之主要能量來源(Denaxa *et al.*, 2012)，而可溶性糖(蔗糖、葡萄糖、果糖)則為影響插穗初始根原基(root primordia)形成之重要因子，扦插後插穗內之可溶性糖類會累積於插穗基部，作為不定根根原基形成之養分來源(Takahashi *et al.*, 2003；Kromer and Gamian, 2000；Haissig, 1982)，亦有研究結果顯示，易發根作物品種發根能力優於難發根作物品種之原因可能與其插穗扦插前之初始可溶性糖總量較高有關(Denaxa *et al.*, 2012；Wojtania *et al.*, 2019)，且外源性蔗糖處理能顯著提升插穗發根能力包含發根率及總根數(Wojtania *et al.*, 2019)。半木質化插穗營養元素氮、鈣與硼濃度雖顯著高於未木質化插穗，但氮與硼濃度在兩者間差異甚微(表 5)，其中鈣元素於前人研究顯示無論內源性鈣或施用鈣元素均可促進生根並能增加植株不定根之鮮重及總根數(Bellamine *et al.*, 1998；Xiao *et al.*, 2020；Falasca *et al.*, 2004)。外源 Ca^{2+} 亦可通過誘導產生生長素之信號傳遞途徑和引發細胞分裂素導致之細胞分裂二者間的交互作用進而影響不定根之形成(Guan *et al.*, 2015)。綜上所述，木藍果使用半木質化插穗對扦插繁殖之效率優於使用非木質化之插穗，未來於扦插繁殖時，可挑選半木質化插穗以提升木藍果之繁殖效率。

參 考 文 獻

- 萬蜀淵. 1994. 園藝植物繁殖學. 中國農業出版社. 202pp.
- 葉祉廷. 2016. 木鱉子繁殖方法與果實生長發育、呼吸型式及抗氧化力之研究. 國立中興大學園藝系碩士學位論文. 台中.
- Bellamine, J., C. Penel, H. Greppin, and T. Gaspar. 1998. Confirmation of the role of auxin and calcium in the late phases of adventitious root formation. *Plant Growth Regul.* 26:191-194.
- Couvillon, G. A. and F. A. Pokorny. 1968. Photoperiod, indolebutyric acid, and type of cutting wood as factors in the rooting of rabbiteye blueberry (*Vaccinium ashei* Reade), cv. woodward. *HortScience* 3:74-75.
- Couvillon, G. A., G. A. King, C. M. Moore, and P. Bush. 1975. Obtaining small peach plants containing all bud types for “rest” and dormancy studies. *HortScience* 10:78-79.
- da Costa, C. T., M. R. de Almeida, C. M. Ruedell, J. Schwambach, F. S. Maraschin, and G. Fett-Neto. 2013. When stress and development go hand in hand: main hormonal controls of adventitious rooting in cuttings. *Front. Plant Sci.* 4:133.
- Denaxa, N. K., S. N. Vemmos, and P. A. Roussos. 2012. The role of endogenous carbohydrates and seasonal variation in rooting ability of cuttings of an easy and a hard to root olive cultivars (*Olea europaea* L.). *Sci. Hortic.* 143:19-28.
- Druege, U., A. Hilo, J. M. Pérez-Pérez, Y. Klopotek, M. Acosta, F. Shahinnia, S. Zerche, P. Franken, and M. R. Hajirezaei. 2019. Molecular and physiological control of adventitious rooting in cuttings: phytohormone action meets resource allocation. *Ann. Bot.* 123:929-949.
- Falasca, G., D. Zaghi, M. Possenti, and M. M. Altamura. 2004. Adventitious root formation in *Arabidopsis thaliana* thin cell layers. *Plant Cell Rep.* 23:17-25.
- Guan, L., A. S. Murphy, W. A. Peer, L. Gan, Y. Li, and Z. M. Cheng. 2015. Physiological and molecular regulation of adventitious root formation. *Crit. Rev. Plant Sci.* 34:506-521.
- Haissig, B. E. 1982. Carbohydrate and amino acid concentrations during adventitious root primordium development in *Pinus banksiana* Lamb. cuttings. *For. Sci.* 28:813-821.
- Hamidon, A., R. M. Shan, R. M. Razali, and S. Lob. 2020. Effect of different types and concentration of rooting hormones on *Momordica cochinchinensis* (Gac Fruit) root vine cuttings. *Malays. Appl. Biol.* 49:127-132.

- Kromer, K. and A. Gamian. 2000. Analysis of soluble carbohydrates, proteins and lipids in shoots of M 7 apple rootstock cultured *in vitro* during regeneration of adventitious roots. J. Plant Physiol. 156:775-782.
- Parks, S. E., C. T. Murray, D. L. Gale, B. Al-Khawaldeh, and L. J. Spohr. 2013. Propagation and production of Gac (*Momordica cochinchinensis* Spreng.), a greenhouse case study. Exp. Agric. 49:234-243.
- Sen, S. M. and G. A. Couvillon. 1983. Factors affecting survival of “in field”, rooted hardwood peach cuttings. HortScience 18:324-325.
- Takahashi, F., K. Sato-Nara, K. Kobayashi, M. Suzuki, and H. Suzuki. 2003. Sugar-induced adventitious roots in *Arabidopsis* seedlings. J. Plant Res. 116:83-91.
- Tran, X. T., S. E. Parks, P. D. Roach, and M. H. Nguyen. 2020. Improved propagation methods for gac (*Momordica cochinchinensis* Spreng.). Exp. Agric. 56:132-141.
- Wojtania, A., E. Skrzypek, and A. Marasek-Ciolakowska. 2019. Soluble sugar, starch and phenolic status during rooting of easy-and difficult-to-root magnolia cultivars. Plant Cell, Tissue Organ Cult. 136:499-510.
- Xiao, Z. A., Y. Zhang, M. Liu, C. Zhan, X. Yang, T. Nvsvrot, Z. Yan, and N. Wang. 2020. Coexpression analysis of a large-scale transcriptome identified a calmodulin-like protein regulating the development of adventitious roots in poplar. Tree Physiol. 40:1405-1419.

Effects of Semi-Woody and Non-Woody Cuttings on Cutting Propagation of Gac (*Momordica cochinchinensis*)¹⁾

Yong-Sen Qiu²⁾ San-Gwang Hwang³⁾

Key words: Gac, Cutting propagation

Summary

Gac (*Momordica cochinchinensis*) is a newly emerging vegetable in Taiwan. Gac fruit includes seed, aril, pulp, peel all have medicinal values. Since gac is a dioecious plant, mass production of female plant is achieved by cutting propagation to avoid the uncertainty of gender on seeds. In terms of cutting propagation, the degree of cutting lignification has a huge impact on the growth of cutting plants. This research explored the effect of using semi-woody and non-woody cuttings on the propagation of gac. Our results showed that there is no significant difference in survival rate, percentage of budding plant, young shoot length, number of leaves per shoot, and rooting rate between cutting plants derived from semi-woody and non-woody cuttings. However, root fresh weight, root dry weight, and total number of roots were all significantly higher in semi-woody cutting compared to non-woody cutting. On the other hand, the concentration of starch, soluble sugar and content of soluble protein in the semi-woody cuttings before propagation were all significantly higher relative to the non-woody cuttings, suggesting that semi-woody cutting can provide more carbohydrates and protein for the ongoing growth of cutting plant. Furthermore, results from nutrient analysis of cutting before planting indicated that concentrations of nitrogen, calcium and boron which have significant impact on cutting propagation are higher in semi-woody cutting compared to non-woody cutting. Taken together, results from this study revealed that using semi-woody cutting for the propagation of gac is more efficient than using non-woody cutting.

1) This paper is a part of the first author's M.S. thesis.

2) Student in M.S. program, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

3) Associate Professor, Department of Horticulture, National Chung Hsing University,
Corresponding author.

水楊酸處理對'巨峰'葡萄耐高溫逆境能力與 果實品質之影響

段 世 峰¹⁾ 陳 京 城²⁾

關鍵字：葉綠素螢光、耐熱性、抗氧化酵素

摘要：水楊酸(Salicylic acid, SA)為一種植物生合成之酚類化合物，具有誘導植物提升逆境耐受性之作用。本研究對'巨峰'葡萄盆苗葉片噴施 SA 溶液，以探討有效之 SA 處理濃度，並進行田間試驗以調查 SA 處理對葡萄果實品質之影響。SA 0.5 mM 比 1.0 mM 處理更有效誘導葡萄葉片提升抗氧化酵素活性，在 27°C 回溫恢復期間 SA 0.5 mM 處理組之超氧化物歧化酶(superoxide dismutase)活性仍能維持顯著較對照組高。另於'巨峰'幼果期與轉熟期噴施 SA 於結果枝與果穗，採收時 SA 0.5 mM 處理組之果色指數及 TSS 顯著高於對照組，然而 SA 2.0 mM 處理則顯著較低，顯示 SA 0.5 mM 處理加速果實成熟，SA 2.0 mM 處理延遲之。未來仍須針對 SA 處理對花與果實生長發育之影響進行更深入之研究，以評估實際應用於葡萄經濟栽培上之可行性。

前 言

水楊酸(salicylic acid, SA)為植物在逆境下生合成之一種酚類化合物，能誘導植物增強環境逆境下之耐受性(Rao *et al.*, 1997)。近年來有許多研究指出預先施用外源性 SA，亦可以降低植物在不同逆境下所受到的傷害，例如保護光合作用系統不受逆境抑制、維持細胞膜的穩定性、提升抗氧化酵素基因表達量及酵素活性(Jahan *et al.*, 2019; Wang and Li, 2006)。另外，在果實發育期間進行葉面或是果實噴施 SA 也具有改善採收時果實品質並延長其貯藏壽命之效果(Gomez-Jimenez *et al.*, 2022; Oraei *et al.*, 2019)。

本研究目的為以'巨峰'葡萄之扦插苗為試驗材料，測試高溫逆境與後續回溫恢復期間提升植株耐高溫逆境能力之最有效 SA 處理濃度，此外也進行田間試驗，調查葉面以及果

1) 國立中興大學園藝學系碩士班研究生。本文為第一作者碩士論文之一部分。

2) 國立中興大學園藝學系助理教授，通訊作者。

穗噴施 SA 對果實品質之影響，以期未來能實際在栽培管理上利用 SA 保護葡萄等重要作物，緩解熱浪來襲時造成的植株損傷並增進果實品質。

材 料 與 方 法

試驗一、水楊酸處理對'巨峰'葡萄耐高溫逆境能力之影響

一、試驗材料

本試驗以取自國立中興大學葡萄中心之'巨峰'葡萄枝條雙節扦插於栽培介質(泥炭苔：珍珠石：蛭石為 2：1：1)，並置於每日自動噴霧 1 次之網室，將經生長約有 10 片成熟葉且無病蟲害之盆苗移至生長箱中進行後續試驗處理。

二、試驗方法

(一)水楊酸處理

以少許 95%酒精溶解水楊酸粉劑(Salicylic acid, Sigma)，加入 500 ml 蒸餾水稀釋並以 0.1 M KOH 將 pH 值調整至 7.0 後再定量至試驗濃度(0.5 mM 與 1.0 mM)。對照組與各處理組溶液皆加入 0.05% Tween-20 展著劑。

(二)高溫逆境處理

高溫逆境處理前將試驗植株自網室移入試驗條件下(溫度為 27°C，光強度為 2000 lux，相對濕度為 80%，光週期為 16 小時之生長箱)進行馴化 4 天後，標記欲測量之葉片(每植株取 3 片年輕成熟葉片)並以手持式葉綠素螢光測定儀及葉綠素計測量，對照組噴施蒸餾水，處理組噴施不同濃度 SA 溶液於植株葉片，24 小時後測量葉綠素螢光與葉綠素含量變化，並將溫度設定至 40°C 進行高溫逆境處理 4 天，高溫逆境處理結束後將溫度設定為 27°C 回溫 3 天，試驗期間於每日同一時段測量葉綠素螢光值及葉綠素含量並記錄其數值變化，並在測量完後澆水。

(三)葉綠素相對含量(SPAD)測定

以葉綠素計(SPAD 502 Plus Chlorophyll Meter, Konica Minolta)夾取葉片並避開葉脈部分進行測定，藉由葉片對光線之穿透率評估其葉綠素相對含量。以 1 棵植株為 1 重複，共有 5 重複，每棵植株測量 3 片年輕成熟葉之無明顯可視高溫逆境傷害部位，每片葉測 3 點，分別是葉尖(terminal lobe)與 2 個葉肩(lower lateral lobes)。

(四)葉綠素螢光(F_v/F_m)測定

測量前先將生長箱光源關閉，進行暗適應(dark adapted) 30 分鐘後，再以手持式葉綠素螢光測定儀(PAR-FluorPen FP 110, Photon Systems Instruments)測定。分別以測量光(measure light)與飽和脈衝光(saturable light)測得 F_0 最低螢光值與 F_m 最高螢光值，由系統自動換算 $F_m - F_0 / F_m$ 即 F_v / F_m ，代表 PSII 在暗適應下最大光化學能效率(maximum quantum yield of PSII)，測量部位同葉綠素相對含量測定。

(五)超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性分析

抗氧化酵素活性之試驗中高溫逆境處理時間為 3 天，回溫 1 天。在噴施 SA 之前、噴施後 1 天、高溫逆境 3 天後以及回溫 1 天進行葉片採樣。每處理 6 棵植株，每 2 棵植株為 1 重複，共有 3 重複，每個採樣時間點自每一植株剛成熟且健康之葉片中取 1 片葉，先以自來水沖洗後再以蒸餾水清洗 2 次，然後以剪刀裁剪成塊狀以液態氮冷凍，保存在-20°C 冷凍櫃，待後續抗氧化酵素活性分析。將 0.2g 樣品在冰浴研鉢中以液態氮粉碎後，加入 4 ml 萃取緩衝液研磨均質。將均質液倒入 12 ml 離心管在 4°C 下以 12,000 ×g 離心 20 分鐘，取上清液即為酵素萃取液供抗氧化酵素活性分析。萃取緩衝液配置：Potassium phosphate buffer 50 mM pH 6.8, EDTA 1 mM, Titron X-100 0.05%, PVPP 2%。

活性分析條件參考Beyer和Fridovich (1987)並部分調整。取 0.05 ml 酵素萃取液，在透明玻璃試管中依序加入 1.5 ml 50 mM potassium phosphate buffer (pH 7.8)、0.3 ml 130 mM methionine、0.3 ml 750 μ M nitro blue tetrazolium (NBT)、0.3 ml 0.1 mM EDTA、0.3 ml 20 μ M riboflavin、0.25 ml 去離子水，並震盪使藥品混和均勻，將試管置於 4000 lux 之白光 LED 燈架下反應 20 分鐘，反應結束後以分光光度計測定在 560 nm 下之吸光值，空白組係以不含酵素萃取液之 50 mM potassium phosphate buffer (pH 6.8) 進行反應，以在試驗反應條件下每 g 葉片鮮重中抑制 NBT 光還原 50% 為 SOD 活性單位(unit)。

(六)抗壞血酸過氧化酶(ascorbate peroxidase, APX)活性分析

參考 Nakano 和 Asada (1981) 並部分調整。取 0.1 ml 酵素萃取液在石英光電比色管中依序加入 1.4 ml 150 mM potassium phosphate buffer (pH 7.0)、1 ml 1.5 mM ascorbate、0.5 ml 6 mM H₂O₂，均勻混和後以分光光度計測定在 290 nm 下之吸光值於 1.5 分鐘內之變化，空白組係不含酵素萃取液之 50 mM potassium phosphate buffer (pH 6.8) 進行反應，以每分鐘消耗 1 μ mol 之 ascorbate 為活性單位(unit)，ascorbate 之莫耳消光係數(molar absorption coefficient)為 2.8 mM⁻¹cm⁻¹。

(七)過氧化氫酶(catalase, CAT)活性分析

參考 Kato 和 Shimizu (1987) 並部分調整。取 0.2 ml 酵素萃取液在石英光電比色管中依序加入 2.7 ml 100 mM potassium phosphate buffer (pH 7.0)、0.1 ml 100 mM H₂O₂，均勻混和後以分光光度計測定在 240 nm 下之吸光值於 1.5 分鐘內之變化，空白組係不含酵素萃取液之 50 mM potassium phosphate buffer (pH 6.8) 進行反應，以每分鐘消耗 1 μ mol 之 H₂O₂ 為活性單位(unit)，H₂O₂ 之莫耳消光係數(molar absorption coefficient)為 40 mM⁻¹cm⁻¹。

三、數據分析

試驗數據使用統計軟體 SAS (SAS Enterprise Guide 8.3) 以 One way ANOVA 之最小顯著差異法(least significant different, LSD)比較各處理之間差異，顯著水準為 95%。

試驗二、水楊酸處理對'巨峰'葡萄果實之影響

一、試驗材料

栽培於國立中興大學葡萄中心株齡約 20 年，嫁接於 Teleki 5C 砧木之'巨峰'葡萄植株，採 X 型水平棚架整枝，以台灣 1 年 2 收生產模式栽培之夏果，每個結果枝留 1 果穗，田間管理採慣行農法。

二、試驗方法

SA 處理濃度為 0.5 mM、1.0 mM、2.0 mM，處理方式為在幼果期(花後 30 日)及轉熟期(花後 60 日)拆開套袋後直接噴施 SA 溶液至葉片及果穗，對照組噴施蒸餾水，各處理溶液皆加入 0.05% Tween-20，待溶液蒸發後重新套回袋子。花後 75 天採收果實進行品質分析，調查項目及方法如下：果粒重(berry weight)測量方式為每個果穗隨機取 10 個果實以電子天秤測量重量(g)並取其平均值；果色指數(berry color index)以葡萄果色板(日本農林水產省果樹試驗場基準之赤、紫、黑系果色板)測量，顏色由綠色至紫黑色以 0-12 級表示；總可溶性固形物(TSS)、可滴定酸(TA)：每個果穗隨機取 10 個果實榨取果汁，以數位糖度計(PAL-1, ATAGO)測量其可溶性固形物($^{\circ}$ Brix)，以自動滴定儀(TIM840, Radiometer Analytical)測量其 TA。

結 果

試驗一、施用不同濃度水楊酸對高溫逆境下'巨峰'葡萄之影響

(一)葉綠素相對含量

對照組與 SA 處理組之 SPAD 值在高溫逆境第 4 天時降至最低，高溫逆境第 4 天時對照組之數值較高溫逆境之前下降 6.0%，SA 0.5 mM 處理組下降 6.5%，SA 1.0 mM 處理組下降 3.6%。回溫後其數值回升，但對照組與各濃度 SA 處理組之 SPAD 值在各個調查時間點比較皆無顯著差異(圖 1)。

(二)葉綠素螢光

對照組與 SA 處理組之 F_v/F_m 值亦隨高溫逆境下降，對照組與 SA 0.5 mM 處理組在回溫第 1 天時降至最低，而 SA 1.0 mM 處理組在高溫逆境第 4 天時降至最低。SA 0.5 mM 處理組之數值在高溫逆境第 2-4 天時顯著比對照組低，SA 1.0 mM 處理組在高溫逆境第 3 天時顯著比對照組低，在高溫逆境第 3 天時對照組之 F_v/F_m 值較高溫逆境前下降 2.1%，SA 0.5 mM 處理組下降 4.0%，SA 1.0 mM 處理組下降 3.6%。回溫其間各組之數值恢復至無顯著差異(圖 1)。

(三)超氧化物歧化酶活性

對照組之 SOD 活性在噴施 SA 後 1 天有上升趨勢，回溫 1 天後活性下降至顯著較噴施後 1 天低。SA 0.5 mM 處理組之 SOD 活性在噴施後 1 天上升，高溫逆境 3 天後變化不大，回溫 1 天後降至顯著較高溫逆境 3 天時低。SA 1.0 mM 處理組之 SOD 活性在噴施後 1 天上升，高溫逆境 3 天後有下降趨勢。在高溫逆境 3 天後，SA 0.5mM 處理組之 SOD 活

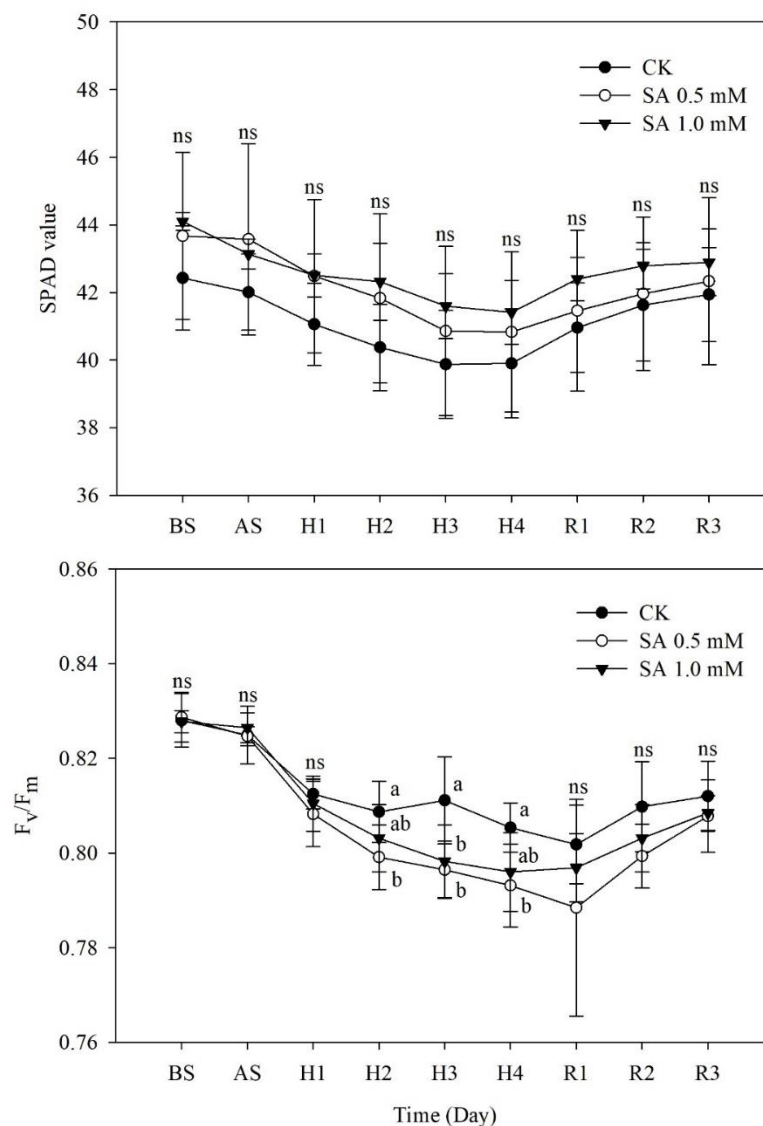


圖 1. 噴施不同濃度水楊酸對'巨峰'葡萄葉片在高溫逆境下葉綠素相對含量與葉綠素螢光之影響

Figure 1. Effect of spraying different concentrations of salicylic acid (SA) on relative chlorophyll content (SPAD value) and chlorophyll fluorescence (F_v/F_m) in leaves of 'Kyoho' grapevine under heat stress and following recovery.

BS: before spraying; AS: 24 hrs after spraying; H: 40°C heat stress; R: recovery at 27°C. Each value represents the mean of five replicates. Different letters indicate significant differences by Fisher's LSD test at $P < 0.05$.

性顯著較 SA 1.0 mM 處理組高 37%，但與對照組無顯著差異，在回溫 1 天後 SA 0.5 mM 處理組之活性顯著較對照組高 37%，與 SA 1.0 mM 處理組無顯著差異(錯誤! 書籤的自我參照不正確。))。

(四)抗壞血酸過氧化酶活性

對照組之 APX 活性在噴施後 1 天有上升趨勢，在高溫逆境 3 天後上升至顯著較噴施前高 32%，活性維持至回溫 1 天後。SA 0.5 mM 處理組之 APX 活性在噴施後 1 天上升，高溫逆境 3 天後活性變化較小，至回溫 1 天時有繼續上升趨勢。SA 1.0 mM 處理組之 APX 活性在噴施 SA 後 1 天上升，高溫逆境 3 天後至回溫 1 天時變化不大。在高溫逆境 3 天時，SA 0.5 mM 處理組之 APX 活性顯著較對照組低 17%，較 SA 1.0 mM 處理組顯著低 23%(表 2)。

(五)過氧化氫酶活性

對照組之 CAT 活性在高溫逆境 3 天後有上升趨勢，回溫 1 天後下降，SA 0.5 mM 與 SA 1.0 mM 處理組在噴施後 1 天亦上升，高溫逆境 3 天後下降，但是各個時間點之間無顯著差異，不同處理間亦無顯著差異(表 3)。

試驗二、水楊酸處理對'巨峰'葡萄果實之影響

經 SA 處理後之果實重量有較對照組高之趨勢，但未達顯著程度。在果色之調查中，SA 0.5 mM 處理組之果色最深，果色指數顯著高於對照組與其他 SA 處理組；SA 2.0 mM 處理組之果色最淺，果色指數顯著低於對照組與其他 SA 處理組。在 TSS 與 TA 方面，SA 0.5 mM 處理組之 TSS 顯著高於對照組與其他 SA 處理組；SA 2.0 mM 處理組之 TSS 顯著低於對照組與其他 SA 處理組。SA 0.5 mM 與 SA 1.0 mM 處理組之 TA 顯著低於對照組與 SA 2.0 mM 處理組。SA 0.5 mM 處理組之 TSS/TA 顯著高於對照組與其他 SA 處理組，SA 1.0 mM 處理組之 TSS/TA 亦顯著高於對照組，但顯著低於 SA 0.5 mM 處理組(表 4)。

表 1. 噴施水楊酸對'巨峰'葡萄葉片 SOD 活性在高溫逆境下之影響

Table 1. Effect of salicylic acid spraying on SOD activity in leaves of 'Kyoho' grapevines under heat stress and recovery. ^z

Treatment	Before spraying	After spraying	HT3d	Recover 1 day
CK	328±33 ^y AB	424±15 aA ^x	365±95 abAB	287±27 bB
SA 0.5mM	-	456±35 aAB	468±4 aA	393±53 aB
SA 1.0mM	-	415±38 aA	342±28 bA	355±57 abA

^z Different concentrations of salicylic acid (SA) were sprayed on pot plants 24 hours before moved to 40 °C plant growth chamber. The plants were moved back to room temperature (27 °C) for recovery after 3 days of heat treatment. One unit of SOD activity was defined as the inhibition of 50% NBT photoreduction under the assay conditions.

^y Mean ± standard deviation of three replicates.

^x Different letters within the same column (small letters) and row (capital letters) indicate significant differences by Fisher's LSD test at $p < 0.05$.

表 2. 噴施水楊酸對'巨峰'葡萄葉片 APX 活性在高溫逆境下之影響

Table 2. Effect of salicylic acid spraying on APX activity in leaves of 'Kyoho' grapevines under heat stress and recovery. ^z

Treatment	Before spraying	After spraying	HT3d	Recover 1 day
CK	0.73±0.10 ^y B	0.83±0.02 aAB ^x	0.96±0.05 aA	0.97±0.12 aA
SA 0.5mM	-	0.89±0.17 aA	0.81±0.06 bA	0.97±0.26 aA
SA 1.0mM	-	0.95±0.02 aA	1.00±0.09 aA	0.90±0.21 aA

^z Different concentrations of salicylic acid (SA) were sprayed on pot plants 24 hours before moved to 40°C plant growth chamber. The plants were moved back to room temperature (27°C) for recovery after 3 days of heat treatment. One unit of enzyme activity was defined as the degradation of 1 µmol ascorbic acid per minute.

^y Mean ± standard deviation of three replicates.

^x Different letters within the same column (small letters) and row (capital letters) indicate significant differences by Fisher's LSD test at $p < 0.05$.

表 3. 噴施水楊酸對'巨峰'葡萄葉片 CAT 活性在高溫逆境下之影響

Table 3. Effect of salicylic acid spraying on CAT activity in leaves of 'Kyoho' grapevines under heat stress and recovery. ^z

Treatment	Before spraying	After spraying	HT3d	Recover 1 day
CK	0.022±0.006 ^y A	0.017±0.009 aA ^x	0.025±0.013 aA	0.014±0.001 aA
SA 0.5mM	-	0.027±0.021 aA	0.014±0.007 aA	0.014±0.007 aA
SA 1.0mM	-	0.024±0.001 aA	0.013±0.009 aA	0.016±0.004 aA

^z Different concentrations of salicylic acid (SA) were sprayed on pot plants 24 hours before moved to 40°C plant growth chamber. The plants were moved back to room temperature (27°C) for recovery after 3 days of heat treatment. One unit of enzyme activity was defined as the degradation of 1 μ mol H₂O₂ per minute.

^y Mean $\pm$ standard deviation of three replicates.

^x Different letters within the same column (small letters) and row (capital letters) indicate significant differences by Fisher's LSD test at $p < 0.05$.



圖 2. '巨峰'葡萄 2023 年夏果果穗

Fig. 2. Fruit clusters of 'Kyoho' grape in 2023 summer crop.

CK, control; SA, salicylic acid treatments were applied at 30 DAB and 60 DAB (veraison).

表 4. 噴施水楊酸對'巨峰'葡萄果實品質之影響

Table 4. Effect of SA spraying on fruit qualities of 'Kyoho' grape in 2023 summer crop. ^z

Treatment	Berry wt. (g)	Skin color index	TSS (°Brix)	TA (%)	TSS/TA
CK	10.64±0.70 ^y a ^x	6.9±1.0 b	18.62±1.09 b	0.35±0.03 a	54.20±7.15 c
SA 0.5 mM	11.80±1.06 a	8.1±0.4 a	19.47±0.38 a	0.28±0.02 b	69.85±4.89 a
SA 1.0 mM	11.35±0.84 a	6.7±0.6 b	17.83±0.58 b	0.29±0.02 b	61.50±5.33 b
SA 2.0 mM	11.24±1.29 a	4.9±0.8 c	16.57±0.51 c	0.32±0.01 a	51.25±1.88 c

^z 'Kyoho' grapevine's fruit bearing branches and fruits were sprayed with different concentrations of salicylic acid (SA). The treatments were applied at 30 DAB and 60 DAB (veraison).

^y Means ± standard deviation of six replicates.

^x Means in the same column followed by the same letter are not significantly different by Fisher's LSD test at $p < 0.05$.

討 論

施用外源性 SA 誘導植物抵抗非生物逆境之機制可能與其引起植物組織內部氧化還原狀態改變有關。低濃度之 SA (0.1-1.0 mM) 會對植物組織細胞造成輕微氧化逆境並產生 ROS，尤其 H₂O₂ 除了是一種 ROS 之外，亦是一種訊號分子，可以透過活化抗氧化酵素系統等機制來提升植物對逆境之耐受性(Dat *et al.*, 1998; Rao *et al.*, 1997; Horváth *et al.*, 2007)，除此之外，SA 可能具有直接與 CAT 結合之能力(Chen *et al.*, 1993)，以此方式抑制其活性來累積 H₂O₂ 含量，但是此抑制效果是暫時性的，數小時過後累積之 H₂O₂ 仍會被催化還原為 H₂O (Dat *et al.*, 1998; Rao *et al.*, 1997)。在不同植物之研究中，SA 處理之有效濃度範圍在 0.1-5.0 mM 之間，高濃度之 SA 處理則反而會對植物造成傷害(He *et al.*, 2005; Lopez-Delgado *et al.*, 1998; Wang and Li, 2006)。

本研究發現雖然 SA 0.5 mM 與 SA 1.0 mM 處理組之 SPAD 值在各個時間點間與對照組比較無顯著差異，但在高溫逆境期間 SA 1.0 mM 處理組之 SPAD 值相較逆境前下降幅度較對照組小，SA 1.0 mM 為有效之處理濃度可使葉片在高溫逆境下維持葉綠素含量；在葉綠素螢光方面，SA 0.5 mM 處理組之 F_v/F_m 值在高溫逆境期間降至顯著低於對照組之現象，可能與 SA 處理透過誘導植物細胞內 ROS 濃度上升有關，但在回溫 3 天後所有組別之數值皆無顯著差異，顯示本試驗使用之濃度仍未達藥害程度。

Wang 與 Li (2006)以‘Jingxiu’ (*Vitis vinifera*)葡萄為試驗材料，葉面噴施 0.1 mM SA 後其 SOD 活性在處理後 2 小時即顯著上升，但在 24 小時後下降至與對照組無顯著差異，本研究結果則顯示經 0.5 mM SA 處理後，對‘巨峰’葡萄葉片提升 SOD 活性之效果至少可以至回溫 1 天後(SA 處理後 5 天)。El-Hady 等(2021)以番茄為試驗材料，葉面噴施 0、0.5、1.0、1.5、2.0 mM SA，在處理後 10 日取樣進行分析，發現 1.0 mM 與 1.5 mM 之處理能維持顯著較高之 SOD 活性，低濃度處理之 SOD 活性則已下降，而 2.0 mM 之過高濃度處理造成反效果，可見在適當濃度範圍之內 SA 處理濃度具有劑量效應(dose-dependent manner)，較高濃度之 SA 處理可使效果持續較長時間。

‘巨峰’葡萄葉片經 SA 處理後，其 APX 活性亦有上升趨勢，顯示出 SA 處理具誘導 APX 活性提升之效果，然而在高溫逆境 3 天後，對照組之 APX 活性在高溫逆境後上升至顯著較 SA 0.5 mM 處理組高，可能原因為 SA 處理已預先對植株產生保護效果，使高溫逆境後 SA 0.5 mM 處理組之植株受到的傷害程度較對照組低，因此其 APX 活性受到逆境傷害誘導上升幅度較對照組低。

在 CAT 活性方面，在本研究發現 SA 處理組之 CAT 活性在噴施後 1 天至回溫期間並未下降，因為本研究中各取樣時間點皆為噴施 SA 至少 1 天以後，在前人研究中多指出 CAT 活性受 SA 處理抑制之情形在數小時內恢復(Rao *et al.*, 1997; Dat *et al.*, 1998; Horváth *et al.*, 2007)，除此之外，在 SA 處理誘導植物提升逆境耐受性之機制中，H₂O₂ 途徑並非唯一訊號傳導途徑(Zeier *et al.*, 2004; Liu *et al.*, 2013)，在部分研究結果也顯示 SA 處理具有提升而非抑制 CAT 活性之效果(He and Zhu, 2008; Mutlu *et al.*, 2009)。

SA 採前或採後處理會抑制更年性果實之乙烯生合成並延遲呼吸高峰出現時間(Luo *et al.* 2011; Li *et al.*, 2022)，在非更年性果實中同樣具有延遲果實成熟與老化效果(Giménez *et al.*, 2016; Serna-Escolano *et al.*, 2021)。若在果實發育期間對植株或是果實進行 SA 處理，則可能有加速果實成熟之作用(García-Pastor *et al.*, 2020; Yue *et al.*, 2023)，取決於 SA 處理時間與濃度。García-Pastor 等(2020)以‘Magenta’與‘Crimson’葡萄(*Vitis vinifera*)為試驗材料，在幼果期、轉色期與採收前 3 天全株噴施 SA，結果顯示 5 與 10 mM 之高濃度 SA 處理阻礙果實正常成熟，產生無商品價值之果穗，而 0.01 與 0.1 mM 之低濃度 SA 處理反而會促進果實成熟。Yue 等(2023)在‘Muscat Hamburg’葡萄之研究中指出 50 ppm (約 0.32 mM)之 SA 處理加速葡萄果實成熟，有顯著較高之 TSS 與總花青素含量，而 200 ppm (約 1.45 mM)之 SA 處理則延後果實成熟，使果實之 TSS 與總花青素含量顯著較對照組低。本研究在‘巨峰’夏季葡萄試驗中，SA 0.5 mM 處理組之果實成熟度較對照組高，SA 2.0 mM 處理組之果實成熟度則較對照組低。綜合前人研究與本研究之結果，在果實發育期間進行低濃度之 SA 處理可能會加速葡萄果實成熟，而高濃度之 SA 處理則反而會延遲之。

致 謝

本研究承蒙行政院農業委員會農糧署 111 農科-4.1.3 糧-Z1(1)計畫補助部分經費，謹致謝忱。

參 考 文 獻

- Beyer Jr, F. Wayne and I. Fridovich. 1987. Assaying for superoxide dismutase activity: some large consequences of minor changes in conditions. *Anal. Biochem.* 161: 559-566.
- Chen, Z., J. W. Ricigliano, and D. F. Klessig. 1993. Purification and characterization of a soluble salicylic acid-binding protein from tobacco. *PNAS* 90: 9533-9537.
- Dat, J. F., H. Lopez-Delgado, C. H. Foyer, and I. M. Scott. 1998. Parallel changes in H₂O₂ and catalase during thermotolerance induced by salicylic acid or heat acclimation in mustard seedlings. *Plant Physiol.* 116: 1351-1357.
- El-Hady, N. A. A. A., A. I. ElSayed, S. S. El-Saadany, P. A. Deligios, and L. Ledda. 2021. Exogenous application of foliar salicylic acid and propolis enhances antioxidant defenses and growth parameters in tomato plants. *Plants* 10: 74.
- García-Pastor, M. E., P. J. Zapata, S. Castillo, D. Martínez-Romero, D. Valero, M. Serrano, and F. Guillén. 2020. Preharvest salicylate treatments enhance antioxidant compounds, color and crop yield in low pigmented-table grape cultivars and preserve quality traits during storage. *Antioxidants* 9: 832.
- Giménez, M. J., J. M. Valverde, D. Valero, P. J. Zapata, S. Castillo, and M. Serrano. 2016. Postharvest methyl salicylate treatments delay ripening and maintain quality attributes and antioxidant compounds of ‘Early Lory’ sweet cherry. *Postharvest Biol. Technol.* 117: 102-109.
- Gomez-Jimenez, M., B. Briegas, M. Camarero, G. Blanch, and M. Ruiz del Castillo. 2022. Impact of preharvest salicylic acid treatment on phenolic content and antioxidant activity of grape berries. *Acta Hort.* 1344: 81-86.
- He, Y. and Z. Zhu. 2008. Exogenous salicylic acid alleviates NaCl toxicity and increases antioxidative enzyme activity in *Lycopersicon esculentum*. *Biol. Plant.* 52: 792-795.
- He, Y., Y. Liu, W. Cao, M. Huai, B. Xu, and B. Huang. 2005. Effects of salicylic acid on heat tolerance associated with antioxidant metabolism in Kentucky bluegrass. *Crop Sci.* 45: 988-995.
- Horváth, E., G. Szalai, and T. Janda. 2007. Induction of abiotic stress tolerance by salicylic acid signaling. *J. Plant Growth Regul.* 26: 290-300.

- Jahan, M. S., Y. Wang, S. Shu, M. Zhong, Z. Chen, J. Wu, J. Sun, and S. Guo. 2019. Exogenous salicylic acid increases the heat tolerance in Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) by enhancing photosynthesis efficiency and improving antioxidant defense system through scavenging of reactive oxygen species. *Sci. Hortic.* 247:421-429.
- Kato, M. and S. Shimizu. 1987. Chlorophyll metabolism in higher plants. VII. Chlorophyll degradation in senescing tobacco leaves; phenolic-dependent peroxidative degradation. *Can. J. Plant Sci.* 65: 729-735.
- Li, Y., H. He, Y. Hou, A. Kelimu, F. Wu, Y. Zhao, L. Shi, and X. Zhu. 2022. Salicylic acid treatment delays apricot (*Prunus armeniaca* L.) fruit softening by inhibiting ethylene biosynthesis and cell wall degradation. *Sci. Hortic.* 300: 111061.
- Liu, W. X., F. C. Zhang, W. Z. Zhang, L. F. Song, W. H. Wu, and Y. F. Chen. 2013. *Arabidopsis* Di19 functions as a transcription factor and modulates *PR1*, *PR2*, and *PR5* expression in response to drought stress. *Mol. Plant* 6: 1487-1502.
- Lopez-Delgado, H., J. F. Dat, C. H. Foyer, and I. M. Scott. 1998. Induction of thermotolerance in potato microplants by acetylsalicylic acid and H₂O₂. *J. Exp. Bot.* 49: 713-720.
- Luo, Z., C. Chen, and J. Xie. 2011. Effect of salicylic acid treatment on alleviating postharvest chilling injury of 'Qingnai' plum fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 62: 115-120.
- Mutlu, S., Ö. Atici, and B. Nalbantoglu. 2009. Effects of salicylic acid and salinity on apoplastic antioxidant enzymes in two wheat cultivars differing in salt tolerance. *Biol. Plant.* 53: 334-338.
- Nakano, Y. and K. Asada. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant Cell Physiol.* 22: 867-880.
- Oraei, M., S. Panahirad, F. Zaare-Nahandi, and G. Gohari. 2019. Pre-véraison treatment of salicylic acid to enhance anthocyanin content of grape (*Vitis vinifera* L.) berries. *J. Sci. Food Agric.* 99: 5946-5952.
- Rao, M. V., G. Paliyath, D. P. Ormrod, D. P. Murr, and C. B. Watkins. 1997. Influence of salicylic acid on H₂O₂ production, oxidative stress, and H₂O₂-metabolizing enzymes (salicylic acid-mediated oxidative damage requires H₂O₂). *Plant Physiol.* 115: 137-149.
- Serna-Escolano, V., D. Martínez-Romero, M. J. Giménez, M. Serrano, S. García-Martínez, D. Valero, J. M. Valverde, and P. J. Zapata. 2021. Enhancing antioxidant systems by preharvest treatments with methyl jasmonate and salicylic acid leads to maintain lemon quality during cold storage. *Food Chem.* 338: 128044.
- Wang, L. J. and S. H. Li. 2006. Thermotolerance and related antioxidant enzyme activities induced by heat acclimation and salicylic acid in grape (*Vitis vinifera* L.) Leaves. *Plant Growth Regul.* 48: 137-144.

- Yue, X., Y. Ju, T. Zhang, R. Yu, H. Xu, and Z. Zhang. 2023. Application of salicylic acid to cv. Muscat Hamburg grapes for quality improvement: Effects on typical volatile aroma compounds and anthocyanin composition of grapes and wines. *LWT* 182: 114828.
- Zeier, J., B. Pink, M. J. Mueller, and S. Berger. 2004. Light conditions influence specific defence responses in incompatible plant–pathogen interactions: uncoupling systemic resistance from salicylic acid and PR-1 accumulation. *Planta* 219: 673-683.

Effect of Salicylic Acid Treatment on Heat Stress Tolerance and Berry Quality of 'Kyoho' Grapevines

Shi-Feng Duan¹⁾ Ching-Cheng Chen²⁾

Key words: Chlorophyll fluorescence, Heat tolerance, Antioxidant enzymes

Summary

Salicylic acid (SA) is a phenolic compound synthesized by plants, which can improve plant stress tolerance. In this study, SA solution was sprayed on the leaves of 'Kyoho' grapevine pot plants to test effective concentration of SA treatment, and field experiment was conducted to investigate the effect of SA treatment on grape fruit quality. SA 0.5 mM treatment was more effective than SA 1.0 mM treatment in enhancing antioxidant enzyme activities. The plants treated with SA 0.5 mM could maintain significantly higher superoxide dismutase enzyme activity than the control plants during recovery at 27°C. SA were sprayed on fruiting shoots and clusters at young fruit stage and at veraison. The fruit color index and TSS of SA 0.5 mM treatment were significantly higher than those of the control at harvest, while SA 2.0 mM treatment were significantly lower. These results suggested that SA 0.5 mM treatment accelerated fruit maturation while SA 2.0 mM delayed it. It is necessary to investigate the impact of SA treatment on growth and development of flowers and fruits in order to evaluate the possibility of practical application in grape commercial production.

1) Student in M.S. program, Department of Horticulture, National Chung Hsing University. This paper is a part of the first author's master thesis.

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

Shoot Tip Culture of 'Italia' Grapevines (*Vitis vinifera* Bicané × *V. vinifera* Muscat' Hamburg)

Thanyarat Rungreung¹⁾ Jer-Chia Chang²⁾

Keywords: 'Italia' grapevine, plant growth regulators, lateral shoot, fruiting shoot, shoot tip

Summary

The objective of this study was to establish the efficiency conditions for explant type, season, and concentration of plant growth regulators to develop an *in vitro* micropropagation protocol for 'Italia' grapevine (*Vitis vinifera* Bicané × *V. vinifera* Muscat' Hamburg). Shoot tips of net-house growth plants were sampled as 1 mm long and cultured on Murashige and Skoog (MS) basal medium supplemented with 0.0, 1.0, 2.5, or 5.0 mg/L BA for shoot initiation (2 weeks) and multiplication (4 weeks). The survival rate, shoot weight, and shoot length were obtained with 2.5 mg/L BA and lateral shoots during spring. However, the explants were effortless to be vitrified when exposed to higher BA concentrations, whereas, for shoot initiation and multiplication, 1.0 mg/L BA was preferential. For root induction, 1-2 nodes of explants were cultured on ½ MS medium supplemented with 0.0, 0.5, 1.0, and 2.0 mg/L IBA. The highest rooting percentage in both spring and autumn seasons were achieved with lateral shoots with 2.0 mg/L IBA. The survival rate after acclimatization (90.00%) was successfully observed with 0.5 mg/L IBA supplementation and lateral shoots during the autumn under greenhouse conditions. In conclusion, the using of BA and IBA were effective plant growth regulators to improve and enhance shoot tip culture efficiency of the 'Italia' grapevine.

1) Graduate student in Master Program, Department of Horticulture, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan.

2) Professor and corresponding author. Department of Horticulture, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan.

Introduction

The grapevine (*Vitis* spp.) area harvested covered 6.73 million ha, yielding 10.93 tons/ha around the world. The largest grapevine producers include China mainland, Italy, Spain, USA, and France (FAO, 2021). They being consumed as fresh, used for winemaking, as well as raisins production, and also the creation of jam, juice, jelly, vinegar, and seed oils (Mukherjee *et al*, 2010; Naidu *et al*, 2014; Toma, 2018).

Generally, grapevine plantlets are propagated through asexual reproduction methods, such as cutting, division, grafting or budding, layering, and tissue culture (Erwin, 1995). Tissue culture is an essential method for propagating woody plant species (Mozafari *et al*, 2016; Wang *et al*, 2022), the first successful grapevine tissue culture experiment was conducted in 1941 by Morel (Bouquet and Torregrosa, 2003). The explants commonly used in micropropagation for culture initiation include meristem, shoot tip, and axillary bud (Bhatia and Sharma, 2015). Plant growth regulators such as cytokinin and auxin are often introduced to the medium to increase shoot length, shoot number per explant, and leaf count (Poudel *et al*, 2005; Read and Preece, 2014; Bhatia and Sharma, 2015; Batukaev, 2021). Studies on the effect of 6-Benzylaminopurine (BA) have shown the number of shoots increased with increasing BA concentrations in grapevines (Poudel *et al*, 2005; Batukaev, 2021), whereas indole-3-butyric acid (IBA) and 1 Naphthaleneacetic acid (NAA), both synthetic auxins, are typically added to the rooting medium to enhance root initiation (Klerk, 2002; Read and Preece, 2014; Amiri *et al*, 2019). Nevertheless, it is possible to initiate root in grapevines without adding any plant growth regulators to the rooting medium (Melyan *et al*, 2015; Nascimento *et al*, 2019).

'Italia' grapevine also called 'Italia IP65' (*Vitis vinifera* Bicané × *V. vinifera* Muscat' Hamburg) (VIVC, 2023) has been popular with its huge berry, fragment and both use for fresh and process purpose; however, little is known regarding its micropropagation. The objective of this study was to determine the efficiency conditions for explant type and plant growth regulator concentration to develop an *in vitro* shoot tip culture protocol.

Materials and Methods

Plant material

Shoot tips of 'Italia' net-house growth plants were randomly selected during the spring of 2021 (March-April), autumn of 2021 (October-November), and spring of 2022 (March-April) which lateral shoots (Fig. 1A) were collected before and during “berry set” stage, and fruiting shoots

(Fig. 1B) were collected after “berry set” stage at the Horticultural Experiment Station, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan.

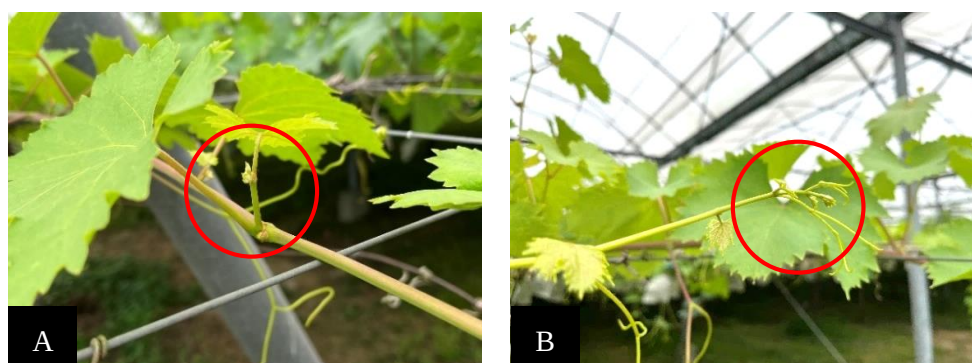


Fig. 1. Shoot tips of 'Italia' grapevine which is cultivated in Horticulture Experiment Station. The plants are 10 years old. (A) Lateral and (B) Fruiting shoot tips (indicated by red circles).

Preparation of basic medium and culture environment

The basic medium was prepared based on the MS formular (Murashige and Skoog, 1962) from Duchefa Biochemie bv. which including of 3% sucrose, 0.8% agar, and 0.02% activated carbon (for rooting culture). The pH of the medium was adjusted to 5.8 before adding agar and autoclaving. The culture media were sterilized in a high temperature (121°C) and high-pressure (1.50 kg/cm³) autoclave for 20 min. The temperature in the cultivation room was maintained at 25 °C ± 2°C with 16 h photoperiod at a light intensity of 5,000 lux which the light source consisted of a combination of plan lamps and fluorescent lamps.

Shoot initiation

Shoot tips were sampled as 1-1.5 cm long. The explants were sterilized in 75% alcohol for 1 min and divided into small pieces which containing the shoot apical meristem and 3-5 primordial leaves (length 1 mm) and cultured on paper bridge in full-strength MS liquid medium supplemented with four levels of BA (0.0, 1.0, 2.5 and 5.0 mg/L) (Sigma Life Science). Two weeks after cultivation, the survival and contamination rate, as well as percentage of browning or dead explants, were observed and recorded. Each treatment consisted of four replications per treatment.

Shoot multiplication

The explants from initiation stage were transferred from liquid medium to agar medium with the same concentration of BA (0.0, 1.0, 2.5 and 5.0 mg/L). Data on shoot multiplication were

determined based on the following parameters: total number of mean weight per culture (g), shoots produced per explant, number of leaves per explant, and mean length of shoots per explant (mm) after 4 weeks of cultured. Multiplication capability of shoot subcultures was recorded every 4 weeks for 7-month period with three replication per treatment.

Root induction

The explants were repeated shoot initiation and shoot multiplication stage with supplemented BA concentration at 1.0 mg/L. After 4 weeks, general shoots were maintained on half-strength MS medium supplemented with 2.0 mg/L IBA (Sigma Life Science) (Hsieh and Shiesh, 2018) for 8 weeks. Subculturing of the rooting cycle was performed every 8 weeks to establish a large mother stock before initiating the experiments. Microshoots were measured 1-2 cm with included 1 or 2 nodes and subcultured on fresh $\frac{1}{2}$ MS medium supplemented with four concentrations of IBA (0.0, 0.5, 1.0, and 2.0 mg/L) without cytokinins. The experiment during autumn consisted of three replications per treatment; the experiment during spring, each treatment consisted of four replications. After eight weeks, the rooting percentage, primary root number per explant, and primary root length (cm) were recorded.

Plantlets acclimatization

The shoot cultures with well-developed roots were carefully removed from the bottles and washed thoroughly with tap water, then soaked in a fungicide solution contained 1 g/L Benomyl [1-(Butylcarbamoyl)-1H-1,3-benzimidazol-2-yl methylcarbamate] and 1 g/L Mancozeb [manganese ethylenebis (dithiocarbamate) (polymeric) complex with zinc salt; 1000 $\times$] for 10-15 min. The plantlets were transferred to small plastic pots filled with a mixture of peat moss, vermiculite, and perlite (1:1:1 ratio) (Aroonpong and Chang, 2015). The pots were covered with a plastic cup to provide high humidity for 2 weeks, loosely closed for 1 weeks, and then opening it for 1 weeks. The plantlets were grown under greenhouse conditions in a growth chamber with a temperature of 25 °C/20 °C $\pm$ 2°C (day/night)(Ferrara *et al*, 2018) with light intensity was set at 6,000-10,000 lux and watered every 2 days for 4 weeks. The survival percentage were recorded after 4 weeks.

Statistical analysis

Analysis of variance (ANOVA) was performed using Statistical Analysis System (SAS Enterprise Guide) version 9.4, 2003. The means were compared using the least significant difference (LSD) test at a significant level of $p \leq 0.05$. Additionally, a t- test was performed to compare the experimental data, also using SAS Enterprise Guide version 9.4, 2003 with a significant level of $p \leq 0.05$.

Results

The results showed the highest survival rate of 90% was obtained in the treatment of lateral shoot cultured in liquid medium containing with 2.5 mg/L BA during spring 2021, but there were no significant differences compared among the treatment (Table 1). There were not significantly different in bacteria contamination and explants browning or dried. However, the rate of fungi contamination was found to be high during autumn of each treatment (Table 1).

There were no significant differences in shoot weight of each treatment (Table 2). However, among the control and BA treatment resulted significantly affected the shoot length and shoot number of 'Italia' grapevine *in vitro* shoot shoot tip culture in both of lateral and fruiting shoots treatment during spring 2021 experiments (Table 2). The highest shoot length was obtained in lateral shoot when treated with 2.5 mg/L BA (2.86 mm), whereas number of shoot was highest when using 1.0 mg/L BA concentration with lateral shoot. There were significantly different in leaf number, The highest and lowest leaf numbers were obtained in the 1.0 mg/L BA with lateral shoot (6.90) and 0.0 mg/L BA (0) treatments group, respectively (Table 2).

There were not significantly different in the shoot multiplication rate among different subculture period (Table 3). Nevertheless, the highest shoot multiplication rate was observed at the fifth subcultures (3.23) (Table 3).

Roots that formed spontaneously from lateral shoots without adding plant hormones to the media exhibited the lowest rooting percentage of 17.71% (Table 4). However, supplementation with 0.5 mg/L IBA obtained the highest root length (10 cm), and root number per explant (4.06), whereas 2.0 mg/L IBA was the highest rooting percentage (72.29%) (Table 4). The highest of rooting percentage, root number, and survival rate on root initiation of fruiting shoot was obtained in 2 mg/L IBA treatment (Table 4). Although there were no significant differences in rooting percentage, root length, or survival rate between fruiting shoots and lateral shoots under the identical IBA treatment circumstances. However, when IBA concentration levels were considered

Table 1. Effect of BA concentration and season on shoot survival and contamination rate of 'Italia' grapevine.

BA (mg/L)	Explant type ^z	Survival and contamination (%) ^y			
		A	B	C	D
0	Sp21, L	78.90±12.82 ^x ab ^w	0 b	11.10±12.82cd	0 e
	Sp21, F	65.77±16.16bc	0 b	0 d	24.23±16.16bcd
	Au21, L	51.82±13.27cdefg	0 b	36.13±11.54ab	5.55±11.10de
	Au21, F	25.91±20.53h	0 b	42.95±18.76ab	28.05±23.93abcd
	Sp22, L	42.47±18.05defgh	0 b	0 d	47.53±18.05a
1	Sp21, L	67.79±0.00bc	0 b	11.10±12.82cd	11.10±12.82cde
	Sp21, F	66.15±17.64bc	0 b	5.55±11.10d	18.30±21.42bcde
	Au21, L	40.80±6.86efgh	0 b	45.00±4.74ab	11.10±12.82cde
	Au21, F	25.91±20.53h	0 b	42.95±18.76ab	28.05±23.93abcd
	Sp22, L	61.57±20.54bcde	0 b	0 d	28.43±20.54abc
2.5	Sp21, L	90.00±0.00a	0 b	0 d	0 e
	Sp21, F	66.62±20.09bc	0 b	5.55±11.10d	21.33±16.73bcde
	Au21, L	58.54±12.69bcde	0 b	31.46±12.69ab	0 e
	Au21, F	33.98±11.15gh	0 b	44.91±8.40ab	24.73±5.05bcd
	Sp22, L	52.20±18.35cdefg	0 b	5.55±11.10d	35.66±15.53ab
5	Sp21, L	47.62±13.45cdefgh	11.10±12.82a	8.08±16.16d	30.58±21.51abc
	Sp21, F	62.74±5.83bcd	11.10±12.82a	11.10±12.82cd	11.10±12.82cde
	Au21, L	57.75±26.28bcdef	5.55±11.10ab	26.70±31.03bc	0 e
	Au21, F	36.13±11.54fgh	0 b	43.33±16.80ab	18.30±21.42bcde
	Sp22, L	61.95±23.93bcde	0 b	0 d	28.05±23.93abcd

^zThe explants were cultured on MS medium. L= lateral shoot and F= fruiting shoot; Sp21= Spring 2021, Sp22= Spring 2022, and Au21= Autumn 2021

^ySurvival and contamination (%); A= survival, B= bacteria contamination, C= fungi contamination, and D= browning or died.

^xMean ± standard deviation of four replication.

^wMean values within each column followed by different letters indicate significant differences according to LSD test ($p \leq 0.05$).

Table 2. Effect of BA concentration and season on shoot multiplication of 'Italia' grapevine.

BA (mg/L)	Explant type ^z	Shoot weight (g)	Shoot length (mm)	Shoots no.	Leaf no.
0	Sp21, L	0.01±0.00 ^y h ^x	0f	0f	0f
	Sp21, F	0.02±0.00h	0f	0f	0f
	Au21, L	0.02±0.01h	0.50±0.58def	0.35±0.40f	0.88±1.03cdef
	Au21, F	0.01±0.01h	0.25±0.50ef	0.18±0.35f	0.25±0.50def
	Sp22, L	0h	0.39±0.21ef	0.29±0.23f	0.14±0.09ef
1	Sp21, L	0.92±0.10bcdef	2.45±0.17a	5.84±0.20a	1.55±0.13cdef
	Sp21, F	0.69±0.11defg	1.68±0.62b	5.56±0.92a	1.15±0.27cdef
	Au21, L	1.71±0.28a	2.42±0.50a	1.61±0.16cd	6.90±0.81a
	Au21, F	0.71±1.42cdefg	0.50±1.00def	0.31±0.63f	2.00±4.00cd
	Sp22, L	0.51±0.18efgh	1.14±0.20bc	3.05±1.20b	0.70±0.24def
2.5	Sp21, L	1.29±0.08abc	2.86±0.12a	5.53±0.32a	1.88±0.49cde
	Sp21, F	1.45±0.16ab	2.44±0.16a	5.34±1.04a	1.05±0.04cdef
	Au21, L	1.69±0.43a	1.61±0.28b	1.43±0.05cde	4.24±0.83b
	Au21, F	0.16±0.33gh	0.25±0.50ef	0.80±1.05def	2.50±3.00bc
	Sp22, L	0.46±0.28fgh	0.75±0.43cde	2.00±1.03c	0.52±0.34def
5	Sp21, L	1.09±0.32bcde	1.18±0.21bc	2.95±0.79b	1.15±0.16cdef
	Sp21, F	1.13±0.21abcd	1.08±0.17bcd	3.50±0.58b	1.24±0.17cdef
	Au21, L	0.17±0.12gh	0.25±0.50f	0.23±0.45f	0.25±0.50def
	Au21, F	0.82±0.94cdef	0.50±0.58def	0.52±0.60ef	1.58±1.83cdef
	Sp22, L	0.07±0.06h	0.64±0.36cde	1.29±0.69cde	0.31±0.20def

^zThe explants were cultured on MS medium. L= lateral shoot and F= fruiting shoot; Sp21= Spring 2021, Sp22= Spring 2022, and Au21= Autumn 2021

^yMean ± standard deviation of four replication.

^xMean values within each column followed by different letters indicate significant differences according to LSD test ($p \leq 0.05$).

fruiting shoots had a higher rooting percentage, root length, and quantity of roots than lateral shoots in the control group (0 mg/L IBA) (Table 4).

After acclimatization, lateral shoots treated with 0.5 mg/L IBA exhibited the highest survival

rate (90.00%) (Fig. 2A). Whereas the highest survival percentage of post-acclimation was 80% in the 2.0 mg/L IBA with fruiting shoot treatment group. Overall, there were no significant differences in survival percentage among the both lateral and fruiting shoot treatments (Fig. 2A).

After 8 weeks of root induction in spring 2022, the results showed that rooting percentage, root length, and root number did not differ significantly among IBA used in lateral shoots. The medium supplemented with 2.0 mg/L IBA led to the highest rooting rate (72.17%), root length (9.07 cm), and number of roots (2.64) (Table 5). There were no significantly different in rooting percentages, root length, and root number among different IBA concentrations in fruiting shoot treatments (Table 5). The treatment supplemented with 1.0 mg/L IBA resulted in the highest rooting rate (67.79%) for explant shoots that rooted. The longest and shortest root lengths were obtained in treatment with 1.0 mg/L IBA (5.29 cm) and 0 mg/L IBA (3.52 cm), respectively (Table 5). A comparison of experiments among lateral shoot and fruiting shoot revealed no significant differences.

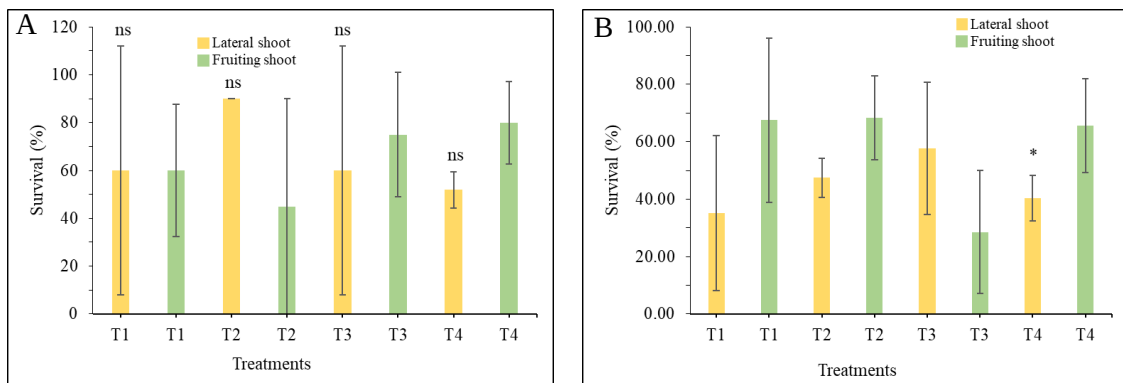


Fig. 2. Survival rate after acclimatization of different 'Italia' grapevine microshoot types in autumn 2021 (A) and spring 2022 (B) with different supplemental IBA concentrations. T1= without IBA (CK); T2=0.5 mg/L IBA; T3=1.0 mg/L IBA; T4= 2.0 mg/L IBA. Significant differences between lateral and fruiting shoots according to t-test analysis are indicated with ns= non-significant, *($p \leq 0.05$), and **($p \leq 0.01$).

Table 3. Shoot multiplication rates for 'Italia' grapevine after different subculture periods ^z.

Times of subculture ^y	Multiplication rate
1	2.00±0.40c ^x
2	3.17±0.42ab
3	3.07±0.50ab
4	3.13±0.47ab
5	3.23±0.40a
6	2.47±0.38bc
7	2.67±0.32abc

^z The explants were cultured on MS medium supplemented with 1mg/L BA.

^y 30 days per subculture.

^x Mean values within each column followed by different letters indicate significant differences according to LSD test ($p \leq 0.05$), the values were mean $\pm$ standard deviation of three replication.

The medium supplemented with 1.0 mg/L IBA in lateral shoot experiment resulted in the highest post-acclimation survival rate, whereas the highest and lowest survival percentages were observed in the 0.5 and 1.0 mg/L IBA with fruiting shoot treatment groups, respectively (Figure 2B). Moreover, there were significant differences in survival ($p \leq 0.05$) between lateral shoots (40.42%) and fruiting shoots (65.61%) treated with 2.0 mg/L IBA (Fig. 2B).

Discussion

In the present study, 'Italia' grapevine shoot tips were treated with different concentration of BA for shoot initiation and shoot multiplication, as well as IBA for the root induction by *in vitro* shoot tip culture method. It was found that the culture medium added with 2.5 mg/L BA had the highest survival rate after 2 weeks of cultivation, although there were no significant differences among treatments. The lowest survival percentage (25.91%) was achieved using of hormone-free media (table 1). Khalafalla *et al.* (2011), reported that after 4 weeks of culture of *Boscia senegalensis* (Pers.) Lam. Ex Poir., multiple shoots did not develop on a hormone-free MS medium

Table 4. Effect of IBA concentration and microshoot type on *in vitro* rooting of 'Italia' grapevine in autumn 2021.

IBA (mg/L) ^z	Type of shoot	Rooting percentage (%)	Root length (cm)	No. Root per explant
0	Lateral	17.71±15.34 ^y c ^x	7.21±8.31a	3.00±2.65a
	Fruiting	50.77±0.00ab	8.30±3.31a	3.44±0.38a
		ns ^w	ns	ns
0.5	Lateral	43.08±6.66b	10.00±3.65a	4.06±1.58a
	Fruiting	21.93±20.02b	8.93±10.22a	1.00±1.00b
		ns	ns	ns
1	Lateral	30.79±7.31bc	8.03±9.17a	2.33±0.58a
	Fruiting	38.86±12.11b	6.38±2.41a	4.17±1.76a
		ns	ns	ns
2	Lateral	72.29±15.34a	7.86±1.16a	3.83±0.76a
	Fruiting	64.22±25.39a	8.75±2.90a	5.67±1.53a
		ns	ns	ns

^zThe explants were cultured on half-strength MS medium.

^yMean ± standard deviation of three replication.

^xMean values by different letters indicate significant differences according to LSD test ($p \leq 0.05$).

^wSignificant differences between lateral and fruiting according to t-test analysis are indicated with ns= non-significant, *($p \leq 0.05$), and **($p \leq 0.01$). Values are Arcsine $\sqrt{\%}$ transformed.

for all types of explants were zygotic embryos, cotyledonary nodes, hypocotyls, and radicals, although they remain green.

Among the different BA concentrations used for multiplication, 2.5 mg/L BA resulted in the highest shoot weight (1.71 g), whereas 1 mg/L BA led to the highest number of shoots per explant (5.84) and leaf (6.90) per explant. Treatment with hormone-free medium resulted in the lowest shoot growth parameters (Table 2). These findings are consistent with a previous study found that, BA could be an effective cytokinin for increasing *Vitis* shoot growth (Abido *et al.* 2013).

Table 5. Effect of IBA concentration and microshoot type on *in vitro* rooting of 'Italia' grapevine in spring 2022.

IBA (mg/L) ^z	Type of shoot	Rooting percentage (%)	Root length (cm)	No. Root per explant
0	Lateral	58.54±12.69 ^y a ^x	6.10±2.91a	2.25±1.30a
	Fruiting	42.85±8.02b	3.52±1.06a	1.57±0.78a
		ns ^w	ns	ns
0.5	Lateral	51.34±8.06a	5.23±0.81a	1.86±0.65a
	Fruiting	51.25±4.29ab	4.56±1.26a	1.75±0.18a
		ns	ns	ns
1	Lateral	56.02±11.15a	8.14±3.88a	2.46±0.79a
	Fruiting	67.79±0.00a	5.29±1.71a	2.21±0.69a
		ns	ns	ns
2	Lateral	72.17±23.33a	9.07±4.76a	2.64±0.94a
	Fruiting	57.28±22.16ab	4.90±2.74a	2.29±1.15a
		ns	ns	ns

^zThe explants were cultured on half-strength MS medium.

^yMean ± standard deviation of four replication.

^xMean values by different letters indicate significant differences according to LSD test ($p \leq 0.05$).

^wSignificant differences between lateral and fruiting according to t-test analysis are indicated with ns= non-significant, *($p \leq 0.05$), and **($p \leq 0.01$). Values are Arcsine $\sqrt{\%}$ transformed.

However, the explants appeared glassy with water-soaked leaves when the strongest BA concentrations (2.5 and 5.0 mg/L) were used. Similar results were obtained where the use of 2.0 mg/L BA in the medium resulted in multiple shoots along with hyperhydricity, as reported previously by Mukherjee *et al.* (2010). However, To prevent these issues, increasing agar concentration and decreasing cytokinin and/or ammonium ion concentration were suggested (Pâques, 1991).

Furthermore, the survival rate, contamination rate, shoot length, and number of shoots per explant were influenced by seasonal variation, type of explant genetic source, and sampling period (Masoudi *et al.*, 2020). In this study, the survival rate being higher in spring, whereas the contamination rate being higher in autumn. Similar with Masoudi *et al.* (2020) found a contamination percentage in fall was higher than spring for all apple tree varieties studied

('Golbahar,' 'Sharbati,' 'Soltani Shabestari,' and 'Golden Delicious'). The highest shoot multiplication rate was observed at the fifth subcultures, but there were no significant differences compared with other subculture periods (Table 3). In contrast, Khalafalla *et al.* (2011) reported that after the third cycle of shoot subculturing for long-term culture with BA supplementation, the multiplication rate was decreased.

Rooting normally occurs 1-2 weeks after transplanting to fresh medium, with or without auxin (such as IBA or NAA), and complete root formation occurs after 4 weeks (Chee *et al.*, 1984; Khalafalla *et al.*, 2011; Mozafari *et al.*, 2016). The findings of rooting experiments in this study (Table 4; table 5) obtained that both hormone-free and IBA-supplemented media improve rooting effectiveness of the 'Italia' grapevine. However, IBA has been identified as more effective auxin for *in vitro* rooting (Helior *et al.*, 1997; Khalafalla *et al.*, 2011). For instance, Celik and Batur (1990) observed the highest rooting development of 'Kaleck' grapevine was obtained with combinations of 1.0 mg/L IBA without BA or 0.5 mg/L BA. In the present study found that the supplementation of 2.0 mg/L IBA provided the highest rooting percentage for 'Italia' grapevine in autumn with both types of explants (Table 4) and in spring with lateral shoot (Table 5), correlating with the findings of Poudel *et al.* (2005) who reported that 2.0 mg/L IBA was the optimal concentration for the rooting of 'Kadaious R-1' grapevine. The acclimatization success rate of grapevine varieties can vary depending on the specific conditions. Laslo *et al.* (2010) noted the effectiveness of acclimatization of grapevine depends on factors such as initial temperature, humidity control, and reduced light intensity. Kinfé *et al.* (2017) obtained a 92.0% survival rate after acclimation of the 'Chenin blanc' variety. In the present study, the autumn experiment with lateral shoots achieved the highest survival rate of 90% with 0.5 mg/L IBA supplementation, although the survival rate in the other experiments was considerably lower.

References

- Abido, A. I. A., M. A. M. Aly, S. A. Hassanen, and G. A. Rayan. 2013. *In vitro* propagation of grapevine (*Vitis vinifera* L.) Muscat of Alexandria cv. for conservation of endangerment. Middle East J Sci Res. 13: 28–37.
- Amiri, S., R. Mohammadi, and R. Akbari. 2019. The effects of cytokinin and auxin interactions on proliferation and rooting of seedless grapevine (*Vitis vinifera* L.) cv. 'Sultanine'. Erwerbs-Obstbau. 61: 85–92.

- Aroonpong, P. and J.-C. Chang. 2015. Micropropagation of a difficult-to-root weeping mulberry (*Morus alba* var. Shidareguwa): A popular variety for ornamental purpose. *Sci. Hortic.* 194: 320-326.
- Batukaev, A., E. Sobralieva, and D. Palaeva. 2021. Optimization studies of culture media for *in vitro* clonal micropropagation of new grape varieties. *KnE. Life. Science.* 757-764. DOI 10.18502/cls.v0i0.9013.
- Bhatia, S. and K. Sharma. 2015. Chapter 11: micropropagation. pp. 361-368. In: Bhatia, S., K. Sharma, R. Dahiya, and T. Bera (eds.), *Modern applications of plant biotechnology in pharmaceutical sciences*. Elsevier Inc.
- Bouquet, A. and L. Torregrosa. 2003. 11. Micropropagation of the grapevine (*Vitis* spp.). pp. 319-352. In: Jain, S. M. and K. Ishii (eds.), *Micropropagation of woody trees and fruits*. Kluwer Academic Publishers.
- Celik, H., and M. Batur. 1990. Meristem culture for clonal micropropagation of grapevines. pp. 455-462. In: *Proc. 5th Intern. Symp. Grape Breeding, St.-Martin/Pflaz* (ed.). Germany.
- Chee, R., R. M. Pool, and D. Bucher. 1984. A method for large scale *in vitro* propagation of *Vitis*. *FLS.* 109: 1-9.
- Erwin, J. 1995. Sexual propagation of bedding plants. *Minnesota Flower Growers Bulletin.* 44 (1): 1-12.
- FAO. 2021. Crops and livestock products. FAOSTAT. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Ferrara, G., A. D. Malerba, A. M. S. Matarrese, D. Mondelli, and A. Mazzeo. 2018. Nitrogen distribution in annual growth of 'Italia' table grape vines. *Front. Plant Sci.* 9(1374): 1-18.
- Helior, M. C., J. C. Fournioux, L. Oziol, and R. Bessis. 1997. An improved procedure for the propagation *in vitro* of grape (*Vitis vinifera* cv. Pinot noir) using axillary bud cuttings. *Plant Cell Tissue Organ Cult.* 49: 223-225.
- Hsieh, H. P. and C. C. Shiesh. 2018. Virus elimination of *in vitro* plantlet of 'Shine Muscat' grape by thermotherapy. *Horticulture NCHU* 43(3): 15-27.
- Khalafalla, M. M., H. A. Daffalla, and E. Abdellatef. 2011. Establishment of an *in vitro* micropropagation protocol for *Bascia senegalensis* (Pers.) Lam. ex Poir. *J Zhejiang Univ-sci B (Biomed & Biotechnol).* 12(4): 303-312.
- Khan, N., M. Ahmed, I. Hafiz, N. Abbas, S. Ejaz, and M. Anjum. 2015. Optimizing the concentrations of plant growth regulators for *in vitro* shoot cultures, callus induction and shoot regeneration from calluses of grapes. *J. Int. Sci. Vigne Vin.* 49: 37-45.

- Kinfe, B., T. Feyssa, and G. Bedada. 2017. *In vitro* micropropagation of grapevine (*Vitis vinifera* L.) from nodal culture. *Afr. J. Biotechnol.* 16(43): 2083-2091.
- Klerk, G.-J. D. 2002. Rooting of microcuttings: Theory and practice. *In Vitro Cell. Dev. Biol.—Plant* 38: 415–422.
- Laslo, V., M. Zapartan, and S. Vicas. 2010. *In vitro* response of several cultivars of *Vitis vinifera* L. on media with balanced phytohormone. *Res J Agric Sci.* 42: 269–274.
- Masoudi, S., M. J. Kermani, A. Soleimani, H. Hajnajari, A. Alidadi, and Z. S. Hosseini. 2020. Optimizing micropropagation of apple (*Malus × Domestica* Borkh) and *in vitro* root induction By *Piriiformospora Indica*. *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*. 66(4): 137-147.
- Melyan, G., A. Sahakyan, and A. Harutyunyan. 2015. Micropropagation of grapevine (*Vitis vinifera* L.) seedless cultivar 'Parvana' through lateral bud development. *Vitis* 54: 253–255.
- Mozafari, A. A., O. Ghoraiishi, N. Ghaderi, and T. Javadi. 2016. Micropropagation of grape cultivars (*Vitis vinifera* L.) on different basal media supplemented with benzyl adenine. *Agric. Conspec. Sci.* 81(3): 123-129.
- Mukherjee, P., N. Husain, S. C. Misra, and V. S. Rao. 2010. *In vitro* propagation of a grape rootstock, deGrasset (*Vitis champinii* Planch.): Effects of medium compositions and plant growth regulators. *Sci. Hortic.* 126: 13-19.
- Murashige, T. and F. Skoog. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassay with tobacco tissue culture. *Physiol. Plant.* 15: 473-497.
- Naidu, R., A. Rowhani, M. Fuchs, D. Golino, and G. P. Martalli. 2014. Grapevine leafroll: A complex viral disease affecting a high-value fruit crop. *Plant Disease* 98(9): 1172-1185.
- Nascimento, D. C., M. Dini, N. V. Sampaio, M. W. Schuch. 2019. *In vitro* multiplication and rooting of grapevine: Culture media and plant growth regulators. *Plant Cell Cult. Micropropag.* 15(1): 1-7.
- Pâques, M. 1991. Vitrication and micropropagation: causes, remedies and prospects. *Acta Hortic.* 289: 283-290.
- Poudel, P. R., I. Kataoka, and R. Mochioka. 2005. Effect of Plant regulators on *in vitro* propagation of *Vitis ficifolia* var. ganebu and its interspecific hybrid grapes. *Asian J. Sci.* 4(5): 466-471.
- Read, P.E. and J. E. Preece. 2014. Cloning: Plants – Micropropagation/Tissue Culture. *Renew. Agric. Food Syst.* 2: 317-336.
- Toma, R. S. 2018. Micropropagation response of three grape vines (*Vitis vinifera* L.) cultivars to ferrous, nitrate and growth regulators. *Int. J. Plant Res.* 31(3): 126-131.

- VIVC. 2023. Vitis International Variety Catalogue VIVC: Muscat Italia. <https://www.vivc.de/index.php?r=akzessionen%2Fviewacc&id=52815>
- Wang, M.-R., J. C. Bettoni, A-L. Zhang, X. Lu, D. Zhang, and Q.-Ch. Wang. 2022. *In vitro* micrografting of horticultural plants: method development and the use for micropropagation. *Hortic.* 8(576): 1-20.

'義大利'葡萄之莖頂培養

王 嘉 嫻¹⁾ 張 哲 嘉²⁾

關鍵字：'義大利'葡萄、植物生長調節劑、副梢、結果枝、莖頂

摘 要

本研究調查義大利葡萄(*Vitis vinifera* Bicané × *V. vinifera* Muscat' Hamburg 'Italia' or 'Italia IP65')不同培植體類型、取樣季節及植物生長調節劑施用之結果，對建立微體繁殖系統之影響。培植體材料春季為結果枝頂芽，秋季為副梢腋芽，入瓶芽體長度為 1 mm。培植體不定芽誘導之測試條件為 MS 培養基添加 0.0、1.0、2.5 或 5.0 mg/L BA，並於第 2 週起調查存活率、第 4 週調查增殖率。結果顯示，添加 2.5 mg/L BA 可獲得最佳存活率(春季頂芽)，1.0 和 2.5 mg/L BA 雖生長量最高，但玻璃質化發生率也較高，因此對於芽體增殖，以 1.0 mg/L BA 較佳。以 1/2MS 培養基添加 0.0、0.5、1.0 和 2.0 mg/L IBA 進行根系誘導。結果顯示，添加 2.0 mg/L IBA 的發根率在春季和秋季均達到最高，然出瓶馴化之存活率以添加 0.5 mg/L IBA 的秋季副梢腋芽最佳（90.00%）。綜上，施用 BA 與 IBA 可以改善和提高'義大利'葡萄的莖頂培養之效率。

1) 國立中興大學園藝學系碩士班研究生，台中，台灣。

2) 國立中學大學園藝學系教授，通訊作者，台中，台灣。

興大園藝 第四十八卷第二期
中華民國一一二年六月編印
發行人：張哲嘉
編輯委員：宋 玗 林慧玲 吳振發
潘怡君 張 正 張哲嘉
國立中興大學園藝學系編印
臺中市南區興大路145號

Horticulture NCHU Vol. 48 No. 2

March, 2023

Publication Committee

Director Prof. Jer-Chia Chang

Editor Prof. Yu Sung

Prof. Huey-Ling Lin

Prof. Chen-Fa Wu

Assoc. Prof. I-Chun Pan

Prof. Chen Chang

Prof. Jer-Chia Chang

Published by the Department of Horticulture,

National Chung Hsing University, Taichung,

Taiwan 402, Republic of China

ISSN 0255-5921

興大園藝

第十八卷 第三期

- 貯藏溫度對'台農 17 號'鳳梨冬春果低溫貯運後寒害症狀與果實品質之影響
.....蔡鴻恩 林慧玲..... 1
- 半氣變包裝對'金龍'楊桃低溫貯運品質之影響
.....林凱文 林慧玲.....15
- 水楊酸處理對'巨峰'葡萄耐高溫逆境能力與果實品質之影響
.....鄭瑩駿 陳昶霖.....31
- 艾維激素及福芬素對三倍體葡萄果穗品質之影響
.....洪福懋 陳京城.....41

國立中興大學園藝學系編印

中華民國一一二年九月

ISSN 0255-5921

HORTICULTURE NCHU

Vol. 48 No. 3

Effects of Storage Temperature on Chilling Injury and Fruit Quality of Winter- and Spring-season Harvested 'Tainung 17' Pineapple Fruits during Low Temperature	H. E. Tsai and H. L. Lin..... 1
Effect of Modified Atmosphere Packaging on Fruit Quality of 'Jing-Long' Carambola (<i>Averrhoa carambola</i> L.) Fruit under Low Temperature	K. W. Lin and H. L. Lin.....15
Effects of Cool Temperature and Short Day Length on Reproductive Growth in Blueberry (<i>Vaccinium Corymbosum</i> L.)	Y. C. Cheng and C. L. Chen.....31
Effect of AVG and CPPU on Cluster Quality of Triploid Grapevines	F. M. Hong and C. C. Chen.....41

Published by
Department of Horticulture, National Chung Hsing University
Taichung, Taiwan, Republic of China
September, 2023

貯藏溫度對'台農17號'鳳梨冬春果低溫貯運後 寒害症狀與果實品質之影響

蔡 鴻 恩¹⁾ 林 慧 玲²⁾

關鍵字：貯藏品質、近心果肉褐化、多酚氧化酶、過氧化物酶

摘要：本研究探討'台農17號'鳳梨冬春果在10、12.5、15或17.5℃下貯藏10天、25℃模擬櫥架3天後近心果肉褐化發生率、褐化程度與冠芽受損程度之影響。結果顯示4月果實近心果肉褐化發生率顯著低於1月果實。近心果肉褐化程度受採收月份顯著影響，以1月採收之果實貯藏於10-17.5℃近心果肉寒害症狀顯著高於4月。果實外皮在回溫後均未出現轉色異常的現象。1月與4月採收果實在10℃下貯藏10天、25℃回溫3天後多酚氧化酶活性顯著高於15及17.5℃，且各溫度條件下1月果實酵素活性均高於4月果實。採收月份顯著影響果實貯藏10天及回溫3天之可溶性固形物與可滴定酸，4月果實可溶性固形物顯著高於1月果實，可滴定酸顯著低於1月果實。綜上所述，在外銷用途上選用4月份春季果實較佳，在15℃下貯運10天於25℃回溫3天無近心果肉褐化症狀且糖酸比較高貯運品質較佳。

前 言

隨著台灣在國際鳳梨罐頭市場逐漸被東南亞國家取代，國內鳳梨市場轉以鮮食為主要栽種目標，進而育出許多優良鮮食品種，如'台農4號'、'台農6號'、'台農11號'及'台農16號'，廣受國內外市場歡迎。嘉義農業試驗分所於民國八十七年通過審查正式推出'台農17號'鳳梨，此品種具有果型大、大小均一、產量高、葉緣無刺與產期長等優勢，迅速成為台灣主流栽培品種，也逐漸佔據台灣主要外銷品種的位置(薛等，2009；張等，1999)。

台灣農業現況多為小農種植，鮮少有大規模專業栽植戶，造成外銷果實品質不穩定，低溫耐受性也不同。經研究指出，'台農17號'鳳梨即便在15℃下貯藏仍會出現寒害褐化

1) 國立中興大學園藝學系碩士班研究生。本文為第一作者碩士論文之一部分。

2) 國立中興大學園藝學系教授，通訊作者。

症狀(林, 2008)。薛等(2009)將'台農17號'鳳梨貯藏於5、12.5及25°C外加25°C櫥架觀察褐化情形, 發現低溫貯藏2周外加櫥架4天後, 5°C貯藏之果肉褐化程度遠大於12.5°C貯藏, 而25°C貯藏之果實早已失去商品價值。然而並非貯藏溫度越低越容易形成褐化症狀, Paull與Rohrbach(1985)指出, 正常開英種鳳梨在8與3°C下貯藏4周外加22°C回溫7天之褐化程度顯著低於12.5°C, 表示不同品種之鳳梨易發生寒害的溫度不盡相同, 也並非溫度越低褐化症狀越嚴重。採收前的氣候環境會大幅影響果實貯運品質, 而對於低溫耐受性而言, 與寒害有關的抗氧化能力、酚類化合物與多酚氧化酶是最關鍵的因子。Léchaudel等(2018)將Queen Victoria 'RE43'、Flhoran 41 'RL41'及MD2 'DLNE'種植於留尼汪島西南方與東方, 氣候特徵分別為乾燥與潮濕。試驗結果顯示低溫耐受性較強的MD2果實與Flhoran 41比較, 在果實剛轉色時MD2有較高的苯丙胺酸裂解酶(PAL)、4-羧化酶(C4H)、4-香豆酸:CoA連接酶(4CL)與PPO的基因表現量, 代表抗氧化能力較高, 則低溫耐受性強。Sukporn等(2019)於泰國清萊省分別於2017年冬季(1月)及雨季(6月)採收'Phulac'鳳梨綠熟果, 於10°C貯藏35天。兩者皆在貯藏第21天時出現褐化症狀, 代表進入嚴重寒害為不可逆階段, 此時褐化症狀隨貯藏天數增加而變嚴重, 且直到低溫貯藏結束及回溫時, 冬季果實寒害嚴重程度皆低於雨季果實, 代表冬季果實低溫耐受性較高。而雨季果實貯藏期間較易寒害。綜上所述, 相同品種、栽培地點與栽培方式在不同採收季節、果實發育期間的不同氣候條件會造成低溫耐受性的差異。為釐清影響果實低溫耐受性的原因, 本試驗探討不同栽培季節之'台農17號'鳳梨果實在不同貯藏溫度的寒害褐化症狀與果實品質變化。

材 料 與 方 法

一、 試驗材料

'台農17號'冬春季果實分別於2022年1月與4月進行試驗, 試驗材料購自屏東藍天合作社, 成熟度約為4號色(圖 1), 預留花序梗2 cm。果實經宅配送至國立中興大學園藝系後立即挑選外觀均一且無外傷之果實進行試驗。

二、 試驗方法

將果實先以高壓氣槍清潔、切除多餘花序梗後用75%酒精消毒切面, 於室溫下風乾。每果實1重複, 1月果實5顆1組, 4月果實6顆1組, 將果實秤重後裝箱, 並套上塑膠袋通以流通式加濕空氣, 分別貯藏於10、12.5、15及17.5°C恆溫箱中貯藏10天, 移除加濕裝置後於25°C恆溫箱中模擬櫥架壽命3天。於採收當日及回溫第3天進行果實品質調查。另於回溫第3天取赤道帶部位之近心果肉2 g, 以液態氮固定後貯藏於-20°C下供後續分析。

0 號色	1 號色	2 號色	3 號色	4 號色	5 號色
					
綠熟果/顏色全綠	果實基部果目 輕微轉黃	果目顏色小於 1/4轉黃	果目顏色>1/4 且<1/2轉黃	果目顏色>1/2 且<3/4轉黃	果目顏色全轉黃

圖 1. '台農17號'鳳梨成熟度外觀與色號對照圖(圖片引用自行政院農委會)。

Fig. 1. The comparison chart of ripeness appearance and color number of 'Tainung No. 17' pineapple (modified from ministry of agriculture, Taiwan).

三、 調查項目與分析方法

(一) 果實品質

1. 果實失重率(Weight loss)

果實於採收當日與回溫後逐顆稱重。失重率依下列公式進行計算。每重複1顆果實，單位為%。

$$\text{果實失重率(\%)} = (\text{採收當日鮮重} - \text{回溫後鮮重}) / \text{採收當日鮮重} \times 100$$

2. 總可溶性固形物(Total soluble solid, TSS)

於採收當日與回溫後取果實赤道帶部位近心果肉汁液，使用可攜式電子折射計(Pocket refractometer, PR-32, ATAGO, Japan)測定果汁總可溶性固形物含量。每重複1顆果實，單位為°Brix。

3. 可滴定酸(Titratable acidity, TA)

於採收當日與回溫後取果實赤道帶部位近心果肉，使用榨汁袋徒手榨汁後以雙層紗網過濾備用。以定量滴管取上述汁液1 mL，加入29 mL去離子水與數滴酚酞指示劑。使用0.1N之NaOH進行滴定，以變色為滴定終點。紀錄滴定量並依下列公式換算為檸檬酸含量。每重複1顆果實，單位為%。

$$\text{可滴定酸(\%)} = \text{讀值(value)} \times 0.0064 \times f(\text{校正值}) \times 100$$

4. 糖酸比(TSS/TA)

視總可溶性固形物為糖度，將上述2.及3.所得之數值相除進行計算。

5. 硬度(Firmness)

於貯藏前與回溫後將果實縱剖後使用手持式硬度計(Penetrometer, FT327, ITALTEST)測定果實赤道帶部位之近心果肉，測量穿刺單位面積果肉所需最大力量。圓柱體探針直

徑為11 mm，儀器讀值單位為kgw，依下列公式轉換為牛頓(N/cm²)，每重複1顆果實。

$$\text{硬度(N/cm}^2\text{)} = \{\text{value (kgw)} \times 9.8\} / (0.55 \times 0.55 \times \pi)$$

6. 果肉顏色(Color)

於採收當日與回溫後將果實縱剖，使用攜帶式分光色差儀(MiniScan XR Plus, Model 4500S)測定果實赤道帶部位近心果肉相對2點之果肉顏色。數據換算後以L*、a*、b*、C*及h°值表示，將兩點數據平均後作為最終數據，每重複1顆果實，1月果實5重複，4月果實6重複。

(1) L*:表示明度，將明暗程度以1-100表示，1為最暗；100為最亮。

(2) a*:表紅綠程度，正值偏紅，負值偏綠。

(3) b*:表黃藍程度，正值偏黃，負值偏藍。

(4) C*:表彩度，將a*、b*以下列公式換算而得。

$$C^* = \{(a^*)^2 + (b^*)^2\}^{1/2}$$

(5) h°:表色相角，將a*、b*以下列公式換算而得。

$$h^\circ = \arctg(a^*/b^*)$$

(二) 寒害症狀與褐化相關酵素

1. 褐化發生率(Browning incidence)

回溫後將果實縱剖，以目測方式進行判定。將每處理中出現褐化顆數換算為百分比(%)表示。

2. 褐化嚴重程度(Browning severity)

回溫後將果實縱剖，參照Paull與Rohrbach(1985)之分級(圖 2)，由症狀輕微至嚴重分為0-6級，以目測方式判定果肉褐化情形。每重複1顆果實。

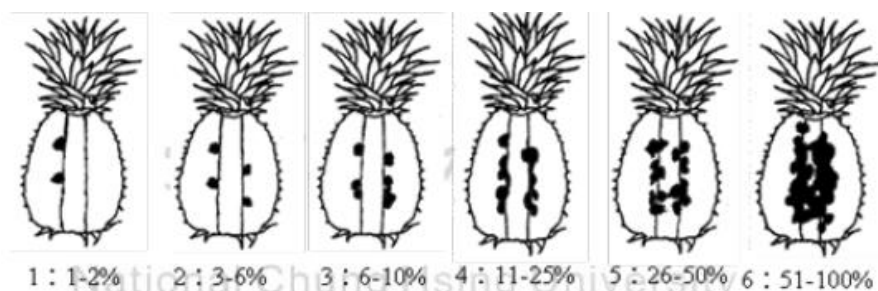


圖 2. 鳳梨近心果肉褐化嚴重程度分級圖，圖片引用自 Paull 與 Rohrbach (1985)。

Fig. 2. Grading chart of internal browning severity of pineapple pulp (modified from Paull and Rohrbach, 1985).

3. 果皮轉色異常比例(Peel color abnormal ratio)

果實回溫後以目測方式判定果皮轉色與顏色變化，出現轉色不完全或果皮褐化時視為果皮轉色異常。將每處理中所出現果皮轉色異常顆數換算為百分比(%)表示。每重複1

顆果實。

4. 冠芽受損程度(Crown damage score)

參考Paull與Rohrbach(1985)與Abdullah等(1996)對冠芽狀態之分級，以目測方式進行調查，將冠芽受損程度由輕微至嚴重分為1-5級(1:非常好、新鮮且綠色；2:良好、葉尖略有泛黃；3:中等、葉尖乾燥泛黃；4:不良、尖端乾燥且更泛黃；5:非常差且非常乾燥)。每重複1顆果實。

5. 酵素分析

(1) 樣品前處理與萃取

取果實赤道帶部位之果肉2 g，以液態氮進行固定並保存於-20℃環境中備用。將冷凍樣品置於冰浴研鉢，並加入5毫升0.1 M PO_4^- buffer (pH 7.0, 含1% PVP、25% triton)與海沙研磨。平衡後使用低溫高速離心機於4℃，13000 rpm離心20分鐘，過濾上清液並保存於4℃中備用。

(2) 多酚氧化酶(Polyphenol oxidase, PPO)

分析方式修改自薛等(2009)，於比色管中加入0.1毫升上清液與1.9毫升0.1M PO_4^- buffer (pH 8.0)與0.2毫升0.5 M catechol，混和搖晃至變色時放入分光光度計中，觀察420 nm之吸光值變化，換算後以單位($\Delta A/g \text{ FW/min}$)表示。

(3) 過氧化物酶(Peroxidase, POD)

分析方式修改自薛等(2009)，於比色管中加入2毫升 3.6×10^{-3} M Guaiacol、0.5毫升上清液與0.2毫升0.0135 M H_2O_2 ，混和搖晃至變色時放入分光光度計中，觀察470 nm之吸光值變化，換算後以單位($\Delta A/g \text{ FW/min}$)表示。

6. 統計分析

試驗結果換算後經由統計軟體CoStat進行雙因子分析與最小顯著性差異(Least significant difference, LSD)分析，比較處理間或處理內之顯著差異。

結 果

一、外觀變化

所有果實在貯藏10天、回溫3天後均達到完全轉色，而4月採收果實顏色較偏橘色，轉色較1月果實快(圖 3)。

二、褐化情形與相關酵素活性變化

由果實剖面可以看到，1月採收果實在貯藏回溫後，各溫度處理皆有褐化情形發生。而4月採收果實在貯藏回溫後，只在10℃處理組出現褐化情形，其餘溫度處理中均未發生(圖 4)。

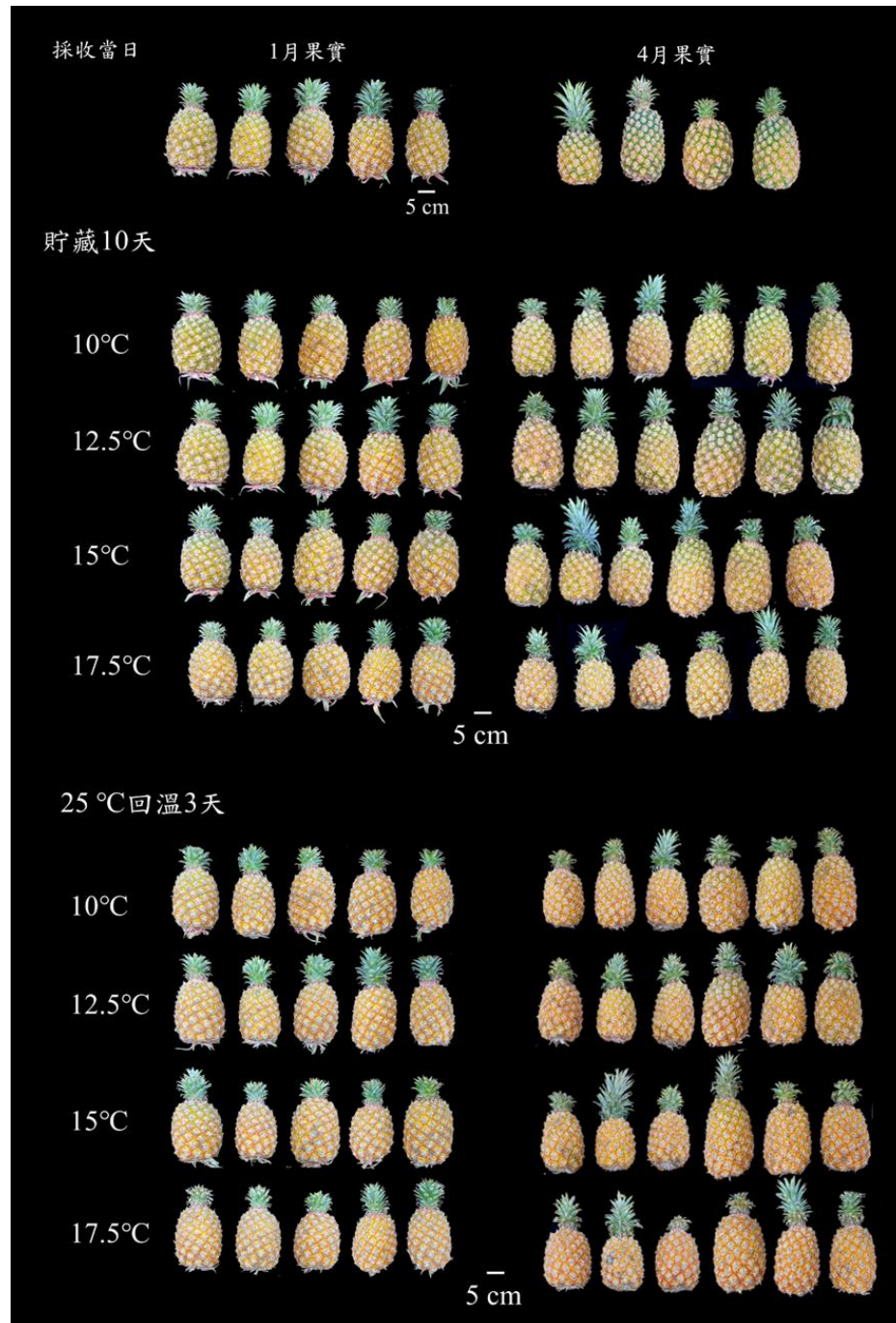


圖 3. '台農17號'鳳梨冬春果採收當日、於10、12.5、15及17.5°C貯藏10天及25°C回溫5天之外觀。

Fig. 3. The appearance of winter- and spring-season 'Tainung No. 17' pineapple fruit at harvest day, after stored at 10, 12.5, 15, or 17.5°C for 10 days, and followed by 25°C for 3 days.



圖 4. '台農17號'鳳梨冬春果於10、12.5、15及17.5°C貯藏10天25°C回溫3天之果實縱切面。
Fig. 4. Longitudinal section of winter- and spring-season 'Tainung No. 17' pineapple fruit stored at 10, 12.5, 15, or 17.5°C for 10 days followed by 25°C for 3 days.

褐化發生率僅受採收月份顯著影響($p < 0.001$)，1月及4月採收果實在各貯藏溫度間無顯著差異，而4月採收果肉褐化發生率顯著低於1月採收果實。褐化程度受採收月份顯著影響($p < 0.001$)，以1月10-17.5°C褐化程度顯著高於4月。1月份各貯藏溫度間無顯著差異，褐化程度較高，4月採收果實各貯藏溫度間無顯著差異，褐化程度均輕微，4月果實貯藏於15-17.5°C皆未發生褐化。所有果實果皮在回溫後均未出現轉色異常的情形。冠芽受損程度受採收月份與貯藏溫度顯著影響($p < 0.001$ ； $p < 0.05$)。4月17.5°C處理顯著最高，其餘月份與溫度處理均無顯著差異(表1)。

在褐化相關酵素活性，1月與4月果實採收時PPO酵素活性分別為2.86與2.44 $\Delta A/\text{min/g}$ FW，POD酵素活性分別為2.16與1.02 $\Delta A/\text{min/g}$ FW。貯藏回溫後PPO受採收月份與貯藏溫度顯著影響($p < 0.001$)但貯藏溫度與採收月份間無交互作用。1月採收果實10°C貯藏回溫後多酚氧化酶活性顯著最高，1月其他溫度處理間則無顯著差異。4月採收果實於10°C貯藏回溫後多酚氧化酶活性顯著高於15及17°C。1月與4月果實貯藏回溫後過氧化酶活性受採收月份顯著影響($p < 0.001$)，1月採收果實均顯著高於4月採收果實，貯藏溫度間則無顯著差異，且採收月份與貯藏溫度間無交互作用(表2)。

表 1. '台農17號'鳳梨冬春果於10、12.5、15及17.5°C貯藏10天、25°C回溫3天之褐化發生率、褐化程度、轉色異常比率與冠芽受損程度。

Table 1. Browning incidence, browning severity, abnormal peel color ratio, and crown damage score of winter- and spring-season 'Tainung No. 17' pineapple fruit after stored at 10, 12.5, 15, or 17.5°C for 10 days followed by 25°C for 3 days.

Temperature	Browning incidence (%)		Browning severity (0-6)		Abnormal peel color ratio (%)		Crown damage score (1-5)	
	January	April	January	April	January	April	January	April
10°C	80 a ^z A	17 aB	2.4 aA	0.5 aA	0	0	2.0 aA	2.5 bA
12.5°C	80 aA	33 aB	1.4 aA	0.7 aA	0	0	2.0 aA	2.3 bA
15°C	80 aA	0 aB	1.2 aA	0.0 aB	0	0	2.0 aA	2.5 bA
17.5°C	80 aA	0 aB	1.6 aA	0.0 aB	0	0	2.0 aB	3.7 aA
Harvest time	*** ^y		***		-		***	
Temperature	ns.		ns.		-		*	
H.× T.	ns.		ns.		-		*	

^z Means within columns (small letters) and within row (capital letters) followed by the same letters are not significantly different at $p<0.05$ by LSD test.

^y ns: no significant, * significant at $p<0.05$, ** significant at $p<0.01$, *** significant at $p<0.001$ by LSD test.

三、 果實品質

果肉顏色變化上，L*受採收月份與貯藏溫度顯著影響($p<0.001$ ； $p<0.05$)，1月採收果實L*較4月高，1月果實L*值隨貯藏溫度上升而增加。4月採收果實經15°C處理後顯著高於12.5及17.5°C，而10、12.5及17.5°C間無顯著差異。C*受採收月份顯著影響($p<0.001$)，1月採收果實在12.5°C貯藏回溫後，在C*值上顯著高於其他貯藏溫度，1月果實其他溫度處理間則無顯著差異，且均顯著低於4月果實，4月果實各溫度處理間則無顯著差異。h°受採收月份與貯藏溫度顯著影響($p<0.001$ ； $p<0.01$)，1月中10°C貯藏回溫後果肉h°顯著最高，其他溫度處理次之，且1月所有處理之果實均顯著高於4月果實。4月果實17.5°C處理顯著最低(表3)。

在果實品質上，貯藏溫度顯著影響失重率變化($p<0.01$)，而採收月份影響不顯著，兩採收月份內均為12.5°C貯藏失重率最低，其他處理間無顯著差異。硬度不受採收月份與貯藏溫度影響，其中4月15°C處理顯著高於1月10°C處理，其餘處理間無顯著差異。可溶性固型物受採收季節顯著影響($p<0.01$)，4月採收之果實可溶性固型物含量較高，而貯藏

溫度對可溶性固型物影響不顯著。採收月份顯著影響糖酸比，4月採收之果實糖酸比顯著高於1月果實，貯藏溫度對糖酸比影響不顯著，1月各貯藏溫度間無顯著差異，4月各貯藏溫度間亦無顯著差異(表4)。

表 2. '台農17號'鳳梨冬春果於10、12.5、15及17.5°C貯藏10天25°C回溫3天之多酚氧化酶與過氧化酶活性。

Table 2. The activities of polyphenol oxidase (PPO) and peroxidase (POD) of winter- and spring-season 'Tainung No. 17' pineapple fruit after stored at 10, 12.5, 15, or 17.5°C for 10 days followed by 25°C for 3 days.

Temperature	PPO ($\Delta A/\text{min/g FW}$)		POD ($\Delta A/\text{min/g FW}$)	
	January	April	January	April
at harvest	2.86	2.44	1.26	1.02
10°C	3.84 aA ^z	2.17 aB	1.26 bA	0.79 aA
12.5°C	3.47 bA	1.98 abB	1.79 aA	0.81 aB
15°C	3.39 bA	1.77 bB	1.47 abA	0.85 aB
17.5°C	3.42 bA	1.79 bB	1.47 abA	0.76 aB
Harvest time	***y		***	
Temperature	***		ns.	
H.× T.	ns.		ns.	

^z Means within columns (small letters) and within row (capital letters) followed by the same letters are not significantly different at $p < 0.05$ by LSD test.

^y ns: no significant, * significant at $p < 0.05$, ** significant at $p < 0.01$, *** significant at $p < 0.001$ by LSD test.

表 3. '台農17號'鳳梨冬春果於10、12.5、15及17.5°C貯藏10天、25°C回溫3天果肉顏色之變化。

Table 3. The pulp color of winter- and spring-season 'Tainung No. 17' pineapple fruit after stored at 10, 12.5, 15, or 17.5°C for 10 days followed by 25°C for 3 days.

Temperature	L*		a*		b*		C*		h°	
	January	April	January	April	January	April	January	April	January	April
at harvest	76.7	74.6	1.3	4.3	32.6	42.9	32.6	43.1	87.7	84.3
10°C	72.0 bA ^z	72.2 abA	1.9 bB	5.6 aA	34.9 bB	42.7 aA	34.9 bB	43.1 aA	86.9 aA	82.5 aB
12.5°C	74.3 abA	69.0 bB	3.8 aB	5.5 aA	39.9 aA	41.5 aA	40.1 aA	41.9 aA	84.6 bA	82.5 aB
15°C	77.3 aA	74.4 aA	3.3 aB	6.1 aA	35.0 bB	43.5 aA	35.2 bB	44.0 aA	84.7 bA	82.1 abB
17.5°C	78.6 aA	68.6 bB	3.1 aB	6.9 aA	35.6 bB	43.3 aA	35.7 bB	43.8 aA	85.1 bA	81.2 bA
Harvest time	*** ^y		***		***		***		***	
Temperature	*		ns.		ns.		ns.		**	
H.× T.	**		ns.		*		*		*	

^z Means within columns (small letters) and within row (capital letters) followed by the same letters are not significantly different at p<0.05 by LSD test.

^y ns: no significant, * significant at p<0.05, ** significant at p<0.01, *** significant at p<0.001 by LSD test.

表 4. '台農17號'鳳梨冬春果於10、12.5、15及17.5°C貯藏10天、25°C回溫3天之果實品質。

Table 4. The fruit quality of winter- and spring-season 'Tainung No. 17' pineapple fruit after stored at 10, 12.5, 15, or 17.5°C for 10 days followed by 25°C for 3 days.

Temperature	Weight loss (%)		Firmness (N/cm ²)		TSS (° Brix)		TA (%)		TSS/TA	
	January	April	January	April	January	April	January	April	January	April
at harvest	-	-	21.47	24.12	15.2	16.7	0.91	0.51	16.8	36.1
10°C	4.9 aA ^z	5.2 bA	19.5 aA	20.3 aA	14.8 aB	17.2 aA	0.83 aA	0.64 aB	17.8 aB	27.2 aA
12.5°C	4.2 aA	4.2 cA	22.8 aA	21.1 aA	15.8 aA	15.4 bA	0.90 aA	0.63 aB	18.1 aB	24.4 aA
15°C	5.6 aA	5.4 abA	22.4 aA	23.4 aA	15.3 aA	16.7 aA	0.78 aA	0.63 aB	20.5 aB	26.9 aA
17.5°C	4.9 aB	5.8 aA	22.9 aA	20.6 aA	15.1 aB	16.5 abA	0.86 aA	0.67 aB	17.6 aB	24.6 aA
Harvest time	ns ^y		ns.		**		***		***	
Temperature	**		ns.		ns.		ns.		ns.	
H.× T.	ns.		ns.		ns.		ns.		ns.	

^z Means within columns (small letters) and within row (capital letters) followed by the same letters are not significantly different at p<0.05 by LSD test.

^y ns: no significant, * significant at p<0.05, ** significant at p<0.01, *** significant at p<0.001 by LSD test.

表 5. 2022年1月與4月果實採收前7、30、60與90天之溫平均溫度、平均最高溫、平均最低溫、相對濕度及降雨量。

Table 5. The average temperature, max temperature, minimum temperature, relative humidity, and rainfall in 7, 30, 60, and 90 days before harvest in January and April, 2022.

Days before harvest	Temperature (°C)		Max Temperature (°C)		Minimum Temperature (°C)		RH (%)		Rainfall (mm)	
	Jan.	April.	Jan.	April.	Jan.	April.	Jan.	April.	Jan.	April.
7	19.4	27.9	24.9	33.3	15.2	23.1	79.0	70.4	0.00	0.07
30	19.8	24.5	24.9	28.8	16.0	19.9	79.2	74.6	0.15	0.26
60	20.7	23.9	25.8	28.8	16.8	19.4	77.1	74.2	0.10	0.52
90	22.1	22.2	27.1	27.1	18.4	17.8	76.6	77.1	0.42	0.79

討 論

'台農17號'鳳梨低溫耐受性較低，常在外銷貯運進入他國市場櫥架後出現近心果肉褐化情形。建議外銷貯運溫度為12.5°C(李等, 2014)，此溫度條件下貯運雖能維持較佳果實品質，但近年來部分季節果實在貯運過程仍出現些許褐化情形。鳳梨寒害症狀可分為冠芽受損(如水浸狀、枯萎等)、果皮轉色異常、果皮表面褐化與果心褐化(Nakasone and Paull, 1998)。「台農17號」鳳梨冬果(1月)與春果(4月)在10、12.5、15及17.5°C貯藏10天、25°C回溫3天所有參試果實均未出現轉色異常情形，果實均呈現完熟橘黃色(圖3)。冬季果實在各溫度間貯藏回溫後冠芽受損程度無顯著差異，而春季果實在17.5°C貯藏回溫後冠芽受損程度顯著高於其他溫度，推測原因為春季果實呼吸作用旺盛含水量較冬季果高且冠芽易失水有關(表1)。除了採後貯運條件外，果實低溫耐受性也受到許多採前因子影響(Sangsoy *et al.*, 2022)，因此在不同季節採收之果實低溫耐受性差異甚大，果肉褐化發生率與嚴重程度也不盡相同。Sangsoy等(2022)表示果實生長階段生育度日會顯著影響果肉褐化症狀。本試驗結果顯示，冬季果實採收前3個月內平均溫度、平均最高溫及平均最低溫均小於春季果實(表5)，冬季果實低溫耐受性較低，在各溫度貯藏回溫後褐化發生率較高，且當貯藏溫度低至12.5°C以下時褐化程度顯著高於春季果實(表1、圖3)。冬季果實在17.5°C貯藏回溫之褐化症狀與15°C以下貯藏有所不同，外觀上顏色偏紅而非褐色(圖4)，結果與薛(2009)於'台農17號'鳳梨於12.5及15°C貯藏之褐化症狀相似，此外Hong等(2013)發現'Comte'於25°C下貯藏24天亦會出現嚴重褐化情形，表示近心果肉褐化情形並不僅限於寒害，在果實老化時亦有可能發生。

鳳梨果肉褐化主要是由於酵素性褐變，因此褐化酵素活性會直接影響到最終褐化程

度。試驗結果顯示，在各溫度貯藏下冬季果實多酚氧化酶酵素皆顯著高於春季果實，顯示多酚氧化酶活性間的差異，可能是導致兩採收季節間近心果肉褐化發生程度差異的主要原因。且當貯藏溫度降至10℃時冬春季果實多酚氧化酶酵素活性顯著上升。在10℃貯藏回溫後過氧化酶活性顯著低於其他溫度處理，且在各貯藏溫度下均冬季採收顯著高於春季果實(表2)。此結果與Zhou(2003)一致，表示低溫環境會誘導近心果肉多酚氧化酶活性提升。過氧化物酶在逆境反應上具有雙重特性，逆境初期會參與ROS的代謝來保護細胞，逆境後期則會加速細胞氧化分解(蔣, 2011)。本試驗結果顯示冬季果實在10℃貯藏10天、25℃3天過氧化物酶活性顯著低於其他貯藏溫度，結果與薛等(2009)一致。在12.5-17.5℃貯藏10天、25℃3天春季果實過氧化物酶活性皆顯著低於冬季果實，但各溫度處理間無顯著差異(表2)。春季果實褐化症狀輕微，低溫耐受性較高，10℃以上之貯藏溫度較不易造成寒害逆境。

隨著鳳梨果實成熟老化，果肉顏色的變化趨勢為L*與h°下降，a*、b*與C*值上升，外觀上由白黃色向橘黃色轉變。冬季果肉貯藏回溫後顏色偏淡黃色，春季果肉偏橘黃色(圖2)。所有果實果肉在貯藏回溫後均出現L*下降的現象，冬季果肉中於10℃貯藏回溫後L*值下降程度更甚，春季果肉則未出現L*隨貯藏溫度下降而降低的趨勢。a*值為正時代代表顏色偏紅，數值越高則顏色越紅；b*值為正時代代表顏色偏黃，數值越高則顏色越黃。結果顯示冬季果肉在10℃貯藏回溫後a*與b*值上升幅度較低，於12.5-17.5℃貯藏回溫後a*上升幅度較高。外觀上冬季果肉在10℃貯藏果肉轉紅較慢，且由h°值判定也可得到相似結果；春季果肉顏色較不受10-17.5℃貯藏溫度影響(表3)。

果實常在貯藏期間隨果實成熟老化，呼吸蒸散作用使得水分逐漸散失，造成果重減輕。冬季果實失重率在各溫度貯藏間無顯著差異；春季果實在17.5℃貯藏回溫後顯著最高，代表冬季果實在各溫度貯藏期間內水分散失或呼吸作用引起之失重較少，春季果實在17.5℃貯藏時水分散失及呼吸作用較為旺盛造成失重率高(表4)。採收時間與貯藏溫度對冬春果硬度無顯著差異。可溶性固形物與可滴定酸受採收季節顯著影響，春季果實於10與17.5℃貯藏回溫後，可溶性固形物顯著高於冬季果實，春季果實在各貯藏溫度間及回溫後，可滴定酸均顯著低於冬季果實，果實有機酸作為呼吸作用的反應物(Wills and Golding, 2016)，可能與春果呼吸率較高有關。糖酸比常被用於果實風味的量化指標，試驗結果顯示，糖酸比受採收時間顯著影響，春季果實在各溫度處理貯藏回溫後皆顯著高於冬季果實，風味較佳(表4)。

在本試驗中春季果實低溫耐受性較高，在10-17.5℃貯藏回溫後褐化酵素活性、褐化發生率顯著低於冬季果實，15、17.5℃貯藏回溫後褐化嚴重程度顯著低於冬季果實。春季果實貯藏、回溫後果肉偏橘黃色，糖度高酸度低使得糖酸比較高，果實風味較佳。整體而言春季採收果實比冬季採收果實在航運10天內外銷市場貯運品質較佳。

參 考 文 獻

- 李堂察、唐佳惠、黃慶文。2014。主要外銷果樹採後處理專刊-鳳梨。農業試驗所鳳山分所。
- 林天順。2008。'台農11號'、'台農17號'及'台農18號'鳳梨果實採後生理及處理技術。國立屏東科技大學農園生產系碩士論文。119pp。
- 張清勤、徐信次、程永雄。1999。鳳梨新品種-台農17號。豐年雜誌。
- 蔣永正。2011。植物對環境逆境之調控與應用。農政與農情231。
- 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。
- Paull, R. E., and K. G. Rohrbach. 1985. Symptom development of chilling injury in pineapple fruit. J. Am. Soc. Hort. Sci. 110:100-105.
- Luengwilai, K., D. M. Beckles, U. Roessner, D. A. Dias, V. Lui, and J. Siriphanich. 2018. Identification of physiological changes and key metabolites coincident with postharvest internal browning of pineapple (*Ananas comosus* L.) fruit. Postharvest Biol. Technol. 137:56-65.
- Sukporn, S., C. Sirimuangmoon, S. Kondo, and S. Setha. 2019. Effect of harvesting season, maturity stage and storage temperature on internal browning and postharvest quality of 'Phulae' pineapple. J. Food Sci. Technol. 5:212-219.
- Abdullah, H., M. A. Rohaya, and I. A. Aziz. 1996. Quality changes in pineapple (*Ananas comosus* cv. N36) stored at low temperature. MARDI Res. J. 24:39-48.
- Nakasone, H. Y., and R. E. Paull. 1998. Tropical fruits. Cab International.
- Sangsoy, K., D. M. Beckles, A. Terdwongworakul, and K. Luengwilai. 2022. Discriminating pineapple batches for susceptibility to postharvest internal browning. Scientia Hort. 300:111069.
- Hong, K., H. Xu, J. Wang, L. Zhang, H. Hu, Z. Jia, H. Gu, Q. He, and D. Gong. 2013. Quality changes and internal browning developments of summer pineapple fruit during storage at different temperatures. Scientia Hort. 151:68-74.
- Zhou, Y., J. M. Dahler, S. J. Underhill, and R. B. Wills. 2003. Enzymes associated with blackheart development in pineapple fruit. Food Chem. 80:565-572.
- Wills, R., and J. Golding. 2016. Postharvest: an introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables. UNSW press.

Effects of Storage Temperature on Chilling Injury and Fruit Quality of Winter- and Spring-season Harvested 'Tainung 17' Pineapple Fruits during Low Temperature Storage

Hung-En Tsai ¹⁾ Huey-Ling Lin ²⁾

Key words: Storage quality, Internal browning, Polyphenol oxidase, Peroxidase

Summary

This study investigated the effects of storage temperature at 10, 12.5, 15, or 17.5°C for 10 days and subsequent simulation of shelf conditions at 25°C for 3 days on the incidence of internal browning, browning severity, and crown damage core of winter- and spring-season harvested 'Tainung No. 17' pineapple fruit. The results showed the incidence of internal browning in April fruits was significantly lower than that in January fruits. The browning severity in April fruits was significantly affected by the harvest month, with January fruits were store at 10-17.5°C showing significantly higher levels of browning than April fruits. No abnormal peel color was observed on the fruit skin after rewarming in all treatments. The activity of polyphenol oxidase in fruits harvested in January and April and stored at 10°C for 10 days and then followed by 25°C for 3 days was significantly higher than that in fruits stored at 15-17.5°C, and enzyme activity was higher in January fruits than in April fruits among all temperature conditions. The harvest month significantly affected the soluble solids and titratable acidity of fruits stored for 10 days and then followed by 25°C for 3 days. Soluble solids in April fruits were significantly higher than those in January fruits, while titratable acidity was significantly lower in April fruits. In conclusion, for export purposes, April spring fruits are high storage quality, as they exhibit light chilling injury symptoms of internal browning after 10 days of storage at 15°C and then followed by at 25°C for 3 days, and they have a higher TSS/TA.

-
- 1) Student in M.S. Program, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.
This article is a part of a master's thesis written by the first author.
 - 2) Professor, Department of Horticulture, National Chung Hsing University, Corresponding author.

氣變包裝對'金龍'楊桃低溫貯運品質之影響

林 凱 文¹⁾ 林 慧 玲²⁾

關鍵字：呼吸率、褐化、低溫檢疫

摘要：本研究探討氣變包裝對'金龍'楊桃於0°C模擬輸美低溫檢疫流程後貯運品質及其對低溫的耐受性之影響。結果顯示'金龍'楊桃經低溫檢疫後於5°C貯藏15天仍能保持100%可售率，且果皮褐斑面積小於20%。以0.08 mm厚度的LDPE氣變包裝袋處理雖能維持袋內氣體，結果僅在失重率上顯著降低，而果實品質與慣行包裝無顯著差異，由於'金龍'楊桃具有耐低溫之特性，經低溫檢疫貯運後慣行包裝僅表現輕微的果實褐化徵狀即可達高可售率，因此在輸美貯運仍以慣行包裝為較符合經濟效益。

前 言

楊桃(*Averroa carambola* L.)為酢漿草科(Oxalidaceae)五釵子屬之多年生常綠果樹，依照果實糖酸比和有機酸含量又可區分為鮮食用之甜味種及加工用之酸味種，台灣的楊桃主要產季在10至1月及2至4月，但除了5至6月產量較少之外，其餘季節皆有部分農民種植並採收，經行政院農業委員會農糧署統計，2022年產量約5942.89公噸，產量逐年減少，為了促進台灣楊桃果樹產業發展以增加產值，除了供應內銷，也開始將楊桃外銷至香港、美國、中國大陸、加拿大、新加坡等國。過去栽培較具規模者有'秤錘'、'二林'、'馬來西亞'種及'台農1號'，謝等(1997)指出'馬來西亞'及'二林'種果肉質地柔軟、酸含量低(少於0.1%)且甜度較高約9-10 °Brix，但貯運時易擦壓傷而引起褐變，以'秤錘'及'青墘厚稔'種較耐運輸適合外銷市場。另外，外銷至歐美地區常需低溫檢疫處理，黃(1995)指出楊桃一般不適合在低溫下貯藏，常引起寒害，因此在外銷上需慎選品種。

-
- 1) 國立中興大學園藝學系碩士班研究生。本文為第一作者碩士論文之一部分。
 - 2) 國立中興大學園藝學系教授，通訊作者。

外銷短程如香港、中國大陸無貯運期間低溫檢疫之規範，而加拿大及美國則需要透過長程低溫海運來進行外銷，甚至美國之檢疫需求為果心溫度需為 1°C 17天以上，此條件易使楊桃在貯運出庫後或回溫時產生寒害症狀，主要是低溫導致果皮結構異常造成的褐化，同時也會在果實稜線處及蒂頭、底部發生，使外觀受損、果實可售率降低。過去長程外銷之主力品種為耐低溫及貯運的'秤錘'種，但劉(2007)說明鳳山試驗所育成的'紅龍'種具有省疏果勞力、果實蠅不易危害、風味佳、耐貯運等優點而廣受農民喜愛，同時由鳳山試驗所以'紅龍'種的實生苗後代選拔育出的台農4號'金龍'也具備外銷潛力(劉，2009)，進而逐漸取代秤錘種。氣變包裝(modified atmosphere packaging, MAP)為透過園產品呼吸作用改變包裝袋內之大氣成分組成，進而降低呼吸率以減緩果實呼吸作用、減少品質耗損的技術，除了延緩生理代謝以延緩成熟，還有減輕寒害症狀之效果 (David, 2006)，常使用園產品採後保鮮貯藏，如蘋果透過氣調(Control atmosphere)技術能使貯藏期限延長達數個月之久(Both et al., 2017)，也被運用於長程之低溫貯運，減輕部分不耐低溫引起之寒害症狀。

本試驗之目的為了解台農4號'金龍'在模擬低溫長程貯運過程後之果實品質變化，以及利用氣變包裝處理後相較於慣行包裝是否能維持更佳果實外觀及果實品質，探討此品種之貯運性以及作為主力品種改善台灣楊桃外銷市場之潛力，期望促進楊桃產業之產值及增強楊桃於國際市場之競爭力。

材 料 與 方 法

一、 試驗材料

於2022年8月25日進行，'金龍'楊桃果實選用台南市楠西區外銷規格之綠黃果實(約六至七分熟)，單果重約400-550 g，果農採收後將果實逐果套入厚度0.03 mm的聚丙烯PP袋中，運回中興大學園藝學系採後處理實驗室進行試驗。

二、 試驗方法

將果實秤重後逐果套袋，本試驗共分為主動氣變包裝(active modified atmosphere packaging; AMAP)，被動氣變包裝(passive modified atmosphere packaging; PMAP)以及對照組(Control)。每10顆裝入60 cm*45 cm，厚度為0.08 mm的LDPE低密度聚乙烯袋中，被動氣變包裝處理直接密封，而主動氣變包裝則先將袋內空氣抽真空後，灌入預先配製之1% O_2 + 5% CO_2 混和氣體再密封置入紙箱，慣行包裝(對照組)以農民寄出之逐果套袋並放入紙箱之方式進行。

將包裝好之處理組與對照組置入 0°C 貯藏22天，模擬輸美之低溫檢疫，每3天調查一次袋內之氧氣及二氧化氮濃度變化，完成後將密封的PE袋劃破，改放入 5°C 恆溫箱中貯藏15天，每隔5天取出果實並於 20°C 回溫1天進行果實品質調查。包裝袋每處理5袋，果實5重複。

三、 調查項目與分析方法

(一) 果實失重率

出庫時將果實秤重，並與貯藏前重量比較重量減少之程度。失重率的計算方式如下，失重率單位以%表示：

$$\text{果實失重率}\% = \frac{(\text{貯藏前重量} - \text{貯藏後重量})}{\text{貯藏前重量}} \times 100\%$$

(二) 果汁可溶性固形物

取果實中段之果肉進行榨汁，以紗布過濾至燒杯中，將果汁滴於電子式折光計(ATAGO, PR-32)測定果實可溶性固形物，單位以°Brix表示。

(三) 果汁可滴定酸

取步驟3.之1 mL果汁加入18 mL之純水於燒杯中，以塑膠滴管加入1-2滴酚酞指示劑，透過0.1 N NaOH滴定至果汁轉為粉紅色達滴定終點，並將終點時的NaOH體積換算成以草酸為主的可滴定酸含量，單位以%表示。

(四) 果稜硬度

以物性測定儀(COMPSC-100)測定果稜硬度，穿刺深度1 cm、最大承重量2 kg。切取楊桃中段約4-6公分長度之果稜，以直徑0.5公分之金屬頭裝入儀器縱向刺入果稜1公分，紀錄顯示之公斤數，並透過計算轉換為牛頓力，單位以(N/cm²)表示。

(五) 果皮褐化指數

果皮褐化指數參考 (Chen et al., 2017)之方法，以目測方式對果皮褐化發生面積進行判定，指數為0代表果皮無任何褐斑，果稜也無產生顏色轉褐之情況；1代表果稜處或果皮局部褐化或症狀較輕微，發生面積約小於20%；2代表果皮或果稜有20%以上之褐化發生面積，同時也不具有商品可售價值。單位表示僅以個別果實0、1、2之指數除以該處理果實總數。

(六) 果皮顏色變化

以攜帶式色差儀(MSEZ-4000S, Hunter Associates Laboratory. Inc., USA)測定取中段果稜之果皮顏色，顏色以L*、a*、b*、C*、h°值表示。

(七) 果皮丙二醛(Malondialdehyde, MDA)濃度

參考 Heath 和 Packer(1968) 之方法。秤取 2 g 之中段果皮並加入 5 mL 之 5%(w/v)Trichloroacetic acid(TCA)及適量海砂於冰浴中研磨，再將其以4℃ 13000 rpm離心20分鐘，以Miracloth (Merck)過濾，取上清液備用。

分析時取1 mL之上清液加入4 mL之0.5%(w/v)Thiobarbituric acid(TBA) with 20% TCA均勻震盪後，以沸水煮15分鐘，取出後立即浸泡冰水終止反應，以Elisa Reader(BMG LABTECH, FLUOstar Omega Ω, Germany)測定530 nm及600 nm波長下之吸光值。MDA濃度以nmol · g⁻¹ Fw表示。

四、數據統計分析

試驗結果以統計軟體Costat (Cohort Software, Monterey, CA, USA)中ANOVA (Analysis of variance)進行變方分析及最小顯著差異檢定 (least significant difference, LSD)比較各處理間差異顯著性，並以複因子變方分析比較因子之顯著性與交感作用。

結 果

一、包裝袋內O₂及CO₂變化

袋內的O₂濃度變化，PMAP隨著氣變處理時間增加而濃度下降，至第21天調查時降至9.71%，AMAP起始O₂濃度為3.83%，第3天調查時上升至4.85%，隨後逐漸緩慢下降，第15天時平均O₂濃度為2.80%，21天則為1.87%。CO₂在PMAP及AMAP處理均有上升，PMAP第3天調查時即升至1.79%，第9天為3.17%，持續到第21天調查時為5.41%，AMAP初始平均值為5.14%，第3天降至3.48%後，隨貯藏時間增加而濃度上升，至第21天平均濃度為6.34%(圖 1)。

二、果皮外觀、顏色、褐化指數及可售率

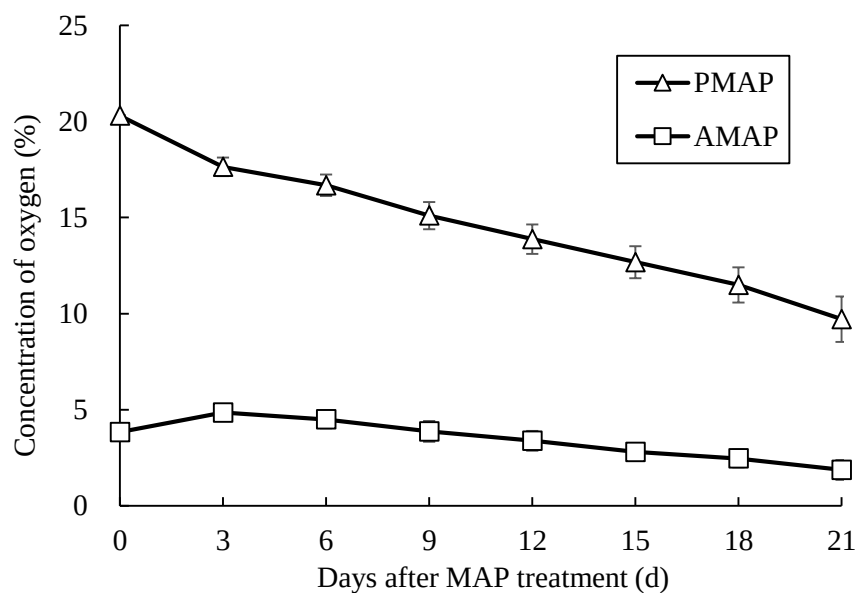
在未回溫的過程，果皮顏色之L*、b*及C*值均無顯著差異，並與貯藏前數據相近，僅a*值隨著貯藏時間增加而增加，使果實褪綠轉色，並連同時影響色相角h°之數值(表 3)。外觀上以AMAP在5℃ 10天及15天出庫能稍看見少部分果實之褐化狀況，但整體不顯著(圖 3)。量化褐斑後顯示剛出庫有少數果實產生褐斑，於5℃ 10天所有果實均有輕微褐化狀況，5℃ 15天以AMAP(1.40)顯著高於對照組(0.60)，並在貯藏時間因子(P<0.001)及處理(P<0.05)具顯著性，整體可售率除了AMAP在5℃ 第10天及15天分別為80%及60%，其餘組別均呈現100%(表 1)。

回溫後的果皮L*值稍高於未回溫，b*值稍低於未回溫，說明果皮較偏向黃色，而L*、b*值及C*值仍無顯著之差異，a*值回溫後稍高於未回溫時之調查，並且在貯隨貯藏時間增加而增加(P<0.001)，顯示其褪綠或褐化較明顯(表 4)。外觀上符合果皮色差表現，回溫後的果實顏色稍褪綠輕微褐化，並隨著貯藏時間增加而產生，但在處理間不明顯(圖 4)。褐化指數隨著時間增加而增加，處理間比較在5℃ 10天回溫以對照組(0.00)顯著低於PMAP(0.80)及AMAP(1.00)，其餘貯藏期間以AMAP指數較高，但無顯著差異。可售率表現同未回溫之調查，除AMAP在5℃ 10天及15天回溫為80%外，其他組別均為100%(表 2)。

三、果實失重率、糖酸、硬度及果皮丙二醛含量

在失重率上，除5℃ 貯藏5天各處理間無顯著差異外，其他調查時間均以對照組顯著高於PMAP及AMAP，且失重率隨著貯藏時間而增加，在時間與處理之因子均具顯著性(P<0.05, P<0.001)。可溶性固形物於5℃ 10天出庫以PMAP(6.84 °Brix)顯著低於對照組(7.88 °Brix)，在時間和處理因子上無顯著性。可滴定酸在各處理組隨著時間增加而減少，但貯藏時間因子不具顯著性，同時間調查又以5℃ 5天之對照組(0.30%)顯著高於AMAP(0.24%)。果梗硬度僅以對照組有隨時間增加而下降，但在氣變包裝處理與貯藏時間比較均無顯著差異(表 1)。果皮丙二醛含量在包裝處理前為37.12 nmol · g⁻¹ · Fw，處理後之含量以5℃ 5天之AMAP(40.39 nmol · g⁻¹ · Fw)顯著高於對照組(27.24 nmol · g⁻¹ · Fw)及PMAP(29.40 nmol · g⁻¹ · Fw)，在貯藏時間增加上無明顯上升之趨勢(圖 2A.)。

A.



B.

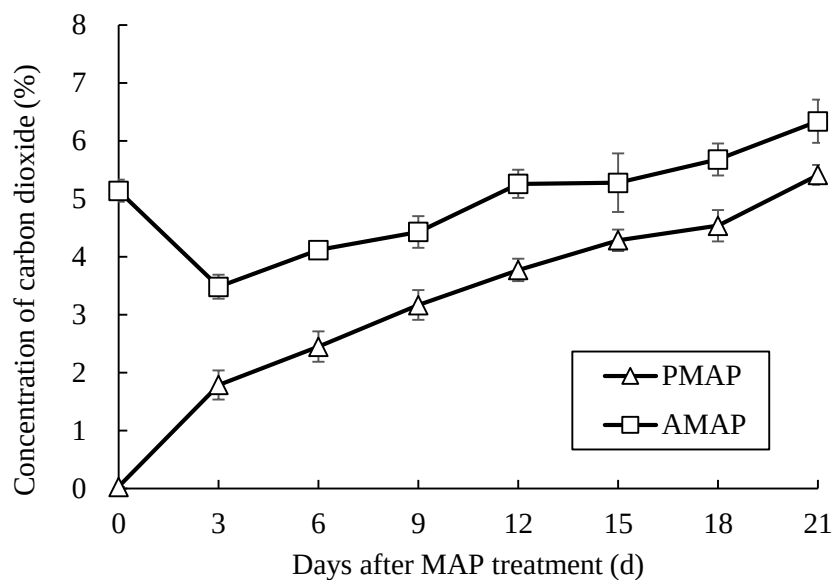


圖 1. '金龍'楊桃0.08 mm厚度主動氣變包裝(AMAP)及被動氣變包裝(PMAP)於0°C貯藏22天之袋內A.氧氣及B.二氧化碳濃度變化

Fig. 1. 0.08 mm-thickness AMAP and PMAP of 'Jing-Long' carambola fruit: Changes in A. O₂ and B. CO₂ during 22-day storage at 0°C.

表 1. '金龍'楊桃0.08mm PE氣變包裝0°C 22天後破袋於5°C貯藏15天之果實品質變化

Table 1. Fruit quality of 'Jing-Long' carambola fruit after 0°C 22 days with 0.08 mm PE MAP treatment followed by 5°C for 15 days.

		Weight loss (%)	TSS (°Brix)	TA (%)	Firmness (N/cm ²)	Browning index ^x (0-2)	Marketable ratio (%)
Before storage		-	6.10	0.32	61.27	0.00	100.00
0°C 22d ^y	CK	0.50 a ^z	7.00 a	0.30 a	62.92 a	0.20 a	100.00
	PMAP	0.19 b	7.22 a	0.25 a	56.48 a	0.00 a	100.00
	AMAP	0.22 b	7.08 a	0.25 a	59.12 a	0.20 a	100.00
0°C 22d +5°C 5d	CK	0.42 a	7.48 a	0.30 a	59.63 a	0.00 a	100.00
	PMAP	0.26 a	6.88 a	0.28 ab	57.48 a	0.60 a	100.00
	AMAP	0.23 a	7.14 a	0.24 b	54.83 a	0.40 a	100.00
0°C 22d +5°C 10d	CK	0.86 a	7.88 a	0.27 a	49.98 a	0.60 a	100.00
	PMAP	0.29 b	6.84 b	0.25 a	54.73 a	0.60 a	100.00
	AMAP	0.23 b	7.08 ab	0.24 a	49.54 a	1.00 a	80.00
0°C 22d +5°C 15d	CK	1.00 a	7.20 a	0.25 a	49.99 b	0.60 b	100.00
	PMAP	0.28 b	7.68 a	0.25 a	59.12 a	0.80 ab	100.00
	AMAP	0.35 b	6.64 a	0.24 a	65.57 a	1.40 a	60.00
Storage time(T)		*	ns	ns	ns	***	-
Treatment(t)		***	ns	**	ns	*	-
(T) x (t)		ns	ns	ns	ns	ns	-

^zMeans within each column followed by the same letter(s) are not significantly different at P<0.05 by LSD test.

^yMeans low temperature quarantine treatment is core temperature 1.0°C for 17days.

^xthe browning index are according to the level of browning spot and rib-edge darkening on the fruit surface, as 0=0%, 1=browning area less than 20%, 2= browning area more than 20% surface which is unmarketable.

ns: non-significant, *: significant at $P \leq 0.05$, **: significant at $P \leq 0.01$, ***: significant at $P \leq 0.001$. (CK: control group with 0.03mm PP packs in each single fruit, PMAP: passive modified atmosphere packaging, AMAP: active modified atmosphere packaging, TSS: total soluble solids, TA: titratable acidity)

表 2. '金龍'楊桃0.08 mm PE氣變包裝0°C 22天破袋後於5°C貯藏15天並批次於20°C回溫1天之果實品質變化

Table 2. Fruit quality of 'Jing-Long' carambola fruit after 0°C 22 days with 0.08 mm PE MAP treatment followed by 5°C for 15 days and moved to 20°C for 1 day every 5 days.

		Weight loss (%)	TSS (°Brix)	TA (%)	Firmness (N/cm ²)	Browning index ^x (0-2)	Marketable Ratio (%)
Before storage		-	6.10	0.32	61.27	0.00	100.00
0°C 22d ^y +20°C 1d	CK	0.79 a ^z	6.82 a	0.27 a	56.68 a	0.20 a	100.00
	PMAP	0.60 a	6.86 a	0.27 a	53.68 a	0.20 a	100.00
	AMAP	0.70 a	6.96 a	0.25 a	55.18 a	0.20 a	100.00
0°C 22d +5°C 5d +20°C 1d	CK	0.91 a	7.50 a	0.25 a	53.38 a	0.00 a	100.00
	PMAP	0.84 a	6.68 ab	0.27 a	59.37 a	0.40 a	100.00
	AMAP	0.71 a	6.16 b	0.26 a	60.07 a	0.60 a	100.00
0°C 22d +5°C 10d +20°C 1d	CK	1.11 a	7.90 a	0.29 a	54.83 a	0.00 b	100.00
	PMAP	0.90 a	7.22 ab	0.25 ab	57.33 a	0.80 a	100.00
	AMAP	0.79 a	6.64 b	0.23 b	62.32 a	1.00 a	80.00
0°C 22d +5°C 15d +20°C 1d	CK	1.18 a	7.46 a	0.24 a	50.64 b	1.00 a	100.00
	PMAP	0.56 a	7.30 a	0.23 a	62.17 ab	1.00 a	100.00
	AMAP	1.30 a	7.58 a	0.23 a	63.82 a	1.20 a	80.00
Storage time (T)		ns	ns	ns	ns	***	-
Treatment (t)		ns	ns	ns	ns	**	-
(T) x (t)		ns	ns	ns	ns	ns	-

^zMeans within each column followed by the same letter(s) are not significantly different at P<0.05 by LSD test.

^yMeans low temperature quarantine treatment is core temperature 1.0°C for 17days.

^xthe browning index are according to the level of browning spot and rib-edge darkening on the fruit surface, as 0=0%, 1=browning area less than 20%, 2= browning area more than 20% surface which is unmarketable.

ns: non-significant, *: significant at $P \leq 0.05$, **: significant at $P \leq 0.01$, ***: significant at $P \leq 0.001$. (CK: control group with 0.03mm PP packs in each single fruit, PMAP: passive modified atmosphere packaging, AMAP: active modified atmosphere packaging, TSS: total soluble solids, TA: titratable acidity)

表 3. '金龍'楊桃0.08 mm PE氣變包裝0°C 22天破袋後於5°C貯藏15天之果皮顏色變化

Table 3. Fruit quality of 'Jing-Long' carambola fruit after 0°C 22 days with 0.08 mm PE MAP treatment followed by 5°C for 15 days.

		L*	a*	b*	C*	h°
Before storage		50.28	-7.42	27.79	28.77	104.86
0°C 22d ^y	CK	47.69 a ^z	-8.08 a	30.96 a	32.08 a	104.80 a
	PMAP	47.96 a	-8.05 a	28.85 a	29.97 a	105.76 a
	AMAP	49.54 a	-6.94 a	29.52 a	30.35 a	103.24 a
0°C 22d+5°C 5d	CK	48.63 a	-6.70 a	30.09 a	30.83 a	102.57 a
	PMAP	50.16 a	-5.84 a	28.79 a	29.43 a	101.20 a
	AMAP	47.46 a	-6.67 a	28.77 a	29.54 a	103.06 a
0°C 22d+5°C 10d	CK	46.86 a	-6.65 a	29.64 a	30.41 a	102.66 a
	PMAP	49.98 a	-5.88 a	30.74 a	31.32 a	100.89 a
	AMAP	49.27 a	-5.78 a	31.44 a	32.03 a	100.64 a
0°C 22d+5°C 15d	CK	48.11 a	-6.38 a	29.93 a	30.61 a	102.01 a
	PMAP	47.37 a	-6.53 a	31.38 a	32.07 a	101.85 a
	AMAP	48.36 a	-6.14 a	30.77 a	31.40 a	101.37 a
Storage time (T)		ns	**	ns	ns	**
Treatment (t)		ns	ns	ns	ns	ns
(T) x (t)		ns	ns	ns	ns	ns

^zMeans within each column followed by the same letter(s) are not significantly different at P<0.05 by LSD test.

^yMeans low temperature quarantine treatment is core temperature 1.0°C for 17days.

ns: non-significant, *: significant at $P \leq 0.05$, **: significant at $P \leq 0.01$, ***: significant at $P \leq 0.001$. (CK: control group with 0.03mm PP packs in each single fruit, PMAP: passive modified atmosphere packaging, AMAP: active modified atmosphere packaging)

表 4. '金龍'楊桃0.08 mm PE氣變包裝0°C 22天破袋後於5°C貯藏15天並批次於20°C回溫1天之果皮顏色變化

Table 4. Peels color of 'Jing-Long' carambola fruit after 0°C 22 days with 0.08 mm PE MAP treatment followed by 5°C for 15 days and moved to 20°C for 1 day every 5 days.

		L*	a*	b*	C*	h°
Before storage		50.28	-7.42	27.79	28.77	104.86
0°C 22d ^y +20°C 1d	CK	49.67 a ^z	-7.23 a	29.67 a	30.54 a	103.75 a
	PMAP	51.11 a	-6.28 a	30.33 a	30.99 a	101.73 a
	AMAP	48.19 a	-6.31 a	28.13 a	28.89 a	102.90 a
0°C 22d +5°C 5d +20°C 1d	CK	50.61 a	-6.08 a	30.07 a	30.70 a	101.51 a
	PMAP	49.90 a	-5.94 a	26.81 a	27.47 a	102.46 a
	AMAP	49.61 a	-6.44 a	29.12 a	29.84 a	102.57 a
0°C 22d +5°C 10d +20°C 1d	CK	50.20 a	-6.10 b	27.48 a	28.16 a	102.53 a
	PMAP	52.28 a	-4.60 a	27.44 a	27.83 a	99.61 b
	AMAP	51.95 a	-4.44 a	27.34 a	27.73 a	99.35 b
0°C 22d +5°C 15d +20°C 1d	CK	51.75 a	-5.15 a	26.78 a	27.29 a	100.90 a
	PMAP	50.15 ab	-4.91 a	27.63 a	28.09 a	100.17 a
	AMAP	48.69 b	-5.66 a	28.00 a	28.59 a	101.46 a
Storage time (T)		ns	***	ns	ns	**
Treatment (t)		ns	ns	ns	ns	ns
(T) x (t)		ns	ns	ns	ns	ns

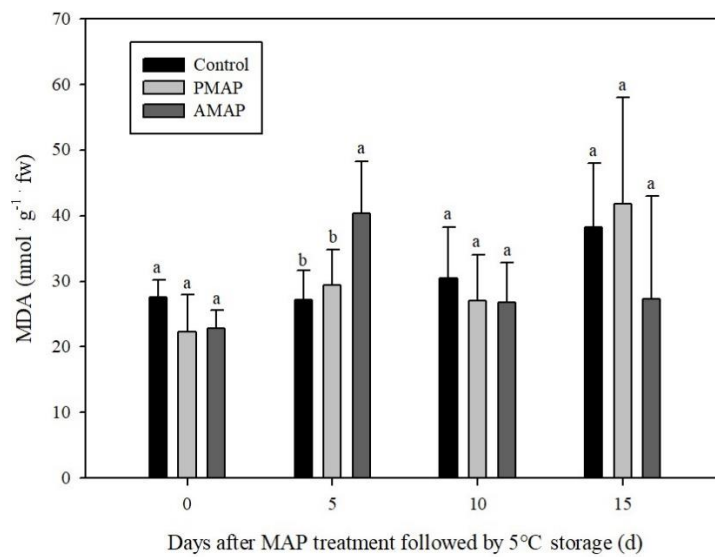
^zMeans within each row followed by the same letter(s) are not significantly different at $P < 0.05$ by LSD test.

^yMeans low temperature quarantine treatment is core temperature 1.0°C for 17days. ns: non-significant, *: significant at $P \leq 0.05$, **: significant at $P \leq 0.01$, ***: significant at $P \leq 0.001$. (CK: control group with 0.03mm PP packs in each single fruit, PMAP: passive modified atmosphere packaging, AMAP: active modified atmosphere packaging)

回溫一天後之失重率稍高於回溫前，而在各處理間比較無顯著差異，可溶性固形物在5°C 5天及10天以對照組(7.50, 7.90 °Brix)顯著高於AMAP(6.16, 6.64 °Brix)，可滴定酸含量以貯藏前(0.32%)較高，在貯藏時間及處理因子上均無顯著性，僅5°C 10天回溫以對照組(0.29%)顯著高於AMAP(0.23%)，硬度表現同樣無差異性，是以5°C 15天回溫後之

AMAP(63.82 N/cm^2)顯著高於對照組(50.64 N/cm^2)(表 2)。丙二醛含量於回溫後隨著時間無明顯變化趨勢，僅在 5°C 15天回溫顯示AMAP($33.20 \text{ nmol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{Fw}$)顯著低於對照組($50.69 \text{ nmol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{Fw}$)(圖 2B.)。

A.



B.

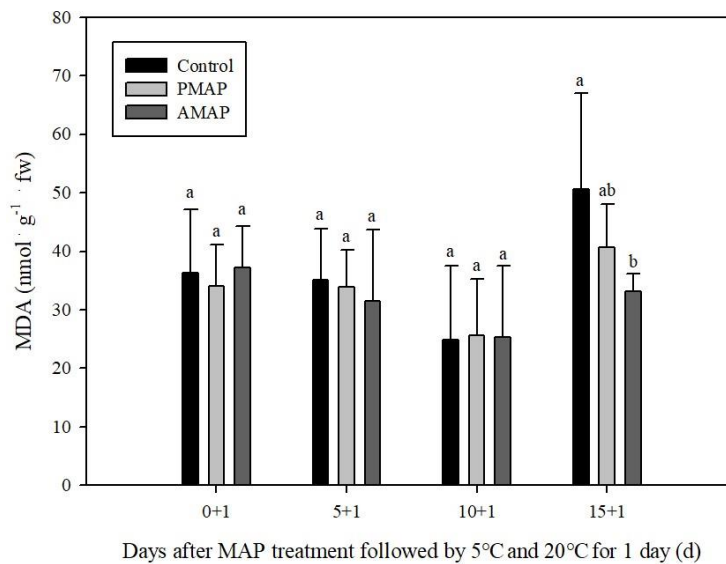


圖 2. '金龍'楊桃於 0°C 0.08 mm PE氣變包裝22天後於A. 5°C 貯藏15天及B.批次 20°C 回溫1天之丙二醛含量

Fig. 2. Contents of MDA of 'Jing-Long' carambola fruit after 0°C 22 days with 0.08 mm PE MAP treatment A. followed by 5°C for 15 days and B. moved to 20°C for 1 days every 5 days.

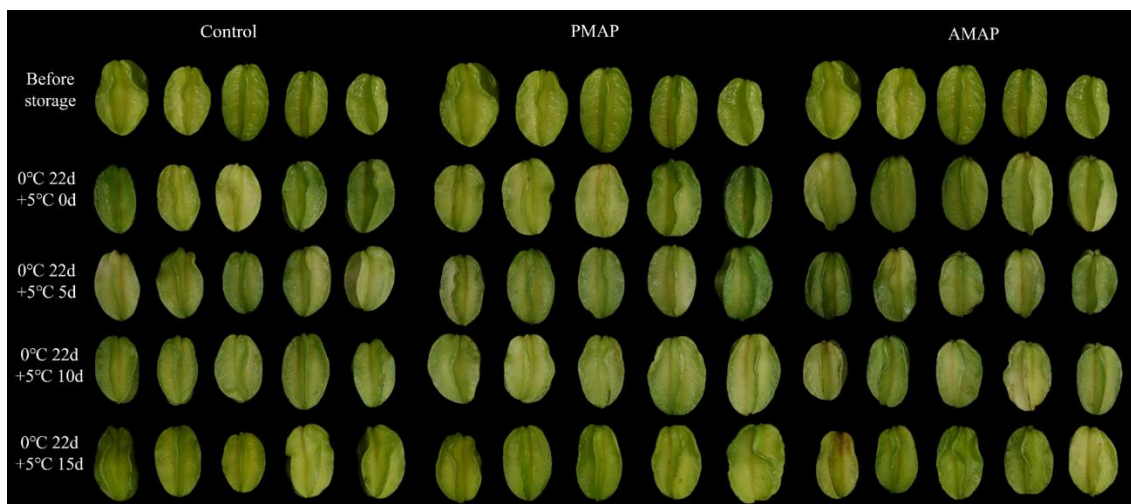


圖 3. '金龍'楊桃0.08 mm PE氣變包裝0°C 22天後破袋於5°C貯藏15天之果實外觀變化(bar=5 cm)

Fig. 3. Appearance of 'Jing-Long' carambola fruit after 0°C 22 days with 0.08 mm PE MAP treatment followed by 5°C for 15 days.(bar=5 cm)

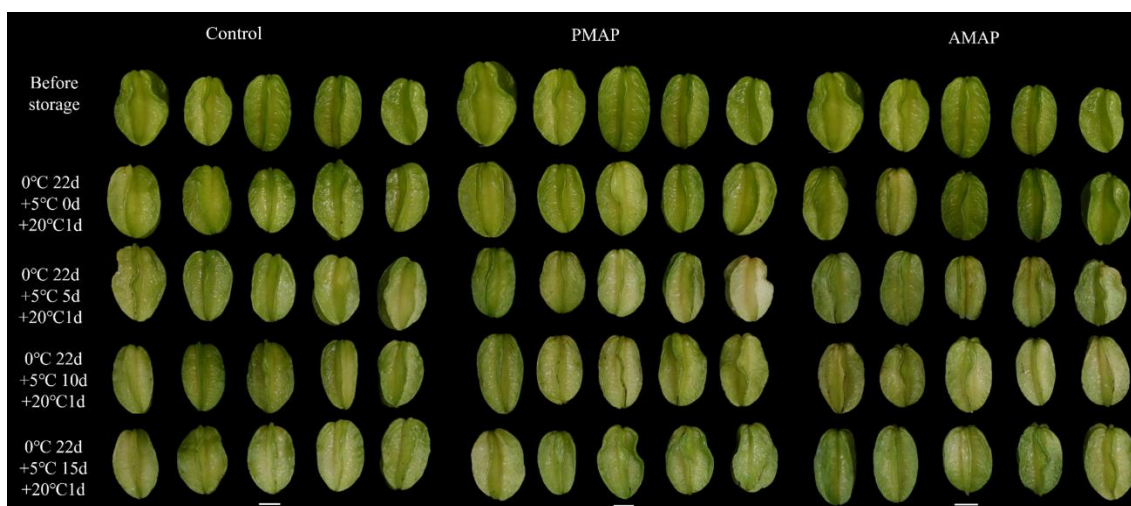


圖 4. '金龍'楊桃0.08 mm PE氣變包裝0°C 22天後破袋於5°C貯藏15天並批次於20°C回溫1天之果實外觀(bar=5 cm)

Fig. 4. Appearance of 'Jing-Long' carambola fruit after 0°C 22 days with 0.08 mm PE MAP treatment followed by 5°C for 15 days and moved to 20°C for 1 day every 5 days.(bar=5 cm)

討 論

經0°C 22天及5°C 15天貯藏後，未回溫時失重率以氣變包裝較低，糖酸表現及硬度則無明顯變化，但在褐化指數上不僅隨時間增加，反而在AMAP上較為嚴重，王等(1997)指出具有稔緣的果實會比具有圓弧邊的果實更容易受傷及劣變。在進行氣變包裝時將袋內抽真空時容易造成果稜的擠壓，導致處理過程引發機械傷害，增加表面褐化之情況，且楊桃本身之果皮就較為脆弱，在栽培時須注意強風，避免擦傷(王，1994)。雖放入氣變袋前逐果均有套入0.03 mm之PP袋，但在袋內抽氣體之過程仍可能受到擦壓傷，同時使AMAP之可售率自破袋後5°C 10天開始下降，至5°C 15天的調查僅有60%(表 1)。回溫後則在果實生理之狀態無顯著變化，同樣是以AMAP之褐化程度與可售率表現較差。Duan等 (2022)施用油菜素內酯減緩楊桃低溫貯藏之MDA產生量，在本試驗僅在未回溫時之破袋貯藏5°C 5天顯示AMAP處理，其MDA顯著高於其他組別，而其他貯藏期間無顯著差異性(圖 2)，果實外觀上同樣以對照組狀態佳。

據本試驗所討論之結果，以主動氣變包裝抽真空之過程可能使楊桃受到擠壓，進而增加果皮褐化的發生率，因此，改善楊桃主動氣變包裝減少機械傷害可能可改善氣變包裝貯藏後品質，而慣行包裝因減少果實因重新包裝引起擠壓之機會，進而有較低果皮受傷引起褐化之機率。將溫度進而降低至0°C，進行22天模擬低溫檢疫並在5°C貯藏15天，以及回溫之結果顯示‘金龍’楊桃具有耐低溫之貯運的特性，經模擬低溫檢疫後維持良好的果實品質，整體而言，‘金龍’耐低溫檢疫及長期低溫貯藏極具良好櫥架壽命，具輸美之外銷潛力之品種。

參考文獻

- 王子慶、謝慶昌、林德勝。1997。甜楊桃果實外銷適性之研究。中華農業研究 46(3):278-2933。
- 王武彰。1994。著果部位對楊桃產量與品質之影響。中華農業研究 43(3):330-335。
- 王建一、王自存。1988。大氣成分對園產品生理與生化之影響。中國園藝 34(4):220-248。
- 林佳樺、林慧玲、謝慶昌。2010。楊桃品種間及果實發育期間草酸含量之調查。興大園藝 35(2):1-15。
- 林榕華、許文瑜、林慧玲、謝慶昌。2016。酸、甜楊桃葉片與果實草酸含量之比較。台灣園藝 62(4):227-234。
- 孫藝綸。2015。楊桃品種間後熟生理之探討。國立台灣大學園藝學系碩士論文。台北。
- 陳紹為。2016。‘台農3號’楊桃果實採後生理與保鮮技術之研究。國立屏東科技大學農園生產系所碩士論文。屏東。
- 游若箴、王武彰。1987。楊桃之品質成分加工利用之研究。中華農業研究 36(2):196-206。
- 彭淑貞。2005。從果園整合性病蟲害防治觀點提升楊桃果實品質。苗栗區農業專訊 31:21-24。
- 黃碧海。1995。楊桃栽培現況與未來展望。農藥世界 144:8-12。
- 楊淑惠、王武彰。1993。秤錘種楊桃的貯藏品質。中華農業研究 42(4): 387-395。
- 劉碧鵬、楊耀祥、王德男、王子慶。2002。不同著果枝條對楊桃果實發育與貯藏品質之影響。中華農業研究 51(1):61-74。
- 劉碧鵬。2014。楊桃, p. 129-140。刊於：劉碧鵬、方信秀、李文豪主編。臺灣熱帶果樹栽培品種專輯。行政院農業委員會農業試驗所。
- 劉碧鵬、王德男、劉政道。2002。楊桃台農二號之育成。中華農業研究. 52:207.217。
- 劉碧鵬。2009。楊桃新品種—台農4號‘金龍’之育成。農業試驗所技術服務 20(2):3-6。
- 劉碧鵬、謝鴻業、楊世華。2007。台灣楊桃外銷潛力之探討。農業試驗所技術服務 18(1):18-21。
- 謝慶昌、楊淑惠、林德勝。1997。甜楊桃果實採收後之處理技術, p. 96-100。刊於：林俊義、蕭吉雄、黃肇家主編。園產品採後處理與運銷技術研討會專刊。行政院農業委員會農業試驗所。
- 謝慶昌、林宗賢、蔡平里。1987。楊桃果實採收後之呼吸作用與乙烯產生。中國園藝 33(2):139-150。
- Ali, Z. M., L. H. Chin, M. Marimuthu, and H. Lazan. 2004. Low temperature storage and modified atmosphere packaging of carambola fruit and their effects on ripening related texture changes, wall modification and chilling injury symptoms. Postharvest Biol. Technol. 33:181-192.
- Biale, J. B., R. E. Young, and A. J. Olmstead. 1954. Fruit respiration and ethylene production.

- Plant Physiol. 29:168-174.
- Boonyaritthongchai, P. and S. Kanlayanarat. 2012. Effect of modified atmosphere storage on the postharvest quality of carambola fruits. XXVIII Intl. Hort. Congr. Sci Hort. People (IHC2010): Intl. Symp. 934:221-226.
- Both, V., F. R. Thewes, A. Brackmann, R. de Oliveira Anese, D. de Freitas Ferreira, and R. Wagner. 2017. Effects of dynamic controlled atmosphere by respiratory quotient on some quality parameters and volatile profile of 'Royal Gala' apple after long-term storage. Food Chem. 215:483-492.
- Campbell, C. A., D. J. Huber, and K. E. Koch. 1987. Postharvest response of carambolas to storage at low temperature. Proc. Florida state horticultural Soc. 100:272-275.
- Campbell, C. A., D. J. Huber, and K. E. Koch. 1989. Postharvest changes in sugars, acids, and color of carambola fruit at various temperatures. Hort Sci. 24:472-475.
- Campbell, C. A. and K. E. Koch. 1989. Sugar/acid composition and development of sweet and tart carambola fruit. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 114:455-457.
- Chen, S. W., M. C. Hsu, H. H. Fang, S. H. Tsai, and Y. S. Liang. 2017. Effect of harvest season, maturity and storage temperature on storability of carambola 'Honglong' fruit. Scientia Hort. 220:42-51.
- Chin, L. H., Z. M. Ali, and H. Lazan. 1999. Cell wall modifications, degrading enzymes and softening of carambola fruit during ripening. J. Experimental Bot. 50:767-775.
- David, R.D. 2006. Development of controlled atmosphere storage technologies. Stewart Postharvest Rev. 2:1-8.
- Duan, W., F. Ngaffo Mekontso, W. Li, J. Tian, J. Li, Q. Wang, and X. Xu. 2022. Alleviation of postharvest rib-edge darkening and chilling injury of carambola fruit by brassinolide under low temperature storage. Scientia Hort. 299.
- Imahori, Y., J. Bai, B. L. Ford, and E. A. Baldwin. 2020. Effect of storage temperature on chilling injury and activity of antioxidant enzymes in carambola "Arkin" fruit. J. Food Processing and Preservation 45.
- Kidd, F. and C. West. 1927. Gas storage of fruit. Great Britain Department Scientific Industrial Research Report 30.:87pp.
- Lam, P. F. and C. K. Wan. 1983. Climacteric nature of the carambola (*Averrhoa carambola* L.). Pertanika 6:44-47.
- Lameira, R. D. C., B.M. P. D. Silva, S. R. D. T. Valentini, P. Cia, and I. U. Bron. 2020. Refrigeration and modified atmosphere to the conservation of 'Malasia' Star fruit. Ciência Rural 50.
- Mustafa, M. A., A. Ali, G. Seymour, and G. Tucker. 2016. Enhancing the antioxidant content of

- carambola (*Averrhoa carambola*) during cold storage and methyl jasmonate treatments. *Postharvest Biol. Technol.* 118:79-86.
- Ngaffo Mekontso, F., W. Duan, E. H. M. Cisse, T. Chen, and X. Xu. 2021. Alleviation of Postharvest Chilling Injury of Carambola Fruit by gamma-aminobutyric Acid: Physiological, Biochemical, and Structural Characterization. *Frontiers Nutr.* 8:752583.
- Nimitkeatkai, H., C. Techavuthiporn, P. Boonyariththongchai, and S. Supapvanich. 2022. Commercial active packaging maintaining physicochemical qualities of carambola fruit during cold storage. *Food Packaging and Shelf Life* 32.
- O'Hare, T. J. 1993. Postharvest physiology and storage of carambola (starfruit): a review. *Postharvest Biol. Technol.* 2:257-267.
- Oslund, C. R. and T. L. Davenport. 1981. No climacteric in the star fruit (*Averrhoa carambola*). *Hort Sci.* 16:424.
- Pesis, E. 2005. The role of the anaerobic metabolites, acetaldehyde and ethanol, in fruit ripening, enhancement of fruit quality and fruit deterioration. *Postharvest Biol. Technol.* 37:1-19.
- Teixeira, G. H. A., J. F. Durigan, R. E. Alves, and T. J. O'Hare. 2007. Use of modified atmosphere to extend shelf life of fresh-cut carambola (*Averrhoa carambola* L. cv. Fwang Tung). *Postharvest Biol. Technol.* 44:80-85.
- Wan, C. K. and P. F. Lam. 1984. Biochemical changes, use of polyethylene bags, and chilling injury of carambola (*Averrhoa carambola* L.) stored at various temperatures. *Pertanika* 7:39-46.
- Warren, O. and S. A. Sargent. 2011. Carambola (*Averrhoa carambola* L.). *Postharvest Biol. Technol. Trop. Subtropical Fruits*. Woodhead. pp. 397-414.
- Yang, J. C. and F. A. Loewus. 1975. Metabolic conversion of L-ascorbic acid to oxalic acid in oxalate-accumulating plants *Plant Physiol.* 56:283-285.
- Zhang, J., Q. Liu, X. Chen, M. Li, M. Lin, Y. Chen, and H. Lin. 2023. Slightly acidic electrolyzed water treatment improves the quality and storage properties of carambola fruit. *Food Chem X* 17:100555.

Effect of Modified Atmosphere Packaging on Fruit Quality of 'Jing-Long' Carambola (*Averrhoa carambola* L.) Fruit under Low Temperature

Kai-Wen Lin ¹⁾

Huey-Ling Lin ²⁾

Key words: Respiration rate, Browning, Low temperature quarantine

Summary

This study investigates the effect of modified atmosphere packaging on the postharvest quality of 'Jing-Long' carambola fruit during a simulated export quarantine process at 0°C, as well as its tolerance to low temperatures. The results demonstrate that 'Jing-Long' carambola fruit, subjected to low-temperature quarantine, maintains a 100% marketable rate even after 15 days of storage at 5°C, with less than 20% surface area affected by browning. The use of 0.08 mm thick LDPE modified atmosphere packaging bags effectively maintains the gas composition within the bags. However, the results only show a significant reduction in weight loss compared to conventional packaging, with no significant differences in fruit quality observed. Thus, there is no significant improvement in the storage quality using modified atmosphere packaging. 'Jing-Long' carambola fruit exhibits cold tolerance characteristics, as it only exhibits minor fruit damage after low-temperature storage. Therefore, under export conditions, conventional packaging remains a more cost-effective approach.

1) Student in M.S. Program, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.
This article is a part of a master's thesis written by the first author.

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

涼溫及短日照處理對藍莓生殖生長之影響

鄭 瑩 駿¹⁾ 陳 昶 霖²⁾

關鍵字：藍莓、涼溫、短日

摘要：亞帶地區平地栽培藍莓，常因秋冬季低溫不足，使花芽無法打破休眠，以至於栽培受限於山區或是依賴海外進口來供應台灣市場的需求。目前已有常綠型無休眠之藍莓品種可種植於亞熱帶地區，本試驗為探討台灣流通之'暖地'品系在涼溫及短日照環境下提早開花結果之可行性。以涼溫及短日照處理一、二年生植株 4-8 週，可使花苞形成及花期顯著提前，也顯著增加花苞及開花數目，且隨著處理時間越長，花苞形成期和花期越集中，當觀賞盆花須至少達三分之一滿花才可提高商品價值。以涼溫及短日照處理 6 週具有應用潛力於觀賞盆栽之產期調節。

前 言

藍莓 (*Vaccinium corymbosum*) 為一種富含營養價值的小果類植物，在全球受到廣泛的關注和栽培。台灣藍莓進口量逐年攀升，在民國 101 年時只有 16 噸，但到了民國 111 年時，藍莓進口量成長到 3139 噸(中華民國進出口貿易統計，2023)。目前在台灣栽培藍莓的物候期，9 月時開始花芽分化，至 10 月可見花芽陸續發育，11 月花朵零星開放，3 月至 4 月為盛花期，果實於 5 月中開始成熟，5-7 月為盛產期。而南高叢的物候期會較提前，在 1 月開花於 4-5 月採收。但果實成熟期為梅雨季，連續降雨會導致果實品質下降，因此若以栽培方式提早開花結果則可避開梅雨季。藍莓具有食用價值且可作為家庭園藝觀賞盆栽，若可以在農曆新年期間供應花果盆栽，可增加藍莓產業的經濟價值。本試驗以南高叢藍莓暖地種為材料，進行人工涼溫及短日照處理，探討涼溫和短日照處理時間對一、二年生暖地藍莓花芽誘導的影響。

材 料 與 方 法

-
- 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。

(一)試驗材料及試驗地點

南方高叢藍莓 (*Vaccinium Corymbosum* L. Interspecific Hybrid.)暖地品系，1-2 年生植株，試驗地點位於國立中興大學園藝系露天栽培，定植於直徑 18 公分、高度 15 公分體積 2.5 公升及直徑 23 公分、高度 22 公分體積 5.6 公升之盆器，栽培介質為泥炭、珍珠石 3:1(v/v.)，並混合 10 克便利肥 4 號高鉀型 (N:P:K=12:11:23,翠筠有限公司)作為基肥，每 80 天固定補肥。

(二)試驗處理

於 2021 年 8 月 25 日從戶外移置生長箱，照明時間為早上 8 點至下午 6 點(短日照 10 小時，日溫 20°C/夜溫 15°C，光強度 12000 Lux)。處理分別進行 4 週(9 月 24 移出)、6 週(10 月 8 日移出)、8 週(10 月 22 日移出)，至室外環境。對照組為自然日照，光照時數約 13 小時，平均日溫 31.17°C/夜溫 19.77°C，一年生植株每處理 10 株，二年生植株每處理 6 株。

(三)肥培管理

試驗期間以微噴灌溉定時供水，夏季秋季每天 3 次，其冬季每天 2 次，每次 10-15 分鐘，0.5 L/m²；5 月至 8 月生長季以澆灌方式每兩週施用獅馬葉綠精即溶性肥料 (N:P₂O₅:K₂O:MgO=15:10:15:2,農友種苗股份有限公司)1000 倍水溶液與施達活力素 B1(Vitamin B,翠筠有限公司)稀釋 1000 倍，每次每株施用 300 毫升。

(四)氣候資訊收集記錄

試驗期間於田間放置溫濕度紀錄器(HOBO Temperature/Relative Humidity)，每隔 30 分鐘記錄一次，懸掛於試驗植株離地 30 公分高度。

(五)生殖期間調查

從 2021 年 10 月 3 日至 12 月 31 日每隔 7 天調查花苞、開花數量。計算當週的平均每株花苞數、平均每株開花數。

(1)花苞數目:花苞外觀開始有紅褐色出現(附圖一)。

(2)開花數目:花苞盛開後出現的小花(附圖二)。

(六)數據統計

從各處理 50%的花苞形成時期，以四分位數找出離群值並刪除，本試驗數據以 COSTAT6.4 統計軟體(CoHort Software, USA)中 ANOVA(analysis of variance)進行最小顯著差異分析(least significant difference, LSD)，比較處理間之顯著性差異(P≤0.05)。不同株齡在相同環境下，試驗數據皆以 COSTAT6.4 統計軟體(CoHort Software, USA)中 ANOVA 進行獨立樣本 T-test 比較兩處理平均數差異，以 p<0.05 表示處理間有顯著差異。處理間交互作用數據皆以 IBM SPSS Statistics 26 進行雙因子變異數分析(Two way ANOVA)。

結 果

(一)處理 4-8 週對花苞數目之影響

(1)處理對一年生藍莓花苞形成之影響

涼溫及短日照 4 週的處理最先在 10 月 22 日出現花苞(圖 1A)，其次是涼溫及短日照 6 週及 8 週處理於 10 月 29 日同時出現花苞，最晚為對照組於 12 月 10 日出現花苞。12 月 31 日時，涼溫及短日照 8 週處理的藍莓平均花苞數顯著多於涼溫及短日照 4 週、6 週的處理及對照組，而短日照 4 週、6 週處理的平均累積花苞數也顯著高於對照組，平均花苞數分別為 147.80、70.30、45.70 及 8 個花苞(表 1)

在花苞發育的過程中，11 月 5 日之前，累積花苞數以涼溫及短日照 4 週的處理顯著高於 8 週的處理，直到 11 月 26 日開始轉為涼溫及短日照 8 週處理顯著高於 4 週的處理，涼溫及短日照 6 週處理的累計花苞數在調查期間皆介於 4 週及 8 週的處之間，且顯著低於 8 週處理(圖 1A)。

(2)處理對二年生藍莓植株花苞形成之影響

涼溫及短日照 4 週處理最早在 10 月 16 日出現花苞，其次是涼溫及短日照 6 週和 8 週(皆為 10 月 29 日)，對照組於 12 月 3 日出現花苞(圖 1B)。12 月 31 日時，涼溫及短日照 6 週及 8 週處理藍莓的平均花苞數顯著多於對照組，而涼溫及短日照 4 週的處理與對照組無顯著差異，平均累計花苞數分別為 127.25 及 230.57 個花苞(表 1)。而在花苞形成的過程中，在 11 月 5 日之前以涼溫及短日照 4 週處理較 8 週有顯著較多的累積花苞數，直到 11 月 19 日後，改以涼溫及短日照 8 週處理的累積花苞數顯著高於 4 週處理；而涼溫及短日照 6 週處理在 10 月 29 日開始出現花苞當週的花苞數量顯著低於 4 週處理，之後的調查期間兩者的累計花苞數無顯著差異，涼溫及短日照 6 週處理的累積花苞數在試驗期間皆顯著高於對照組；涼溫及短日照 4 週的處理累計花苞數在調查期間皆與對照組無顯著差異。

2.處理 4-8 週對植株開花之影響

(3)處理對一年生藍莓植株累計開花數之影響

一年生藍莓涼溫及短日處理於 110 年 12 月 31 日調查，涼溫及短日處理 8 週有最高藍莓花苞數目(147.80)，並顯著高於短日處理 4 週、6 週及對照組，而處理 4 週、6 週也高於對照組，表示處理 4 週即有提升花苞數的效果(表 1)，而 8 週處理為 6 週處理兩倍，且比 4 週處理三倍，更為對照組 18 倍；二年生植株之涼溫及短日處理 8 週的花苞數顯著高於其他處理，且處理 6 週也顯著高於對照組，說明二年生植株處理 6 週即對花苞數數有顯著提升之效果，而 8 週處理有最高的花苞數(230.57)，並為 6 週處理的 1.8 倍，4 週處理的 3.2 倍，且是對照組的 8 倍。比較一、二年生相同處理時間，僅二年生植株之 6 週處理的花苞數顯著高於一年生植株。在相同涼溫及短日環境下，二年生處理 6 週可提高 1.8 倍。雙因子變異數分析結果顯示處理時間及株齡皆會影響藍莓的花苞數數量，但不存在交互作用。

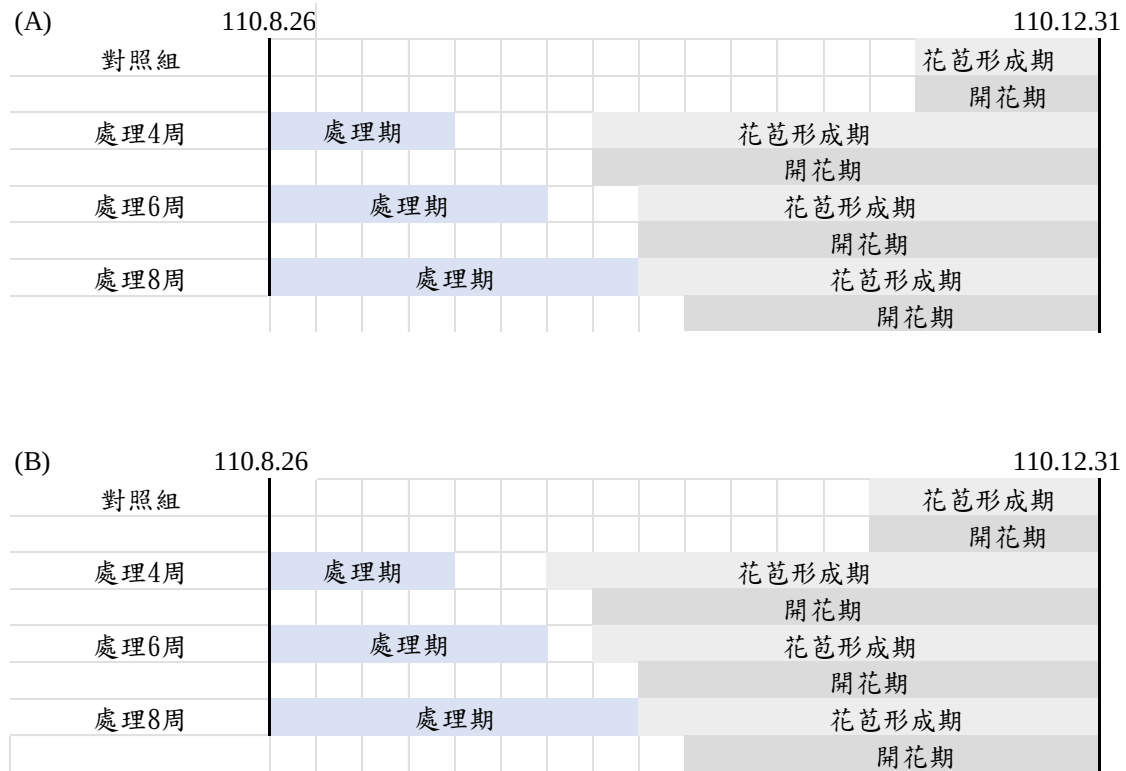


圖 1、處理對藍莓物候期之影響。A:一年生、B:二年生、每格代表一週
Fig. 1. Effect of treatments on blueberry phenological stages.

(二)處理 4-8 週對植株開花之影響

(1)處理對一年生藍莓植株累計開花數之影響

涼溫及短日照 4 週處理最先在 10 月 22 日出現花朵，其次是涼溫及短日照 6 週處理於 10 月 29 日開始開花，以涼溫及短日照 8 週於 11 月 5 日開始開花，最後是對照組於 12 月 10 日才開花(圖 1A)。以 12 月 31 日為基準，涼溫及短日照 6 週及 8 週處理的平均開花數顯著多於對照組，且 8 週處理的開花數又顯著高於 6 週處理，而涼溫及短日照 4 週處理的平均開花數與對照組間無顯著差異(圖 1A)，平均開花數分別為 630.10、303.88、195.88 及 38.80 朵花(表 2)。而在開花的過程中，涼溫及短日照 4 週處理的平均累計開花數，在前期為各處理中最多的，直到 11 月 26 日後開始顯著低於涼溫及短日照 8 週處理；涼溫及短日

表 1、處理 4-8 週後比較株齡及處理時間對藍莓花苞數之影響。

Table 1. Comparison of the effects of plant age and treatment duration on blueberry flower bud after 4-8 weeks of treatment.

Treatment		Treatment		Significant
1Y ^z -CK	8.00 ±2.80 c	2Y-CK	27.25 ±5.64 c	ns ^x
1Y-CT-SD4W	45.70 ±9.63 b	2Y-CT-SD4W	71.00 ±18.30 bc	ns
1Y-CT-SD6W	70.30 ±11.66 b	2Y-CT-SD6W	127.25 ±25.27 b	*
1Y-CT-SD8W	147.80 ±17.44 a	2Y-CT-SD8W	230.57 ±45.07 a	ns
Duration(D)		***		
Age (A)		**		
D×A		ns		

^z1Y=one-year plants (at least n =8); 2Y=two-year plants (at least n =5); CT=cool temperature (Day 20°C/Night 15°C); SD=short day (10 hr), 4W=4 weeks, 6W=6 weeks, 8W=8 weeks.

^yMeans ±SE within columns followed by the same letter are not significantly different at $P<0.05$ by LSD test.

^x*, **, ***: Significant at $p<0.05$, $p<0.01$, and $p<0.001$, respectively; ns=non-significant.

照 6 週處理的平均累積開花數在 12 月 3 日後開始顯著低於 8 週處理，並與 4 週處理的平均累積開花數無顯著差異。

(2)處理對二年生藍莓植株累計開花數之影響

涼溫及短日照 4 週處理最先在 10 月 22 日出現花朵，涼溫及短日照 6 週處理於 10 月 29 日開始有花，涼溫及短日照 8 週處理則於 11 月 5 日開始開花，對照組於 12 月 3 日才開花(圖 1B)。12 月 31 日時，涼溫及短日照 6 週及 8 週處理的平均累積開花數顯著多於對照組，且 8 週處理的開花數又顯著高於 6 週處理，而涼溫及短日照 4 週處理的平均累積開花數與對照組無顯著差異(表 2)。在開花的過程中，涼溫及短日照 6 週及 8 週處理的平均開花數，皆顯著多於對照組，涼溫及短日照 8 週處理在 11 月 26 日開始有顯著最高的開花數。

(3)處理時間和株齡交互作用對藍莓開花數之影響

一年生之涼溫及短日照處理 8 週有最高的開花數(110 年 12 月 31 日)，並顯著高於涼溫及短日照處理 4 週、6 週及對照組(表 2)，而處理 6 週的開花數顯著高於對照組，涼溫及短日照 8 週分別為 4 週、6 週的 3.2 及 1.5 倍，更為對照組 16 倍。而在二年生植株之處理有和一年生植株相同趨勢，都以處理 8 週有最高的開花數，並顯著高於其他處理。而一、二年生植株均在處理 6 週後即有提升開花數目之效果。在不同株齡的短日環境比較下，各處理間均無顯著差異。從雙因子變異數分析結果顯示處理時間對開花數顯著影響，與株齡無關，且無交互作用。

表 2、處理 4-8 週後比較株齡及處理時間對藍莓開花數之影響。

Table 2. Comparison of the effects of plant age and treatment duration on blueberry flowering after 4-8 weeks of treatment.

Treatment		Treatment		Significant
1Y ^z -CK	38.80 ±8.61 c ^y	2Y-CK	103.75 ±26.48 c	ns ^x
1Y-CT-SD4W	195.88 ±40.33 bc	2Y-CT-SD4W	272.43 ±61.16 bc	ns
1Y-CT-SD6W	303.88 ±57.91 b	2Y-CT-SD6W	420.25 ±107.33 b	ns
1Y-CT-SD8W	630.10 ±93.01 a	2Y-CT-SD8W	773.00 ±139.28 a	ns
Duration(D)		***		
Age (A)		ns		
D×A		ns		

^z1Y=one-year plants (at least n =8); 2Y=two-year plants (at least n =5); CT=cool temperature (Day 20°C/Night 15°C); SD=short day (10 hr), 4W=4 weeks, 6W=6 weeks, 8W=8 weeks.

^yMeans ±SE within columns followed by the same letter are not significantly different at $P<0.05$ by LSD test.

^x*, **, ***: Significant at $p<0.05$, $p<0.01$, and $p<0.001$, respectively; ns=non-significant.

討 論

一、處理對藍莓花芽分化之影響

光週期和溫度是調節植物生長發育的重要環境訊號。南方高叢藍莓在 8 小時短日照，並於 21°C 持續 4 或 8 週，在 21°C 持續 4 或 8 週雖產生相同花芽數量，但持續 4 週的處理花芽有延遲開花的現象(Spann et al., 2004)。從(圖 1A、B)結果顯示在一、二年生的 4 週處理，會最早出現花苞，但處理結束時，6 週、8 週的處理尚未結束，以處理結束的時間計算，4 週及 6 週的處理都在處理結束的 3 週後出現花苞，而 8 週的處理會在處理結束的 1 週後出現花苞，並在調查結束時，6 週、8 週處理的花苞數有較集中的趨勢，而 4 週的處理有較延遲的狀況，而處理 8 週會有最好的效果。

在試驗結果顯示開始開花的時間隨著處理時間增加而延後，若以移出生長箱後的週數計算，8 週、6 週及 4 週的處理，分別在移出生長箱後的二週、三週及四週後開始開花，且皆比對照組提早至少四週開花(圖 A、B)，與 Spann 等人(2004)指出涼溫及短日照處理 4 週或 8 週有提早開花的結果相符。前人研究結果也指出增加低溫時間會使花芽的數量和萌發速度增加(Spiers and Draper, 1974)，與本試驗觀察到隨著處理時間越久，開花更集中並有更多開花數的結果相符。

Palma 等人(2023)指出藍莓植株的生殖生長，主要是根據主枝條的直徑和年齡而變化，並隨著株齡的增加，枝條和花苞的數量也會增加，從(表 1)顯示株齡顯著影響花苞的數量，比較一、二年生處理 6 週後的花苞數量，二年生植株約為一年生植株二倍量。

参 考 文 献

- Beaudry, R. M., A. C. Cameron, A. Shirazi, and D. L. Dostal-Lange. 1992. Modified-atmosphere packaging of blueberry fruit: effect of temperature on package O₂ and CO₂. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 117(3): 436-441.
- Darnell, R.L. 1990. Photoperiod effects on reproductive development of rabbiteye blueberry. HortScience. 25:1118d-1118.
- Darnell, R.L. 1991. Photoperiod, carbon partitioning, and reproductive development in rabbiteye blueberry. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 116:856-860.
- Kumarihami, H. P. C., H. G. Park, S. M. Kim, J. I. Park, E. J. Lee, H. L Kim, and J. G. Kim. 2021. Flower and leaf bud density manipulation affects fruit set, leaf-to-fruit ratio, and yield in southern highbush ‘Misty’ blueberry. Sci. Hortic. 290:110530.
- Palma, M. J., J. B. Retamales, E. J. Hanson, and C. M. Araya. 2023. Relationship between cane age and vegetative and reproductive traits of northern highbush blueberry in Chile and United States. Sci. Hortic. 310:111775.
- Skupień, K. 2006. Chemical composition of selected cultivars of highbush blueberry fruit (*Vaccinium corymbosum* L.). Folia Hortic. 18(2):47-56.
- Spann, T.M., J.G. Williamson, and R.L. Darnell. 2004. Photoperiod and temperature effects on growth and carbohydrate storage in southern highbush blueberry interspecific hybrid. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 129:294-298.
- Spiers, J. 1976. Chilling regimes affect bud break in ‘Tifblue’ rabbiteye blueberry. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 101:84-86.
- Spiers, J, and A. Draper. 1974. Effect of chilling on bud break in rabbiteye blueberry. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 99:398-399.

Effects of Cool Temperature and Short Day Length on Reproductive Growth in Blueberry (*Vaccinium Corymbosum* L.)

Ying-Chun Cheng¹⁾ Chang-Lin Chen²⁾

Key words: Blueberry, Cool temperature, Short day length

Summary

In subtropical regions, exposing to chilling temperatures is generally required because the chilling requirement is not enough in autumn and winter. The blueberry was planted in high land or dependent on imports. Currently, low chilling requirement blueberry cultivars show potential for cultivation in subtropical regions. This study aims to explore the effects of cool temperature and short-day length on reproductive growth in the low chilling requirement blueberry in Taiwan. The one- or two-year-old plants treated for 4-8 weeks not only accelerated bud formation and bloom but also increased bud and flower numbers. As the treatment duration increased, the plant exhibited early flowering and flowering concentration. The 6-week treatment with cool temperature and short-day length showed high potential to shift the production period for ornamental potted blueberry plants.

1) Master student, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

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



附圖一、藍莓花苞形成外觀。

Appendix 1. Appearance of the blueberry flower bud.



附圖二、藍莓開花外觀。

Appendix 2. Appearance of the blueberry flowering.

艾維激素及福芬素對三倍體葡萄果穗品質之影響

洪 福 懋¹⁾ 陳 京 城²⁾

關鍵字：果實脫粒、穗梗重、穗梗彎曲角度

摘要：本研究主要探討艾維激素(AVG)及福芬素(CPPU)對二倍體'貝利 A'與四倍體'巨峰'葡萄雜交三倍體後代'興翠'及'興峰'葡萄果穗品質之影響。為了降低果穗採後之脫粒問題，在不同發育階段處理 AVG 及 CPPU。結果顯示在開花前 4-5 天處理 150 ppm AVG 或 5 ppm CPPU 均能降低'興翠'及'興峰'葡萄採後之脫粒。然而，'興翠'在開花前 4-5 天及轉熟期處理 150 ppm AVG 會降低果粒重。'興翠'在開花前 4-5 天處理 5 ppm CPPU，開花期處理 2 ppm GA₃，花後 10 天處理 10 ppm GA₃ + 5 ppm CPPU，花後 20 天再處理 20 ppm GA₃ 所獲得之果實品質較佳。而'興峰'葡萄在開花前 4-5 天處理 150 ppm AVG 或 5 ppm CPPU，開花期處理 2 ppm GA₃，花後 10 天處理 10 ppm GA₃ + 5 ppm CPPU，花後 20 天再處理 20 ppm GA₃ 能獲得較佳之果穗品質。

前 言

鮮食葡萄可分為有籽葡萄與無籽葡萄兩種。其中，無籽葡萄因其食用便利性及高果肉率為目前市場主流。良好的鮮食葡萄品質包括果粒大、糖酸比適中、外觀良好、轉色良好、無籽、不易脫粒及果肉硬度適中等等。為提升果實品質，除了田間管理技術的精進，植物生長調節劑也被廣泛應用。其中，GA₃ (gibberellic acid) 能增加果實大小與穗梗(rachis)長度，並降低果穗緊密度(compactness) (Upadhyay *et al.*, 2018)，但過度使用 GA₃ 時會造成果梗木質化、硬實、增加貯藏期間之灰黴病發生率及果實脫粒率(Zoffoli *et al.*, 2009)。福芬素(forchlorfenuron, CPPU)為人工合成細胞分裂素，能促進果實細胞分裂、增加果粒重、果粒硬度、著果數及促進果粒肥大(Dokoozlian *et al.*, 2000; Yu *et al.*, 2021; Zabadal and Bukovac, 2006)。艾維激素(aminoethoxyvi-nylglycine, AVG)為天然合成之非蛋白質 L-氨基酸(Venburg

1) 國立中興大學園藝學系碩士班研究生。本文是第一作者碩士論文之一部分。

2) 國立中興大學園藝學系助理教授，通訊作者。

et al., 2007)，其能抑制乙烯生合成重要酵素 ACS (1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthase)之活性，降低乙烯之生合成速度，達到抑制落花及落果之功效(Carra *et al.*, 2018)。

本研究調查二倍體'貝利 A'葡萄與四倍體'巨峰'葡萄之雜交後代於不同花穗及果實生長階段處理不同植物生長調節劑對於果穗品質之影響。

材 料 與 方 法

植物材料

試驗材料取自臺中市霧峰區國立中興大學葡萄試驗中心栽培之三倍體葡萄品種(二倍體'貝利 A' (*Vitis labruscana* cv. Muscat Bailey A) × 四倍體'巨峰' (*V. labruscana* cv. Kyoho)) '興翠'與'興峰'之8年生植株。花穗於滿花期(90%花開)去除副穗，果穗於花後30天前完成疏果(留果數約35粒)及套袋。

試驗藥劑

GA₃(協和發酵バイオ株式会社)，有效成分 3.1%，溶於蒸餾水至所需濃度，並加入 0.05% Tween 20 攪拌均勻；艾維激素 AVG (aminoethoxyvinylglycine, Valent Bioscience Corporation):有效濃度為 15%，將藥劑溶於蒸餾水中至所需濃度，並加 0.05%豐展展著劑(豐賜開發有限公司)且攪拌均勻；CPPU (Fulmet liquid, 日產合成工業株式会社)，有效成分 0.1%，以蒸餾水稀釋至所需濃度並加入 0.05% Tween 20 攪拌均勻。配製完成後，以手持式噴霧器均勻噴灑於花穗直到藥劑滴落，並確定處理後 4 個小時內無降雨之干擾。

試驗方法

(一)'興翠'及'興峰'開花前 5 天及轉熟期 AVG 處理

'興翠'與'興峰'之花穗分別於滿花期處理 2 ppm GA₃，花後 10 天處理 10 ppm GA₃ + 5 ppm CPPU，花後 20 天處理 20 ppm GA₃ + 10 ppm CPPU。試驗分為 4 個處理(CK、A、B 及 C)，部分處理組在轉熟期('興翠'為花後 49 天；'興峰'為花後 56 天)進行處理：

CK: 對照組, A: 開花前 5 天處理 150 ppm AVG, B: 轉熟期處理 150 ppm AVG, C: 開花前 5 天處理 150 ppm AVG + 轉熟期處理 150 ppm AVG。

'興翠'每處理為 7 重複，而'興峰'每處理為 5 重複。'興翠'果穗於花後 96 天採收，而'興峰'則於花後 102 天採收，並調查果實品質。

(二)'興翠'與'興峰'開花前 11 天及開花前 4 天 AVG 及 CPPU 處理

試驗分為 5 種(CK、A、B、C 及 D): CK: 對照組, A: 開花前 11 天處理 150 ppm AVG, B: 開花前 4 天處理 150 ppm AVG, C: 開花前 11 天處理 5 ppm CPPU, D: 開花前 4 天處理 5 ppm CPPU。

'興翠'與'興峰'各處理皆為 7 重複，花穗於滿花期處理 2 ppm GA₃，花後 10 日處理 10 ppm GA₃ + 5 ppm CPPU，花後 20 日處理 20 ppm GA₃ + 10 ppm CPPU。'興翠'及'興峰'分別於花後 86 天及花後 89 天採收，並調查果實品質。果實品質均以每果穗隨機取 10 個果粒

來調查。

果實品質調查項目與方法

(一) 果粒重(berry weight)及穗梗重(rachis weight)

以電子天平(CP4202S, Sartorius)秤重測量，單位為 g。

(二) 總可溶性固形物(total soluble solid, TSS)

以電子式糖度計(PAL-1, ATAGO)測量，單位為 °Brix。

(三) 可滴定酸(titratable acidity, TA)

使用自動滴定儀(TIM840, Titralab)測定，並以酒石酸為標準，用以推算果汁之可滴定酸含量，單位為 %。

(四) 果汁 pH 值

使用自動滴定儀(TIM840, Titralab)測定。

(五) 果形指數(berry shape index)

果形指數=果粒縱徑/果粒橫徑。

(六) 穗梗直徑(peduncle diameter)

量測穗梗結果枝端與果穗第一支穗間之直徑，單位為 mm。

(七) 小果梗直徑(pedicel diameter)

以游標尺量測小果梗靠 rachis 處與果托起點之中間點之直徑，單位為 mm，如右圖所示。

(八) 果托直徑(receptacle diameter)

以游標尺量測小果梗與果實連接處之直徑，單位為 mm，如右圖所示。

(九) 果托長度(receptacle length)

以游標尺量測小果梗與果托連接處至果實之距離，單位為 mm，如右圖所示。

(十) 穗梗彎曲角度(deflection angle of rachis)

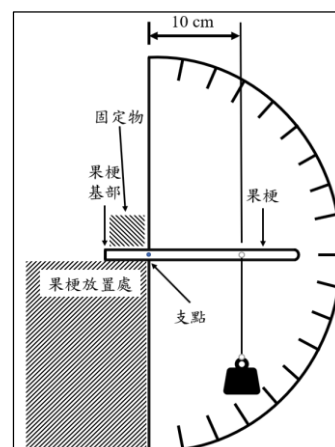
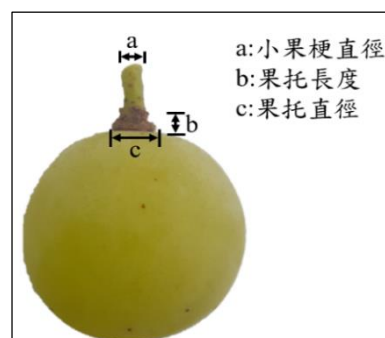
固定且平放果梗之第一支穗，並於第一支穗後 10 cm 處放置砝碼，如右圖所示。('興翠'葡萄果梗使用 50 g 之砝碼；'興峰'葡萄果梗使用 100 g 之砝碼)，測量果梗在掛砝碼前後之角度變化。單位為度(degree)。

(十一) 脫粒率(abscission rate)

以手抓握穗梗之基部並左右搖晃 10 秒，計算過程中掉落之果粒數，並除以總果粒數得之，單位為 %。

數據統計分析

試驗數據以統計軟體 SAS (SAS Enterprise Guide 7.4) 中之 ANOVA (Analysis of variance) 進行變方分析及最小顯著差異檢定(least significant difference, LSD)比較處理間之差異顯著性。脫粒率之數據均先經過 angular transformation，再進行統計分析。



結 果

一、'興翠'與'興峰'開花前 5 天及轉熟期 AVG 處理

'興翠'之試驗結果如表 1 所示，AVG 開花前 5 天處理之 A 處理組有最低之脫粒率(0.3%)，且顯著低於對照組(7.0%)。而轉熟期 150 ppm AVG 之 B 處理及開花前 5 天+轉熟期 150 ppm AVG 之 C 處理在脫粒率上皆與對照組無顯著差異。果粒重方面，分別在開花前及轉熟期處理了兩次 AVG 的 C 處理顯著低於對照組，A 及 B 處理與對照無顯著差異。總可溶性固形物方面，A 與 B 處理顯著較對照低，而 C 處理則無顯著差異。可滴定酸、pH 及果穗直徑方面，處理組與對照組皆無顯著差異。果形指數以 A 處理顯著最高(1.06)，其他均無顯著差異。在果穗性狀方面，處理組之穗梗彎曲角度均顯著低於對照組，且在小果梗直徑及果托長均以處理組顯著高於對照。果托直徑上，A 及 C 處理均顯著高於對照組，而 B 處理與對照無顯著差異。

'興峰'於開花前 5 天及轉熟期進行 AVG 處理結果如表 2 所示，果粒重、可滴定酸、pH、果形指數、小果梗直徑及脫粒率方面處理組皆與對照組無顯著差異。總可溶性固形物方面，A 及 B 處理皆顯著低於對照組，C 處理則無顯著。穗梗性狀方面，僅 A 處理之穗梗重顯著高於對照組，其穗梗彎曲角度亦顯著低於對照，其他處理組則無顯著差異。穗梗直徑方面，A 及 B 處理均顯著高於對照組，C 處理則與對照無顯著差異。果托直徑方面，C 處理顯著高於對照組，而果托長度方面，A 與 B 處理組皆顯著高於對照組。

表 1.三倍體葡萄'興翠'於開花前 5 天及轉熟期處理 AVG 之果實品質

Table 1. Effect of applying AVG 5 days before full bloom and at veraison on fruit quality of triploid grape 'Xingcui'.

T ^z	Berry weight (g)	TSS (°Brix)	TA (%)	pH	Berry shape index	Rachis weight (g)
CK	9.2±0.9a ^y	17.7±1.2a	0.39±0.14a	3.27±0.14a	1.03±0.02b	8.2±1.4ab
A	8.6±1.8ab	16.7±0.4b	0.45±0.17a	3.22±0.09a	1.06±0.04a	9.4±1.3a
B	8.2±0.9ab	16.5±0.6b	0.46±0.22a	3.17±0.15a	1.02±0.02b	7.9±1.1b
C	7.7±0.7b	16.9±0.5ab	0.46±0.15a	3.16±0.13a	1.05±0.03ab	8.8±1.2ab
T	Deflection angle of rachis (degree)	Peduncle diameter (mm)	Pedicle diameter (mm)	Receptacle diameter (mm)	Receptacle length (mm)	Abcission rate (%)
CK	23.6±14.5a	5.03±0.54ab	2.74±0.24a	4.00±0.23b	1.66±0.21b	7.0±8.3a
A	5.9± 4.3b	5.36±0.36a	2.81±0.33a	4.26±0.35a	2.17±0.26a	0.3±0.9b
B	9.1± 6.3b	4.88±0.22b	2.34±0.24a	3.56±0.29b	1.74±0.24b	3.4±3.8ab
C	3.3± 4.8b	4.97±0.47ab	1.97±0.09b	3.62±0.15a	1.40±0.12c	1.7±1.4ab

^z T: treatment, CK: No AVG treatment. A: 150 ppm AVG was applied to flowers 5 days before full bloom. B: 150 ppm AVG was applied to clusters at veraison. C: 150 ppm AVG was applied 5 days before full bloom and at veraison.

^y Mean ± SD, n= 7. Significant differences between treatments are expressed by different letters according

to the LSD test at $p < 0.05$.

表 2.三倍體葡萄'興峰'於開花前 5 天及轉熟期處理 AVG 之果實品質

Table 2. Effect of applying AVG 5 days before full bloom and at veraison on fruit quality of triploid grape 'Xingfeng'

T ^z	Berry weight (g)	TSS (°Brix)	TA (%)	pH	Berry shape index	Rachis weight (g)
CK	13.9±2.9ab ^y	17.7±1.2a	0.22±0.16a	3.26±0.05a	1.19±0.04a	9.6±1.2b
A	15.3±2.6ab	16.7±0.4b	0.32±0.15a	3.25±0.14a	1.16±0.04a	14.5±3.1a
B	16.3±1.2a	16.5±0.6b	0.42±0.26a	3.26±0.14a	1.19±0.03a	12.5±3.2ab
C	12.8±1.0b	16.9±0.5ab	0.30±0.16a	3.48±0.32a	1.15±0.03a	11.7±1.5ab
T	Deflection angle of rachis (degree)	Peduncle diameter (mm)	Pedicel diameter (mm)	Receptacle diameter (mm)	Receptacle length (mm)	Abscission rate (%)
CK	17.0± 9.1a	4.20±0.24c	3.56±0.29a	5.37±0.60b	2.14±0.20b	3.8±2.5ab
A	1.9± 1.4b	5.69±0.62a	3.77±0.17a	5.87±0.50ab	2.65±0.20a	2.0±3.2ab
B	9.2± 7.1ab	5.07±0.47b	3.74±0.37a	6.13±0.47a	2.75±0.27a	4.1±1.7a
C	10.4±10.6ab	4.20±0.43c	3.54±0.20a	5.46±0.28b	2.19±0.21b	1.0±1.4b

^z T: treatment, CK: No AVG treatment. A: 150 ppm AVG was applied to flowers 5 days before full bloom. B: 150 ppm AVG was applied to clusters at veraison. C: 150 ppm AVG was applied 5 days before full bloom and at veraison.

^y Mean ± SD, n= 7. Significant differences between treatments are expressed by different letters according to the LSD test at $p < 0.05$.

二、'興翠'與'興峰'開花前 11 天及開花前 4 天 AVG 及 CPPU 處理

'興翠'之處理結果如表 3 所示，分別在開花前 11 天及開花前 4 天處理 AVG 之 A 及 B 處理果粒重均顯著低於對照，開花前 CPPU 處理之 C 與 D 處理則無顯著差異。處理組在總可溶性固形物、pH、果形指數、穗梗重、穗梗直徑與果托直徑方面均與對照組無顯著差異。可滴定酸含量方面，B 處理(0.22%)顯著高於對照組(0.18%)，其餘處理組與對照組均無顯著差異。C 及 D 處理之穗梗彎曲角度顯著低於對照組，而 A 及 B 處理與對照組無顯著差異。小果梗直徑僅 B 處理顯著低於對照組，其餘處理處無顯著差異，果托長度以 D 處理顯著高於對照，C 處理則顯著低於對照組，而 A 及 B 處理均與對照組無顯著差異。處理組之脫粒率均顯著低於對照組，而處理組間無顯著差異。

'興峰'於開花前 11 天及開花前 4 天處理 AVG 及 CPPU 之結果如表 4，處理組在果粒重、可滴定酸、pH 值、果形指數、穗梗重、穗梗彎曲角度、穗梗直徑、小果梗直徑與果托直徑部分均與對照組無顯著差異。總可溶性固形物方面，僅 A 處理顯著低於對照，其餘處理組無顯著差異。果托長度部分，D 處理顯著高於對照組，剩餘處理與對照於顯著差異。A 處理之脫粒率與對照組無顯著差異，B、C 及 D 處理均顯著低於對照組。

表 3.三倍體葡萄'興翠'於開花前 11 天及開花前 4 天處理 AVG 及 CPPU 之果實品質

Table 3. Effect of applying plant growth regulators 4 days and 11 days before full bloom on fruit quality of triploid grape 'Xingcui'.

T ^z	Berry weight (g)	TSS (°Brix)	TA (%)	pH	Berry shape index	Rachis weight (g)
CK	8.5±0.5a ^y	18.2±1.3a	0.18±0.02b	3.35±0.05a	0.98±0.01a	7.6±1.2a
A	7.6±0.7b	17.6±1.3a	0.19±0.05ab	3.32±0.09a	0.97±0.02a	7.1±1.0a
B	7.5±1.3b	17.9±1.5a	0.22±0.05a	3.34±0.10a	0.97±0.02a	7.3±1.8a
C	7.7±0.6ab	17.6±0.8a	0.22±0.05ab	3.32±0.09a	0.99±0.02a	7.8±1.2a
D	8.3±0.5ab	18.3±1.3a	0.18±0.02b	3.33±0.03a	0.97±0.01a	7.9±1.2a
T	Deflection angle of rachis (degree)	Peduncle diameter (mm)	Pedicle diameter (mm)	Receptacle diameter (mm)	Receptacle length (mm)	Abcission rate (%)
CK	20.0±5.0a	3.78±0.25a	2.10±0.17a	3.68±0.17ab	2.01±0.16b	10.83±3.95a
A	15.0±8.7ab	3.71±0.53a	2.11±0.21a	3.56±0.16ab	2.01±0.08b	3.39±2.66b
B	13.6±4.8ab	3.87±0.29a	1.89±0.18b	3.37±0.24b	2.02±0.23b	3.01±2.96b
C	12.1±10.8b	3.48±0.38a	2.11±0.17a	3.57±0.13ab	1.80±0.13c	3.24±1.84b
D	10.7±4.5b	3.53±0.29a	2.17±0.08a	4.10±1.07a	2.19±0.17a	3.72±4.95b

^z T: treatment, CK: No AVG or CPPU treatment. A: 150 ppm AVG was applied 11 days before full bloom. B: 150 ppm AVG was applied 4 days before full bloom. C: 5 ppm CPPU was applied 11 days before full bloom. D: 5 ppm CPPU was applied 4 days before full bloom.

^y Mean ± SD, n= 7. Significant differences between treatments are expressed by different letters according to the LSD test at p < 0.05.

討 論

雖然非更年性果實後熟(ripening)過程無顯著乙烯生合成高峰及呼吸高峰(Fortes *et al.*, 2015), 近年之研究發現非更年性葡萄成熟過程有微小之乙烯高峰伴隨著 ACO 基因大量表達(Cherin *et al.*, 2004)。草莓成熟過程, 乙烯生合成相關基因轉譯程度增加及乙烯受體基因表達亦隨著乙烯濃度增加有上升趨勢(Trainotti *et al.*, 2005), 顯示乙烯參與非更年性果實的成熟。另外, Dal Cin 等(2008)指出蘋果成熟期處理 AVG 能下調乙烯生合成相關基因之表達, 抑制或降低內生乙烯之生合成, 從而降低落果之發生率。

近年來 AVG 雖然商品化且廣泛被栽培者應用在各種作物上, 但 AVG 處理在葡萄之應用少有著墨。'Alphonse Lavallée'葡萄於開花期處理 AVG 能增加著果率及果實重量(Babalík, 2021)。胡與賀(2001)指出 AVG 在開花前處理, 有處理時期越晚所需之有效濃度越低之趨勢, 可能與雌蕊對 AVG 之吸收或敏感度隨小花發育階段不同而異所致。此外, 於'巨峰'葡萄開花前 1-3 週處理 50-300 ppm AVG 皆能促進著果、果實重量及有籽之果實數, 但可溶性固形物含量及可滴定酸無顯著變化(胡及賀, 2001)。AVG 於採收前處理會延遲果實成熟(Çetinbaş and Butar, 2013; Yakup *et al.*, 2016), 而近年之研究指出葡萄開花前處理 AVG 會降低可溶性固形物含量及增加可滴定酸(Babalík, 2021)。

表 4.三倍體葡萄'興峰'於開花前 11 天及開花前 4 天處理 AVG 及 CPPU 之果實品質

Table 4. Effect of applying plant growth regulators 4 days and 11 days before full bloom on fruit quality of triploid grape 'Xingfeng'.

T ^z	Berry weight (g)	TSS (°Brix)	TA (%)	pH	Berry shape index	Rachis weight (g)
CK	11.3±0.9a ^y	17.9±0.5a	0.33±0.12a	3.16±0.11a	1.09±0.02a	10.1±1.9a
A	12.2±1.5a	16.3±1.0b	0.28±0.08a	3.19±0.08a	1.09±0.02a	9.8±1.1a
B	12.9±1.1a	17.2±1.1a	0.31±0.07a	3.22±0.13a	1.07±0.02a	11.7±3.8a
C	12.7±1.6a	17.0±0.5ab	0.30±0.04a	3.13±0.05a	1.09±0.02a	11.7±1.6a
D	12.8±2.1a	17.7±0.8a	0.26±0.04a	3.18±0.05a	1.07±0.04a	11.9±1.5a
T	Deflection angle of rachis (degree)	Peduncle diameter (mm)	Pedicle diameter (mm)	Receptacle diameter (mm)	Receptacle length (mm)	Abscission rate (%)
CK	13.6±7.5a	3.73±0.39a	2.67±0.28a	4.52±0.23a	2.50±0.14b	10.0±5.2a
A	11.8±9.0a	4.16±0.35a	2.57±0.24a	4.56±0.29a	2.57±0.21b	10.0±7.6a
B	17.9±7.0a	4.01±0.49a	2.54±0.21a	4.64±0.30a	2.68±0.25ab	2.7±3.9b
C	16.4±6.9a	3.77±0.41a	2.46±0.18a	5.04±1.39a	2.71±0.16ab	2.5±2.0b
D	14.3±5.4a	4.03±0.50a	2.54±0.30a	4.94±0.26a	2.83±0.24a	1.5±2.5b

^z T: treatment, CK: No AVG or CPPU treatment. A: 150 ppm AVG was applied 11 days before full bloom. B: 150 ppm AVG was applied 4 days before full bloom. C: 5 ppm CPPU was applied 11 days before full bloom. D: 5 ppm CPPU was applied 4 days before full bloom.

^y Mean ± SD, n= 7. Significant differences between treatments are expressed by different letters according to the LSD test at p < 0.05.

一、'興翠'與'興峰'開花前 5 天及轉熟期 AVG 處理

'興翠'於開花前 5 天處理 AVG 及開花前 5 天處理 AVG + 轉熟期處理 AVG 均有降低果粒重量之趨勢，推測其中一個原因可能是因為葡萄在開花前處理 AVG 會促進著果(胡及賀，2001; Babalik, 2021)，著果過多會分散掉枝條所供應的養分，雖然後續在著果後 30 日完成疏果，果實在第一階段快速生長發育期受著果數過多之影響，導致果實細胞數較少及果實重量下降。而 Greene (1980) 亦指出蘋果開花期處理 AVG 會降低果實重量並非其直接效果，而是促進著果之間接影響。另一個原因則可能因為乙烯在葡萄開花期及轉熟期均扮演重要之角色，較高濃度之 AVG 處理可能會抑制果實之發育。AVG 於開花前處理能促進果實縱向生長，與 Greene (1980) 之研究結果相似，而'興峰'則可能因品種間之差異，其果形指數各處理間並無顯著之差異。

開花前 5 天 AVG 處理及開花前 5 天+轉熟期均處理 AVG 為抑制'興翠'及'興峰'脫粒較有效之處理，而單於轉熟期處理 AVG 在抑制採後脫粒方面之效果有限。

二、'興翠'與'興峰'開花前 11 天及開花前 4 天 AVG 及 CPPU 處理

開花前 11 天及開花前 4 天施用 5 ppm CPPU 均有增加'興翠'葡萄穗梗重量之趨勢，且

能降低穗梗彎曲角度，顯示 CPPU 能促進果梗發育，且在開花前 4 天處理能顯著增加果托長度。AVG 在開花前 11 天及開花前 4 天處理均未增加果托直徑與小原均等(1999)之結果相似。

AVG 及 CPPU 處理對'興峰'果梗性狀大多無顯著影響，AVG 在開花前 11 天及開花前 4 天處理均未增加果托直徑，此部分與小原均等(1999)之結果相似。在開花前 11 天及開花前 4 天處理 CPPU 均能抑制落果，然而 AVG 處理則僅在開花前 4 天處理能抑制落果，可能是花穗在各階段發育對 AVG 處理之敏感度不同所導致。胡及賀(2001)指出葡萄花穗發育時期越早，所需之 AVG 有效濃度有越高之趨勢，因此 AVG 若要在開花前 11 天處理，其濃度需再做調整，而促進落花落果之乙烯處理於葡萄之時間延後會降低其效果(Weaver and Pool, 1969)。

CPPU 與 AVG 在抑制'興翠'與'興峰'葡萄脫粒及果實品質之影響無太大差別，考慮統一處理之方便性及藥劑成本，開花前 4 天處理 150 ppm AVG 或 5 ppm CPPU 為降低'興翠'與'興峰'葡萄採後脫粒較佳之方法，在顧慮果實品質之情況下，'興翠'以開花前 4 天處理 5 ppm CPPU，開花期處理 2 ppm GA₃，花後 10 日處理 10 ppm GA₃ + 5 ppm CPPU，花後 20 日處理 20 ppm GA₃ + 10 ppm CPPU 為較佳之處理方法；而'興峰'則以開花前 4 天 150 ppm AVG 或 5 ppm CPPU，開花期處理 2 ppm GA₃，花後 10 日處理 10 ppm GA₃ + 5 ppm CPPU，花後 20 日處理 20 ppm GA₃ + 10 ppm CPPU 為較佳之處理方法。

致 謝

本研究承蒙行政院農業委員會農糧署 111 農科-4.1.3-糧-Z1(1)計畫補助部分經費，謹致謝忱。

參 考 文 獻

- 胡建芳、賀海洋. 2001. AVG (2-aminoethoxyvinylglycine)處理對'巨峰'葡萄著果的影響. 中國農業大學學報 6: 7-11.
- 小原均、孔慶朝、大川克哉、高橋英吉、松井弘之. 1999. ブドウ'巨峰'無核果の脱粒とその防止に関する研究. J. ASEV Jpn. 10: 144-148.
- Babalík, Z. 2021. Effect of aminoethoxyvinylglycine (AVG) on quality, berry set and coloration of 'Alphonse Lavallée' table grapes. J. Agric Sci. 159: 236-242.
- Carra, B., M.S. Pasa, C.P. Silva, C.V.T. Amarante, C.A. Steffens, V.A. Bartnicki, M.N. Ciotta, and C. Mello-Farias. 2018. Early spring inhibition of ethylene synthesis increase fruit set and yield of 'Rocha' pear tree in southern Brazil. Sci. Hortic. 232: 92-96.
- Çetinbaş, M. and S. Butar. 2013. Aminoethoxyvinylglycine (AVG) delays maturation and improves fruit size and firmness of cv. '0900 Ziraat' sweet cherry. Eur. J. Hortic. Sci. 78: 126-131.

- Chervin, C., A. El-Kereamy, J.P. Roustan, A. Latché, J. Lamon and M. Bouzayen. 2004. Ethylene seems required for the berry development and ripening in grape, a non-climacteric fruit. *Plant Sci.* 167: 1301-1305.
- Dal Cin, V., M. Danesin, A. Botton, A. Boschetti, A. Dorigoni and A. Ramina. 2008. Ethylene and preharvest drop: the effect of AVG and NAA on fruit abscission in apple (*Malus domestica* L. Borkh). *Plant Growth Regul.* 56: 317-325.
- Dokoozlian, N., N. Ebisuda, S. Hammamoto and A. Macias. 2000. Influence of CPPU on the growth and composition of several table grape cultivars. *Res. Rpt. Calif. Table Grape Comm.* Vol. XXXI Summary 11.
- Fortes, A.M., R.T. Teixeira and P. Agudelo-Romero. 2015. Complex interplay of hormonal signals during grape berry ripening. *Molecules* 20: 9326-9343.
- Greene, D.W. 1980. Effect of silver nitrate, aminoethoxyvinylglycine and gibberellins A₄₊₇ plus 6-benzylamino purine on fruit set and development of 'Delicious' apples. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 105: 717-720.
- Trainotti, L., A. Pavanello and G. Casadoro. 2005. Different ethylene receptors show an increased expression during the ripening of strawberries: does such an increment imply a role for ethylene in the ripening of these non-climacteric fruits? *J. Exp. Bot.* 56: 2037-2046.
- Upadhyay, A., S. Maske, S. Jogaiah, N.Y. Kadoo and V.S. Gupta. 2018. GA₃ application in grapes (*Vitis vinifera* L.) modulates different sets of genes at cluster emergence, full bloom, and berry stage as revealed by RNA sequence-based transcriptome analysis. *Func. Integr. Genomics* 18: 439-455.
- Venborg, G.D., R. Hopkins, J. Retamales, J. Lopez, J. Hansen, G.G. Clarke, M. Schröder and A.C. Rath. 2007. Recent developments in AVG research. *Acta Hortic.* 796: 43-49.
- Weaver, R.J. and R.M. Pool. 1969. Effect of ethrel, abscisic acid and morphactin on flower and berry abscission and shoot growth in *Vitis vinifera* L. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 94: 474-478.
- Yakup, O., B. Ozturk and K. Yildiz. 2016. Effects of aminoethoxyvinylglycine and naphthaleneacetic acid on ethylene biosynthesis, pre-harvest fruit drop and fruit quality of apple. *Pakistan J. Agric. Sci.* 53: 893-900.
- Yu, Y.H., X. F. Li, S.D. Yang, L., L. Bian, K.K. Yu, X.X. Meng, H.N. Liu, M.S. Pei, T.L. Wei and D.L. Guo. 2021. CPPU-induced changes in energy status and respiration metabolism of grape young berry development in relation to berry setting. *Sci. Hortic.* 283: 1-7.
- Zabadal, T.J. and M.J. Bukovac. 2006. Effect of CPPU on fruit development of selected seedless and seeded grape cultivars. *HortScience* 41: 154-157.
- Zoffoli, J.P., B.A. Latorre and P. Naranjo. 2009. Preharvest applications of growth regulators and their effect on postharvest quality of table grapes during cold storage. *Postharvest Biol. Technol.* 51: 183-192.

Effect of AVG and CPPU on Cluster Quality of Triploid Grapevines

Fu-Mao Hong ¹⁾ Ching-Cheng Chen ²⁾

Key words: Berry shatter, Rachis weight, Deflection angle of rachis.

Summary

This study was conducted to investigate the effect of AVG and CPPU on cluster quality of triploid progenies 'Xingcui' and 'Xingfeng' crossed between diploid 'Muscat Bailey A' and tetraploid 'Kyoho' grapevine. In order to reduce berry shatter after harvest, AVG and CPPU were applied at different developmental stages. The results showed that applying 150 ppm AVG or 5 ppm CPPU 4-5 day before full bloom (DBB) reduced berry shattering of 'Xingcui' and 'Xingfeng' grapes during postharvest handling. However, the berry weight of 'Xingcui' was decreased when 150 ppm AVG was applied 4-5 DBB and at veraison. Applying 5 ppm CPPU 4-5 DBB, followed by 2 ppm GA₃ at full bloom, 10 ppm GA₃ + 5 ppm CPPU 10 DAB and 20 ppm GA₃ 20 DAB was a better method for producing fruit with higher quality for 'Xingcui'. For 'Xingfeng', AVG 150 ppm AVG or 5 ppm CPPU applied 4-5 DBB, followed by 2 ppm GA₃ at full bloom, 10 ppm GA₃ + 5 ppm CPPU 10 DAB and 20 ppm GA₃ 20 DAB was a better treatment for overall cluster quality.

1) Graduate student, Department of Horticulture, National Chung Hsing University. This paper is a part of the first author's MS thesis.

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

興大園藝 第四十八卷第三期
中華民國一一二年九月編印
發行人：張哲嘉
編輯委員：宋 玗 林慧玲 吳振發
潘怡君 張 正 張哲嘉
國立中興大學園藝學系編印
臺中市南區興大路145號

Horticulture NCHU Vol. 48 No. 3

September, 2023

Publication Committee

Director Prof. Jer-Chia Chang

Editor Prof. Yu Sung

Prof. Huey-Ling Lin

Prof. Chen-Fa Wu

Assoc. Prof. I-Chun Pan

Prof. Chen Chang

Prof. Jer-Chia Chang

Published by the Department of Horticulture,

National Chung Hsing University, Taichung,

Taiwan 402, Republic of China

ISSN 0255-5921

興大園藝

第十八卷 第十八期

紫外光-B 照射對莧菜生長及抗氧化物之影響

.....許嘉佑 黃三光.....1

溫度對草莓花芽分化之影響

.....陳宥邑 宋 妤.....15

伽瑪射線照射檸檬綠文心蘭高階選拔品系之育成

.....莊淳雅 洪惠娟 朱慧萍 張 正.....29

園藝活動肌力促進效益

.....徐園善 吳振發.....41

國立中興大學園藝學系編印

中華民國一十二年十二月

ISSN 0255-5921

HORTICULTURE NCHU

Vol. 48 No. 4

Effect of Ultraviolet-B Irradiation on Growth and Antioxidant of Edible Amaranth

(*Amaranthus tricolor* L.)

.....C. Y. Hsu and S. G. Hwang..... 1

Effect of Temperatures on Flower Bud Differentiation of Strawberry (*Fragaria x ananassa*)

.....Y. Y. Chen and Y. Sang.....15

The Advanced Selection Lines of *Oncidesa* Gower Ramsey 'Honey Angel' were

Irradiated by Gamma Rays

.....T. Y. Chuang, H.C. Hung, H. P. Chu and C. Chang.....29

The Benefits of Gardening Activities on Promoting Muscular Strength

.....Y. S. Hsu and C. F. Wu.....41

Published by
Department of Horticulture, National Chung Hsing University
Taichung, Taiwan, Republic of China
December, 2023

紫外光-B 照射對莧菜生長及抗氧化物之影響

許 嘉 佑¹⁾ 黃 三 光²⁾

關鍵字：莧菜、紫外光-B、抗氧化能力

摘要：本試驗以莧菜品種‘白葉’作為試驗材料，調查在夜間以不同強度紫外光-B (ultraviolet-B；UV-B, $280\text{ nm} \leq \lambda < 315\text{ nm}$) 照射對溫室栽培蔬菜幼苗及採收階段植株生長性狀及抗氧化能力相關性狀之影響。莧菜在幼苗階段， $10\text{ }\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 處理組之生長性狀及抗氧化能力相關性狀之表現對照組相似，處理 $30\text{ }\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 以上強度之 UV-B 與對照組相比有顯著較高之抗壞血酸濃度但生長表現較差， $50\text{ }\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 處理組相較於對照組有顯著較高之 CAT 活性。莧菜在採收階段 $10\text{ }\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 處理組雖然較對照組有較低的淨光合速率，但有較高之株高、莖長及葉面積，抗氧化能力相關性狀之表現與對照組相似，葉綠素 a 與總葉綠素濃度則較高， 30 及 $50\text{ }\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 照射強度之處理組與對照組相比有較差之生長性狀及淨光合作用速率，葉綠素 a 與總葉綠素濃度較高，但抗壞血酸濃度則較低。

前 言

溫室栽培蔬菜為台灣常見的蔬菜栽培方式，溫室可在不同季節調整溫度與濕度(李, 1987)，並且建立阻隔空間，降低防治病蟲害所需使用化學農藥之劑量(黃等, 2023)，以利蔬菜栽培。同時會改變溫室中的植物接受到的光線特性，溫室資材在可紫外光($100\text{ nm} \leq \lambda < 400\text{ nm}$)的透光率上較差，其中以塑膠資材中的 FRP 及 PC 硬質板塑膠的紫外光透光率最差(蔡等, 2001a；蔡等, 2001b)。

近年的研究指出 UV-B ($280\text{ nm} \leq \lambda < 315\text{ nm}$)對植物外型與結構的改變、光合作用效率的降低、觸發逆境相關的防禦機制及部分代謝物的生合成都會產生影響(Correa *et al.*, 2023)。過去有許多研究顯示，攝取蔬果中的次級代謝物，可以維持人體生理謝，並減少人類罹患疾病與癌症的機率(Poiroux-gonord *et al.*, 2010)。因為 UV-B 對植物的影響可能會受到可見光的照射而減弱(伊藤等, 2019)，因此本試驗選擇於夜間照射 UV-B，以避免白天光

1) 國立中興大學園藝系碩士班研究生。

2) 國立中興大學園藝系副教授，通訊作者。

照減緩紫外光對植物的影響。並以莧菜(*Amaranthus tricolor* L.)這台灣常見之葉菜類作物作為試驗材料。本試驗探討適合的夜間 UV-B 照射強度,期望能在不影響莧菜生長的情況下,經由 UV-B 夜間補光來促進莧菜中對人體健康有益之代謝物的生合成,提升溫室栽培莧菜之食用價值。

材 料 與 方 法

(一) 試驗品種

本試驗採用之莧菜(*Amaranthus tricolor* L.)品種‘白葉’種子,為雲林縣西螺鎮農民常用之栽培品種。

(二) 植株栽培與 UV-B 處理

試驗地點為中興大學玻璃溫室,植株採直播方式種植,種植使用紅長盆(長 60 cm、寬 15 cm、高 15 cm),每盆 6 株,介質為 Potgrond H (Klasmann-Deilmann, Germany, total-N 1%、total-P₂O₅ 0.1%、total-K₂O 0.1%、organic matter 92.8%)。UV-B 處理以 UV-B 日光燈管照射,參考伊藤等(2019)照射強度及時間之處理方式,調整燈具之高度使葉面受到照射強度分別為 0、10 (7-18 $\mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$)、30 (20-40 $\mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$)、50 (35-60 $\mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$) $\mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$ 處理組,從播種開始照射,每天照射 4 小時(晚上 12 點到凌晨 4 點),每處理 3 重複,每重複 1 盆。植株之調查階段分為兩個部分,幼苗階段之調查於種子發芽後第 14 天進行,而採收階段之調查則依對照組株高是否達 35 cm 以上,栽培季節不同於種子發芽後第 28-35 天開始調查,且兩調查階段所使用之植株非同時栽培。

(三) 調查項目

1. 生長性狀調查

- (1) 株高:測量土面至最長葉片尖端之長度
- (2) 葉片數:展開葉片數
- (3) 莖徑:莧菜以游標尺測量莖基部之直徑
- (4) 葉面積:以 imageJ 計算照片中展開葉片面積總和
- (5) 葉片厚度:以葉片厚度計於成熟葉之邊緣進行測量
- (6) 地上部鮮重:取植株地上部秤重
- (7) 地上部乾重:取植株地上部,置於紙袋中,先以 100°C 烘乾一小時,接續於 70°C 烘乾一週後秤重
- (8) 植株含水量: (地上部鮮種-地上部乾種)/地上部鮮種*100%

2. 氣體交換參數測定:

於上午 11 am 至下午 1 pm 期間,以 LI-COR 6800 Portable Photosynthesis System 避開葉片中肋夾取完全展開葉片邊緣,測量蒸散速率、淨光合速率、胞間二氧化碳濃度及氣

孔導度。

3. 葉綠素螢光參數(F_v/F_m ; Maximum quantum efficiency of PSII-photochemistry)測定:

以葉綠素螢光分析儀(Portable Chlorophyll Fluorometer)(MINI-PAM, Heinz Walz, Germany)夾取最新成熟之完全展開葉片邊緣進行測量。於落日一小時後開始測量，每兩小時測量一次，幼苗階段植株試驗月份為 11 月因此測量時間為 6 pm 至隔天 4 am，採收階段植株試驗月份為 4-5 月因此測量時間為 8 pm 至隔天 4 am。UV-B 燈照期間進行 F_v/F_m 測量前沒有進行暗適應。

4. 葉片表皮組織鏡檢:

於上午 11 am 至下午 1 pm 期間，以指甲油薄塗抹葉背表面，靜待微乾後以膠帶撕下並黏貼於載玻片上。以光學顯微鏡鏡檢取樣之表皮組織，以光學顯微鏡於目鏡 10 倍、物鏡 40 倍下拍攝照片，以拍攝照片計算氣孔數量並使用 ImageJ 測量氣孔大小。

5. 光合色素測定

(1) SPAD 值測定:

本試驗使用葉綠素計(SPAD-502, Minolta Crop., U.S.A.)測量葉綠素濃度，測量最新成熟之完全展開葉邊緣，每次取葉片三個點進行測量並求取平均值。

(2) 葉綠素及 b-胡蘿蔔素濃度測定:

取最新成熟之完全展開葉片進行測量，於葉片採取三個直徑約 1 cm 之葉圓片，秤重後放入深褐色離心管中，加入 15 mL 由 80%丙酮與 20%甲醇配置的萃取液，關上瓶蓋後放入 4°C 冰箱中三天。接續以分光光度計(HITACHI-U2001, Japan)測量 645 nm、652 nm、663 nm 及 470 nm 波長之吸光值，並計算葉綠素 a、葉綠素 b、總葉綠素及 b-胡蘿蔔素濃度。

$$\text{葉綠素 a (mg} \cdot \text{g}^{-1}) = (12.7A_{663} - 2.69A_{645}) * V / 1000 / W$$

$$\text{葉綠素 b (mg} \cdot \text{g}^{-1}) = (22.9A_{645} - 4.68A_{663}) * V / 1000 / W$$

$$\text{總葉綠素 (mg} \cdot \text{g}^{-1}) = (20.2A_{645} + 8.02A_{663}) * V / 1000 / W$$

$$\text{b-胡蘿蔔素 (mg} \cdot \text{g}^{-1}) = [\text{於 } 1000A_{470} - 3.27(12.7A_{663} - 2.69A_{645}) - 104(22.9A_{645} - 4.68A_{663})] / 227 * V / 1000 / W$$

V:葉綠素萃取液體積(mL)。W:葉圓片總重(g)。

6. 硝酸鹽濃度測定:

取 1 g 最新成熟之完全展開葉片，在研鉢中以 9 mL 去離子水研磨。使用 RQ-Flex 測量，以硝酸鹽試紙沾取並甩去多餘液體，試紙沾取時同時按下 RQ-Flex 測量鍵並倒數 60 秒，於倒數剩下 10 秒時將試紙放入 RQ-Flex 測量儀內讀取數值。

7. 抗壞血酸濃度測定:

取 1 g 最新成熟之完全展開葉片，在研鉢中以 4 mL 偏磷酸緩衝溶液研磨。使用 RQ-Flex 測量，以抗壞血酸試紙沾取並甩去多餘液體，試紙沾取時同時按下 RQ-Flex 測量鍵並倒數 15 秒，於倒數剩下 10 秒時將試紙放入 RQ-Flex 測量儀內讀取數值。

8. 總酚類化合物濃度測定:

取 2 g 最新成熟之完全展開葉片以 5 mL 0.1 M pH 7.0 磷酸緩衝溶液於放在冰塊上之研鉢內研磨，加入海砂平衡重量後，使用離心機(HITACHI-CR2102, Japan)以 13000 rpm 於 4°C 離心 20 分鐘，取上清液並以去離子水稀釋 10 倍。接續取稀釋樣品 1 mL 與 8.7 mL 去離子水、0.1 mL Folin-Ciocalteu reagent(Merck)及 0.2 mL 20% Na_2CO_3 均勻混合，以 100°C 熱水水浴 3 分鐘，取出降溫後以分光光度計(HITACHI-U2001, Japan)測量波長 660 nm 之吸光值。標準曲線使用 Caffeic acid 為標準品測量後繪製。

9. 類黃酮化合物濃度測定:

取最新成熟之完全展開葉片以 10 mL 75%酒精於研鉢內研磨，加入海砂平衡重量後，使用(HITACHI-CR2102, Japan)以 10000 rpm 於 25°C 離心 10 分鐘，取上清液並以去離子水稀釋 10 倍。接續取稀釋樣品 1 mL 與 0.2 mL 10%硝酸鋁及 0.2 mL 0.1M 醋酸鉀均勻混合，混合後靜置 40 分鐘。以分光光度計(HITACHI-U2001, Japan)測量波長 415 nm 之吸光值。標準曲線使用槲皮酮為標準品測量後繪製。

10. 抗氧化酵素活性測定:

(1) 過氧化氫酶(Catalase, CAT)

於早上 8 am，取 0.5 g 最新成熟之完全展開葉片，放入冰浴之研鉢內，並加入 4 mL 磷酸緩衝液(50 mM, pH 6.8)進行研磨，之後加入海砂平衡重量，再使用(HITACHI-CR2102, Japan)以 13000 rpm 於 4°C 離心 15 分鐘。接續取 0.2 mL 上清液，加入 2.7 mL 磷酸緩衝液(100 mM, pH 7.0)及 0.1 mL 過氧化氫(0.1 M)混合後快速放入分光光度計(HITACHI-U2001, Japan)中，測量波長 240 nm 一分鐘內之吸光值變化。空白組以 0.2 mL 磷酸緩衝液(50 mM, pH 6.8)取代上清液。

(2) 抗壞血酸過氧化酶(Ascorbate peroxidase, APX)

於早上 8 am，取 0.5 g 最新成熟之完全展開葉片，放入冰浴之研鉢內，並加入 4 mL 磷酸緩衝液(50 mM, pH 6.8)進行研磨，之後加入海砂平衡重量，再使用(HITACHI-CR2102, Japan)以 13000 rpm 於 4°C 離心 15 分鐘。接續取 0.1 mL 上清液，加入 1 mL 磷酸緩衝液(150 mM, pH 7.0)、1 mL sodium L-ascorbate (1.5M)、0.4 mL EDTA(0.75 mM)及 0.5 mL 過氧化氫(0.1 M)混合後快速放入分光光度計(HITACHI-U2001, Japan)中，測量波長 290 nm 一分鐘內之吸光值變化。空白組以 0.1 mL 磷酸緩衝液(50 mM, pH 6.8)取代上清液。

(四) 統計分析

本研究之試驗設計為完全隨機設計(Completely randomized design, CRD)，使用 SAS 套裝軟體(Version 9.4, SAS Institute) Inc., Cary, NC, U.S.A.)之 ANOVA 變方分析方法進行試驗數據分析，各處理之平均值則使用最小顯著差異(Least significant difference, LSD)方法進行差異顯著性分析。

結 果

(一) UV-B 照射對莧菜生長性狀之影響

莧菜於幼苗階段，葉片數以 $10 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 處理組之葉片數則顯著高於 $50 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 處理組分別為 4.89 片葉與 4.11 片葉，在株高方面只有 $50 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 處理組之 11.63 cm 顯著低於對照組，同時 $10 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 處理組顯著高 30、 $50 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 處理組，莖徑以 $10 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 處理組高於對照組為 3.29 mm，而 $50 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 處理組顯著低於對照組為 2.60 mm，葉片厚度在各組間無顯著差距，葉面積部分 30、 $50 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 處理組分別為 79.27 cm^2 及 64.00 cm^2 顯著低於對照組及 $10 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 處理組，在地上部鮮重及乾重 UV-B 照射後 30、 $50 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 處理組顯著低於對照及 $10 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 處理組，在含水率部分以對照組之 93.00% 顯著低於 30、 $50 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 處理組(表 1)。莧菜之幼苗階段，所有處理組之蒸散速率皆顯著低於對照組，在淨光合速率方面 $10 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 處理組為 $10.96 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 顯著低於 $50 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 處理組，各組之細胞間二氧化碳濃度並無顯著差異， $10 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 處理組的氣孔導度為 $0.20 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 顯著低於對照組 (表 2)。30 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 處理的葉片下表皮氣孔密度為 7173.15 個/ mm^2 顯著高於對照組，氣孔長度於各組間並無顯著差異(表 3)。Fv/Fm 方面， $10 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 處理組之 Fv/Fm 於不同時段之測值多顯著高於對照組，各處理組中僅 $50 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 處理組在晚上 8 點測量時顯著低於對照組，其餘與對照組無顯著差異(圖 1)。

表 1. UV-B 照射對莧菜生長性狀之影響

Table 1. Effects of UV-B irradiation on growth characteristics of edible amaranth .

Stage	UV-B Treatment ($\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$)	Leaf Number	Plant Height (cm)	Stem Diameter (mm)	Leaf Thickness (mm)	Leaf Area (cm^2)	Shoot Fresh Weight (g)	Shoot Dry Weight (g)	Moisture Content (%)
Seedling	0	4.44ab ¹	13.83ab	2.89b	0.23a	107.06a	2.72a	0.19a	93.00c
	10	4.89a	14.58a	3.29a	0.24a	117.86a	3.14a	0.21a	93.39bc
	30	4.39ab	12.67bc	2.81bc	0.23a	79.27b	1.95b	0.12b	94.02a
	50	4.11b	11.63c	2.60c	0.23a	64.00b	1.52b	0.09b	93.88ab
Harvest	0	10.06a	40.98bc	9.27a	0.32a	737.64b	54.84a	6.95a	87.79a
	10	9.83a	44.44a	7.97b	0.30a	1115.98a	45.30ab	6.84a	86.00b
	30	10.06a	43.29ab	8.33b	0.28b	706.48b	33.48c	4.23b	87.07ab
	50	9.28a	39.45c	8.23b	0.30a	780.00b	38.61bc	5.07b	87.83a

¹Means in a column in the same stage with different lower-case letter are significantly different by LSD test at ($P<0.05$).

表 2. UV-B 照射對莧菜氣體交換參數之影響

Table 2. Effect of UV-B irradiation on gas exchange parameters of edible amaranth.

Stage	UV-B Treatment ($\mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$)	Transpiration Rate ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Net Photosynthetic Rate ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Intercellular Carbon Dioxide Concentration ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)	Stomatal Conductance ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
Seedling	0	13.34a ¹	13.52ab	272.59a	0.23a
	10	10.81b	10.96b	282.52a	0.20b
	30	11.55bc	13.53ab	268.08a	0.22ab
	50	10.89c	14.86a	258.65a	0.21ab
Harvest	0	3.67a	16.42a	207.55b	0.12a
	10	2.80ab	7.83b	230.17b	0.11a
	30	1.99b	7.11b	207.78b	0.08a
	50	1.72b	2.31c	320.55a	0.07a

¹Means in a column in the same stage with different lower-case letter are significantly different by LSD test at ($P<0.05$).

表 3. UV-B 照射對莧菜葉片下表皮氣孔之影響

Table 3. Effects of UV-B irradiation on stomatal in the lower epidermis of edible amaranth leaves.

Stage	UV-B Treatment ($\mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$)	Stomatal Density (number mm^{-2})	Stomatal Length (μm)
Seedling	0	5280 .72b ¹	1 .72a
	10	6301 .53ab	1 .83a
	30	7173 .15a	1 .74a
	50	6124 .85ab	1 .81a
Harvest	0	8315 .67a	1 .39a
	10	9354 .14a	1 .36a
	30	8539 .46a	1 .32a
	50	6831 .57a	1 .44a

¹Means in a column in the same stage with different lower-case letter are significantly different by LSD test at ($P<0.05$).

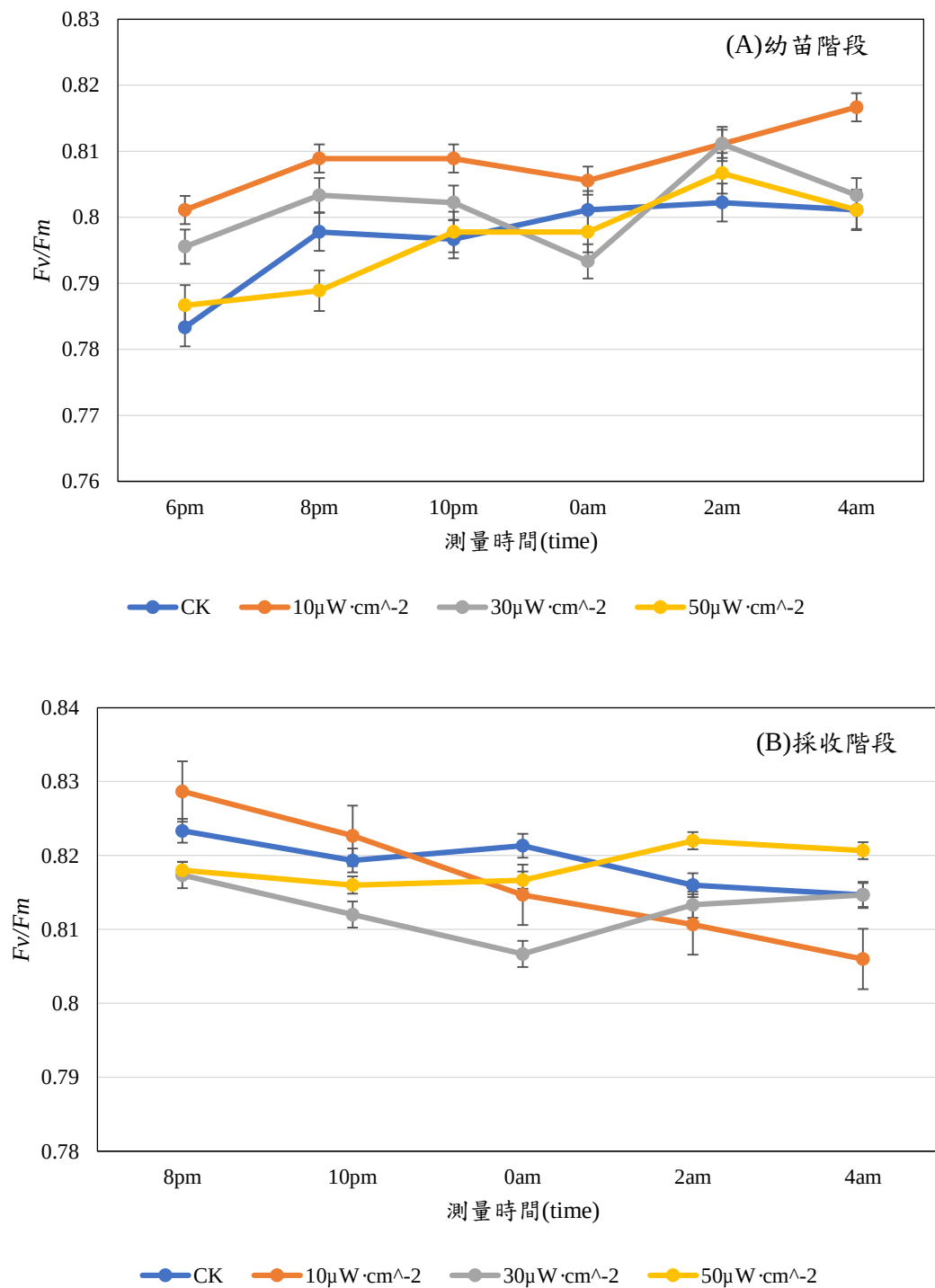


圖 1. UV-B 照射對莧菜 F_v/F_m 之影響

Fig. 1. Effect of UV-B irradiation on F_v/F_m of edible amaranth seedling(A) and harvest(B) stage.

就 UV-B 照射至採收階段而言，莧菜各組間葉片數無顯著差異，在株高方面以 10 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 處理組之 44.44 cm 顯著高於對照組之 40.98 cm，所有處理組之莖徑顯著低於對照組之 9.27 mm，葉片厚度以 30 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 處理組之 0.28mm 顯著低於對照組及其他處理組，葉面積以 10 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 處理組之 1115.98 cm^2 顯著高於對照組及其他處理組，在地上部鮮重與乾重 30、50 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 處理組皆顯著低於對照組，含水率以 10 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 處理組之 86% 顯著低於對照組(表 1)。在採收階段之莧菜，30、50 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 處理組之蒸散速率顯著低於對照組，在淨光合速率方面各處理組皆顯著低於對照組之 16.42 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，50 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 處理組之細胞間二氧化碳濃度為 320.55 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ 顯著高於對照組，在氣孔導度部分各組間均無顯著差異(表 2)。氣孔密度與長度各組間均無顯著差異(表 3)。Fv/Fm 在採收階段時，各組在所有測量時段之量值均高於 0.8 (圖 1)，且幾乎沒有顯著差異。

(二) UV-B 照射對莧菜葉綠素、硝酸鹽、抗氧化物濃度及抗氧化酵素活性之影響

莧菜在幼苗階段，50 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 處理組之 SPAD 為 10.83 顯著低於對照組，而葉綠素 a、葉綠素 b、總葉綠素與 b-胡蘿蔔素濃度各處理間均無顯著差異(表 4)。莧菜於幼苗階段，30、50 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 處理組的抗壞血酸濃度顯著高於對照組，硝酸鹽、總酚類化合物及總類黃酮化合物濃度方面，莧菜各組間皆無顯著差異(表 5)。在幼苗階段莧菜之壞血酸過氧化酶的活性在各組間皆無顯著差異，在過氧化氫酶活性部分 50 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 處理組之 0.1242 $\text{unit}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ 顯著高於對照組(表 6)。

表 4. UV-B 照射對莧菜葉綠素及 b-胡蘿蔔素濃度之影響

Table 4. Effects of UV-B irradiation on chlorophyll and β -carotene concentrations in edible amaranth.

Stage	UV-B Treatment ($\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$)	SPAD	Chlorophyll a ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)	Chlorophyll b ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)	Total Chlorophyll ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)	β -Carotene ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)
Seedling	0	12.63ab ¹	0.47a	0.11a	0.59a	0.097a
	10	13.56a	0.50a	0.12a	0.62a	0.097a
	30	12.16b	0.53a	0.13a	0.66a	0.105a
	50	10.83c	0.57a	0.14a	0.71a	0.110a
Harvest	0	18.15ab	0.75b	0.14a	0.88c	0.173a
	10	19.11a	0.86a	0.17a	1.02b	0.188a
	30	17.87ab	0.90a	0.16a	1.07ab	0.193a
	50	17.51b	0.93a	0.18a	1.12a	0.194a

¹Means in a column in the same stage with different lower-case letter are significantly different by LSD test at ($P<0.05$).

表 5. UV-B 照射對莧菜抗壞血酸、硝酸鹽、總酚及總類黃酮濃度之影響

Table 5. Effects of UV-B irradiation on ascorbic acid, nitrate, total phenols, and total flavonoids concentrations in edible amaranth.

Stage	UV-B Treatment ($\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$)	Ascorbic Acid ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)	Nitrate ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)	Total Phenols ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)	Total Flavonoids ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)
Seedling	0	0.57b ¹	0.43a	1.61a	0.60a
	10	0.50b	0.47a	1.64a	0.57a
	30	0.76a	0.43a	1.37a	0.61a
	50	0.72a	0.51a	1.37a	0.61a
Harvest	0	1.49a	0.23b	5.27a	1.43a
	10	1.47a	0.47ab	5.15a	1.55a
	30	1.28b	0.75a	4.61a	1.41a
	50	1.29b	0.41b	4.93a	1.40a

¹Means in a column in the same stage with different lower-case letter are significantly different by LSD test at ($P<0.05$).

表 6. UV-B 照射對莧菜抗氧化酵素活性之影響

Table 6. Effect of UV-B irradiation on antioxidant enzyme activities of edible amaranth.

Stage	UV-B Treatment ($\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$)	APX ($\text{unit}^x\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)	CAT ($\text{unit}^y\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)
Seedling	0	3.83a ¹	0.0576b
	10	3.69a	0.0632b
	30	3.86a	0.0690b
	50	3.33a	0.1242a
Harvest	0	17.78a	0.291a
	10	14.64a	0.171a
	30	17.42a	0.184a
	50	16.33a	0.246a

x: 酵素活性單位 unit=每分鐘消耗 1 nmol H_2O_2

y: 酵素活性單位 unit=每分鐘消耗 1 μmol ascorbate

¹Means in a column in the same stage with different lower-case letter are significantly different by LSD test at ($P<0.05$).

就採收階段的莧菜而論，SPAD 部分所有處理組與對照組間皆無顯著差異，但 $10 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 處理組顯著高於 $50 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 處理組，所有處理組的葉綠素 a 濃度皆顯著大於對照組之 $0.75 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1} \text{ FW}$ ，總葉綠素濃度各處理組同樣顯著大於對照組之 $0.88 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1} \text{ FW}$ ，莧菜所有處理間的葉綠素 b 與 b-胡蘿蔔素濃度皆無顯著差異(表 4)。莧菜之採收階段 30 、 $50 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 處理組的抗壞血酸濃度顯著低於對照組，硝酸鹽濃度部分 $30 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 處理組之 $0.75 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1} \text{ FW}$ 顯著高於對照組，總酚類化合物與總類黃酮化合物濃度在各組間均無顯著差異(表 5)。採收階段莧菜之壞血酸過氧化酶與過氧化氫酶活性在各組間均無顯著差異(表 6)。

討 論

(一) UV-B 照射對莧菜生長之影響

無論是幼苗或採收階段其地上部鮮重與乾重與其它生長性狀幾乎是在 30 、 $50 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ UV-B 照射處理與對照組相比受到抑制，在較高的 UV-B 強度條件下，生長性狀會受到抑制這點與前人研究相似(Wang *et al.*, 2007)。而 $10 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ UV-B 照射處理，在採收階段與對照組相比較好之生長表現，但無前人研究結果有補充低強度 UV-B 照射有促進生長之相關發現。與對照組相比，在 UV-B 處理組無論幼苗或採收階段皆有蒸散速率的降低，只在採收階段有淨光合速率的降低，在 Singh *et al.*(2013)的研究中，也是在經過 UV-B 的處理後，有較低的淨光合速率、氣孔導度及水分利用效率，雖然無研究比較植株在不同階段受 UV-B 影響之差異，但猜測幼苗階段植株較小，蒸散速率的降低對水分運輸影響較小，因此幼苗階段之淨光合速率無受到影響。本試驗之 F_v/F_m 雖在幼苗階段有所差異，但其數值大多大於 0.8 且差異甚小，難以認為光系統 II 有受到傷害，而前人研究中也發現，部分品種之莧菜 F_v/F_m 並不會受到 UV-B 的照射而產生抑制(Kataria and Guruprasad, 2014)。但由於本試驗在 UV-B 處理期間之 F_v/F_m 測量未經暗適應，實際 F_v/F_m 可能有所不同。

(二) UV-B 照射對莧菜葉綠素、硝酸鹽、抗氧化物濃度及抗氧化酵素活性之影響

在幼苗階段，莧菜在 $50 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 的 UV-B 照射下 SPAD 值顯著較低，但各組間光合色素濃度皆不受到影響，而採收階段之植株個處理組相較對照組均有較高之葉綠素 a 及總葉綠素濃度，但 SPAD 不受到影響，與本試驗不同在前人研究中莧菜在較高的 UV-B 環境條件下，有較低的總葉綠素濃度(Kataria and Guruprasad, 2014)，造成採收階段經 UV-B 照射會有較高之葉綠素 a 及總葉綠素濃度之原因可能與葉綠素降解受到抑制有關，在青花菜採後處理的文獻中提到，以 UV-B 照射能抑制葉綠素降解相關酵素之活性，使青花菜有較高葉綠素濃度(Aiamla-or *et al.*, 2010)。在本試驗中發現，SPAD 之變化無法代表實際莧菜經 UV-B 照射後葉片中葉綠素濃度之變化，在 Nagel *et al.*(1998)的研究中提到經 UV-B 照射後葉片之細胞會產生結構的變化以改變光線之穿透，因此可能導致以紅光及遠紅光進行

測量之 SPAD 產生誤差。

在 30、50 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ UV-B 照射處理中發現抗壞血酸濃度在幼苗階段會增加，而採收階段則減少，前人研究中認為莧菜為抵禦 UV-B 照射產生的氧化逆境，因此有較高抗壞血酸濃度(Singh *et al.*, 2013)，至於採收階段抗壞血酸濃度受到抑制的原因尚不清楚。在採收階段 30 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ UV-B 照射處理中硝酸鹽濃度較對照組高，雖無前人研究提到莧菜經 UV-B 照射後硝酸鹽之變化，但根據 Bian *et al.*(2020)之論述可能與硝酸鹽代謝相關之酵素受到抑制有關。雖然在本試驗中的幼苗及採收階段中皆無觀察到 UV-B 處理組與對照組在總酚類化合物及總類黃酮化合物濃度之差異，但在前人研究中都有觀察到在較高的 UV-B 環境下有較高酚類化合物及總類黃酮化合物濃度(Adhikary *et al.*, 2020；Singh *et al.*, 2013)，根據在 Hao *et al.* (2022)之文獻中發現只有在低強度長時間(2 $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 照射 24 小時)或是高強度短時間(4 $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 照射 4 小時)的 UV-B 照射處理，酚類化合物及類黃酮化合物之濃度才會顯著增加，本研究可能因 UV-B 照射時間過長或照射強度過高而不利酚類化合物及類黃酮化合物之生成。

莧菜僅在幼苗階段 50 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ UV-B 處理組相較於對照組有顯著較高之 CAT 活性，而幼苗階段之 APX 活性與採收階段之抗氧化酵素活性各組間均無顯著差異，與 Wang *et al.*(2007)之研究中莧菜之 APX 及 CAT 活性隨 UV-B 照射增加而降低不同，但該研究中也提到 UV-B 處理後之酵素活性變化，可能受 UV-B 照射之強度、時間或是植物品種而有所不同。

參 考 文 獻

- 李岍. 1987. 溫室之栽培管理技術. 設施園藝研討會專集. p. 143-152.
- 伊藤隆太郎、立澤文見、細川宗孝. 2019. UV-B 照射したキャベツおよびビシソスプラウト間の生育,アントシアニン集積および抗酸化性の相違. 園学研. 18(4):423-430.
- 黃秀雯、張淳淳、林宇盛、李兆彬. 2023. 溫室小果番茄病蟲害整合性管理之經濟效益評估. 臺南區農業改良場研究彙報 81:45-62.
- 蔡金川、黃禮棟、漆匡時、姚銘輝. 2001a. 溫室設施之覆蓋資材的種類與特性 (上). 農業試驗所技術服務 46:20-24.
- 蔡金川、黃禮棟、漆匡時、姚銘輝. 2001b. 溫室設施之覆蓋資材的種類與特性 (下). 農業試驗所技術服務 47:12-17.
- Adhikary, D., J. A. Forsyth, S. J. Murch, and M. K. Deyholos. 2020. Impact of betacyanins on responses to ultraviolet radiation in *Amaranthus tricolor* L.. J. Plant Interact. 15:117-126.
- Aiamla-or, S., S. Kaewsuksaeng, M. Shigyo, and N. Yamauchi. 2010. Impact of UV-B irradiation on chlorophyll degradation and chlorophyll-degrading enzyme activities in stored broccoli

- (*Brassica oleracea* L. Italica Group) florets. *Food Chem.* 120(3):645-651.
- Bian, Z., Y. Wang, X. Zhang, T. Li, S. Grundy, Q. Yang, and R. Cheng. 2020. A review of environment effects on nitrate accumulation in leafy vegetables grown in controlled environments. *Foods* 9(6):732.
- Correa, M. D. S. S., M. E. R. R. Saavedra, E. A. E. Parra, E. N. Ontiveros, J. D. C. B. Flores, J. G. O. Montiel, J. E. C. Contreras, E. L. Urrutia, J. G. Á. Acevedo, G. E. J. Nopala, and A. M. E. González. 2023. Ultraviolet radiation and its effects on plants, In: Oliveira, M. and A. Fernandes-Silva(eds). *Abiotic stress in plants - adaptations to climate change*. IntechOpen. doi:10.5772/intechopen.109474.
- Kataria, S. and K. N. Guruprasad. 2014. Exclusion of solar UV components improves growth and performance of *Amaranthus tricolor* varieties. *Sci. Hortic.* 174:36-45.
- Poiroux-Gonord, F., L. P. Bidel, A. L. Fanciullino, H. Gautier, F. Lauri-Lopez, and L. Urban. 2010. Health benefits of vitamins and secondary metabolites of fruits and vegetables and prospects to increase their concentrations by agronomic approaches. *J. Agric. Food Chem.* 58(23):12065-12082.
- Singh, S., M. Agrawal, and S. B. Agrawal. 2013. Differential sensitivity of spinach and amaranthus to enhanced UV-B at varying soil nutrient levels: association with gas exchange, UV-B-absorbing compounds and membrane damage. *Photosynth. Res.* 115: 123-138.
- Wang, S., L. Duan, A. E. Eneji, and Z. Li. 2007. Variations in growth, photosynthesis and defense system among four weed species under increased UV-B radiation. *J. Integr. Plant Biol.* 49(5):621-627.

Effect of Ultraviolet-B Irradiation on Growth and Antioxidant of Edible Amaranth (*Amaranthus tricolor* L.)

Chi-You Hsu¹⁾ San-Gwang Hwang²⁾

Keywords: Edible amaranth, Ultraviolet-B, Antioxidant

Summary

This experiment used the edible amaranth variety 'White Leaf' as the experimental material. The impact of different intensities of ultraviolet-B (UV-B, $280\text{ nm} \leq \lambda < 315\text{ nm}$) lighting at night on the growth phenotypes, concentration of antioxidants, and activity of antioxidant enzymes of greenhouse-cultivated edible amaranth at seedling and harvesting stages were investigated. For seedlings of edible amaranth, treatment with $10\text{ }\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ UV-B had similar response in terms of growth phenotypes, concentration of antioxidants, and activity of antioxidant enzymes compared to the control group. Compared with the control group, treatments with $30\text{ }\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ and above had a significantly higher ascorbic acid concentration but showed weaker growth phenotypes. Treatment with $50\text{ }\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ had significantly higher catalase (CAT) activity. For edible amaranth at harvesting stage, treatment with $10\text{ }\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ UV-B had a lower net photosynthetic rate, exhibited higher plant height, stem length, and leaf area, displayed similar concentration of antioxidants and activity of antioxidant enzymes, and showed higher chlorophyll a and total chlorophyll concentrations as compared to the control group. Treatments with 30 and $50\text{ }\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ showed weaker growth phenotypes and lower net photosynthetic rates, had higher chlorophyll a and total chlorophyll concentrations, and displayed lower ascorbic acid concentrations relative to the control group.

1) Student in M.S. program, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

2) Associate Professor, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

Corresponding author.

溫度對草莓花芽分化之影響

陳 宥 邑¹⁾ 宋 妤²⁾

關鍵字：溫度、草莓、花芽分化、植物生長

摘要：‘香水’、‘紅顏’、‘桃動’及‘優雪’草莓(*Fragaria × ananassa*)在日夜溫度 20/15℃ 兩個月後冠部直徑均高於 25/20℃ 及 15/10℃，葉數則是 25/20℃ 高於 20/15℃ 及 15/10℃。於三種溫度下第 46 天觀察生長點分化情形，‘紅顏’、‘香水’草莓溫度越低分化速率越快，‘優雪’草莓則是在較高溫度下花芽分化越快，而‘桃動’草莓不受溫度的影響。處理植株移置溫室後僅 20/15℃ 處理下‘香水’草莓開花天數顯著少於其他處理，除了‘桃動’草莓其它品種草莓第一花序上之總開花數均是 25/20℃ 高於 20/15℃ 及 15/10℃。結果顯示在三種日夜溫度下花芽分化速度會依品種而不同，開花天數較不受到溫度影響，植株於 25/20℃ 下二個月處理會有最大的開花總數。

前 言

草莓(*Fragaria × ananassa*) 是世界上受人喜愛的小果類作物之一。依照開花和結果的條件將草莓大致分成兩大類，分別為季節性開花(Seasonal flowering, SF)基因型及週期性開花(Recurrent flowering 或 Everbearing, EB)基因型，季節性開花基因型代表在特定季節才會開花結實，而週期性開花基因型代表在整個生長過程中不論生長季節為何，或多或少都可持續開花(Heide, 2013)。亞洲草莓品種多以季節性開花基因型為主，栽種環境中日溫宜保持 18~24℃，相對濕度保持在 60%以下，夜溫保持在 5℃以上，短日照品種日照長度在 12 hr 以下較易誘導開花(李翠英, 2015)。為提高生產獲利，在亞熱帶氣候條件下提早種植，種植期間遇上秋季及夏季末期溫度變化大的時期，因此須了解影響品種開花表現之溫度條件。本研究選四種於台灣目前栽種草莓品種於三種溫度條件下生長，調查各品种植株生長及花芽分化之情形，期能了解各草莓栽培時之適宜溫度條件。

1) 國立中興大學園藝學系研究生。

2) 國立中興大學園藝學系教授，通訊作者。

材料與方法

一、試驗材料

第一次試驗使用‘香水’(種苗改良繁殖場組培苗)、『紅顏』、『桃動』(沐光草莓農場)及‘優雪’(草莓世界草莓農場)草莓植株為母株進行繁殖。

二、試驗地點

在中興大學作物科學大樓地下室之走入式生長箱內進行。

三、試驗方法

於 2022 年 10 月 4 日由 35 格穴盤取 4 個品種苗中 1 ± 0.1 cm 冠部直徑及 7 ± 1 片葉之植株定植於 6 吋磚紅色硬塑膠盆及 4 吋黑色塑膠軟盆，以行株距 15 cm 放置於生長箱，6 吋磚紅色硬塑膠盆植株進行植株生長實驗調查，4 吋黑色塑膠軟盆植株進行生長點解剖。生長箱的溫度條件分別設定為 25/20℃、20/15℃ 及 15/10℃ (日/夜)，光週期 10 小時，光強度約 $72 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，生長 2 個月。於 2022 年 12 月 5 日移置於中興大學園藝系蔬菜室水牆風扇溫室中繼續栽培，試驗於 2023 年 3 月 1 日結束。6 吋磚紅色硬塑膠盆每處理 3 重複，每重複 2 株，4 吋黑色塑膠軟盆每處理 3 重複，每重複 1 株。

四、調查項目

1. 冠部直徑：每週以游標卡尺(Mitutoyo, Japan)測量短縮莖冠部直徑，單位為 mm。
2. 葉片數：每週計算植株完全展開之本葉數
3. 光合作用速率：以攜帶式光合作用測定儀 LICOR-6800(Li-Cor Inc., Lincoln, NE., USA) 於定植後 20 日中午 11 點到 12 點之間測量，設定 CO_2 濃度 400 ppm，三間生長箱光強度平均為 $72 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。
4. 花芽分化解剖：在定植後 34、46 及 57 天後，使用手術刀及鑷子將植株生長點清理乾淨，利用解剖顯微鏡觀察生長點花芽分化程度，並依據 Rongfei Li (2020)文獻中草莓花芽分化程度之分級為標準進行判斷，使用單眼相機記錄每株花芽分化程度，每處理解剖 3 株。
5. 鮮重：將植株分為 2 部分，地上部及地下部，秤其重量，單位為 g
6. 乾重：將植株分為 2 部分，地上部及地下部，以 100℃ 殺青 1 小時再以 80℃ 烘 72 小時，進行秤量，單位為 g
7. 葉面積：以葉面積儀 (LI-COR 3000A, LICOR Lincoln Neb.) 掃描累計總葉面積，單位為 cm^2 。

五、統計分析

本實驗為採完全逢機設計(Completely randomized design)，以 SAS 套裝軟體 9.4 版(SAS, Insititue, Cary NC)進行變方分析(Analysis of variance, ANOVA, $\alpha=0.05$)，並以 Fisher's Least significant difference(LSD)分析各處理間是否有顯著差異($P<0.05$)。

結 果

‘桃動’草莓於定植後 45 天時日夜溫度 25/20℃之冠部直徑 11.01 mm 顯著小於 20/15℃之冠部直徑 12.85 與 15/10℃之冠部直徑 12.62 mm(圖 1A)，定植 59 天後於 20/15℃之冠部直徑 14.09 mm 顯著大於 25/20℃冠部直徑 12.24 mm 與 15/10℃冠部直徑 12.41 mm。‘香水’草莓在 25/20℃下之冠部直徑從定植時至定植 59 天後皆與 20/15℃及 15/10℃之冠部直徑呈現 1 mm 以上的顯著差異，除了在定植後 7 天及 22 天時 25/20℃下之冠部直徑為 9.5 mm 及 9.85 mm 與 15/10℃之冠部直徑 10.44 mm 及 10.79 mm 是無顯著差異(圖 1B)。在 25/20℃、20/15℃、15/10℃下，‘優雪’草莓之冠部直徑處理間皆無顯著差異(圖 1C)。
 ‘紅顏’草莓在定植 28 及 45 天後於 25/20℃之冠部直徑 10.98 mm 及 11.14 mm 顯著低於 15/10℃之冠部直徑 13.0 mm 及 13.77 mm(圖 1D)。品種處理三種溫度後葉數之生長情形如圖 2，‘桃動’草莓於定植一開始 25/20℃之葉數 7 片即顯著高於 20/15℃、15/10℃之葉數 5.8 片及 5.6 片，持續至定植後 16 天及 28 天 20/15℃與 25/20℃分別以 8 片及 7.1 片之葉數與 25/20℃處理無顯著差異，定植後 22、45 及 59 天 25/20℃、20/15℃、15/10℃處理間之葉數無顯著差異(圖 2A)。
 ‘香水’草莓在定植後一週 25/20℃之葉數 10 片開始顯著高於 15/10℃之葉數 8.83 片葉數持續到至實驗結束，20/15℃第 7 天、第 16 天及第 22 天之葉數分別以 8.8 片、10.3 片及 10.3 片均與 15/10℃之葉數 8.8 片、9.5 片及 10 片無顯著差異，定植後 28、45 及 59 天 20/15℃處理之葉數分別以 11.3 片、12.5 片及 13.8 片顯著高於 15/10℃之葉數 9.1 片、9.3 片及 10.8 片與 25/20℃之葉數 11.6 片、11.2 片及 14 片無顯著差異(圖 2B)。
 ‘優雪’草莓於 25/20℃及 20/15℃處理在定植後 7、16、22 及 28 天之葉數分別以 8.8 片、9.3 片、10.1 片及 10.1 片與 7.8 片、8.6 片、9.3 片及 10 片都顯著高於 15/10℃處理之葉數 7.1 片、7.5 片、8.8 片及 8.5 片(圖 2C)，其他時間處理間均無顯著差異。
 ‘紅顏’草莓於定植一開始 25/20℃處理之葉數 6.1 片即顯著高於 20/15℃之葉數 5.3 片，定植 16、22 及 28 天後 25/20℃處理之葉數分別以 8 片、8.6 片及 8.8 片顯著高於 20/15℃、15/10℃之葉數 6.6 片、7 片及 6.6 片和 6.6 片、7.3 片及 7.3 片(圖 2D)。

測量‘香水’、‘紅顏’、‘桃動’、‘優雪’於三生長溫度之生長箱定植後 20 日，於 25/20℃、20/15℃、15/10℃下之蒸散作用、光合作用速率、細胞間二氧化碳含量、氣孔導度如表 1。
 ‘桃動’草莓在三種日夜溫度下均無顯著差異，‘香水’草莓在氣孔導度中 25/20℃處理為 $0.24 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 顯著高於 20/15℃、20/15℃處理 0.14 及 $0.16 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。四品種之蒸散作用及光合作用在三生長溫度生長表現為無顯著差異，‘優雪’草莓細胞間二氧化碳含量中於 25/20℃處理為 $352 \text{ } \mu\text{mol mol}^{-1}$ 顯著高於 20/15℃處理之 $332 \text{ } \mu\text{mol mol}^{-1}$ ，在氣孔導度中於 25/20℃處理為 $0.17 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 顯著高於 20/15℃、20/15℃處理之 $0.13 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。
 ‘紅顏’草莓細胞間二氧化碳含量中於 20/15℃處理為 $323 \text{ } \mu\text{mol mol}^{-1}$ 顯著低於 25/20℃處理之 $360 \text{ } \mu\text{mol mol}^{-1}$ ，氣孔導度則於三溫度間無顯著差異。

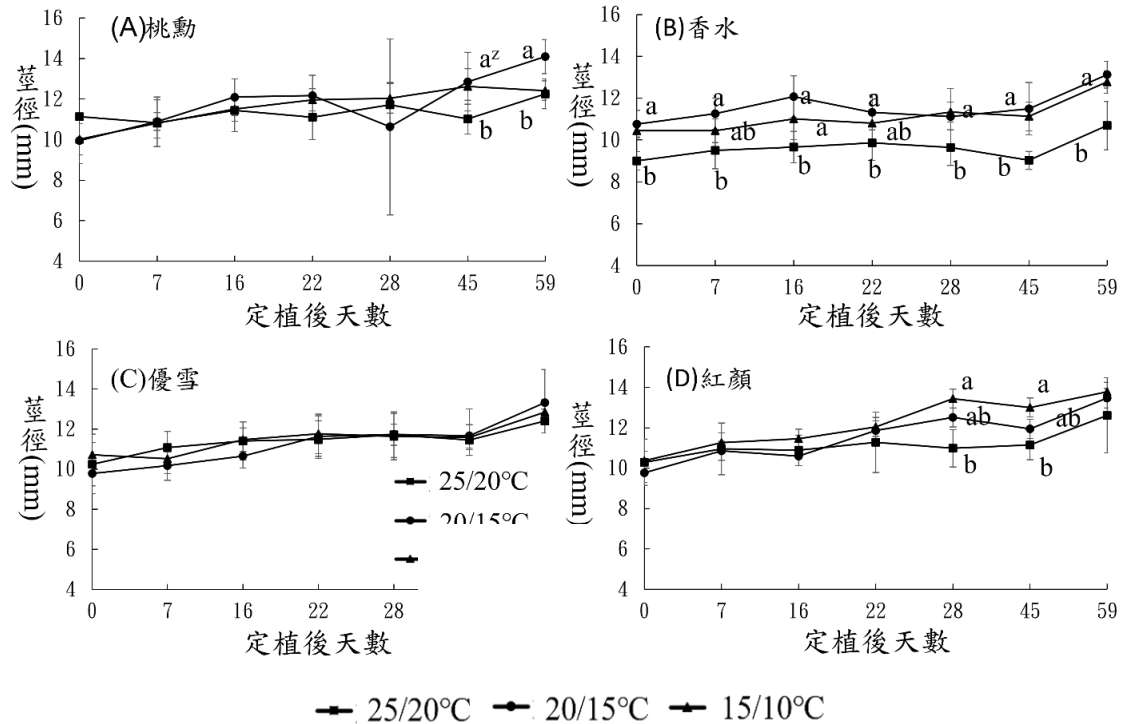


圖 1. '香水'、'紅顏'、'桃動'及'優雪'草莓於 25/20°C、20/15°C、15/10°C(日/夜溫)下冠部直徑生長情形

Vertical bar represent standard error(n=6)

^aMeans in a column with the same letter are not significantly difference by fisher's LSD test at 5% level.

'香水'、'紅顏'、'桃動'及'優雪'草莓於 25/20°C、20/15°C、15/10°C(日/夜溫)下生長 34、46 及 57 天後生長點分化情形如表 2，'紅顏'草莓在 25/20°C 處理下還處於未分化期，於 20/15°C、15/10°C 處理則開始進入肥厚期，'香水'、'桃動'及'優雪'草莓均進入肥厚期。'紅顏'草莓在 25/20°C 處理下剛進入肥厚期，20/15°C 處理進入花蕊形成期；'香水'草莓在 25/20°C 處理進入二分割期，20/15°C、15/10°C 處理已進入花蕊形成期；'優雪'草莓在 25/20°C 處理進入花蕊形成期，20/15°C 處理進入萼片形成期，15/10°C 處理進入二分割期；'桃動'草莓在 25/20°C、20/15°C、15/10°C 處理中均進入萼片形成期。除了'桃動'草莓在 25/20°C 及 20/15°C 處理還處於花蕊形成期，其他草莓與所有處理均進入花成型期。

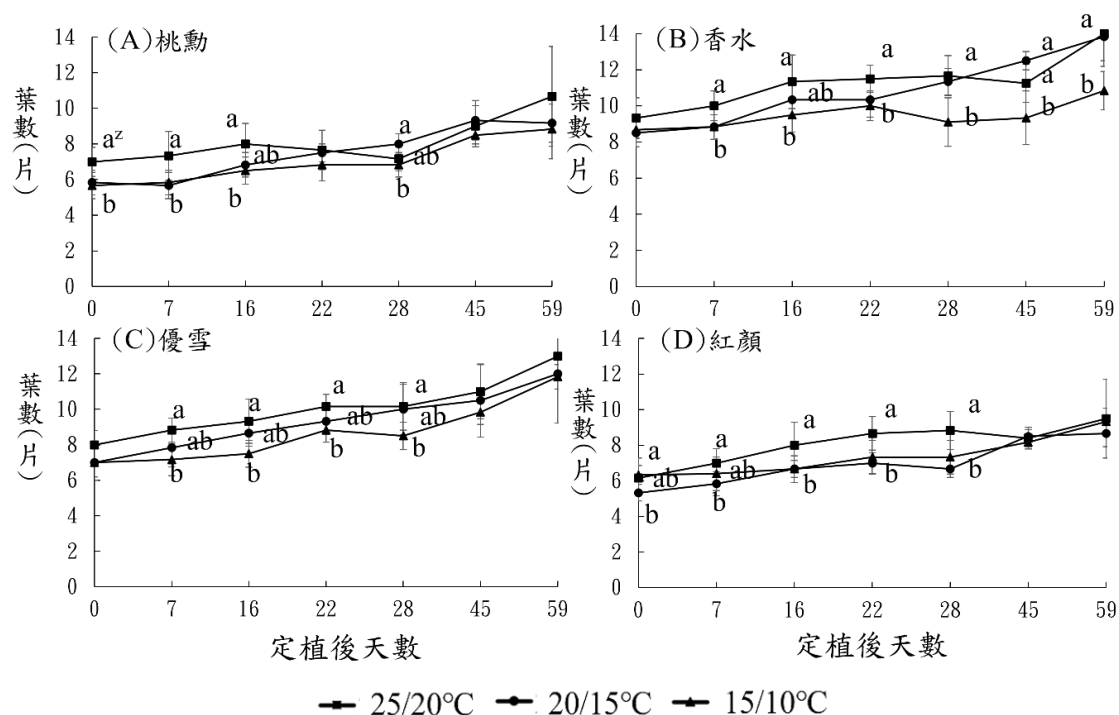


圖 2. ‘香水’、‘紅顏’、‘桃動’及‘優雪’草莓於 25/20°C、20/15°C、15/10°C(日/夜溫)下葉數生長情形

Vertical bar represent standard error(n=6)

^aMeans in a column with the same letter are not significantly difference by fisher's LSD test at 5% level.

調查 25/20°C、20/15°C、15/10°C 處理 2 個月後移至溫室中‘香水’、‘紅顏’、‘桃動’及‘優雪’草莓所需開花時間與在第一花序及第二花序上之開花總數如表 3，‘桃動’移至溫室後直至實驗結束皆無開花，於表中無相關數據。‘香水’草莓在 20/15°C 處理 74.5 天顯著低於 25/20°C 及 15/10°C 處理之 81.5 天開花天數，其他品種中處理間均無顯著差異。‘優雪’草莓之第一花序之開花數 25/20°C 處理 11.8 朵顯著高於 15/10°C 處理 6.2 朵，第二花序則沒有顯著差異；‘香水’草莓在各處理中無顯著差異；‘紅顏’草莓在第一花序中 25/20°C 處理 11.7 朵顯著高於 20/15°C 及 15/10°C 處理 7.8 朵及 7.3 朵之開花數，第二花序於各處理中無顯著差異。

表 1. ‘香水’、‘紅顏’、‘桃動’、‘優雪’草莓於生長箱定植後 20 日於 25/20℃、20/15℃、15/10℃(日/夜溫)下之蒸散作用(Emm)、光合作用速率(A)、細胞間二氧化碳含量(Ci)及氣孔導度(gsw)

品種	日/夜 (°C)	Emm (mmol m ⁻² s ⁻¹)	A (μmol m ⁻² s ⁻¹)	Ci (μmol mol ⁻¹)	gsw (mol m ⁻² s ⁻¹)
桃動	25/20	6.78 a ^z	2.5 a	370 a	0.23 a
	20/15	4.46 a	1.8 a	369 a	0.17 a
	15/10	4.40 a	2.8 a	358 a	0.20 a
香水	25/20	3.23 a	4.2 a	359 a	0.24 a
	20/15	2.82 a	3.7 a	344 a	0.14 b
	15/10	2.95 a	3.6 a	344 a	0.16 b
優雪	25/20	2.22 b	3.6 a	352 a	0.17 a
	20/15	3.36 a	4.2 a	332 b	0.13 b
	15/10	4.47 a	3.6 a	334 ab	0.13 b
紅顏	25/20	4.41 a	3.9 a	360 a	0.24 a
	20/15	3.37 b	4.7 a	323 b	0.13 a
	15/10	5.01 a	5.2 a	347 ab	0.25 a

^z Mean within the same letters in column are not significantly different by Fisher's LSD at $p \leq 0.05$.

註：測量日期為 2022 年 10 月 24 日(放入生長箱中第 20 天)

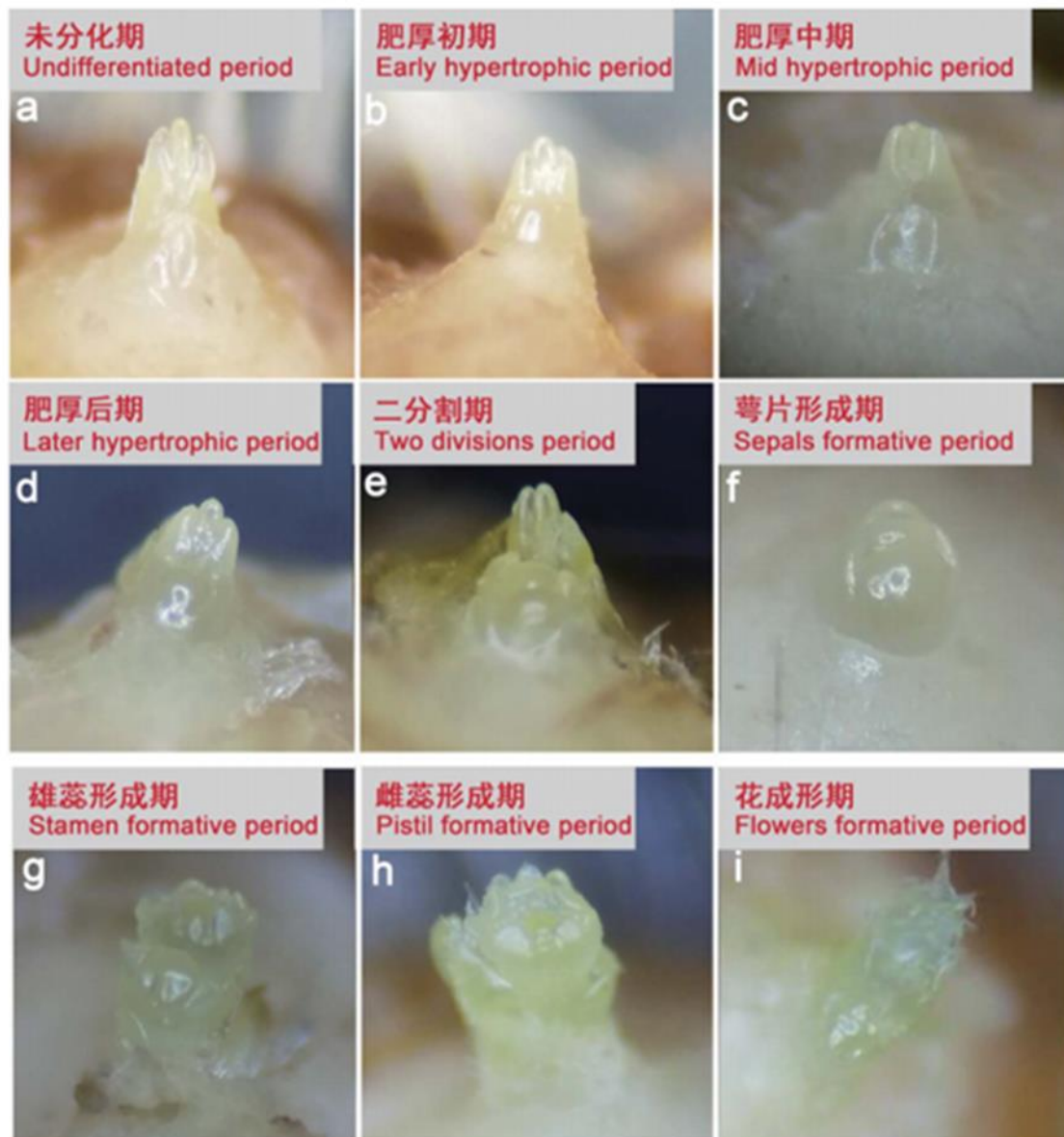


圖 1. 引用 2020 年 Rongfei Li 文獻中草莓花芽分化程度之分級標準

表 2. ‘香水’、‘紅顏’、‘桃動’及‘優雪’草莓於 25/20℃、20/15℃、15/10℃(日/夜溫)下生長 34、46 及 56 天後生長點分化情形

	生長34天		
	25/20℃	20/15℃	15/10℃
‘紅顏’	1	2	2
‘香水’	2	2	2
‘優雪’	2	2	2
‘桃動’	2	2	2

	生長46天		
	25/20℃	20/15℃	15/10℃
‘紅顏’	2	5	無
‘香水’	3	5	5
‘優雪’	5	4	3
‘桃動’	4	4	4

	生長46天		
	25/20℃	20/15℃	15/10℃
‘紅顏’	2	5	無
‘香水’	3	5	5
‘優雪’	5	4	3
‘桃動’	4	4	4

註：1.將花芽分化階段依序分別定義為未分化期為第 1 期；肥厚期為第 2 期；二分割期為第 3 期；萼片形成期為第 4 期；花蕊形成期為第 5 期；花成行期為第 6 期；未觀察見明顯時期為無

表 3. 於 2023 年 3 月‘香水’、‘紅顏’、‘桃動’及‘優雪’草莓在 25/20°C、20/15°C、15/10°C (日/夜溫)處理後，所需開花時間與在第一花序及第二花序上之開花總數

處理 (°C)	優雪	香水 (天)	紅顏	優雪花序		香雪花序		紅顏花序	
				一	二	一	二	一	二
				(朵)					
25/20	81.5a ^z	81.5a	77.5a	11.8 a	9.2 a	10.0 a	6.3 a	11.7 a	8.2 a
20/15	81.5a	74.5b	81.8a	9.8 ab	6.8 a	7.0 a	5.0 a	7.8 b	8.3 a
15/10	85.3a	84.0a	81.3a	6.5 b	6.2 a	8.3 a	5.7 a	7.3 b	6.3 a

^z Mean in a column with the same letter are not significantly different by Fisher's LSD test at $p \leq 0.05$.

討 論

溫度對於草莓花芽分化尤為重要，‘香水’、‘紅顏’、‘桃動’及‘優雪’草莓於 25/20°C、20/15°C、15/10°C(日/夜溫)下觀察其發育情形，‘桃動’中定植 59 天後 20/15°C處理顯著高於其他處理，其他品種中也看見 20/15°C處理均有不錯的冠部直徑生長，在‘桃動’中 20/15°C處理之葉片數一開始顯著少於 25/20°C處理，定植後 45 天兩者以無顯著差異，在‘香水’中一開始 20/15°C處理之葉數略低於 25/20°C處理，定植後 45 天與 25/20°C處理數值相同，兩者成長幅度大於 15/10°C處理，顯示出 20/15°C日夜溫度適合‘桃動’及‘香水’草莓的營養生長。

為了解不同品種促花芽分化溫度情形，本試驗日夜溫度的下降似乎沒有顯著影響到促進花芽分化的速度，在處理的第 46 天生長點的解剖觀察‘香水’在 15/10°C處理已達到花蕊形成期的階段，是 3 種日夜溫度中發育最快的處理，但在‘優雪’中分化最快的是 25/20°C處理，在‘桃動’中則是均呈現一樣的階段，‘紅顏’中則是 20/15°C處理時分化最快。於 2 週後解剖觀察，所有處理除了‘桃動’中 25/20°C、20/15°C處理還在花蕊形成期，其他皆已進入花形成期，均已具備開花能力。草莓適合分化溫度為 10-24°C，在此溫度範圍內，高溫會減慢分化，低溫會加速分化，當溫度低於 5°C 時分化停止，當溫度高於 25°C 時分化受到抑制 (Qinggang *et. al.*, 2014)。經過溫度 16-10°C 的涼溫及 10 小時光週處理，‘保定雞心’草莓從分化初期至花形成期大約所需要的時間為分化初期(生長點開始逐漸變肥厚及隆起)需 5-6 天，花序分化期(頂生花序不斷分生、發育至第二花序原始體形成的過

程)需 11 天，花器分化期(頂生花序萼片、花冠、雄雌蕊形成至第三花序原始體形成的過程)需 16 天，整個分化過程約為 33 天(李等, 1983)。

以解剖 34 天時大部分處理均已進入葉片肥厚期，往回推算一週，在催化 22-28 天時植株才開始進行分化，因此這段時間除了‘紅顏’中 15/10°C處理的冠部直徑有較大幅度的上升，其他處理經徑均停滯或下降，因為草莓植株的分化會開始大量消耗儲存於冠部直徑中的養分，而使養分的供需失衡所影響的結果(Nishizawa *et. al.*, 1998)。將處理完成之植株移至自然溫室中培養，在處理中白天溫度為 15°C，於溫室時白天溫度均在 25-30°C，‘紅顏’及‘優雪’草莓於 15/10°C處理會使花序一的總花數顯著下降，推測可能是由於環境的溫度變化過於劇烈而產生的負面影響，‘桃動’草莓雖然透過解剖確定已分化完成，但移至溫室後直至實驗結束仍然沒有觀測到開花跡象，實驗結束後 2 週才觀測到其開始開花，推測其能需要持續性的低溫或是涼溫條件才能維持生殖生長的狀態。

參 考 文 獻

- 李世一、李景佳、張延明。1983。草莓花芽分化與休眠關係的初步研究。河北農業大學學報 (3): 22-24。
- 李翠英。2015。大棚草莓開花結果期管理抓關鍵。農家科技 2:11。
- Heide, O. M., J. A. Stang, and A. Sønsteby. 2013. Physiology and genetics of flowering in cultivated and wild strawberries—a review. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 88(1):1-18.
- Nishizawa, T., Y. Shishido, and H. Kumakura. 1998. Mobilization of ¹⁴C-carbohydrate reserves in relation to vegetative growth and inflorescence development in June bearing strawberry plants. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 73(4):499-505.
- Qinggang, C., C. Yufang, and J. Zhuojun. 2014. Micro-morphological observations on flower bud differentiation of super prematurity cultivated strawberry. *Acta Hort.* 1049: 459-462.

Effect of Temperatures on Flower Bud Differentiation of Strawberry (*Fragaria x ananassa*)

Yu-Yi Chen¹⁾ Yu Sang²⁾

Key words: Temperature, Strawberry, Flowering bud differentiation, Plant growth

Summary

'Perfume', 'Red Beauty', 'Peach Honor', and 'Yu Xue' strawberries exhibited larger stem diameters after two months at 20/15°C (day/night) compared to 25/20°C and 15/10°C. The number of leaves was higher at 25/20°C than these at 20/15°C and 15/10°C. After 46 days of forcing, the differentiation of growing points was observed. For 'Red Beauty' and 'Fragrance' strawberries, the lower the temperature, the faster the differentiation rate. For 'Yu Xue' strawberries, flower bud differentiation occurs faster at higher temperatures, while 'Peach Honor' strawberries were not affected by temperature. After transferring the plants to the greenhouse, the flowering days of 'Perfume' strawberries under only 20/15°C treatment were significantly less than other treatments. Except for 'Peach Honor' strawberries, the total number of flowers on the first inflorescence of other cultivars of strawberries was higher at 25/20°C compared to 20/15°C and 15/10°C. In conclusion, the speed of flower bud differentiation was various depending on the cultivar under growth temperature, while the flowering days were not affected by temperature. Under 25/20°C induction could get the highest total number of flowers among three temperatures.

1) Student in M.S. program, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

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

Corresponding author.

伽瑪射線照射檸檬綠文心蘭高階選拔品系之育成

莊 淳 雅¹⁾ 洪 惠 娟²⁾ 朱 慧 萍³⁾ 張 正^{4)*}

關鍵字：切花文心蘭、組織培養苗、放射線誘變、高階選拔

摘要：本研究使用檸檬綠文心蘭組織培養苗於2019年經不同劑量伽瑪射線照射後，所選拔出5株性狀穩定之三年生中階選拔株，對其進行切花或盆花品質分析，最終進行高階選拔。結果從5株選拔出2株具有流行性及新穎性之誘變株，包含編號M104誘變株，植株高度為60 cm，具有11個芽體，帶有3個花莖，花朵數為100，整體花期為42天，具有側芽增殖能力佳，假球莖排列平整，整體株型緊湊，抽多梗能力及花型整齊，可應用於盆花；編號M115誘變株，植株高度為124 cm，具有8分叉，第一支分支長為39 cm，共有105朵小花，其瓶插壽命為19天，花苞開放率為89.5%，具有花梗長且粗，分叉數及花朵數多，栽培特性良好，可應用於切花。

前 言

切花類文心蘭是臺灣至今最重要的切花外銷種類之一，最高可達6.2億元新台幣，具有世界競爭力(關務署，2023)。臺灣因位於亞熱帶氣候區，氣候條件適合文心蘭生長，於1986年由泰國引入南西文心蘭後，便快速成為臺灣早期發展的主力品種。約於2011年，檸檬綠文心蘭開始興起，其花色為純黃色，具栽培容易、生長勢強、產量高及瓶插壽命長等特性，因而接軌南西文心蘭作為切花類文心蘭主要栽培品種。目前文心蘭為臺灣蘭花產業中切花外銷產值第二高的種類，每年外銷約2,300萬枝切花，外銷國家包含日本、荷蘭、韓國、香港及美國等地，其中日本佔總出口值之90%以上(關務署，2023)。

在穩定的出口下，臺灣切花類文心蘭產業卻面臨品種單一的問題，僅仰賴單一品種'檸檬綠'，且市面上衍生變種多為黃色系，因此急需開發新色系之文心蘭切花；然而，切花類

1) 國立中興大學園藝系碩士班研究生

2) 農業部臺中區農業改良場埔里分場副研究員

3) 國家原子能科技研究院同位素應用研究所技術員

4) 國立中興大學園藝系教授，通訊作者

文心蘭在傳統雜交育種上具稔性低的問題，品種開發遇到重大阻礙。檸檬綠文心蘭為南西文心蘭在種苗繁殖過程中所選拔之變異品種，具有變異率高的特性，故使用誘變育種技術似可為切花文心蘭品種發展開闢新的道路(蔡等, 2021)。物理誘變與化學誘變技術相比，操作簡單安全性高、劑量測量準確，為較常使用之誘變育種方式(謝和謝, 1981)。

物理誘變依能量高低可分為非游離輻射與游離輻射，非游離輻射的能量很小，不會使物質發生游離現象，通常不具危險性，如UV射線、紅外線及微波爐等(Pathak *et al.*, 2018; Syaza *et al.*, 2017)；游離輻射具極高能量使物質產生正、負電荷的游離現象，其暴露源有放射性，如伽瑪射線、X射線及電子束(Khan *et al.*, 2019)。其中，伽瑪射線為常使用之放射線源，至今登錄超過1600種伽瑪射線誘變育成品種，接近誘變登錄品種之一半，包含5個蘭花變種(Álvarez *et al.*, 2019; IAEA, 2023)。

觀賞作物進行伽瑪射線誘變育種在選拔過程中需觀察變異性狀之穩定性，本研究選用2019年組織培養苗經不同劑量照射後所選拔之5株中階選拔株，待其開花後，根據開花性狀表現趨勢，進行切花或盆花品質分析並觀察後續新抽花莖是否保留其特性。

材 料 與 方 法

(一)植物材料來源

植物材料來源為2019年至蘭園購入之檸檬綠文心蘭瓶苗，其幼苗高度皆高於6 cm且帶有2片葉，每瓶約20至30株。於照射前2週將瓶苗放置中興大學園藝系花卉實驗室之水牆溫室馴化，照射當日將欲照射組織培養苗帶至國家原子能科技研究院進行伽瑪射線照射試驗，使用緩照射處理，放射源為鈷60(^{60}Co)，共分兩次照射，第一次照射劑量為10、20、40、80及160 Gy，第二次照射劑量則為35、50、65、80及95 Gy。每處理劑量3重複，每重複25株。處理完畢之瓶苗當日與對照組同時出瓶栽植至1.7吋透明塑膠軟盆中，介質為水苔。照射後5至8個月，根據葉片顏色、葉片形態、假球莖形態及蘭苗生育狀況進行初階選拔以建立誘變庫，選拔標準為外觀發生改變之植株。於照射後22個月，選拔生長勢恢復及側芽保留變異特性之植株，同時將其更換至2.5吋透明塑膠盆。最終共選拔出5株中階選拔株，包含M16(10 Gy)具早花特性、M39(20 Gy)具早花特性、M104(65 Gy)株型緊湊，生長勢強且假球莖數多，具有成為盆花的潛力、M114(50 Gy)假球莖飽滿，顏色深綠具有光澤和M115(40Gy)側芽為斑葉之植株，為後續試驗之植物材料。

(二)植株開花性狀調查

於2022年，待中階選拔株開花時，紀錄其初見花莖、初朵花開及切花採收日期，初見花莖之花梗需達4 cm以上。當花序上花朵開放數量超過一半時，即可進行植株性狀的調查。所有數量性狀調查均使用電子游標卡尺和小捲尺進行，對於顏色的測量則以目視搭配RHS色卡(Royal Horticultural Society colour chart fifth edition)進行比對，並輔以拍照紀錄。調查

項目如下:

1. 植株高度:為植株基部至花序頂部高度
2. 假球莖高度、寬度及假球莖數:假球莖性狀選擇當代假球莖進行調查
3. 葉片長度及寬度:葉片性狀選擇最大之葉片進行調查
4. 花序長度、花序寬度、小花朵數、花梗長及花梗寬
5. 花縱徑、花橫徑、花瓣厚度及底色:花朵性狀選擇最先開三朵進行調查。

(三)切花及盆花品質分析

於花梗主支末端剩3到5個花苞時，進行切花採收，此標準參考一般文心蘭切花外銷日本標準，即為八分熟。採收時，需避開日照較強時段，利用已消毒之解剖刀採收編號M16、M39、M114和M115誘變株，採收部位皆在基部花梗第一節位上之0.5 cm進行，採收後需進行預措處理，處理保鮮劑為 10 g L^{-1} 可利鮮(Chrysal, Netherlands)。

參考易(2012) 檸檬綠文心蘭切花分級標準，紀錄切花總長、分叉數、第一支分叉長及小花朵數並進行分級處理，長度85 cm以上，分叉數7叉以上，第一支分支長度17 cm以上為A級，長度75 cm以上，分叉數5-6叉以上，第一支分支長度12 cm以上為B級，長度65 cm以上，分叉數2-4叉以上，第一支分支長度10 cm以上則為C級。分級後重切切口並立即將切花插回保鮮液中。將濃度每平方公尺0.5 g之1-MCP錠(Ethyl Block)倒入50 ml小燒杯中，根據切花尺寸將切花及燒杯置入適當尺寸之呼吸缸(0.03或0.19立方公尺)中，在密封前加水至燒杯中，進行密閉薰蒸處理，共4小時，溫度 $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，薰蒸結束後將切花插入含10 ml新鮮瓶插液之保鮮管中。將薰蒸處理後之切花培養於光強度 $16\text{ }\mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ ，光週期12小時，溫度為 $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ 之室內環境中，進行後續瓶插壽命及花朵品質測定。測定項目包含: 1. 花朵萎凋數，以花朵唇瓣脈紋明顯且發生捲曲或花苞黃化下垂為判斷標準，每日調查; 2. 花朵萎凋率，萎凋花數/具開放能力的總小花朵數 $\times 100\%$; 3. 瓶插壽命，花梗主枝上花朵及花苞總數之一半萎凋的日數 (黃等，2003); 4. 花苞開放率(%), 瓶插壽命結束當日已開放花苞數/採收當日之花苞數 $\times 100\%$ 。

編號M104中階選拔株因側芽數多，株型緊湊，待其花朵開放數量超過一半時，進行盆花相關性狀調查，包含花梗數、植株高度、直立性、假球莖高度、假球莖寬度、假球莖數，葉長、葉寬、花序類型、分叉數、花序直立性、花序長、花序寬、小花朵數、花梗長、花梗寬、花縱徑、花橫徑、花瓣厚度、底色及整體花期。假球莖性狀選擇當代假球莖進行調查，葉片性狀選擇每花序最大之葉片進行調查，花朵性狀選擇每花序最先開三朵進行調查，花朵萎凋日數為花序上花朵開放數量超過一半時至75%花朵萎凋日數。

(四)高階選拔

依植株性狀和切花、盆花品質分析結果，進行最終之高階選拔。在選拔後調查後續兩代花梗是否保留優良性狀，以全株、花序和單朵小花進行影像記錄，並對選拔原因進行詳細敘述，同時，為了更清晰地呈現植株選拔的過程和結果，製作增生示意圖。肥培管理採用每週輪流使用1000倍濃縮的Peter's 20-20-20 (Scotts, USA) 和1000倍濃縮的Peter's 10-30-

20 (Scotts, USA)，每週施用一次，其餘天數則根據天候狀況進行澆水處理。

(五)統計分析

本試驗資料使用SAS(Statistic Analysis System software)及EXCEL軟體來做數據之統計分析，包含變異數分析(ANOVA)以最小顯著差異法(Least Significant Difference test, LSD)及t-test比較品種內處理間是否有顯著差異，並利用SigmaPlot 12.5 (Systat Software Inc., USA)進行繪圖。

結 果

(一) 植株開花性狀調查

於2022年調查五株中階選拔株開花時間，得知M114誘變株較對照組及其他選拔株提早抽花莖，初見花莖日數為189天。其次為M16誘變株，初見花莖日數為194天。M104及M115誘變株與對照組相似，皆在200至280天內抽花莖，而M39誘變株最晚開花，初見花莖日數為332天(表1)。

待中階選拔株開花時，進行性狀調查，得知M115誘變株之株高較對照組及其他中階選拔株高，達124 cm，最低則為M104誘變株，僅59.5 cm。在假球莖性狀上，M115誘變株之高度較對照組及其他中階選拔株高，達10 cm，最低則為對照植株，僅4 cm，而M114誘變株之寬度最寬，達3.8 cm，最低則為對照組，僅1.3 cm。在芽體數上，M104誘變株較對照組及其他植株多，達11個，最低則為M114誘變株，僅3個。在葉片性狀上，M114誘變株之葉長及葉寬較對照組及其他中階選拔株高，分別達27.7 cm及3.5 cm，最低則為對照植株，僅19.0及2.0 cm；在花莖性狀上，M115誘變株之花序長、花序寬、花朵數、花梗長及花梗寬皆較其他中階選拔株高，分別達58.0 cm、40.0 cm、105朵、66.0 cm及5.7 mm；在花朵性狀之花縱徑、橫徑及花瓣厚度上，M16誘變株較其他中階選拔株高，分別達4.2 cm、3.6 cm及0.8 mm，唇瓣底色則皆為純黃色(Y2A或Y3A)(表2)。

(二) 切花及盆花品質分析

在切花品質上，僅市場購入之切花及M115誘變株達A級。市場購入切花花莖總長為85 cm，具有11分叉，第一支分支長為21 cm，共有54朵小花，其瓶插壽命為13天，花苞開放率為100%。M115誘變株花莖總長為124 cm，具有8分叉，第一支分支長為39 cm，共有105朵小花，其瓶插壽命為19天，花苞開放率為89.5%(表3)。在花朵萎凋率上，可發現市場購入之切花較早發生萎凋，推測為大量花藥蓋在進行分級包裝時，因過度擠壓導致其脫落，產生內生乙烯所造成的。M16誘變株次之，花朵萎凋率於瓶插第9日時逐漸上升並於第15日超過50%。M39及M115誘變株則與對照組相似，花朵萎凋率皆於瓶插第10或11日開始上升，於17及19日超過50%。M114誘變株則較晚發生萎凋，花朵萎凋率於瓶插第13日之逐漸上升，第22日超過50%(圖1)。

在盆花品質上，M104誘變株帶有三個花梗，花梗株高分別為60、57及55 cm，芽體數共有11個，植株直立性皆為斜上，假球莖高度分別為7.5、8及7 cm，假球莖寬度分別為2.8、2.9及2.7 cm，葉長

表 1. 檸檬綠文心蘭三年生中階選拔株初見花莖、第一朵花開及切花採收天數

Table 1. DTFSI, DTFF, and DTH of 3-year-old intermediate selected mutants of *Oncidesa* Gower Ramsey 'Honey Angel'

Mutant and control	DTFSI ^y	DTFF ^x	DTH ^c
Control ^z	236	263	280
M16	194	237	247
M39	332	403	417
M104	279	331	-
M114	189	228	236
M115	234	285	311

^zun-irradiated plants^yNumber of days to flower spike initiation from January 2022^xNumber of days to first flowering from January 2022^cNumber of days to harvesting from January 2022

分別為30、28及27.5 cm，葉寬分別為2.8、2.4及2.7 cm，分叉數分別為4、4及3，花序長分別為29.5、30及29 cm，花序寬分別為17、15及12 cm，花朵數分別為35、40及25，花梗長分別為29.2、30.1及28.8 cm，花梗寬分別為3.8、3.9及4.3 cm，花縱徑分別為3.5、3.4及3.5 cm，花橫徑分別為3.1、3.2、3.0 cm，花朵厚度皆為0.7 cm，花色皆為Y4B，花期為42天，較對照組長6天(表4)。

(三)高階選拔

根據盆花及切花品質分析，最終從5株選拔出2株具有商業價值之誘變株，包含編號M104誘變株，於2023年07月30日同時抽出3支花莖，每花莖高度分別為60.0、57.0及55.0 cm，花序皆具有直立性，花梗長分別為29.2、30.1及28.8 cm，花序長分別為29.5、30.0及29.0 cm，花朵數分別為35、40及25朵，分叉數分別為4、4及3，整體花期為42天，其假球莖數多且排列整齊，側芽增殖能力佳，株型緊湊，花葉比2:1，花型整齊，具有抽多花梗能力，得知有優良盆花性狀(表4、圖2)。

編號M115誘變株，於2022年8月22日初見第1支花莖，植株高度為124 cm，花梗長66 cm，花序長58 cm，具105朵小花，分叉數為8，花縱徑4.0 cm，花橫徑3.3 cm，花色為純黃色(Y3A)，其花梗長且粗，分叉數及花朵數多，生長勢佳，瓶插壽命長，於瓶插第12日其花序分支上方花朵才開始發生萎凋的現象，適合作為切花。於後續觀察第2及第3支切花之品質，可發現切花總支長皆達123 cm，分叉數皆為7，切花品質皆達A級，花苞開放率皆達90%以上，得知其保留優良切花性狀(表3、圖3)。

表 2. 三年生檸檬綠文心蘭中階選拔株之植株性狀

Table 2. Vegetative and flowering traits of 3-year-old intermediate selected mutants of *Oncidesa* Gower Ramsey 'Honey Angel'

Characteristic ^z	Control	Market	M16	M39	M104	M114	M115
Plant height (cm)	85.5	-	94.0	84.0	59.5	68.5	124.0
Pseudobulb height (cm)	4.0	-	6.0	6.4	9.0	8.3	10.0
Pseudobulb width (cm)	1.3	-	2.3	3.1	2.8	3.8	3.0
Pseudobulb/Lateral shoot	4/0	-	6/2	9/1	9/2	3/0	5/3
Leaf length (cm)	19.0	-	23.0	23.5	18.0	27.7	21.5
Leaf width (cm)	2.0	-	2.5	3.0	2.5	3.5	3.2
Inflorescence length (cm)	28.2	44.0	49.0	46.0	36.0	32.5	58.0
Inflorescence width (cm)	26.0	21.0	27.0	28.0	22.0	26.0	40.0
Flower number	47	54	36	60	55	47	105
Peduncle length (cm)	27.8	41.0	45.0	38.0	26.5	36.0	66.0
Peduncle width (mm)	3.3	5.1	1.4	4.6	4.0	4.9	5.7
Flower length (cm)	4.0±0.1ab ^y	3.6±0.1 c	4.2±0.1 a	3.7±0.1 c	3.3±0.1 d	3.7±0.1 c	4.0±0.0 b
Flower width (cm)	3.3±0.0 b	3.1±0.1 c	3.6±0.1 a	2.9±0.0 d	2.9±0.0 d	3.0±0.0 cd	3.3±0.1 b
Petal thickness(mm)	0.6±0.1 b	0.6±0.1 b	0.8±0.0 a	0.6±0.0 b	0.6±0.1 b	0.6±0.0 b	0.7±0.0 ab
Lip color	Y3A	Y3A	Y3A	Y2A	Y2A	Y2A	Y3A

^z Plant height: From the base of the stem to the tip of the inflorescence ; Pseudobulb height: the height of the current pseudobulb from the base to tip ; Pseudobulb width: the most width of the position by current pseudobulb length ; Leaf length: From the leaf base to tip ; Leaf width: The longest extension of any two points on the blade edge ; Inflorescence length: From the base of the flower or branch to the tip of the inflorescence ; Inflorescence width: The longest extension of the inflorescence ; Flower number: The number of flower and flower buds on an inflorescence ; Peduncle length: From the base of the stem to the base of the first flower or first branch. ; Peduncle width: Breadth between two points on the peduncle at the lowest node. ; Flower length 、 Flower width 、 Petal thickness: The three earliest flowering flowers were surveyed.

^y Significant differences at the 5% level of significance are indicated by distinct letters in a column, according to the LSD

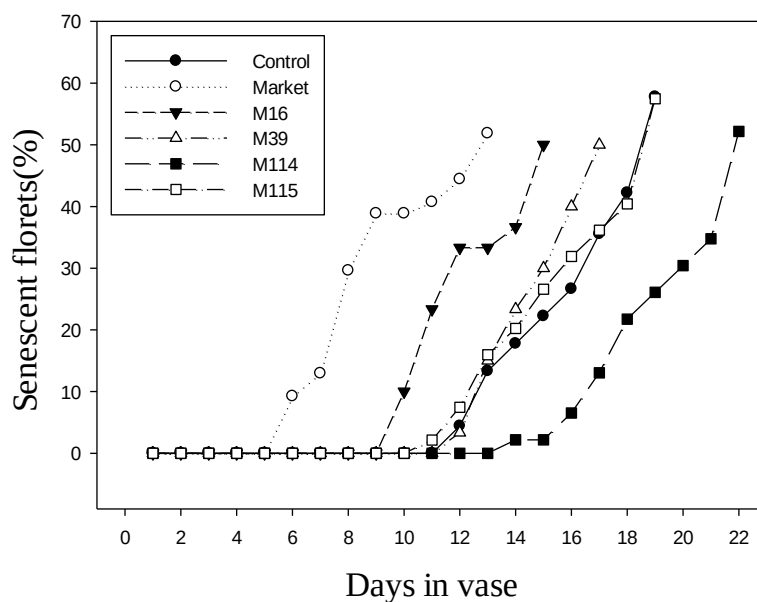


圖 1. 檸檬綠文心蘭三年生選拔株花朵萎凋率。

Fig 1. Senescence rate of open flowers from 3 years *Oncidesa* Gower Ramsey 'Honey Angel' mutant inflorescences.

表 3. 檸檬綠文心蘭三年生誘變株切花品質與等級

Table 3. Flower development characteristics of 3-year-old intermediate selected mutants of *Oncidesa* Gower Ramsey 'Honey Angel'

Mutants	Floral stalk						Bud opening %
	Plant height(cm)	Branch No.	First branch Length (cm)	Flower and bud No./ Inflorescence	Level	Vase life (Days) ^z	
Control	85.5	6	20.0	47	B	19	95.7
Market	85.0	11	21.0	54	A	13	100.0
M16	94.0	4	15.3	36	C	15	83.3
M39	84.0	8	19.0	60	B	17	100.0
M114	68.5	8	18.4	47	C	22	97.9
M115-1	124.0	8	39.0	105	A	19	89.5
M115-2	123.0	7	29.0	98	A	14	90.8
M115-3	123.0	7	18.0	77	A	19	92.2

^z Days of 1/2 flowers wilting

表 4. M104 中階選拔株盆花性狀調查

Table 4. Characteristic of potted plant on M104 intermediate selected mutants of *Oncidesa* Gower Ramsey 'Honey Angel'

Characteristic	CK	M104		
	<i>Oncsa.</i> Sweet Sugar	1 st Inflorescence	2 nd Inflorescence	3 rd Inflorescence
Plant height (cm)	52.0	60.0	57.0	55.0
Pseudobulb/shoot no.	5/1		11/0	
Attitude of leaves	semi-erect	semi-erect	semi-erect	semi-erect
Pseudobulb height (cm)	6.8	7.5	8.0	7.0
Pseudobulb width (cm)	2.3	2.8	2.9	2.7
Leaf length (cm)	28.0	30.0	28.0	27.5
Leaf width (cm)	2.3	2.8	2.4	2.7
Inflorescence type	simple panicle		simple panicle	
Branch No.	4	4	4	3
Inflorescence orientation	assurgent	erect	Erect	erect
Inflorescence length (cm)	30.0	29.5	30.0	29.0
Inflorescence width (cm)	19.0	17.0	15.0	12.0
Flower number	23	35	40	25
Peduncle length (cm)	23.0	29.2	30.1	28.8
Peduncle width (mm)	5.0	3.8	3.9	4.3
Flower length (cm)	5.4±0.2	3.5±0.0	3.4±0.0	3.5±0.0
Flower width (cm)	4.8±0.1	3.1±0.1	3.2±0.0	3.0±0.0
Petal thickness (mm)	0.8±0.0	0.7±0.0	0.7±0.0	0.7±0.0
Lip color	Y3A		Y4B	
Days of 75% flower wilting	36		42	

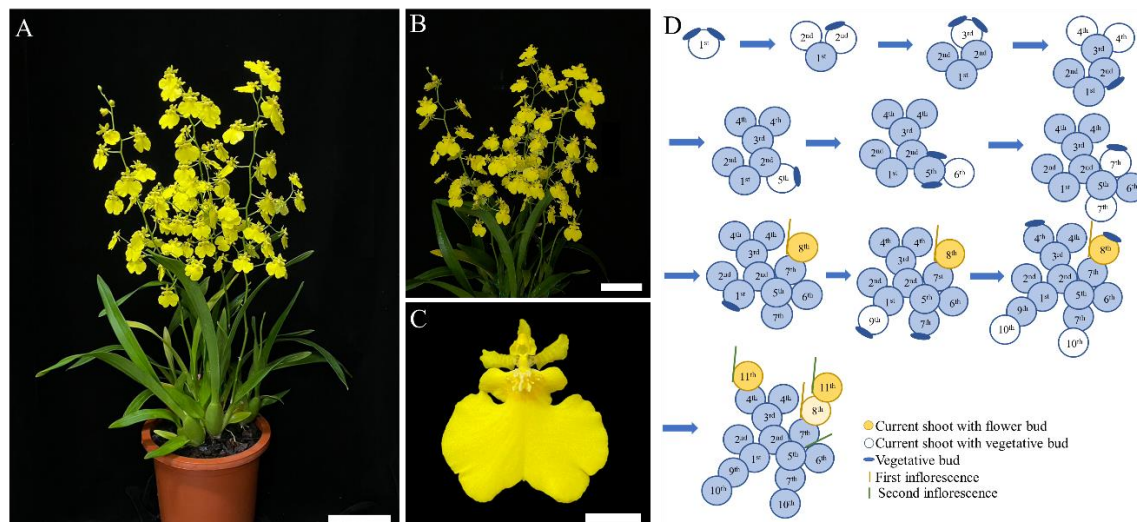


圖 2. 檸檬綠文心蘭三年生選拔株M104經劑量65 Gy伽瑪射線照射後三年之外觀形態。(A) 植株形態(Bar=10 cm)；(B)花序形態(Bar=10 cm)；(C)花朵(Bar=2 cm)，(D)假球莖增生示意圖，1st為第一世代，2nd為第二世代。

Fig 2. Morphological mutation(M1104) of *Oncidesa* Gower Ramsey 'Honey Angel' plants irradiated with 65 Gy gamma ray after 3 years. (A) Whole plant (Bar=10 cm), (B) Inflorescence (Bar=10 cm), (C) Flower (Bar=2 cm), (D) Schematic diagram of pseudobulb proliferation (1st: first generation, 2nd: second generation).

討 論

本研究使用組織培養苗進行伽瑪射線處理，可誘導葉片、假球莖及切花生理性狀發生改變，然而於照射後之第一代所發生的改變可能僅為受傷，需觀察後續幾個世代是否保留其特性以確定為變異(Ibrahim *et al.*, 2018)。本研究檸檬綠文心蘭組織培養苗經劑量10、20、40、80及160 Gy，35、50、65、80及95 Gy二次等比劑量照射處理，最終在劑量10 Gy及20 Gy選拔出具早花特性、劑量65 Gy選拔出芽體數多、劑量50 Gy選拔出假球莖膨大及劑量40 Gy選拔出斑葉性狀之中階選拔株。Sherpa等(2022)使用石斛蘭(*Den. Emma White*)類原球體進行照射處理也獲得相似的結果，在劑量10 Gy照射之類原球體其增殖率顯著高於對照組及各處理，並從再生植株中選拔6株具早花特性植株，第一個早花誘變株可較對照株提早660天開第一朵花。Dehgahi和Joniya (2017)使用石斛蘭(*Den. Sonia-28*)類原球體進行照射處理，在劑量60 Gy及80 Gy下，葉片出現白色塊斑及畸型現象。Billore等(2019)使用石斛蘭(*Den. Sonia*)芽體進行照射處理，於高劑量之黃光下培養下，側芽之葉片出現葉色變淡現象。前人推測提早開花發生原因為經低劑量照射處理可能觸發MADS-box基因及其他花朵發育訊號途徑的上調，造成提早開花的現象(Hsiao *et al.*, 2011)。葉色發生改變推測為伽瑪射

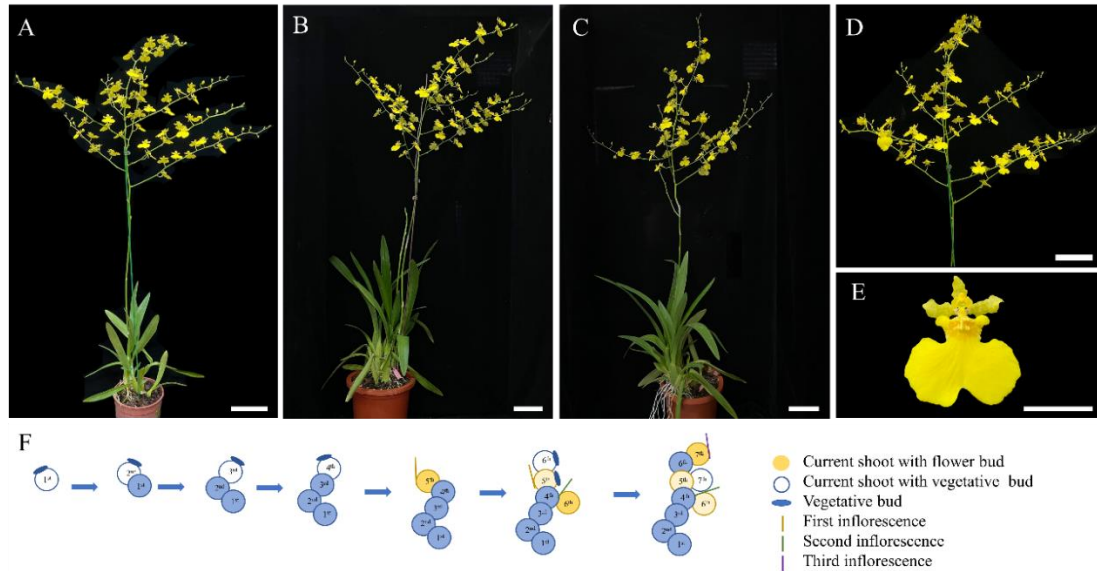


圖 3. 檸檬綠文心蘭選拔株M115經劑量40 Gy伽瑪射線照射後3年之外觀形態。(A)第一支花梗植株形態(Bar=10 cm)；(B)第二支花梗植株形態(Bar=10 cm)；(C)第三支花梗植株形態(Bar=10 cm)；(D)花序形態(Bar=10 cm)；(E)花朵(Bar=2 cm)；(F)假球莖增生示意圖，1st為第一世代，2nd為第二世代。

Fig 3. Morphological mutation(M115) of *Oncidesa* Gower Ramsey 'Honey Angel' plants irradiated with 40 Gy gamma ray after 3 years. (A) Whole plant of first flowering (Bar=10 cm), (B) Whole plant of second flowering (Bar=10 cm), (C) Whole plant of third flowering (Bar=10 cm), (D) Inflorescence (Bar=10 cm), (E) Flower (Bar=2 cm), (F) Schematic diagram of pseudobulb proliferation (1st: first generation, 2nd: second generation).

線照射處理造成葉綠體失去結構完整性，導致葉綠餅、類囊體被摧毀，使植株生理失調及染色體變形，因而導致葉片畸型率提高(Datta, 1997；Gabara *et al.*, 2003)。而側芽數增加則推測為經照射處理使頂芽受到傷害，失去頂芽優勢，因而促進側芽萌發。

檸檬綠文心蘭組織培養苗採用的選拔方式為先根據外觀性狀有無改變進行選拔，再根據側芽是否保留變異性狀進行中階選拔，最終觀察第5個側芽是否保留變異性狀及根據切花、盆花品質進行高階選拔，選拔出2株具有商業價值之誘變株。Sherpa等(2022)使用石斛(*Den. Emma White*)類原球體進行伽瑪射線誘變，待植株開花時，選拔6株具早花特性植株。在選拔時程上，三年生中階選拔株來自前人在2019年8至10月進行組織培養苗不同劑量照射處理，於照射後5個月進行初選拔，照射後11至13個月進行中階選拔，經過植株性狀調查及切花品質分析，於照射後約42個月進行高階選拔。Sherpa等(2022)使用石斛蘭(*Den.*

Emma White)類原球體進行等比劑量照射處理，在體外培養12至13個月後，將再生小苗出瓶栽培於溫室中，於出瓶後21至22個月選拔出具早花特性之誘變株，從照射至選拔共需33個月；因於選拔前未進行切花及盆花品質分析，較本研究提早9個月進行選拔。

本試驗共選拔2株表現優良單株，初步確認1株栽培性狀良好，1株具觀賞性，而選拔出之單株後續使用分株及組織培養技術進行保種及大量繁殖，並確認選拔之優良性狀表現穩定且無負面性狀出現。

參考文獻

- 中華民國財政部關務署。2023。海關進出口統計。〈<https://portal.sw.nat.gov.tw/APGA/GA30>〉
- 易美秀。2012。文心蘭。臺中區農業改良場特刊 112:137-146。
- 黃肇家、杜武俊、陳弘毅、蔡金玉、賴淑芬、黃慧穗。2003。農試文保一號'與 1-MCP 對文心蘭切花經模擬銷日運輸及檢疫燻蒸之保鮮效果。中國園藝 49:55-62。
- 蔡瑜卿、安志豪、郭婷、劉明宗。2021。文心蘭品種權申請案件分析與試驗檢定方法修訂概述。種苗科技專訊 114:18-22。
- 謝順景、謝日鑫 合譯。1981。誘變育種學。國立編譯館。台北。臺灣。
- Álvarez, H.A., N.R.C. Morales, A.H.C. Avendaño, L.R. Corrales, G.F. Villarrea, E.E. Santellano, and S.Y. Gomez. 2019. Mean lethal dose (LD₅₀) and growth reduction (GR₅₀) due to gamma radiation in Wilman lovegrass (*Eragrostis superba*). Rev. Mex. Cienc. Pec. 10:227-238.
- Billore, V., S.J. Mirajkar, P. Suprasanna, and M. Jain. 2019. Gamma irradiation induced effects on *in vitro* shoot cultures and influence of monochromatic light regimes on irradiated shoot cultures of *Dendrobium Sonia* orchid. Biotechnol. Rep. 24: e00343.
- Datta, S.K. 1997. Ornamental plants: Role of mutation. Daya Publishing House, Delhi, India.
- Dehgahi, R. and A. Joniyasa. 2017. Gamma irradiation-induced variation in *Dendrobium Sonia*-28 orchid protocorm-like bodies (PLBs). Fungal Genom. Biol. 7:151.
- Gabara, B., M. Skłodowska, A. Wyrwicka, S. Glińska, and M. Gapińska. 2003. Changes in the ultrastructure of chloroplasts and mitochondria and antioxidant enzyme activity in *Lycopersicon esculentum* Mill. leaves sprayed with acid rain. Plant Sci. 164: 507-516.
- Hsiao, Y.Y., Z.J. Pan, C.C. Hsu, Y.P. Yang, Y.C. Hsu, Y.C. Chuang, H.H. Shih, W.H. Chen, W.C. Tsai, and H.H. Chen. 2011. Research on orchid biology and biotechnology. Plant Cell Physiol. 52:1467-1486.
- Ibrahim, R., Z. Ahmad, S. Salleh, A.A. Hassan, and S. Ariffin. 2018. Mutation breeding in ornamentals. In: Ornamental Crops, J. Van Huylenbroeck(ed.), Springer: Cham. pp. 175-209.
- International Atomic Energy Agency. 2021. Mutant Variety Search. Vienna International Centre,

- Austria. 20 August 2021. < <https://mvd.iaea.org/>>.
- Khan, S., M. Sayed, M. Sohail, L.A. Shah, and M.A. Raja. 2019. Advanced oxidation and reduction processes. In: *Advances in Water Purification Techniques*, S. Ahuja. (ed.), Elsevier. pp. 135-164.
- Pathak, B., P.K. Omre, B. Bisht, and D. Saini. 2018. Effect of thermal and non-thermal processing methods on food allergens. *Progressive Res. Int. J.* 13:314-319.
- Sherpa, R., R. Devadas, S.N. Bolbhat, T.D. Nikam, and S. Penna. 2022. Gamma radiation induced *in-vitro* mutagenesis and isolation of mutants for early flowering and phytomorphological variations in *Dendrobium* 'Emma White'. *Plants* 11:3168.
- Syaza, S.K.F., R. Umar, S.N. Hazmin, M.K.A. Kamarudin, A. Hassan, and H. Juahir. 2017. Non-ionizing radiation as threat in daily life. *J. Fundam. Appl. Sci.* 9:308-316.

The Advanced Selection Lines of *Oncidesa* Gower Ramsey 'Honey Angel' were Irradiated by Gamma Rays

Tsun-Ya Chuang¹⁾ Hui-Chuan Hung²⁾ Hui-Ping Chu³⁾ Chen Chang⁴⁾

Key words: Cut *oncidium* orchid, *In vitro* plantlet, Radiation-induced mutation, Advanced selection

Summary

This study focused on analyzing five 3-year-old intermediate-selected mutants derived from *in vitro* plantlets irradiated with different doses in 2019. The analysis included cut flower or potted plant characteristics, leading to advanced selection. The results showed that two mutants exhibited both popularity and novelty. The M104 mutant plant has a height of 60 cm, 11 shoots, 3 peduncles, 100 flowers, and a 42-day duration for 75% flower wilting. It is suitable for being a potted plant due to its high proliferation ability, neatly arranged pseudobulbs, compact plant structure, multiple peduncles, and flowers oriented on the same side. The M115 mutant plant, on the other hand, has a height of 124 cm, 8 branches, a first branch length of 39 cm, 105 flowers, a vase life of 19 days, and an 89.5% bud opening rate. It is suitable for being a cut flower due to its taller and thicker plant height, higher flower and branch numbers, and good cultivation properties.

-
- 1) Student in M.S. Program, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.
 - 2) Associate Researcher, Puli Branch, Taichung District Agricultural Research and Extension Station, Ministry of Agriculture.
 - 3) Technician, Department of Isotope Application Research, National Atomic Research Institute.
 - 4) Professor, Department of Horticulture, National Chung Hsing University, Corresponding author.

園藝活動肌力促進效益

徐 園 善¹⁾ 吳 振 發²⁾

關鍵字：肌少症、阻力運動

摘要：本研究探討園藝活動對於肌少症肌力與肌肉質量增長的效益，研究先初步設計適合肌少症患者的園藝活動，彙整適合肌少症與老人的阻力運動訓練肌力原則，蒐集園藝活動文獻，以攝氧量的代謝當量(METs)、心率百分比(% HR max)以及感知運動評分(RPE)量表去評斷運動強度指標，參考園藝動作、阻力運動上下肢的肌電圖(EMG)，整合以上資訊設計出園藝肌力訓練活動。實驗招募 22 名潛在肌少症病患進行園藝肌力訓練課程，分成實驗組 11 人，介入 3 個月 24 堂園藝活動(一週 2 堂，一堂 60 分鐘)；對照組 11 人維持正常生活 3 個月，兩組實驗結束後的 2 個月進行追蹤測量。實驗過程均調查握力、大腿 EMG 峰值、肌肉質量，實驗組額外調查園藝活動的運動強度。介入 3 個月園藝活動後，實驗組左手握力顯著平均成長 45.6%，右手握力顯著成長 56.4%；左腳 EMG 峰值顯著平均成長 69.5%，右腳 EMG 峰值顯著平均成長 53.6%。各部位的肌肉質量成長則不明顯，全身肌肉質量平均成長 1.04kg。實驗結束後再進行 2 個月追蹤測量，依舊可以保持肌力與肌肉，且與對照組相比，實驗組左右手握力、左右大腿 EMG 峰值有明顯成長差別。可以進一步證明出園藝活動可以作為輔助改善肌肉力量一個方法。

前 言

肌少症又稱為肌肉減少症，在 2019 年正式確認為一種肌肉疾病，症狀為肌肉質量、力量 and 功能的喪失 (Cruz-Jentoft et al., 2019)，肌少症為臺灣高齡者中為常見的肌肉疾病，在台灣社區老年人的肌少症流行病學研究指出，肌少症的盛行率為 7.3%，女性為

1) 國立中興大學園藝學系碩士班學生

2) 國立中興大學園藝學系教授，通訊作者

比率已經超過 14%，已經正式進入高齡化社會，並預估在 2025 年老年人口比率會再超過 20%，邁入超高齡化社會 (國家發展委員會, 2020)，這也表示台灣未來患有肌少症的人口機率會逐年升高。

以往在認為肌肉力量減少是一個正常的衰老現象而不是個疾病，常被人忽略不去注意，然而肌少症常會造成老年失能的關鍵因素，並且與許多不良健康結果之間有所關聯，肌少症會增加跌倒和骨折的風險導致行動障礙，損害日常生活活動的能力，導致容易衍生出心血管疾病、呼吸系統疾病、認知障礙、代謝疾病，最後導致生活質量下降，喪失獨立性或需要長期護理，並且肌少症與死亡率之間存在一致性關聯 (Syddall, Cooper, Martin, Briggs, & Aihie Sayer, 2003)，同時增加醫療保健費用 (Tsekoura et al., 2018)。

在治療和預防肌少症的方法上，阻力運動是最有證據的介入措施之一。大量研究表明阻力運動對肌少症的症狀與有積極影響，如肌肉力量 (Chen, H. T., Chung, Chen, Y. J., Ho, & Wu, 2017)、肌肉質量 (Goodpaster et al., 2008) 以及身體表現 (Häkkinen et al., 2018) 有正面的影響。在飲食治療上也要配合運動的刺激才會活化肌肉，在蛋白質和氨基酸與阻力訓練或其他補充劑相結合對肌肉質量、力量和身體活動表現的益處 (Bauer et al., 2015; Liao, Chen, Huang, & Liou, 2019)，表示改善老年人的肌肉質量和肌肉力量需要藉由運動的訓練才會進一步增加效果。

現今園藝活動的相關文獻大部分研究治療認知功能障礙和改善人的心靈思考方向為主，例如減輕個人的失落感，增加創造力、自我表達、社交互動、自尊 (D'Andrea, Batavia, & Sasson, 2007)。肌肉的訓練治療相關的文獻較少，目前只有確定園藝為低至中等強度的活動 (Park, Oh, Lee, & Son, 2013; Park, Lee, A. Y., Son, Lee, W., & Kim, 2016; Park et al., 2017)，園藝的動作可運用到各種上肢和下肢肌肉 (Park, Oh, Lee, & Son, 2013; Park et al., 2014)，針對採用園藝活動進行肌力訓練的研究較少，因此探討老年人介入園藝活動，對於肌力與肌肉質量的增長是一個值得研究的議題。

材料與方法

一、園藝活動強度設計

本研究進行肌少症園藝強度設計，需考量老年人阻力運動建議強度要有交互輪替，以免在後面課程強度逐漸增強導致在後面課程會有體力無法負荷的現象 (Andy, Stef, & Mark, 2022)。按照老年人阻力運動轉化園藝活動設計原則中的強度規劃，在前一週課程規劃輕強度園藝活動(感知運動強度8-10分)，讓新手與沒有進行運動的人先適應園藝活動操作與強度。第二、三週中強度園藝活動(感知運動強度11-13分)與高強度園藝活動(感知運動量表14-16分)。第4至12週強度安排為3週一個循環(表3-3)。依據阻力訓練的超負荷的原則 (Hurst et al., 2022)，每一課程主題會漸進式增加運動強度(表1)。

表 1. 園藝活動強度規劃

Table 1. Planning of horticultural activity intensity.

強度循環	訓練週數	課堂數(感知運動強度)	
第1次強度循環	第1週	第1堂(8-10分)	第2堂(8-10分)
	第2週	第3堂(11-13分)	第4堂(11-13分)
	第3週	第5堂(11-13分)	第6堂(14-16分)
第2次強度循環(比第1次整體加強運動強度)	第4週	第7堂(11-13分)	第8堂(11-13分)
	第5週	第9堂(11-13分)	第10堂(11-13分)
	第6週	第11堂(14-16分)	第12堂(14-16分)
第3次強度循環(比第2次整體加強運動強度)	第7週	第13堂(11-13分)	第14堂(11-13分)
	第8週	第15堂(11-13分)	第16堂(14-16分)
	第9週	第17堂(14-16分)	第18堂(14-16分)
第4次強度循環(比第3次整體加強運動強度)	第10週	第19堂(11-13分)	第20堂(11-13分)
	第11週	第21堂(11-13分)	第22堂(11-13分)
	第12週	第23堂(14-16分)	第24堂(14-16分)

二、課程時程規劃

課程時程會按照中老年人阻力文獻的訓練時長、訓練時間總長度、訓練頻率來規劃園藝課程，下列為園藝課程的時程規劃細節。

(一)執行期間：2023 年 2 月 16 日至 5 月 22 日。

(二)介入時間長度：介入時間長度為 3 個月，共 24 堂園藝活動課程。

(三)課程頻率：1 週 2 堂園藝活動，星期一與星期四進行，假日或大雨會延期一次。

(四)課程長度：課程時間設計總共 100 分鐘，時間包含講解 20 分鐘、暖身 10 分鐘、園藝實作 60 分鐘、收拾材料工具 10 分鐘。

(五)進行時間：規劃上午場 9:00-11:00；下午場 14:00-16:00 進行。

三、課程內容規劃

依照園藝強度性質與技巧難易分類，分類成蔬菜、香草、觀賞花卉、觀葉與植栽應用這 4 個主題去設計園藝活動課程，並且依照園藝活動強度規劃(表 1)進行課程規劃，課程設計的規劃在前期的課程偏向植栽繁殖作業；中期為造園的景觀佈置訓練、後期為完整施作一個小庭園空間，下列為 24 堂園藝肌力訓練課程的時程規劃(表 2)。

表 2. 24 堂園藝肌力訓練課程的時程

Table 2. Schedule of 24 sessions horticultural strength training course.

		星期一	星期四
準備週		2/16	上課行前講解
蔬菜主題	2/20	課程 1:蔬菜苗種植	2/23 課程 2:蔬菜扦插
	2/27	和平紀念日	3/2 課程 3:蔬菜長盆種植
	3/6	課程 4:可食組合盆	3/9 課程 5:魚菜共生蔬菜田
	3/13	課程 6:蔬菜攀架	
香草主題			3/16 課程 7:香草扦插
	3/20	課程 8:香草換盆	3/23 課程 9:香草分株與扦插
	3/27	課程 10:香草塔	3/30 課程 11:紅磚香草園 1(整地)
	4/3	清明節連假	4/6 課程 12:紅磚香草園 2 (排磚、種植植物)
花卉主題	4/10	課程 13:球根花卉分株	4/13 課程 14:葉拓、馬賽克水泥鋪面
	4/17	課程 15:螺旋磚頭花圃	4/20 課程 16:英式庭園 1 (整地與鬆土)
	4/24	課程 17:英式庭園 2 (鋪面鋪設)	4/27 課程 18:英式庭園 3 (植物種植)
觀葉與 植栽應 用主題	5/1	課程 19:蘭花瀑布牆	5/4 大雨延期
	5/8	課程 20:觀葉植物扦插	5/11 課程 21:木棧板木頭箱 1 (木頭組合)
	5/15	課程 22:木棧板木頭箱 2 (植物種植)	5/18 課程 23:日式庭園 1 (整地、造景施作)
	5/22	課程 24:日式庭園 2 (枯木擺設、植物種植)	

三、課程操作場地規劃

(一)園藝活動操作地點

園藝活動操作地點位於國立中興大學的園藝療育園區(臺中市南區興大路 145 號，作物科學大樓旁)，園區設有給受試者操作空間與操作桌，也設置育苗區給受試者放置移植植物與扦插苗、另外規劃植物材料區、資材區、工具間，讓受試者自行拿取材料與工具到指定位置操作，各課程操作的位置詳細標於平面圖(圖 3-1)，此規劃可以讓受試者可以有目的地去資材區、植物材料區、工作間領取指定材料與工具，利用端盤或工具箱搬運多個材料與工具時，可以產生搬運類型的動作，並作為園藝活動施作前的暖身活動。植物種植所需要的泥土介質會從落葉堆肥區作為主要土壤的來源，讓受試者可以自行去挖

土、篩土與搬土，可以額外增加圓鋤挖土、搬運等阻力運動。

(二)實驗數據測量地點

人體生理數據測量地點位於中興大學園藝系的一樓教室室內空間(H104)，可以排除許多環境干擾因素，如陽光、溫度、濕度、地面平整、蚊蟲等因素。

四、受試者收案

本實驗會預計招募 20 個有願意參加園藝活動的受試者(實際收到 22 名)，受試者收案的標準會按照亞洲老年人肌少症工作組(AWGS)篩選出有肌少症風險的受試者進行園藝活動介入，收案程序如下：

(一)人體研究審查

由於本研究是屬於人體研究，進行實驗之前需申請人體研究倫理審查委員會(Institutional Review Board IRB)，並在 2023 年 1 月 16 日向中國醫藥大學暨附設醫院研究倫理中心提出申請，並於 2023 年 3 月 13 日通過。

(二)受試者收案流程

- 1.實驗招募資訊公布在園藝相關社團。
- 2.欲報名者先跟研究方預約時間進行個案篩選。
- 3.進行 SARC-F-Calf 問卷調查與簡易身體功能(SPPB)測試。
- 4.符合資格與願意配合的受試者，須詳細閱讀與簽實驗同意書與實驗的課程流程介紹。
- 5.記錄受試者性別、年齡、以前的職業、日常生活情形與導致肌力與體能下降相關病史。

(三)受試者符合條件(潛在肌少症風險個案)

- 1.可以全程參與實驗的自願受試者。
- 2.身體沒有虛弱與重大疾病(癌症、免疫系統疾病)，沒有認知功能障礙。
- 3.3 個月內沒有進行阻力體能訓練。
- 4.本實驗研究對象設為有肌少症風險的個案，在 SARC-F-Calf 問卷需 ≥ 11 分。
- 5.考量園藝活動具有搬運重物和長時間挖掘的動作，簡易身體表現功能(SPPB)評估受試者的步態平衡與行為能力，SPPB 量表分數需 ≥ 9 分。

(四)受試者排除條件

- 1.中途無法配合或多次缺席。
- 2.中途受傷或其他因素導致身體虛弱、行動不便者。

五、實驗組與對照組規劃

符合潛在肌少症風險的 23 位受試者依照報名順序分成實驗組 11 名和對照組 12 名，進行以下實驗流程。

(一)實驗組(園藝活動介入組)

實驗組在每次階段都會測量左右手握力(kg)，左右大腿 EMG 峰值(μv)，全身、左臂、右臂、左腿、右腿、軀幹肌肉質量(kg)。測量流程為參加園藝活動之前，要先進行實驗前測(2/16)，記錄還沒進行園藝活動的最初生理數值，之後每一個禮拜進行實驗中測

(2/23-5/15)，為每 2 堂課測量 1 次，共測量 11 次，最後園藝活動介入 3 個月後進行實驗後測(5/22)，日後停止介入園藝活動，2 個月後進行實驗後追蹤測量(7/22)。另外實驗組每一堂園藝活動結束後額外需要測量園藝活動強度，利用感知運動評分量表(RPE)記錄的每次操作的園藝活動強度(圖 1)。

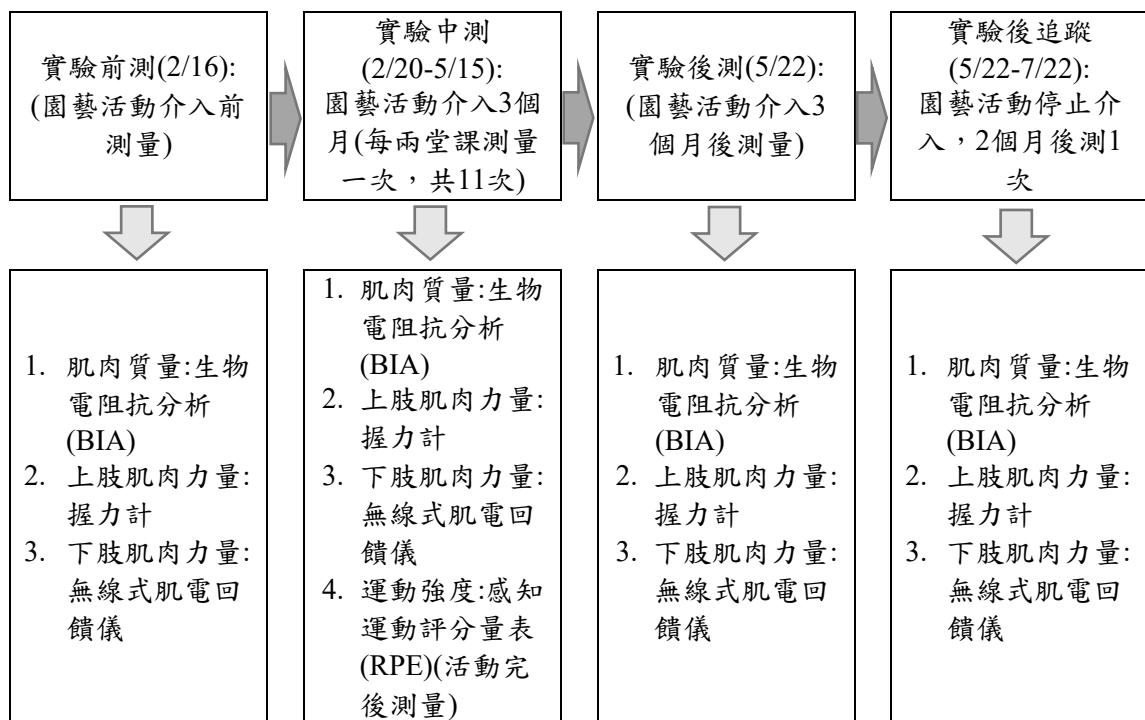


Fig. 1. Experimental group experimental flowchar

(二)對照組(無園藝活動介入組)

對照組一樣在每個階段需測量左右手握力(kg)，左右大腿 EMG 峰值(μv)，全身、左臂、右臂、左腿、右腿、軀幹肌肉質量(kg)，與實驗組在同一時間進行前測(2/16)，前測後不進行 3 個月園藝活動的介入維持正常作息，並日後每一個月需後測一次(2/23-5/22)，一共測量 3 次，測量的日子分別為 3/22、4/22、5/22。後測結束後再進行 2 個月的後測追蹤測量(7/22)(圖 2)。

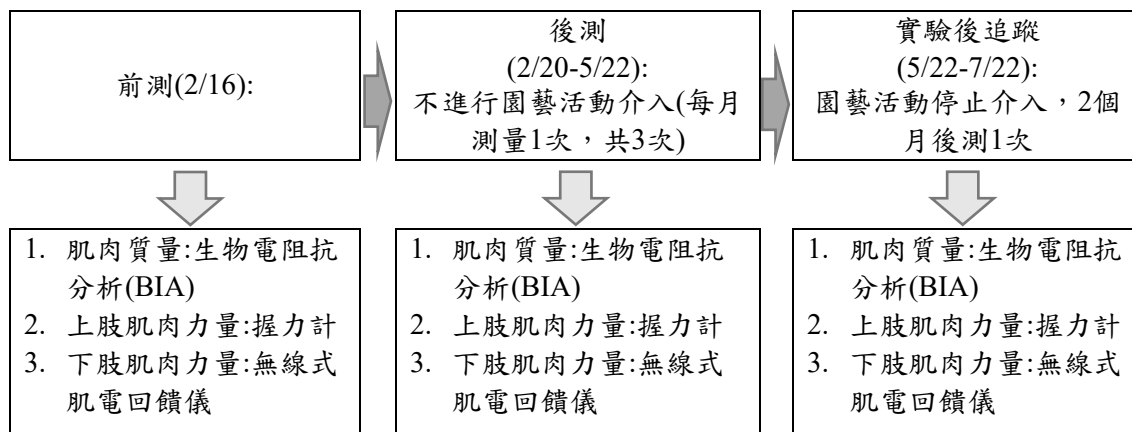


圖 2. 對照組實驗流程圖

Fig. 2. Control group experimental flowchart

結 果

一、受試者基本資料

本實驗共徵召 22 名符合資格的受試者，之後依照報名的順序分為實驗組與對照組，實驗組與對照組分別為 11 名與 11 名，性別幾乎為女性，只有對照組有兩位男性，平均年齡分別為實驗組 63.1 歲與對照組 65.5 歲；對照組女性平均身高 156.5 公分、男性平均身高 164 公分，大部分受試者為退休的人士，並完全參與整個實驗的課程與測量。

二、握力不同介入時長前後差異

實驗組在 T8 時間點左手握力開始有顯著差異，表示園藝活動介入第 15 次時，介入時長 2 個月的時間，左手握力平均提升 5.48kg，開始有顯著提升，園藝活動介入第 11 次 (5/15)，測量出最高平均左手握力增長 (7.24kg)，且與 T1、T2、T3 時間點有顯著差異 (表 3)。對照組在 T3 測量時間點右手握力增長有顯著差異 (表 4-11)，但成長幅度遠小於實驗組平均右手握力增長 8.85kg。實驗組在 T2 時間點右手握力開始有顯著差異，但要在 T8 時間點才会有穩定顯著差異，在 T9、T11、T11、T12 的時間點右手握力增長都顯著差異，表示園藝活動介入第 15 次時，介入時長 2 個月的時間，右手握力平均提升 7.67kg 才會開始顯著提升，園藝活動介入最後一次測量出最高平均右手握力增長 (8.85kg)，且與 T1、T2、T3 時間點有顯著差異 (表 3)。

三、大腿 EMG 峰值不同介入時長前後差異

實驗組在 T12 時間點左腿 EMG 峰值開始有顯著差異，表示園藝活動介入第 23 次時，介入時長 3 個月的時間，左腿 EMG 峰值平均提升 30.26 μ v 才会有顯著提升，園藝活動介入最後一次測量出最高左腿 EMG 峰值平均增長 64.77 μ v，與 T1 時間點有顯著差異，右腿

EMG 峰值雖然在 T1 時間點出現退步情形，但之後有持續成長，增長的情形在 T12 時間點右腿 EMG 峰值開始有顯著差異，表示園藝活動介入第 23 次時，介入時長 3 個月的時間，右腿 EMG 峰值平均提升 $25.78\mu\text{v}$ 才会有顯著提升，園藝活動介入最後一次測量出最高右腿 EMG 峰值平均增長 $52.49\mu\text{v}$ ，與 T1 時間點有顯著差異(表 4)。

四、肌肉質量不同介入時長前後差異

實驗組在 T2、T7 時間點全身肌肉質量增長有顯著差異，在 T7 時間點測量出最高全身肌肉質量，平均增長 1.05kg ，但在 T8 時間點全身肌肉質量有衰退的情形，後續到實驗結束只有微幅增長且無顯著差異。實驗組在左臂肌肉質量增長也無顯著差異，雖然左臂肌肉量在一開始與有成長的現象，但日後左臂肌肉質量增長不穩定，與全身肌肉質量增長趨勢類似，雖然在 T7 時間點測量出最高平均增長(0.14kg)，但在 T8 之後左臂肌肉質量有衰退且增長幅度不大，T8 後續到實驗結束只有微幅增長且無顯著差異。實驗組在右臂肌肉質量增長也無顯著差異，雖然右臂肌肉量在一開始與有成長的現象，但日後右臂肌肉質量增長不穩定，雖然在 T7 時間點測量出最高平均增長(0.11kg)，但在 T8 之後左臂肌肉質量有衰退的情形，T8 後續到實驗結束只有微幅增長且無顯著差異。實驗組在一開始 T1、T2 時間點左腿肌肉質量有減少的情形，但在日後實驗測量左腿肌肉質量有增長的情形，並在 T6、T7、T9 時間點左腿肌肉質量增長與 T2 時間點有顯著差異，園藝活動介入中在 T11 時間點測量出最高左腿肌肉質量，平均增長 0.29kg ，並與 T1、T2 時間點有顯著差異。實驗組在右腿肌肉質量增長也無顯著差異，在 T1-T3 之間肌肉質量有增長的情形，但在 T4、T5 時間點肌肉質量有下降的趨勢，在 T7 時間點測量出右腿最高肌肉質量，平均增長 0.32kg ，後續右腿肌肉增長趨勢雖與左腿肌肉質量增長趨勢類似有微幅增長，但無顯著差異。實驗組在軀幹肌肉質量增長也無顯著差異，在 T7 時間點測量出最高肌肉質量，平均增長 0.23kg ，整體軀幹肌肉增長無呈現線性分布，且後期軀幹肌肉有減少的趨勢，推測為園藝動作沒有針對軀幹肌肉部位去做訓練(表 5)。

討 論

一、介入園藝活動握力顯著提升

進行 3 個月的園藝活動中，實驗組的左手與右手握力與對照組相比有顯著提升，符合 Yun 等人(2009 年)在失智者介入園藝活動可提升左手與右手的握力表現(Yun & Kim, 2009)。在 Nascimento 等人(2014 年)對於老年高血壓女性握力研究中，以一週進行 2 次阻力運動並介入 14 週後握力有所增加(Nascimento et al., 2014)。在老人健康的調查中，從事低強度和中強度園藝超過 120 分鐘的握力會顯著高於從事少於 120 分鐘的握力(Park, Shoemaker, & Haub, 2009)。在本研究中，以一週介入 2 次中強度的園藝活動模式中，在 2 個月測量之後左手與右手握力有明顯提升，每堂課都會進行工具與資材搬運，土壤挖掘等動作，在高強度課程中會加入整地訓練、石頭資材的使用增加運動強度。實驗結果與

表 3. 實驗組握力不同介入時長前後差異

Table 3. Differences in grip strength before and after varied intervention durations in the experimental group.

介入時 間	左手		右手	
	增長握力平均(kg)	SD	增長握力平均(kg)	SD
T1	0.35 d	2.58	1.40 d	3.54
T2	2.09 cd	4.05	2.57 cd	3.14
T3	2.70 bcd	4.34	3.23 bcd	4.81
T4	3.73 abcd	4.45	5.37 abcd	4.81
T5	2.77 bcd	3.95	4.15 abcd	5.24
T6	3.17 abcd	3.87	4.65 abcd	6.06
T7	3.15 abcd	4.20	4.73 abcd	5.99
T8	5.48 abc	4.44	7.68 abc	5.20
T9	5.89 abc	5.42	6.96 abc	6.17
T10	4.47 abcd	4.63	6.33 abcd	5.88
T11	7.24 a	4.44	8.41 ab	5.45
T12	6.83 ab	5.31	8.85 a	6.10

註：數據顯示為平均值，且同一列英文字母(a,b,c,d)相同者，表示鄧肯法(Duncan method)5%最小顯著差異分析結果不顯著。

表 4. 實驗組大腿 EMG 峰值前後對照差異

Table 4. Contrasting differences in thigh emg peak values before and after in the experimental group.

介入 時間	左腿 EMG 峰值		右腿 EMG 峰值	
	平均增長 EMG 峰值(μ v)	SD	平均增長 EMG 峰值(μ v)	SD
T1	11.70 b	45.58	-1.40 b	41.88
T2	21.31 b	39.37	9.99 b	29.90
T3	29.45 ab	48.80	4.62 b	33.62
T4	29.62 ab	48.68	28.79 ab	29.05
T5	23.57 b	36.57	24.27 ab	48.87
T6	25.55 b	43.25	20.92 ab	45.69
T7	24.05 b	28.63	25.78 ab	36.15
T8	26.15 b	40.38	22.95 ab	30.74
T9	30.27 ab	36.03	27.05 ab	35.50
T10	38.98 ab	32.78	31.26 ab	55.80
T11	41.25 ab	31.08	37.61 ab	38.42
T12	64.77 a	38.97	52.49 a	54.34

註：數據顯示為平均值，且同一列英文字母(a,b,c,d)相同者，表示鄧肯法(Duncan method)5%最小顯著差異分析結果不顯著。

表 5. 實驗組肌肉質量不同介入時長前後差異

Table 5. Differences in muscle mass before and after varied intervention durations in the experimental group.

介入 時間	全身 肌肉質量		左臂 肌肉質量		右臂 肌肉質量		左腿 肌肉質量		右腿 肌肉質量		軀幹 肌肉質量	
	增長 平均(kg)	SD	增長 平均	SD	增長 平均	SD	增長平均 (kg)	SD	增長平均 (kg)	SD	增長 平均	SD
			(kg)		(kg)						(kg)	
T1	0.09 ab	0.47	0.05	0.08	0.03	0.06	-0.03 bc	0.19	0.03	0.22	0.01	0.36
T2	0.05 a	0.73	0.05	0.08	0.02	0.08	-0.11 c	0.26	0.10	0.28	-0.02	0.54
T3	0.61 ab	0.67	0.09	0.08	0.07	0.10	0.14 abc	0.25	0.24	0.22	0.07	0.49
T4	0.50 ab	0.51	0.08	0.08	0.07	0.08	0.11 abc	0.27	0.10	0.26	0.14	0.39
T5	0.58 ab	0.88	0.07	0.09	0.07	0.08	0.08 abc	0.24	0.07	0.27	0.10	0.38
T6	0.61 ab	0.66	0.08	0.09	0.05	0.08	0.21 ab	0.21	0.17	0.16	0.11	0.48
T7	1.05 a	1.05	0.14	0.14	0.11	0.12	0.26 ab	0.35	0.32	0.28	0.23	0.68
T8	0.70 ab	1.06	0.09	0.14	0.03	0.09	0.17 abc	0.28	0.22	0.24	0.19	0.47
T9	0.78 ab	1.38	0.09	0.18	0.06	0.11	0.24 ab	0.31	0.25	0.27	0.15	0.76
T10	0.74 ab	1.45	0.09	0.16	0.08	0.13	0.16 abc	0.47	0.31	0.53	0.10	0.83
T11	0.78 ab	1.18	0.10	0.18	0.07	0.10	0.29 a	0.34	0.25	0.25	0.07	0.73
T12	0.85 ab	1.25	0.10	0.15	0.07	0.13	0.28 ab	0.46	0.30	0.33	0.09	0.58

註：數據顯示為平均值，且同一列英文字母(a,b,c,d)相同者，表示鄧肯法(Duncan method)5%最小顯著差異分析結果不顯著。

壺鈴訓練對患有肌少症的老年女性的研究符合，以壺鈴一系列動作進行每週2次持續8週的阻力訓練，設計強度為 60%–70%(1RM)的中強度訓練，研究指出左手與右手的握力在第8週有明顯的提升(Chen, H. T., Wu, Chen, Y. J., Ho, & Chung, 2018)，其中壺鈴訓練課程中壺鈴硬舉、壺鈴深蹲、壺鈴划船、壺鈴二頭肌彎舉與本實驗設計的動作類似，可以證明出園藝活動中搬運可以訓練手部肌肉力量。

二、介入園藝活動腿力顯著提升

在進行3個月園藝活動介入後，實驗組的左腿與右腿EMG峰值與對照組相比有明顯提升，EMG峰值提高源於阻力運動引起的肌肉力量增強，使運動神經單位在運動的時候支配效率提高，或增強周圍的運動神經元(Hakkinen, A., Hakkinen, K., Hannonen, & Alen, 2001)，力和EMG都隨著動作電位驅動而增加，與肌肉力量保持了近似線性關係(Huang, Chen, Zhang, Li, & Zhou, 2021)，可以得知園藝活動可以促進腿部肌肉力量改善，並且在後期高強度園藝活動介入，在左腿與右腿峰值明顯提升，這與Caserotti等人(2008年)在12週進行高速阻力訓練，運動強度在75%–80% 1RM的實驗結果符合，顯示出腿部肌肉力量顯著改善28%，並且在80歲健康老年女性的肌肉力量依舊顯著增強(Caserotti, Aagaard, Larsen, & Puggaard, 2008)。園藝活動介入3個月，共23堂課介入時，可顯示出

左腿與右腿的 EMG 峰值之後測量會穩定顯著提升，在運動設計上，後半段課程 12-24 堂在搬運材料、圓鋤挖土、深蹲施作等訓練下肢的動作頻率提升，在強度方面，後期的運動強度明顯比前半段課程高，這與 Jenkins 等人(2017 年)結果相符，在阻力訓練介入第 6 週時，高強度組 80% 1RM 組與低強度組 30% 1RM 組相比，只有 80% 1RM 的訓練才會引起肌電圖振幅的顯著增加(Jenkins et al., 2017)。

三、介入園藝活動肌肉質量無顯著提升

在進行 3 個月園藝活動介入後，雖然在實驗組的全身肌肉質量、上臂、下肢、軀幹在單因子變異數分析與對照組相比無明顯提升，但仍然可以表示在全身肌肉質量有微幅增長，可能是運動對骨骼肌生理學的影響，會隨著年齡的增長而減弱合成代謝阻力等因素，儘管進行阻力活動，身體仍無法增加肌肉質量(Rivas et al., 2012)。本研究全身肌肉質量成長幅度為 1.04kg，與患有肌少症的平均年齡 67.3 歲女性，進行 3 個月的彈力帶阻力活動下，肌肉質量成長為 0.72kg，發現類似的肌肉質量成長結果(Liao et al., 2018)。肌肉成長可能也與運動強度有關聯，有研究指出每週使用較低負荷 2-3 次，每次練習 3-4 組，且運動強度不低於 1RM 的 30%，可以增強肌肉肥大與力量適應(Weakley, Schoenfeld, Ljungberg, Halson, & Phillips, 2023)，並且可以增加肌肉中的蛋白質(Lim et al., 2023)，使能量氧化能力增加，導致肌肉肥大(Schoenfeld, Peterson, Ogborn, Contreras, & Sonmez, 2015)。本研究設計園藝活動強度只有前期 4 堂課程為低強度課程，後期大多為中、高強度為主，在肌肉質量在前期 1-7 次測量有提升，但後期 8-12 次測量肌肉質量沒有增長，可能原因為設計的課程大多為中高強度，對於肌肉量成長較無幫助，另有研究指出，在較高運動強度介入下，會導致 IIX 型肌肉纖維減少(Holm et al., 2008)。時間對於肌肉質量的成長也有所關聯，有研究指出，在阻力運動介入 3 個月的時間，還不足以讓肌肉質量顯著成長。短期訓練 8 週雖然可以改善老年女性的肌肉力量，但無法改善肌肉質量(Santos et al., 2017)。至少介入 6 個月的阻力運動，才可以觀察到老年人的肌肉質量有所增加(Frimel, Sinacore, & Villareal, 2008)。所以需要介入更長的園藝活動，並搭配低阻力運動才有可能導致肌肉質量增長。

參 考 文 獻

- 王啟安(譯)。肌力訓練課程設計(2022)(原作者：Andy, B., Stef, B., & Mark, R.)。新北市：楓書坊(原作者出版年：2022)
- 郭欣怡(譯)。日本抗老權威教你年輕 20 歲的最強腿力操(2014)(原作者：大淵修一)。台北市：采實文化(原作者出版年：2014)
- 國家發展委員會。2020。取自
https://www.ndc.gov.tw/Content_List.aspx?n=2688C8F5935982DC

- Caserotti, P., Aagaard, P., Buttrup Larsen, J., & Puggaard, L. (2008). Explosive heavy-resistance training in old and very old adults: changes in rapid muscle force, strength and power. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 18(6), 773-782.
- Chen, H. T., Wu, H. J., Chen, Y. J., Ho, S. Y., & Chung, Y. C. (2018). Effects of 8-week kettlebell training on body composition, muscle strength, pulmonary function, and chronic low-grade inflammation in elderly women with sarcopenia. *Experimental gerontology*, 112, 112-118.
- Cruz-Jentoft, A. J., Bahat, G., Bauer, J., Boirie, Y., Bruyère, O., Cederholm, T., ... & Zamboni, M. (2019). Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. *Age and ageing*, 48(1), 16-31.
- D'Andrea, S. J., Batavia, M., & Sasson, N. (2007). Effect of Horticultural Therapy on Preventing the Decline of Mental Abilities of Patients with Alzheimer's Type Dementia. *Journal of Therapeutic Horticulture*, 18.
- Frimel, T. N., Sinacore, D. R., & Villareal, D. T. (2008). Exercise attenuates the weight-loss-induced reduction in muscle mass in frail obese older adults. *Medicine and science in sports and exercise*, 40(7), 1213.
- Hakkinen, A., Hakkinen, K., Hannonen, P., & Alen, M. (2001). Strength training induced adaptations in neuromuscular function of premenopausal women with fibromyalgia: comparison with healthy women. *Annals of the rheumatic diseases*, 60(1), 21.
- Holm, L., Reitelseder, S., Pedersen, T. G., Doessing, S., Petersen, S. G., Flyvbjerg, A., ... & Kjaer, M. (2008). Changes in muscle size and MHC composition in response to resistance exercise with heavy and light loading intensity. *Journal of applied physiology*, 105(5), 1454-1461.
- Huang, C., Chen, M., Zhang, Y., Li, S., & Zhou, P. (2021). Model-based analysis of muscle strength and EMG-force relation with respect to different patterns of motor unit loss. *Neural Plasticity*, 2021.
- Hurst, C., Robinson, S. M., Witham, M. D., Dodds, R. M., Granic, A., Buckland, C., ... & Sayer, A. A. (2022). Resistance exercise as a treatment for sarcopenia: prescription and delivery. *Age and ageing*, 51(2), afac003.
- Jenkins, N. D., Miramonti, A. A., Hill, E. C., Smith, C. M., Cochrane-Snyman, K. C., Housh, T. J., & Cramer, J. T. (2017). Greater neural adaptations following high-vs. low-load resistance training. *Frontiers in physiology*, 8, 331.
- Liao, C. D., Tsao, J. Y., Huang, S. W., Ku, J. W., Hsiao, D. J., & Liou, T. H. (2018). Effects of elastic band exercise on lean mass and physical capacity in older women with sarcopenic obesity: A randomized controlled trial. *Scientific reports*, 8(1), 2317.

- Lim, C. L., Keong, N. L. S., Yap, M. M. C., Tan, A. W. K., Tan, C. H., & Lim, W. S. (2023). The effects of community-based exercise modalities and volume on musculoskeletal health and functions in elderly people. *Frontiers in Physiology*, 14.
- Nascimento, D. D. C., Tibana, R. A., Benik, F. M., Fontana, K. E., Neto, F. R., de Santana, F. S., ... & Prestes, J. (2014). Sustained effect of resistance training on blood pressure and hand grip strength following a detraining period in elderly hypertensive women: a pilot study. *Clinical interventions in aging*, 219-225.
- Park, S. A., Lee, A. Y., Son, K. C., Lee, W. L., & Kim, D. S. (2016). Gardening intervention for physical and psychological health benefits in elderly women at community centers. *HortTechnology*, 26(4), 474-483.
- Park, S. A., Oh, S. R., Lee, K. S., & Son, K. C. (2013). Electromyographic analysis of upper limb and hand muscles during horticultural activity motions. *HortTechnology*, 23(1), 51-56.
- Park, S. A., Shoemaker, C. A., & Haub, M. D. (2009). Physical and psychological health conditions of older adults classified as gardeners or nongardeners. *HortScience*, 44(1), 206-210.
- Park, S., Lee, A., Kim, J. J., Lee, K. S., So, J. M., & Son, K. C. (2014). Electromyographic analysis of upper and lower limb muscles during gardening tasks. *Horticultural Science & Technology*, 32(5), 710-720.
- Rivas, D. A., Morris, E. P., Haran, P. H., Pasha, E. P., Morais, M. D. S., Dolnikowski, G. G., ... & Fielding, R. A. (2012). Increased ceramide content and NFκB signaling may contribute to the attenuation of anabolic signaling after resistance exercise in aged males. *Journal of applied physiology*, 113(11), 1727-1736.
- Santos, L., Ribeiro, A. S., Schoenfeld, B. J., Nascimento, M. A., Tomeleri, C. M., Souza, M. F., ... & Cyrino, E. S. (2017). The improvement in walking speed induced by resistance training is associated with increased muscular strength but not skeletal muscle mass in older women. *European journal of sport science*, 17(4), 488-494.
- Schoenfeld, B. J., Peterson, M. D., Ogborn, D., Contreras, B., & Sonmez, G. T. (2015). Effects of low-vs. high-load resistance training on muscle strength and hypertrophy in well-trained men. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(10), 2954-2963.
- Syddall, H., Cooper, C., Martin, F., Briggs, R., & Aihie Sayer, A. (2003). Is grip strength a useful single marker of frailty?. *Age and ageing*, 32(6), 650-656.
- Tsekoura, M., Billis, E., Tsepis, E., Dimitriadis, Z., Matzaroglou, C., Tyllianakis, M., ... & Gliatis, J. (2018). The effects of group and home-based exercise programs in elderly with sarcopenia: a randomized controlled trial. *Journal of clinical medicine*, 7(12), 480.
- Weakley, J., Schoenfeld, B. J., Ljungberg, J., Halson, S. L., & Phillips, S. M. (2023).

- Physiological Responses and Adaptations to Lower Load Resistance Training: Implications for Health and Performance. *Sports Medicine-Open*, 9(1), 1-10.
- Wu, I. C., Lin, C. C., Hsiung, C. A., Wang, C. Y., Wu, C. H., Chan, D. C. D., ... & Sarcopenia and Translational Aging Research in Taiwan (START) Team. (2014). Epidemiology of sarcopenia among community-dwelling older adults in Taiwan: A pooled analysis for a broader adoption of sarcopenia assessments. *Geriatrics & gerontology international*, 14, 52-60.
- Yun, S., & Kim, H. (2009). Effect of the horticultural therapy on hand function of demented elders. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*, 27(4), 673-677.

The Benefits of Gardening Activities on Promoting Muscular Strength

Yuan-Shan Hsu¹⁾

Chen-Fa Wu²⁾

Keywords: Sarcopenia, Resistance exercise

Summmry

This study investigates the benefits of horticultural activities on muscle strength and muscle mass growth in individuals with sarcopenia. Initially, we designed horticultural activities suitable for patients with sarcopenia, incorporating resistance exercise principles suitable for both sarcopenia and elderly populations. We gathered literature on horticultural activities, used metabolic equivalents (METs), percentage of maximum heart rate (% HR max), and the Rating of Perceived Exertion (RPE) scale as indicators to assess exercise intensity. We referred to electromyography (EMG) of horticultural movements and resistance exercises for upper and lower limbs to design horticultural strength training activities. We recruited 22 potential sarcopenia patients for the horticultural strength training program, dividing them into an experimental group (11 participants) undergoing 24 horticultural sessions over three months (twice a week, 60 minutes per session) and a control group (11 participants) maintaining their normal activities for three months. Follow-up measurements were taken two months after both groups completed the interventions. Throughout the experiment, we assessed grip strength, thigh EMG peak values, and muscle mass. The experimental group also reported the exercise intensity of horticultural activities. After three months of horticultural activities, the experimental group showed a significant average increase of 45.6% in left-hand grip strength and 56.4% in right-hand grip strength. Left leg EMG peak values increased by an average of 69.5%, and right leg EMG peak values increased by an average of 53.6%. However, there was no significant growth in muscle mass at various sites, with an average increase of 1.04 kg in total body muscle mass. Two months after the intervention, the experimental group maintained muscle strength and mass, showing significant growth differences compared to the control group in left and right-hand grip strength and left and right leg EMG peak values. This further supports the notion that horticultural activities can serve as an adjunct method to improve muscle strength.

1) Student in M.S. program, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

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

興大園藝 第四十八卷第四期
中華民國一一二年十二月編印
發行人：張哲嘉
編輯委員：宋 玗 林慧玲 吳振發
潘怡君 張 正 張哲嘉
國立中興大學園藝學系編印
臺中市南區興大路145號

Horticulture NCHU Vol. 48 No. 4
December, 2023

Publication Committee

Director	Prof. Jer-Chia Chang
Editor	Prof. Yu Sung
	Prof. Huey-Ling Lin
	Prof. Chen-Fa Wu
	Assoc. Prof. I-Chun Pan
	Prof. Chen Chang
	Prof. Jer-Chia Chang

Published by the Department of Horticulture,
National Chung Hsing University, Taichung,
Taiwan 402, Republic of China

興大園藝稿約

一 本刊接受下列稿件之發表：

- (一)論著：五千字為限，內容分國內外園藝研究結果之綜合報告及國內外園藝學術文獻之綜合論述。
- (二)研究及調查報告：應為原始之研究及調查，以外文發表於國外雜誌者譯成中文亦接受。
- (三)論文摘要：內容應新穎實用，先列標題 次於括弧內註明作者，發表年份刊物名稱，卷 期及起訖頁數。

二 文稿之書寫方式：

- (一)五百字稿紙橫寫，註標點，各佔一格。
- (二)文字敘述之號次：一 (一) 1 (1) i (i)。英文用：I 1 A a。圖表以圖1. (Fig. 1.) 表 1.(Table 1.)表示，圖表題名及內容項目皆以中英文書列表示。
- (三)數字與單位：數字以阿拉伯數碼表示為主。度量衡單位均採用公制。習見之cm，g，pH，ml，ppm等不必另用中文。專門名詞無適當譯名者從原文，未經普遍採用之譯名隨附原文。
- (四)插圖另用白紙墨繪，務求工整。註明縮小比例及文中插入處，數字代號以鉛筆書註。不適合製版者得請重繪，如需代繪，其費用由作者負擔。照片限於原始 清晰並與原文有重要關聯者。
- (五)以中文或英文書寫之研究報告，於文末各附英文或中文摘要。

三 文稿章節順序：

- (一)論著之章節，作者自訂。
- (二)研究報告之內容次序分：標題 作者姓名 關鍵字 摘要 前言 材料及方法 結果 討論 謝辭 參考文獻及英文標題 作者姓名 關鍵字及摘要等項目。

四 參考文獻：

- (一)以確經引用者為限，並依下列規定排列書寫。
- (二)中 日文獻，以姓氏筆劃多少為排列順序，西文以著者姓氏字母之先後為序，並按中 日 西文順序排列。每一文獻之排列次序為作者 年份 文題 發表刊物名稱 卷 期 頁次寫明，例如：
孫慧慈 楊耀祥。1997。`蜜紅`葡萄之果實生長。興大園藝22 (1): 13-28。
Lombard, P. B., C. B. Cordy, and E. Hansen. 1971. Relation of post-bloom temperatures to `Bartlett` pear maturation. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 96 (6): 799-801.
- (三)西文雜誌名稱能縮寫者用縮寫，縮寫方式以學術上通用者為準。文中引用參考文獻時，應註明該文獻作者姓氏及年份。

五 請寫明著者服務單位及職稱，並以中英文分別書於文稿首頁及文末英(中)文摘要之腳註處。

六 來稿有刪改權，並經編輯委員或專家審閱通過後刊印。

七 稿件排版後得送請原著者校對。

八 本刊稿件無稿酬，但經刊登之論著及研究報告另贈送抽印本五十本。加印抽印本時，費用自行負擔。

九 稿件經刊印後，不得在他處另行刊印發表。

十 稿件請寄國立中興大學園藝學系轉「興大園藝編輯委員會」收。