

不同比例冰與水預冷對青花菜花球採後品質之影響

孫 苡 瑄¹⁾ 宋 妤²⁾

關鍵字：青花菜花蕾、預冷、呼吸率、黃化

摘要：青花菜 (*Brassica oleracea* var. *italica*) 為肉質花梗及花苞所構成，具有較高的呼吸率，採後需迅速去除採後田間熱並調節貯藏氣體環境，降低呼吸作用以延緩花球衰老。採收後青花菜花球浸於不同比例碎冰與 5°C 冰水進行預冷，預冷達青花菜花莖中心溫度於 5°C 後至 5°C 貯藏，降溫速率分別為冰:水=1:1 僅需 17 分鐘、5°C 冰水需 35 分鐘和碎冰需 66 分鐘，由熱顯像儀觀測到冰:水=1:1 處理降溫效果較快且溫度分布均勻。無預冷處理花球之葉綠素、抗氧化能力和貯藏壽命為所有處理中顯著較低。貯藏過程中以冰:水=1:1 處理之呼吸率顯著最低，冰:水=1:1 和 5°C 冰水處理之花球有較佳的重量、剪切力、葉綠素和抗氧化能力，且黃化程度顯著低於碎冰處理和未預冷處理之對照組。

前 言

青花菜花球為分化能力旺盛之幼嫩組織，具非常高呼吸率 (Page *et al.*, 2001)。於田間採收後帶有大量的田間熱與呼吸熱，田間熱來源為園產品在農田陽光曝曬累積的高溫導致，園產品離開植物本體仍具生命，溫度上升更會促使呼吸及蒸散作用加速並釋放出熱能，此現象循環累積熱能會促使園產品維持在高溫狀態，進而加速老化及品質下降 (林, 2001; Kader, 1980)。呼吸作用經由氧化消耗園產品貯存的有機物，將其分解成小分子並轉化為水、二氧化碳及能量釋放，並加速蒸散作用，使細胞失去膨壓皺縮，造成結構和代謝上的嚴重傷害，產生失水及生理劣變等現象，使貯藏壽命縮短 (林, 2001; Brosnan and Sun, 2001)。

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。

高溫是加速老化的影響因子，為維持園產品從產地到市場的品質和延長保存期，顯然，快速去除田間熱是收穫後處理的首要步驟，在許多貯藏技術中，預冷技術被認為是至關重要的過程，預冷可降低園產品呼吸作用，延長貯藏期 (In and Kim, 2008；Palanikumar *et al.*, 2000；Shewfelt, 1986)。

預冷處理 (precooling) 定義為新鮮園產品於採收後，在運輸及低溫貯藏前事先進行冷卻降溫，利用快速有效之方法使園產品在數小時內去除田間熱，進而達到降低園產品呼吸作用和延緩生理代謝之目的 (林, 2001)。降溫速度是決定預冷操作時間的主要條件，也影響新鮮蔬果的採後貯藏壽命 (Defraeye *et al.*, 2015)。果蔬的特性如形狀、大小、表面積體積比、內部結構和吸熱特性等，影響果蔬預冷降溫過程之效率，需依園產品特性選擇合適的預冷方式 (Pathare *et al.*, 2012)。預冷介質接觸程度不佳導致溫度不均勻，會縮短果蔬的貯藏時間，如增加預冷介質流動速度，可大幅縮短園產品預冷降溫時間 (Alibas and Koksall, 2014；Albayati *et al.*, 2007)。

本研究目的為研究青花菜於處理不同比例冰與水預冷青花菜花球，利用溫度計和熱顯像儀觀測花莖中心溫度變化和溫度分布之情形，在 5°C 貯藏期間調查其呼吸率、乙烯釋放量及營養成分，了解不同預冷介質對青花菜品質及貯架壽命之影響。

材 料 與 方 法

一、試驗材料：

本試驗採自於台灣雲林元長鄉之品種 42 號新鮮的青花菜花球為試驗材料，選取約 300 ±10 g 外觀無傷病的青花菜花球進行試驗。

二、試驗方法：

青花菜花球處理不同比例碎冰與 5°C 冰水，碎冰與冰水比例分別為 1:0、1:1 及 0:1，預冷介質總體積為 25000 mL，對照組為無預冷處理，將青花菜花球置於保麗龍箱 (長 56 cm×寬 37 cm×高 24.5 cm) 內，浸入冰水至青花菜花莖中心溫度降至約 5°C，處理後將花球瀝乾，於保麗龍箱貯藏在 5°C，每處理為三重複，一重複八朵。

三、調查項目與方法：

(一) 中心溫度

調查青花菜預冷期間花莖中心溫度曲線，將溫度計 (Digital Thermometer, Model 1311A, TES) 之探針插入青花菜花莖中段，每 1 分鐘紀錄花莖中心溫度之變化，直至中心溫度達 5°C 後預冷時間停止，單位為°C。

(二) 外觀溫度

花球於冰水中 5-15 分鐘以多功能熱像儀 (infrared thermal imager, Model InfRec G100, Nippon Avionics)俯拍青花菜花球。

(三)呼吸率

預冷後貯藏間隔 24 小時進行調查，將青花菜密閉於 4 L 呼吸缸中一小時，使用 1 mL 塑膠針筒抽取呼吸缸內氣體，使用紅外線二氧化碳分析儀 (IR-analyzer, Model UNOR610, Maihak)進行測定二氧化碳濃度，單位為 mL CO₂/kg.hr。

$$\text{計算公式} = \frac{\text{樣品-空瓶}}{\text{標準品}} \times \text{標準品濃度}(\%) \times \text{呼吸缸容積}(\text{L}) \div \text{樣品鮮重}(\text{kg}) \times 10$$

(四)乙烯釋放率

預冷後貯藏間隔 24 小時進行調查，將青花菜密閉於 4 L 呼吸缸中一小時，使用 1 mL 塑膠針筒抽取呼吸缸內氣體，使用氣相層析儀 (Gas chromatography, Model GC-8A-FID, Shimadzu)進行測定乙烯濃度，單位為 $\mu\text{l C}_2\text{H}_4/\text{kg.hr}$ 。

$$\text{計算公式} = \frac{\text{樣品-空瓶}}{\text{標準品}} \times \text{標準品濃度}(\text{ppm}) \times \text{呼吸缸容積}(\text{L}) \div \text{樣品鮮重}(\text{kg})$$

(五)失重率

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

(六)剪切力

貯藏於 5°C 第 9 天進行調查，將青花菜花梗切取 2 公分，於花梗下方約 1/2 處縱切，利用日本製物性測定儀 (Rheo Meter, Model COMPAC-1002, Sun Scientific)，以切刀探頭垂直切入深度 0.3 mm，測定其截切花梗所需之重量，單位為公斤 kg/cm² 表示。

(七)葉綠素與類胡蘿蔔素含量

貯藏於 5°C 第 2 及 9 天進行調查，取青花菜花球上花苞 0.2 g 或二次小花梗 0.2 g，浸泡於 15 mL 萃取液中 (20% Methanol 與 80% acetone)，於避光環境下浸泡 48 小時，以分光光度計 (Spectrophotometer, Model U-2900, Hitachi)測定 645、663、652 和 470 nm 波長之吸光值，並以公式計算每單位鮮重之葉綠素與類胡蘿蔔素含量，單位為 mg/g。

葉綠素 a 含量 (Chl.a) = $(12.7 \times \text{Abs}_{663} - 2.69 \times \text{Abs}_{645}) \times \text{萃取液體積}(15 \text{ mL}) \div 1000 \div \text{樣品鮮重}(0.2 \text{ g})$

葉綠素 b 含量 (Chl.b) = $(22.9 \times \text{Abs}_{645} - 4.68 \times \text{Abs}_{663}) \times \text{萃取液體積}(15 \text{ mL}) \div 1000 \div \text{樣品鮮重}(0.2 \text{ g})$

總葉綠素含量 = $(\text{Abs}_{652} \times 1000 \div 34.5) \times \text{萃取液體積}(15 \text{ mL}) \div 1000 \div \text{樣品鮮重}(0.2 \text{ g})$

類胡蘿蔔素含量 = $[1000 \times \text{Abs}_{470} - 3.27 \times (\text{Chl.a}) - 104 \times (\text{Chl.b})] \div 277 \times \text{萃取液體積}(15 \text{ mL}) \div 1000 \div \text{樣品鮮重}(0.2 \text{ g})$

(八) 可溶性固形物

貯藏於 5°C 第 9 天進行調查，取花蕾直徑 5 cm，花梗長 5 cm 的小花蕾使用果汁機將青花菜打碎，用四層紗布包裹擠出青花菜濾液，以手持折射計 (Digital Pocket Refractometer, Model PAL-1, Atago) 測定其汁液中可溶性固形物，利用物質光折射率的不同，換算其總可溶性固形物含量，單位為 °Brix。

(九) 官能品評

1. 異味之判斷

貯藏於 5°C 第 9 天進行調查，依主觀評分對青花菜花球的整體異味進行評分，其異味變化程度分成 4 級表示 (1 = 典型異味、2 = 略有異味、3 = 中等臭味及 4 = 腐臭味)，得分 3 為不具商品價值，得分 2 仍具可銷售性。

2. 黃化程度之判斷

貯藏於 5°C 第 9 天進行調查，依主觀評分對青花菜花球的整體黃化進行評分，其黃化程度分成 4 級表示 (1 = 無黃化、2 = 淺綠色，略帶黃色輕微、3 = 中度黃化及 4 = 完全黃化)，得分 3 為不具商品價值，得分 2 仍具可銷售性。



(十) 抗壞血酸含量

貯藏於 5°C 第 9 天進行調查，取青花菜花球上花苞 0.5 g，樣品加入 9 mL 偏磷酸萃取液 (6% metaphosphoric acid 與 2 N acetic acid) 進行研磨均質，以抗壞血酸試紙 (Reflectoquant® ascorbic acid test strip, Merck) 沾取後使用手持式光度計 (Reflectoquant, Model RQ-flex 10, Merck) 讀取抗壞血酸濃度，單位為 mg/100 g。

(十一) 清除 (DPPH) 自由基能力

貯藏於 5°C 第 9 天進行調查，取青花菜花球上花苞 1 g，加入 10 mL 50% 酒精使用研磨均質，以 13000 rpm 於 4°C 離心 20 分鐘，使用 55 mm Ø 42 號 waterman 過濾後取 1 mL 上清液，加入 0.2 mL 500 µM DPPH 甲醇溶液於避光環境反應 30 分鐘，以分光光度計 (Spectrophotometer, Model U-2900, Hitachi) 測定 517 nm 波長之吸光值，並以公式計算樣品清除 DPPH 能力，單位為 %。

空白組:1 mL 樣品加入 0.2 mL 甲醇溶液

實驗組:1 mL 樣品加入 0.2 mL 500 μ M DPPH 甲醇溶液

對照組:1 mL 去離子水加入 0.2 mL 500 μ M DPPH 甲醇溶液

清除 DPPH 能力 (%) = (Abs 對照組 - (Abs 實驗組 - Abs 空白組)) / Abs 對照組 \times 100%

四、統計分析：

本試驗數據統計分析系統使用 SAS 套裝軟體 9.4 版 (SAS, Insbitue, Cary NC) 中之變異數分析 (Analysis of variance) 進行變方分析 ($\alpha=0.05$)，以 Fisher's LSD 進行各處理平均值比較。

結 果

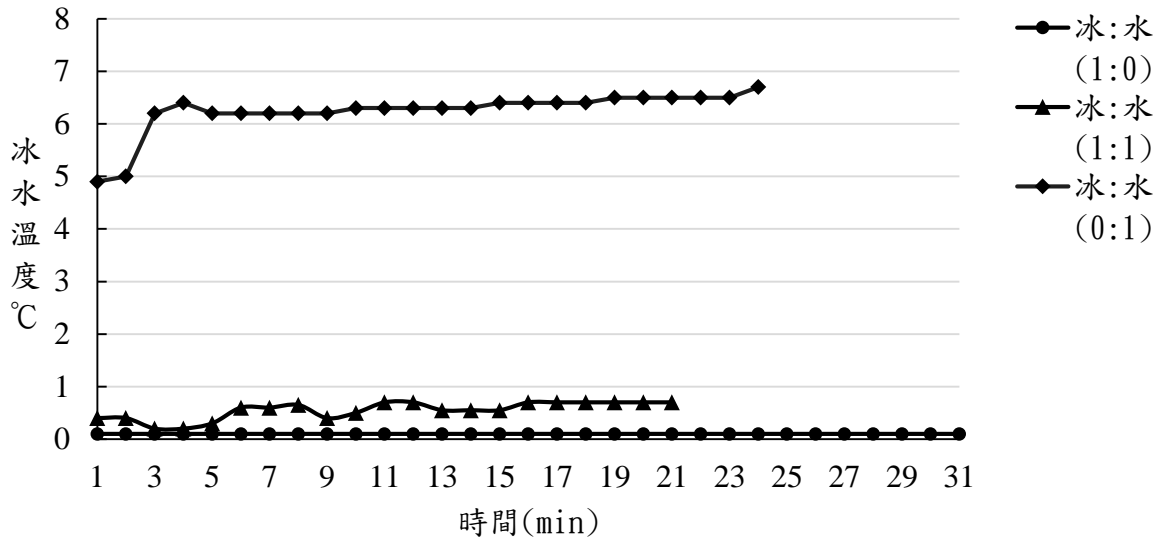
比較不同比例冰與水預冷青花菜花球溫度變化，利用溫度計測量冰水溫度，冰:水以 1:0 混合預冷處理 66 分鐘，冰水溫度均穩定維持 0.1 $^{\circ}$ C；冰:水以 1:1 混合處理之冰水溫度於 0.2-0.7 $^{\circ}$ C 範圍內波動；冰:水以 0:1 混合處理冰水溫度起伏較大，於預冷第 3 分鐘冰水溫度為 6.2 $^{\circ}$ C 且溫度開始上升，冰:水以 1:0 混合處理最終之冰水溫度為 6.7 $^{\circ}$ C，冰:水以 0:1 和 1:1 二種混合處理條件最終之冰水溫度分別為 0.1 $^{\circ}$ C 和 0.7 $^{\circ}$ C (圖 1A)。

透過果心溫度計測量青花菜花莖中心溫度，以冰:水以 1:0 混合處理溫度下降速度為最慢，需預冷 66 分鐘才可使花莖中心溫度達 5 $^{\circ}$ C。冰:水以 0:1 混合處理雖溫度下降快，但未能使花莖中心溫度達 5 $^{\circ}$ C，預冷第 35 分鐘花莖中心溫度為 7.5 $^{\circ}$ C。冰:水以 1:1 混合處理 17 分鐘後可使花莖中心溫度達 4.9 $^{\circ}$ C (圖 1B)。

於圖 2 利用熱顯像儀拍攝青花菜觀測處理時表面溫度分布之情形，可觀測到冰:水以 1:0 混合處理之花球表面溫度高且溫度分布不均，降溫效果較其他處理差，經處理 15 分鐘後仍有局部溫度高達 17.7 $^{\circ}$ C，冰:水以 1:1 和 0:1 處理花球表面溫度低且均勻降溫。

三種預冷處理之花球貯藏第 1 天，以對照組呼吸率顯著高於所有處理，高達 107.6 mL/kg.hr，於 5 $^{\circ}$ C 貯藏後第 2 天呼吸率降為 35.74 mL/kg.hr；貯藏第 2 天後所有處理的呼吸率呈現大幅下降的現象。貯藏第 3-8 天，所有處理呼吸率起伏不大，維持在 25.9-42.5 mL/kg.hr 之間。貯藏期間以冰:水以 1:1 混合處理呼吸率顯著低於其他處理，於 5 $^{\circ}$ C 貯藏第 8 天後，呼吸率 29.37 mL/kg.hr，對照組、冰:水以 0:1 和 1:0 處理呼吸率無顯著差異 (圖 3A)。乙烯釋放情形如圖 3B，貯藏第 1 天冰:水以 1:1 混合處理乙烯釋放率為最高(0.43 μ L/kg.hr)，對照組、冰:水以 0:1 和 1:0 處理乙烯釋放率分別為 0.39 μ L/kg.hr、0.37 μ L/kg.hr 和 0.32 μ L/kg.hr；貯藏第 2 天後乙烯釋放率開始下降，冰:水以 0:1 處理和對照組之乙烯釋放率較低；第 3 天冰:水以 0:1 和 1:1 處理無顯著差異，對照組持續下降，貯藏期間所有

(A)



(B)

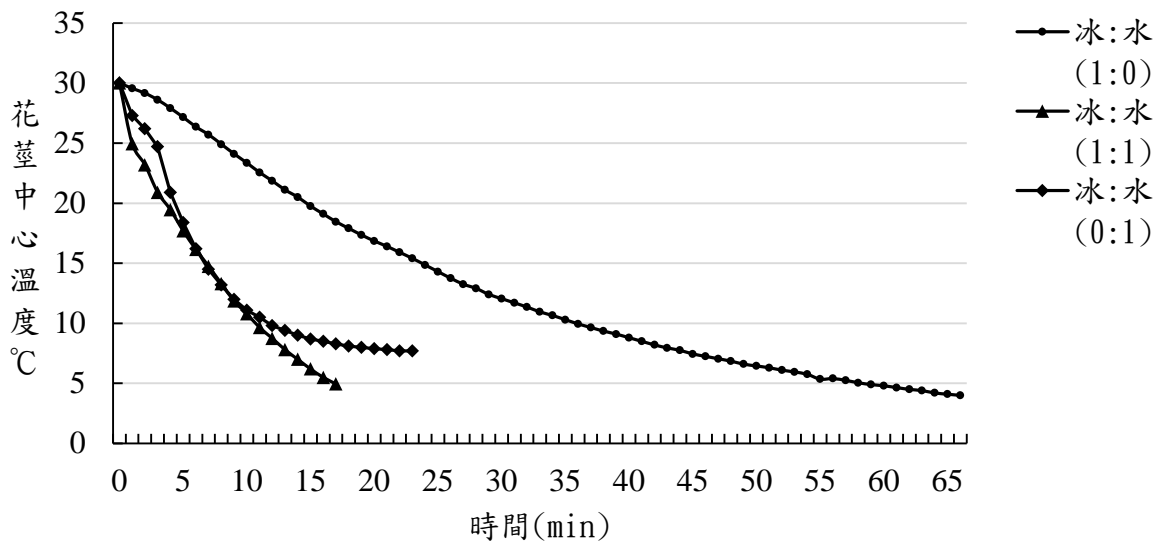


圖 1. 青花菜花球處理不同比例冰與水預冷於箱內水溫度(A)及青花菜花莖中心溫度(B)之情形。

Fig. 1. Broccoli curds are treated with different ratios of ice and water to pre-cool the temperature of the water in the container (A) and the temperature in the center of the broccoli stem (B). I= means \pm SD.

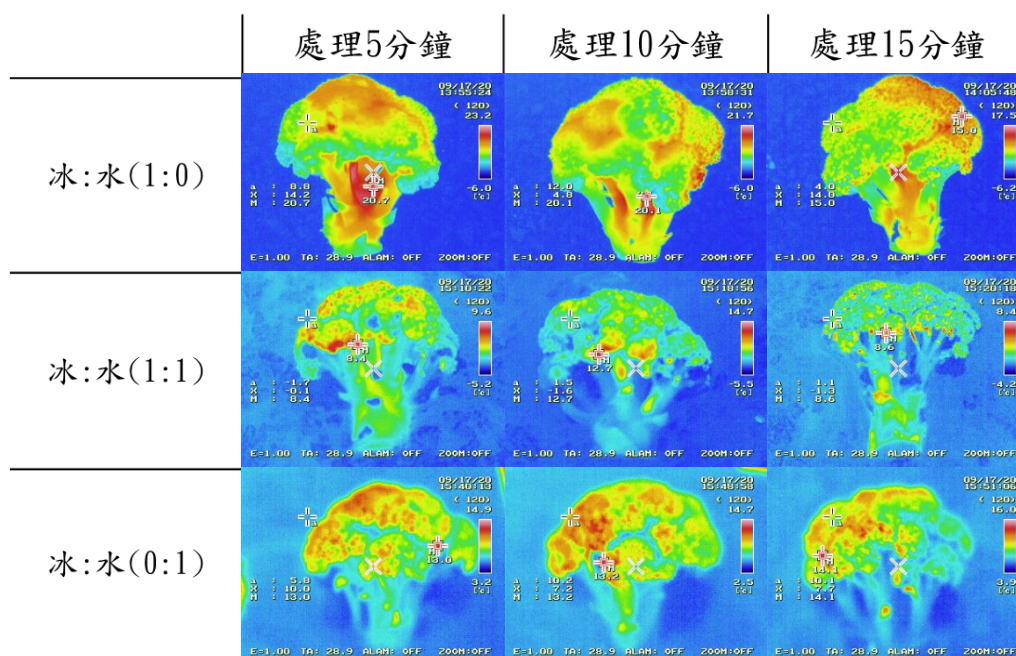


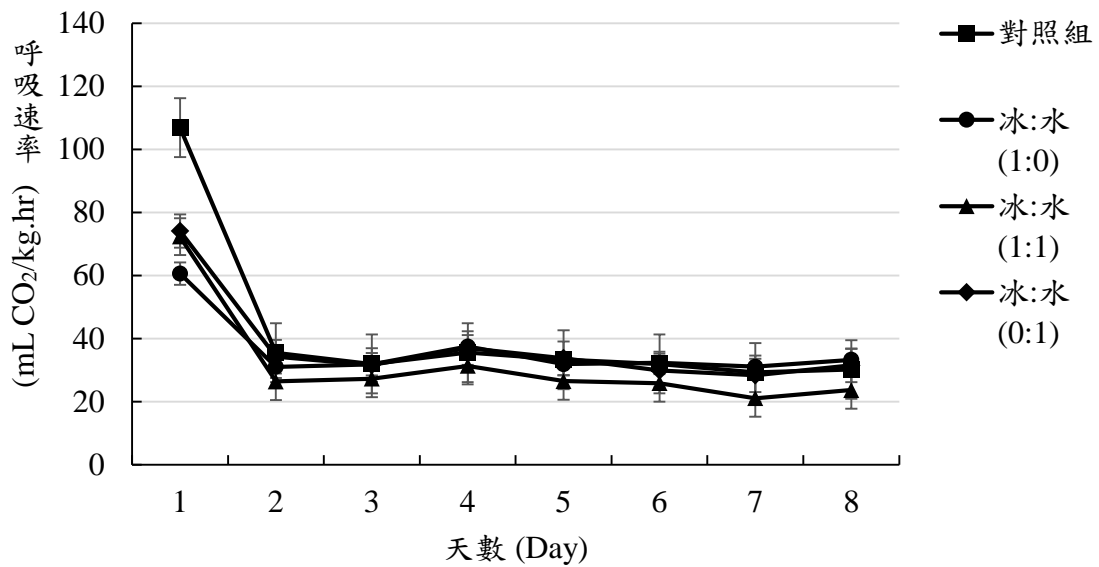
圖 2. 青花菜花球處理不同比例冰與水預冷之花球溫度熱顯像圖。

Fig. 2. Thermal imaging of the temperature of broccoli curds pre-cooling with different proportions of ice and water. I= means \pm SD.

處理均維持較低的乙烯釋放率 ($<1 \mu\text{L/kg}\cdot\text{hr}$)；於貯藏第 7 天各處理間乙烯釋放率無顯著差異。將青花菜花球黃化面積分為 4 級，花球黃化指數大於第 3 級為不具商品價值。經貯藏 9 天後，對照組花球黃化為所有處理中較為嚴重，已完全黃化不具商品價值(圖 4)。

三種預冷處理之花球貯藏第 1 天，以對照組呼吸率顯著高於所有處理，高達 $107.6 \text{ mL/kg}\cdot\text{hr}$ ，於 5°C 貯藏後第 2 天呼吸率降為 $35.74 \text{ mL/kg}\cdot\text{hr}$ ；貯藏第 2 天後所有處理的呼吸率呈現大幅下降的現象。貯藏第 3-8 天，所有處理呼吸率起伏不大，維持在 $25.9-42.5 \text{ mL/kg}\cdot\text{hr}$ 之間。貯藏期間以冰:水以 1:1 混合處理呼吸率顯著低於其他處理，於 5°C 貯藏第 8 天後，呼吸率 $29.37 \text{ mL/kg}\cdot\text{hr}$ ，對照組、冰:水以 0:1 和 1:0 處理呼吸率無顯著差異 (圖 3A)。乙烯釋放情形如圖 3B，貯藏第 1 天冰:水以 1:1 混合處理乙烯釋放率為最高($0.43 \mu\text{L/kg}\cdot\text{hr}$)，對照組、冰:水以 0:1 和 1:0 處理乙烯釋放率分別為 $0.39 \mu\text{L/kg}\cdot\text{hr}$ 、 $0.37 \mu\text{L/kg}\cdot\text{hr}$ 和 $0.32 \mu\text{L/kg}\cdot\text{hr}$ ；貯藏第 2 天後乙烯釋放率開始下降，冰:水以 0:1 處理和對照組之乙烯釋放率較低；第 3 天冰:水以 0:1 和 1:1 處理無顯著差異，對照組持續下降，貯藏期間所有處理均維持較低的乙烯釋放率 ($<1 \mu\text{L/kg}\cdot\text{hr}$)；於貯藏第 7 天各處理間乙烯釋放率無顯著差異。將青花菜花球黃化面積分為 4 級，花球黃化指數大於第 3 級為不具商品價值。經貯藏 9 天後，對照組花球黃化為所有處理中較為嚴重，已完全黃化不具商品價值(圖 4)。

(A)



(B)

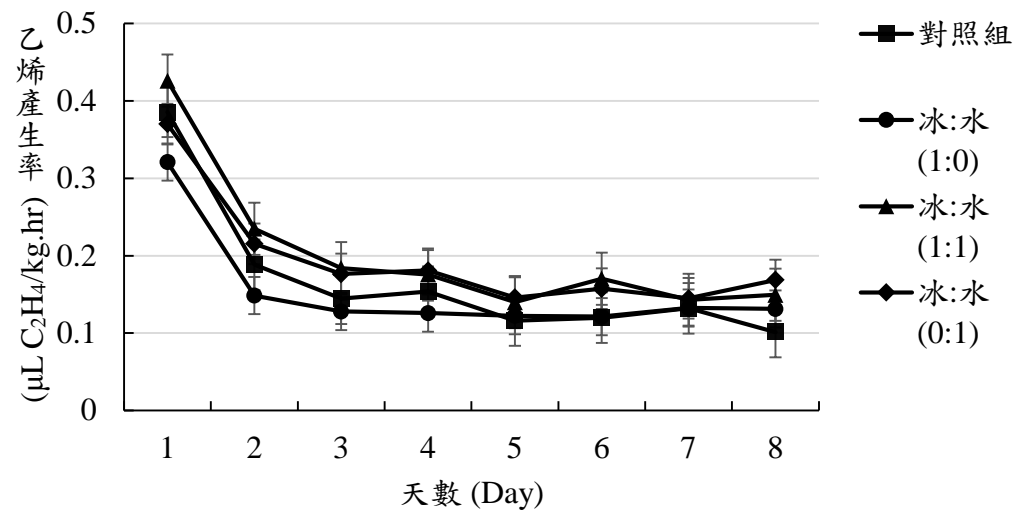


圖 3. 處理不同比例冰與水預冷青花菜花球於 5°C 貯藏期間之呼吸率 (A) 及乙烯釋放率 (B)
I = means ± SD.

Fig. 3. Respiration rate (A) and ethylene release rate (B) of pre-cooling with different ratios of ice and water to broccoli curds during storage at 5°C. I = means ± SD.

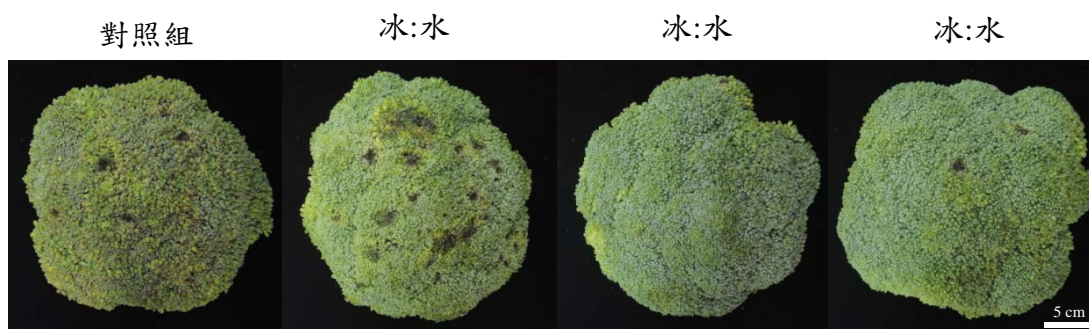


圖 4. 青花菜花球處理不同比例冰與水預冷後於 5°C 貯藏 9 天花球黃化情形。

Fig. 4. The yellowing of broccoli curds treated with different proportions of ice and water, then stored at 5°C for 9 days.

青花菜花球處理不同比例冰與水預冷後，於貯藏 5°C 第 2 天調查花蕾及花梗其葉綠素及類胡蘿蔔素含量，冰:水以 1:1 混合處理花蕾之葉綠素顯著高於其他處理，葉綠素含量為 0.912 mg/g，無預冷、冰:水以 1:0 和 0:1 混合處理無顯著差異，葉綠素含量分別為 0.56、0.71 和 0.72 mg/g，花梗之葉綠素含量以無預冷顯著較低 (0.006 mg/g)，花蕾和花梗之類胡蘿蔔素含量所有處理間均無顯著差異 (表 1)。

表 1. 青花菜花球處理不同比例冰與水預冷後 5°C 貯藏 2 天青花菜品質

Table 1. The quality of broccoli curds treated with different ratios of ice and water and stored at 5°C for 2 days.

	無預冷	冰:水(1:0)	冰:水(1:1)	冰:水(0:1)
花蕾葉綠素(mg/g)	0.560b ^z	0.709b	0.912a	0.722b
花梗葉綠素(mg/g)	0.006b	0.011ab	0.015ab	0.021a
花蕾類胡蘿蔔素(mg/g)	0.189a	0.209a	0.258a	0.213a
花梗類胡蘿蔔素(mg/g)	0.002a	0.003a	0.004a	0.005a

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

於表 2 為不同預冷處理對 5°C 貯藏 9 天青花菜花球品質之影響，對照組失重率顯著高於預冷處理，重量損失約 7.96%，因失水後纖維組織韌性增加，導致剪切力顯著高於預冷處理，櫥架壽命僅有 4 天。感官異味、抗壞血酸含量和可溶性固形物於貯藏壽命結束後調查各處理間皆無顯著差異。冰:水以 1:1 混合處理和以 1:0 混合處理有顯著較高的葉綠素和清除 DPPH 能力，葉綠素含量分別為 8.70 和 11.01 mg/100g，清除 DPPH 能力分別為 53.81 和 56.46%，有較佳的重量、剪切力、葉綠素和抗氧化能力，且黃化程度顯著低於冰:水以 1:0 混合處理和對照組 (表 2)。

表 2. 青花菜花球處理不同比例冰與水預冷後 5°C 貯藏 9 天青花菜品質

Table 2. The quality of broccoli curds treated with different ratios of ice and water and stored at 5°C for 9 days.

	無預冷	冰:水 (1:0)	冰:水 (1:1)	冰:水 (0:1)
失重率(%)	7.96 a ^z	2.61 b	1.90 b	2.33 b
貯壽(天)	4 天	7 天	8 天	8 天
感官異味(級數)	3.00 a	2.67 a	1.67 a	2.00 a
黃化程度(級數)	4.00 a	3.83 ab	2.17 b	2.83 b
剪切力(kg/cm ²)	0.63 a	0.42 a	0.21 b	0.18 b
葉綠素(mg/g)	0.06b	0.09ab	0.09ab	0.11 a
抗壞血酸(mg/100g)	61.60 a	55.00 a	56.20 a	55.60 a
清除 DPPH 能力(%)	35.94 c	42.27 bc	53.81 ab	56.46 a
可溶性固形物(°Brix)	9.50 a	8.82 a	7.84 a	8.22 a

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

討 論

青花菜為呼吸率高之作物，於田間採收後仍殘留田間熱高溫，高溫促使呼吸作用上升進而消耗營養物質，因此收穫後須迅速將花球溫度冷卻以減少代謝活動延緩老化，且預冷效率增加可延緩青花菜衰老之速度 (Gillies and Toivonen, 1995)。青花菜採後延遲 3 小時預

冷會導致貯藏壽命減短，於開放櫥架貯藏時，易提早產生腐爛和不良異味，造成嚴重的損失 (Brennan and Shewfelt, 1989)。青花菜可利用碎冰預冷，但花球構造使碎冰不易進入花球內部，因此將冰與水混合研究預冷效果。本試驗比較不同比例冰與水預冷青花菜花球，以冰:水以 1:1 混合預冷青花菜花莖中心溫度下降最快，溫度達 5°C 僅需 17 分鐘，冰:水以 1:0 預冷速率最慢，花球需預冷 66 分鐘才可使花莖中心溫度達 5°C，由熱顯像圖可觀察到冰:水以 1:1 和 0:1 預冷處理，花球外觀溫度分布較均勻且溫度較其他處理低。Kitinoja 和 Thompson (2010)研究指出，影響預冷效率為冷卻介質與產品間的溫度差、冷卻介質吸熱特性、產品與冷卻介質之接觸面積和產品形狀與體積等，其中水冷可提供快速、均勻的冷卻效果。Redding 等 (2016)和 Wang 等(2020)研究指出，影響預冷介質接觸牽涉於產品幾何形狀，預冷介質接觸程度不佳導致冷卻溫度分佈不均勻，造成園產品不同部位的冷卻不足，降低預冷效果及增加產品損失。冰:水以 1:1 預冷，其冷卻介質可維持低溫 0.1-0.7°C，而冰:水以 0:1 混合處理於預冷第 3 分鐘後溫度開始上升，預冷第 35 分鐘冰水溫度為 6.7°C，使青花菜中心溫度未能降至 5°C。青花菜花球為肉質密生花梗及花苞所構成，以水預冷相較於全碎冰預冷，冰水易滲入花球內部，預冷介質與青花菜接觸表面積大，因此處理冰:水以 1:1 預冷速率最快。

青花菜採收後花蕾快速黃化降低其商品價值，牽涉衰老過程因子有溫度、呼吸作用和乙烯合成等複雜因素，植物的呼吸途徑和呼吸強度隨著外界環境和不同處理而變化，收穫後植物的衰老通常與高呼吸消耗營養物質有關 (Song *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2015)。本試驗結果顯示，貯藏第 1 天以無預冷之青花菜呼吸率(107.6 mL/kg.hr)為所有處理中顯著最高，貯藏期間冰:水以 1:1 混合預冷青花菜呼吸率 (29.37 mL/kg.hr)顯著低於其他處理。呼吸作用是衡量採後果蔬代謝強度的主要指標之一，高呼吸作用會導致有機物氧化加速分解，進而成熟或衰老，縮短新鮮水果和蔬菜的保存期限 (Luo *et al.*, 2019)。Tian 等 (2016)使用冰水預冷、冷室預冷與真空預冷等方法進行青花菜預冷，其中真空預冷處理青花菜降溫速度為所有處理最快達 5°C，而使用冰水預冷和冷室預冷之青花菜溫度分別為 10°C 和 11.8°C，未經預冷處理之青花菜其呼吸速率在幾個小時內達到 315.84 mg /kg·h，使用真空預冷、冰水預冷與冷室預冷之青花菜顯著較低的呼吸率，分別為 227.36 mg/kg·h、254.65mg/kg·h 和 235.97 mg/kg·h，在貯藏第 6、12 和 18 天使用真空預冷之青花菜呼吸率顯著低於其他處理，預冷快速降低青花菜溫度可有效地降低其呼吸速率。張等 (1994)以不同預冷方法的試驗，使小白菜和韭菜葉溫降至 5°C，水冷預冷需 5-6 分鐘、真空預冷需 4-5 分鐘，強風壓差預冷需 20-25 分鐘，水冷預冷和真空預冷降溫時間相近，而真空預冷設備費用高且失水率高，如計入成本考量比較，水冷預冷為較適合近郊葉菜之預冷方式，但須注意水質衛生，避免汙染導致微生物孳生。

青花菜老化變質，主要特徵是小花萼片中葉綠素的降解而產生黃化現象，植物的顏色

變化主要是由色素的組成和含量所影響，色素包括葉綠素、類黃酮、類胡蘿蔔素等 (Clarke *et al.*, 1994)。在 5°C 貯藏第 2 天調查花蕾及花梗其葉綠素及類胡蘿蔔素含量，冰:水以 1:1 混合處理花蕾之葉綠素顯著高於其他處理，貯藏 10 天後，對照組花球黃化為所有處理中較為嚴重，且失重率 (7.96%) 顯著高於預冷處理，青花菜因失水後纖維組織韌性增加，導致剪切力顯著高於預冷處理，櫥架壽命僅有 4 天。Zainal 等 (2019) 研究指出，無預冷處理之哈密瓜有較高的重量損失，失重率高涉及貯藏過程中的蒸散失水與呼吸作用，其中果實失重、果皮和果肉硬度之間具有相關性，水冷處理哈密瓜經三周貯藏有較高的硬度，未預冷的哈密瓜果皮在顯微鏡下觀察，組織細胞壁崩解滲漏且皺縮軟化現象。在 Kochhar 和 Kumar (2015) 實驗中使用冰水混合冰預冷、冷室預冷、壓差預冷、1°C 冰水預冷青花菜，於 1°C 貯藏 25 天後，其中以真空預冷和冷室預冷有較高的失重率，冰水混合冰預冷可減少水分損失，有較低的失重率值、黃化程度和花球萎縮率。

細胞衰老過程中伴隨著氧化作用，而抗氧化物如抗壞血酸、硫醇、酚類和類胡蘿蔔素等，可清除自由基或終止氧化連鎖反應，延緩細胞老化速度 (Mittler, 2002)。許多研究指出，含有較高的抗氧化物及抗氧化酶活性的青花菜，可維持較高的營養物質，抑制葉綠素降解並延緩黃化，有較長的貯藏壽命 (Leja *et al.*, 2001; Xu *et al.*, 2012; Xu *et al.*, 2016; Yuan *et al.*, 2010; Zavaleta-Mancera *et al.*, 2007)。本試驗結果與前人研究相似，具較高的抗氧化能力之花球可維持較高的葉綠素含量，冰:水以 1:1 混合處理有較高的重量、剪切力、葉綠素和抗氧化能力，黃化程度顯著低於冰:水以 1:0 混合處理和對照組，冰:水以 1:1 混合預冷可使青花菜維持較佳的感官品質，延長收穫後的貯藏壽命。

參 考 文 獻

- 林棟樑。2001。蔬果預冷保鮮技術。台南區農業改良場技術專刊 115:90-6。
- 張榮如、陳貽倫、李允中。1994。不同預冷方式對葉菜類品質之影響。桃園區農業改良場研究報告第 19 號。p.17-26。
- Albayati, O. A. Z., R. Kumar, and G. Chauhan. 2007. Forced air precooling studies of perishable food products. *Int. J. Food Eng.* 3:6.
- Alibas, I. and N. Koksali. 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.* 34(4):730-737.
- Brennan, P. S. and R. L. Shewfelt. 1989. Effect of cooling delay at harvest on broccoli quality during postharvest storage. *J. Food Qual.* 12(1):13-22.
- Brosnan, T. and D. W. Sun. 2001. Precooling techniques and applications for horticultural

- products—a review. *Int. J. Refrig.* 24(2):154-170.
- Clarke, S. F., P. E. Jameson, and C. Downs. 1994. The influence of 6-benzylaminopurine on post-harvest senescence of floral tissues of broccoli (*Brassica oleracea* var *Italica*). *Plant Growth Regul.* 14(1):21-27.
- Defraeye, T., P. Cronjé, T. Berry, U. L. Opara, A. East, M. Hertog, P. Verboven, and B. Nicolai. 2015. Towards integrated performance evaluation of future packaging for fresh produce in the cold chain. *Trends Food Sci. Technol.* 44(2):201-225.
- Gillies, S. L. and P. M. A. Toivonen. 1995. Cooling method influences the postharvest quality of broccoli. *HortScience* 30(2):313-315.
- In, B. and J. Kim. 2008. Effect of precooling and harvesting at different times on respiration, browning and microbial growth of fresh-cut iceberg lettuce. *Korean J. Hortic. Sci. Technol.* 26(3):258-264.
- Kader, A. A. 1980. Prevention of ripening in fruits by use of controlled atmospheres. *Food Technol.* 34(3):51-54.
- Kitinoja, L. and J. F. Thompson. 2010. Pre-cooling systems for small-scale producers. *Stewart Postharvest Rev.* 6(2):1-14.
- Kochhar, V. and S. Kumar. 2015. Effect of different pre-cooling methods on the quality and shelf life of broccoli. *J. Food Process. Technol.* 6:424.
- Leja, M., A. Mareczek, A. Starzyńska, and S. Rożek. 2001. Antioxidant ability of broccoli flower buds during short-term storage. *Food Chem.* 72(2):219-222.
- Luo, H., T. Zhou, X. Kong, M. Tao, J. Zhang, W. Wang, J. Li, L. Yu, and Z. Yu. 2019. iTRAQ-based mitochondrial proteome analysis of the molecular mechanisms underlying postharvest senescence of *Zizania latifolia*. *J. Food Biochem.* 43(12):e13053.
- Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends Plant Sci.* 7(9):405-410.
- Page, T., G. Griffiths, and V. Buchanan-Wollaston. 2001. Molecular and biochemical characterization of postharvest senescence in broccoli. *Plant Physiol.* 125(2):718-727.
- Palanikumar, S., P. Madan, and S. K. Bhattacharjee. 2000. Influence of precooling on postharvest life and respiration rate of Raktagandha cut roses. *Indian J. Plant Physiol.* 5(2):203-204.
- Pathare, P. B., U. L. Opara, C. Vigneault, M. A. Delele, and F. A. J. Al-Said. 2012. Design of packaging vents for cooling fresh horticultural produce. *Food Bioproc. Tech.* 5(6):2031-2045.
- Redding, G. P., A. Yang, Y. M. Shim, J. Olatunji, and A. East. 2016. A review of the use and design of produce simulators for horticultural forced-air cooling studies. *J. Food Eng.* 190:80-93.

- Shewfelt, R. L. 1986. Postharvest treatment for extending the shelf life of fruits and vegetables. *Food Technol.* 40(5):70-89.
- Song, L. L., H. Liu, Y. L. You, J. Sun, C. Yi, Y. B. Li, Y. M. Jiang, and J. S. Wu. 2014. Quality deterioration of cut carnation flowers involves in antioxidant systems and energy status. *Sci. Hortic.* 170:45-52.
- Tian, D., L. Fen, L. Jiangang, K. Mengli, Y. Jingfen, Y. Xingqian, and L. Donghong. 2016. Comparison of different cooling methods for extending shelf life of postharvest broccoli. *Int. J. Agric. Biol.* 9(6):178-185.
- Wang, D., Y. Lai, B. Jia, R. Chen, and X. Hui. 2020. The optimal design and energy consumption analysis of forced air pre-cooling packaging system. *Appl. Therm. Eng.* 165:114592.
- Wang, J., Y. You, W. Chen, Q. Xu, J. Wang, Y. Liu, S. Lili, and J. Wu. 2015. Optimal hypobaric treatment delays ripening of honey peach fruit via increasing endogenous energy status and enhancing antioxidant defence systems during storage. *Postharvest Biol. Technol.* 101:1-9.
- Xu, F., X. Chen, P. Jin, X. Wang, J. Wang, and Y. Zheng. 2012. Effect of ethanol treatment on quality and antioxidant activity in postharvest broccoli florets. *Eur. Food Res. Technol.* 235(5):793-800.
- Xu, F., Y. Tang, S. Dong, X. Shao, H. Wang, Y. Zheng, and Z. Yang. 2016. Reducing yellowing and enhancing antioxidant capacity of broccoli in storage by sucrose treatment. *Postharvest Biol. Technol.* 112:39-45.
- Yuan, G., B. Sun, J. Yuan, and Q. Wang. 2010. Effect of 1-methylcyclopropene on shelf life, visual quality, antioxidant enzymes and health-promoting compounds in broccoli florets. *Food Chem.* 118(3):774-781.
- Zainal, B., P. Ding, I. S. Ismail, and N. Saari. 2019. Physico-chemical and microstructural characteristics during postharvest storage of hydrocooled rockmelon (*Cucumis melo* L. *reticulatus* cv. Glamour). *Postharvest Biol. Technol.* 152:89-99.
- Zavaleta-Mancera, H. A., H. López-Delgado, H. Loza-Tavera, M. Mora-Herrera, C. Trevilla-García, M. Vargas-Suárez, and H. Ougham. 2007. Cytokinin promotes catalase and ascorbate peroxidase activities and preserves the chloroplast integrity during dark-senescence. *J. Plant Physiol.* 164(12):1572-1582.

Effects of the Precooling Methods on the Quality of Broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) Curd

Yi-Xuan Sun¹⁾ Yu Song²⁾

Key words : Broccoli curd (*Brassica oleracea* var. *italica*), Precooling, Respiration rate, Yellowing

Summary

Broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) is composed of fleshy stalks and flower curd, and has a high respiration rate. Upon harvest, it is necessary to quickly remove post-harvest field heat from the curd and adjust the storage gas environment in order to reduce respiration to delay senescence. Broccoli curd were pre-cooled by immersing in different proportions of crushed ice and 5°C ice water. The cooling rate of center curd stem reached at 5°C with ice:water = 1:1, 5°C ice water or crushed ice temperature was 17, 35 and 66 minutes, respectively. Measured by thermal imager, ice:water=1:1 treatments showed fastest cool effect and uniform temperature distribution. The chlorophyll, antioxidant capacity and storage life of the curd without any pre-cooling treatment were significantly lower than other treatments. During storage, the respiration rate of ice:water=1:1 treatment was significantly lower than other treatments. Curds from ice:water=1:1 and 5°C ice water treatments had higher weight, hardness, chlorophyll content and antioxidant capacity. The degree of yellowing of the curds was significantly lower than the with crushed ice and control (without pre-cooling treatments).

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

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

