

## 預冷方式對青花菜貯藏品質之影響

王香媛<sup>1)</sup> 陳昶霖<sup>2)</sup> 林慧玲<sup>3)</sup>

關鍵字：青花菜、預冷方式、貯藏品質、呼吸率

**摘要：**本研究探討冰泥和碎冰預冷對青花菜的降溫時間及1°C長期貯藏品質、呼吸率和乙烯釋放率之影響。結果顯示，以冰泥預冷之蕾球降溫速度最快，約25分鐘中心溫度可達1°C，預冷處理之青花菜於低溫1°C貯藏8週後蕾球外觀皆呈深綠色，以冰泥預冷和碎冰預冷的蕾球失重率較對照組低，且在低溫1°C貯藏4週後的呼吸率較對照組低61.15%和36.78%，貯藏期間皆無乙烯產生。因此採收後可透過冰泥預冷使青花菜迅速降溫，預冷後的青花菜於貯藏期間可維持蕾球緊實度，減緩微生物感染，降低蕾球呼吸率和抑制乙烯產生以延長貯藏壽命。

### 前 言

青花菜(*Brassica oleracea* L., *Italica* Group)為十字花科(Brassicaceae)芸薹屬花菜類蔬菜作物，原產於歐洲地中海地區，其具有豐富的營養成分及促進人體健康植化素，如類黃酮(flavonoid)、抗壞血酸(ascorbic acid)、硫配醣體(glucosinolate)以及酚類化合物(phenolic compound)等，可增加人體免疫系統以及抗氧化能力，降低慢性疾病的風險，因此目前作為健康食材作物在全球廣泛種植(Aghdam *et al.*, 2020; Luo *et al.*, 2020)。

青花菜採後呼吸率高且蒸發快速，因此保鮮期短，於13°C櫥架壽命約1至6天(Toivonen, 1997)，若延遲3小時進行預冷，蕾球於貯藏期間品質會迅速下降，花蕾飽滿度(turgor)和氣味貯藏至第12天時就已低於市場可接受度(Brennan & Shewfelt, 1989)。園產品預冷的方法包含室冷、強制風冷(壓差)、冰水預冷、碎冰)勺預冷以及真空預冷等，強制風冷適用於大多數的蔬菜水果，相較其他預冷方法其降溫速度較慢，隨著預冷時間增加，產品失水率和寒害發生率會逐漸提高(Han *et al.*, 2018)。

- 
- 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。
  - 3) 國立中興大學園藝學系教授，通訊作者。

採後青花菜傳統常以碎冰進行預冷，碎冰可降低蕾球溫度並提高相對濕度，延緩呼吸率和萎凋的情形(Brennan & Shewfelt, 1989)。在Dirapan等人(2021)的研究中，以包裝碎冰預冷(package icing)處理後於 $8 \pm 1$  °C環境下貯藏可維持青花菜顏色、緊實度、抗氧化能力、總酚和抗壞血酸含量，降低失重率，使青花菜貯藏期由5天延長至12天。

冰泥(ice slurry)是一種由冰晶、液態水和添加劑(additives)組成的預冷介質，其流動性佳，具有較大的能量密度和較高的導熱係數，可快速影響熱的變化(Kauffeld *et al.*, 2010)，當冰泥中的冰含量為5-30%時，冰泥的降溫能力是冰水的5-6倍(Bellas *et al.*, 2002)。

Liu等人(2017)的研究中指出可透過調整冰泥添加劑的濃度控制冰泥溫度，以達到不同蔬果預冷所需的溫度。由於冰泥特殊的物理特性，近年來冰泥在食品保鮮的應用逐漸增加(Matsumoto *et al.*, 2018)。蔬果以冰泥預冷可延長保鮮期，或是使園產品迅速適應低溫，以減少寒害的發生(Liang *et al.*, 2013)。通常冰泥預冷也可應用在包裝後的園產品，如青花菜以防水材料包裝後利用冰泥進行預冷，可防止萎凋、抑制酵素活性和呼吸率(Kauffeld *et al.*, 2010)，或是利用機械於包裝口注入冰泥，可於青花菜於輸送帶上運輸時迅速注入紙箱中，操作迅速(Elansari *et al.*, 2019)。

本試驗嘗試利用冰泥(ice slurry)進行預冷，探討有無預冷處理以及不同預冷方法對青花菜降溫時間、貯藏品質、呼吸率與乙烯釋放率之影響，了解不同預冷方式之優缺點以及實地操作之可行性。

## 材料與方法

### (一) 試驗材料

#### 1. 植物材料

於2021年12月22日進行，前一日事先準備碎冰及冰泥，隔日早晨至雲林縣褒忠鄉顏姓農民青花菜田，將農民採收之'綠寶'青花菜進行預冷處理，並在處理後2-3小時內迅速運回中興大學園藝學系採後處理實驗室進行試驗。

#### 2. 冰泥製作方式

將碎冰與2%氯化鈣水溶液以體積比為3:1的比例用果汁機打成冰泥，裝入冰桶中並放置於0°C冷藏庫中待隔日使用。氯化鈣水溶液之作用為降低冰點，使冰泥仍保持流動性，避免冰泥在0°C冷藏庫中因溫度過低而結成一塊。

### (二) 試驗方法

於田間挑選外觀完整之蕾球編號後進行秤重，約60顆青花菜一半進行碎冰預冷，另一半則以冰泥預冷，未經預冷處理者作為對照組。運回實驗室後將青花菜取出，裝入內襯優系(Usii)塑膠袋(長107.5 cm寬81cm，可吸收植物老化激素)的紙箱中，將塑膠袋封口向內捲入並折起後以膠帶封箱，放置於1°C低溫下貯藏，剩餘青花菜則進行當日品質調查

以及呼吸率測定。貯藏至第4和8週時，調查貯藏後外觀變化及呼吸率情形，每次出庫調查16顆蕾球。

### (三) 調查項目與分析方法

#### 1. 蕾球品質

##### (1) 蕾球失重率 (Weight loss)

每顆青花菜蕾球貯藏前先於花梗處標號，以電子天秤測量蕾球採收當日的重量，在出庫時同樣測量並記錄貯藏後蕾球重量。失重率數據以1顆為1重複，共16重複。失重率計算方程式如下，其單位以%表示：

蕾球失重率 (%) = (貯藏前蕾球重 - 貯藏後蕾球重) / 貯藏前蕾球重 × 100%

##### (2) 蕾球黃化指數 (Yellowing index)

參考Fang等人(2020)的分級方法。依照青花菜蕾球表面花蕾黃化面積分為0-4級，級數越高蕾球表面的黃化程度越嚴重。0級表示為蕾球表面無黃化，1級為蕾球仍為深綠色，表面僅0-25%黃化，2級蕾球表面25-50%黃化，3級蕾球表面50-75%黃化，4級蕾球表面75-100%黃化。黃化指數數據以1顆為1重複，共16重複。

##### (3) 緊實度指數 (Firmness index)

參考Gillies和Toivonen (1995)之調查方法。每次調查時皆由同一人進行評估，以手觸摸青花菜蕾球表面進行分級。緊實度分為1-5級，級數越高蕾球越緊實，反之則蕾球越鬆散。蕾球緊實度數據以1顆為1重複，共16重複。

##### (4) 真菌性感染率 (Fungal infection rate)

以肉眼判斷蕾球表面是否有菌絲出現，每次調查16顆青花菜，真菌性感染率以百分率(%)表示。

##### (5) 落蕾率 (Bud falling rate)

以手握青花菜花梗處，輕微搖晃蕾球，若明顯有大量花蕾掉落則有落蕾的情形，每次調查16顆青花菜，落蕾率以百分率(%)表示。

#### 2. 蕾球顏色

以手持式色差儀 (Portable Spectrophotometer, MiniScan EZ 4000, HunterLab) 於每顆青花菜蕾球表面測定花蕾顏色，於蕾球直徑處取三個點進行測定，共測定12顆，顏色以L\*、a\*、b\*、C\*、h°表示。

#### 3. 預冷時間

參考Gillies和Toivonen (1995)之調查方法。青花菜採後於花梗中央插入溫度記錄器 (Temperature data logger, HOBO Pro v2)，運回實驗室後放入1°C冷藏庫中，紀錄不同預冷方式以及未預冷之蕾球降溫至1°C時所需的時間。

#### 4. 乙烯釋放率

將青花菜整顆放入4.0 - 6.6L的呼吸缸中，密閉1小時後抽取內部氣體測定。使用塑膠針筒自呼吸缸中抽取氣體，定量至1 mL，將氣體注入氣相層析儀 (Gas chromatograph，

Shimadzu, GC-8A) 中，並以火焰離子化偵測器 (Flame ionization detector) 進行測定，以氮氣作為攜帶氣體、氫氣作為燃燒氣體和氧氣作為助燃氣體，去測定呼吸缸內所含乙烯濃度，由已知標準品濃度去進行換算，標準品濃度為1.1136 ppm，單位以 $\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{Hr}^{-1}$ 表示，共5重複。

#### 5. 呼吸率 (Respiration rate)

將青花菜整顆放入4.0 - 6.6L的呼吸缸中，密閉1小時後抽取內部氣體測定，以蕃球所產生之二氧化碳速率表示。以塑膠針筒自呼吸缸中抽取氣體，定量至1 mL，將氣體注入紅外線二氧化碳分析儀 (Infrared CO<sub>2</sub> analyzer, Rosemount, X-stresam enhanced XEGK)，氮氣作為攜帶氣體，測定呼吸缸內二氧化碳濃度，由已知標準品濃度去進行換算，標準品濃度為1.1612 %，單位以 $\text{mL CO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{Hr}^{-1}$ 表示，共5重複。

#### (四) 數據統計分析

試驗結果以統計軟體COSTAT 6.4進行單因子變方分析及最小顯著差異檢定 (Least significant difference, LSD)，比較處理間是否有顯著差異( $P < 0.05$ )。預冷時間之試驗結果以Sigmaplot進行製圖。

## 結 果

### 一、不同預冷方式對'綠寶'青花菜降溫速度之影響

不同預冷方式對'綠寶'青花菜降溫速度之影響如圖1所示。採收當日氣溫較低，青花菜花梗中心溫度介於14至16°C之間，預冷目標為1°C。青花菜以冰泥預冷花梗中心降溫至1°C所需的時間約25分鐘，碎冰預冷則需140分鐘(2小時20分鐘)，所花費時間為冰泥預冷的5.6倍。青花菜未經過預冷直接放入貯藏庫時(對照組)，花梗中心溫度降至1°C需1250分鐘(20小時50分鐘)，相較於碎冰和冰泥預冷處理的青花菜慢18至19小時。在本試驗中青花菜蕃球中心溫度降至1°C的速度以冰泥預冷最快，碎冰預冷次之，而未預冷的蕃球降溫速度最慢，所需時間約為碎冰預冷的9倍。

### 二、不同預冷方式對'綠寶'青花菜貯藏品質之影響

#### (一) 外觀品質

##### 1. 蕃球外觀

不同預冷方式對'綠寶'青花菜貯藏於低溫1°C貯藏4週後蕃球外觀如圖2所示，蕃球表面花蕾仍維持深綠色，且蕃球側面無明顯黃化的情形；貯藏8週後蕃球外觀如圖3所示，三處理蕃球表面大多仍維持深綠色，但部分小花蕾有黃化的情形，推測蕃球側面於裝箱時受擠壓則有明顯黃化。

##### 2. 失重率

蕃球品質調查結果如表1所示，貯藏至第4週時對照組(未預冷)、碎冰預冷和冰泥預冷

失重率分別為1.09、-2.71和-10.63%，失重率呈負值可能為包裝時預冷之冰融為水，濕度較高，水由花梗切口處吸收導致重量變重之，其中經冰泥預冷處理之青花菜重量增加最多，失重率顯著低於碎冰預冷和未預冷的蕾球。貯藏至第8週時對照組、碎冰預冷和冰泥預冷處理失重率分別為1.66、0.86和-3.97%，同樣以冰泥預冷之蕾球失重率顯著低於其他兩者，碎冰預冷和對照組蕾球失重率兩者無顯著差異。

### 3. 黃化指數

青花菜經冰泥預冷、碎冰預冷以及對照組在貯藏第4週時黃化指數為0、0和0.17，且三者無顯著差異(表1)，至第8週時冰泥預冷、碎冰預冷以及對照組黃化指數分別為0.50、0.25和0.58，三者同樣無顯著差異，因此不同預冷處理和對照組在1°C貯藏至相同週數時蕾球黃化指數無顯著差異，然而對照組和冰泥預冷組之青花菜隨貯藏時間黃化指數會顯著增加。

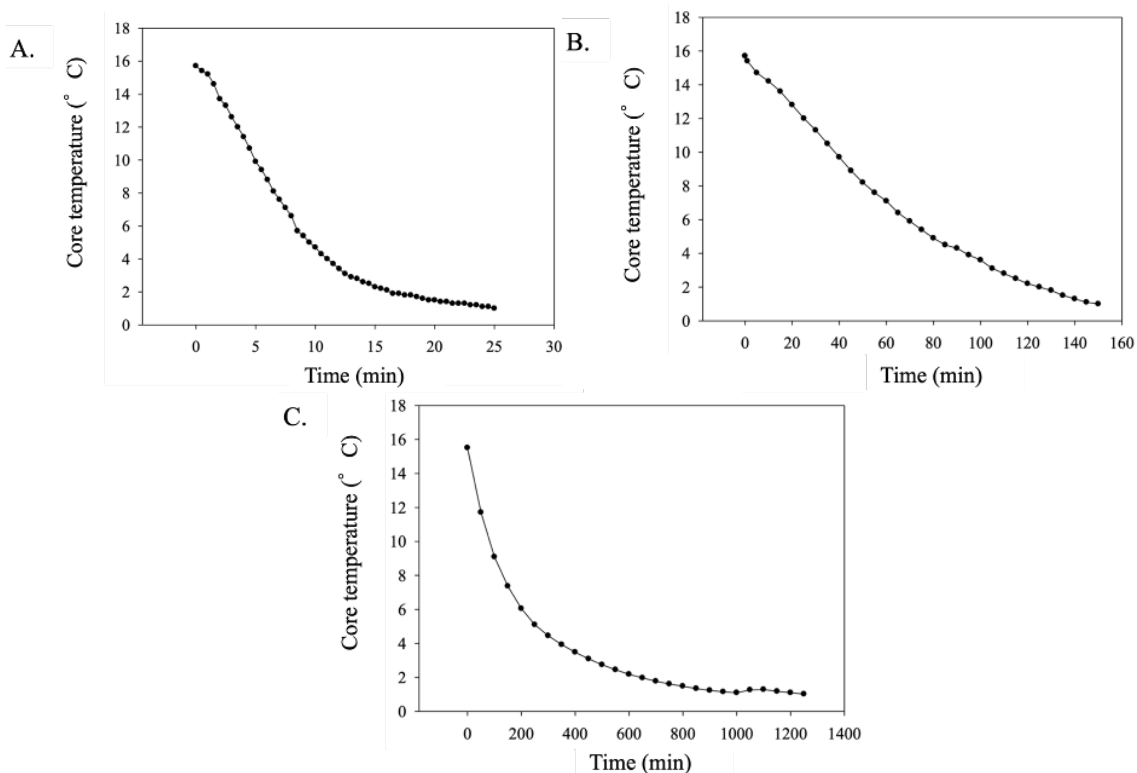


圖1. 不同預冷方式對青花菜蕾球中心降溫時間之影響。(A)冰泥預冷(B)碎冰預冷(C)未預冷(室冷)。

Fig 1. The core temperature change curve of broccoli by (A) ice slurry cooling, (B) ice cooling (C) control (room cooling).

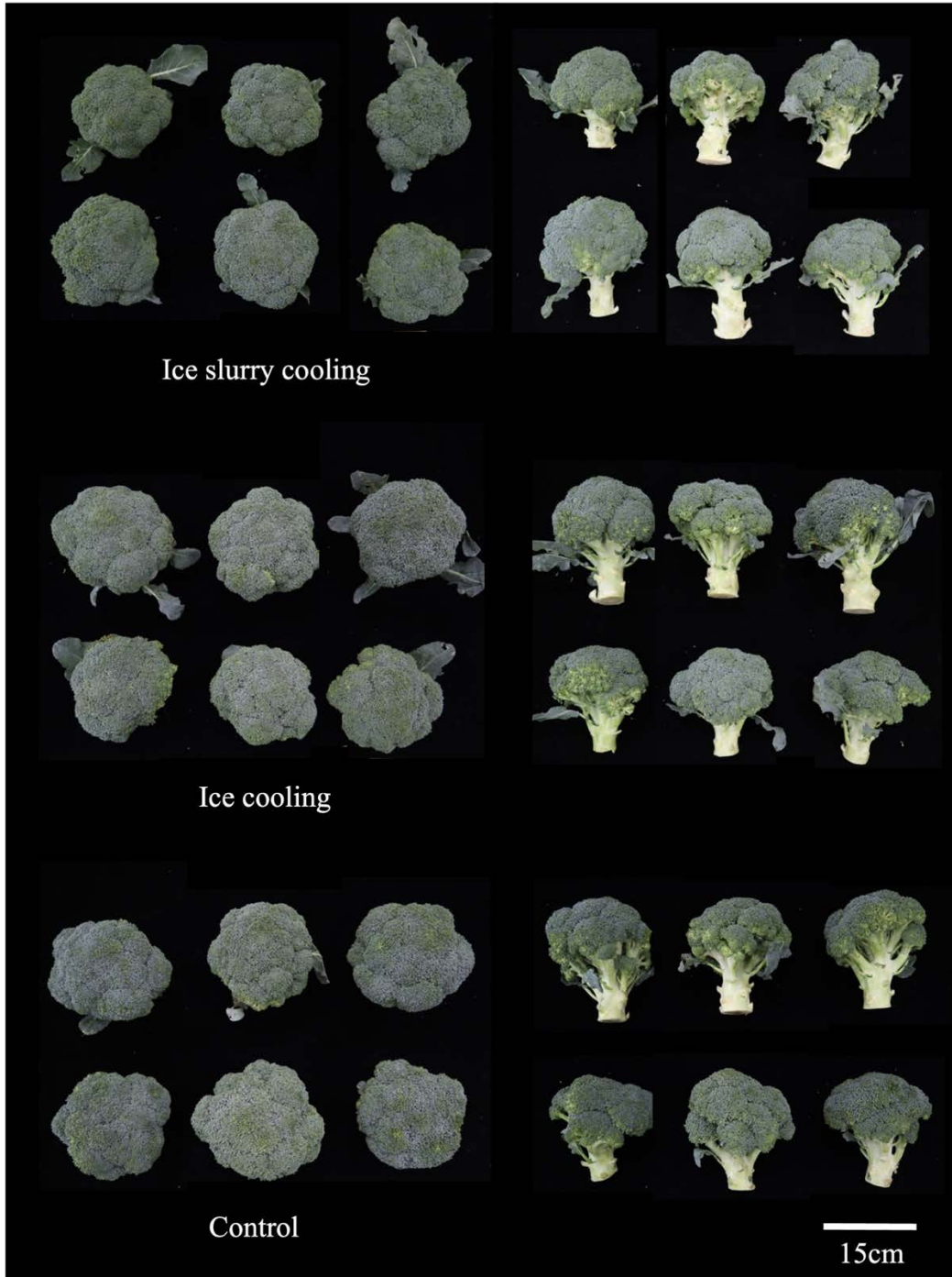


圖2. 不同預冷處理'綠寶'青花菜於低溫1°C貯藏4週之薈球外觀。

Fig 2. The appearance of 'Green Baby' broccoli with different pre-cooling treatments storage at 1 °C for 4 weeks. (Control = non pre-cooling).

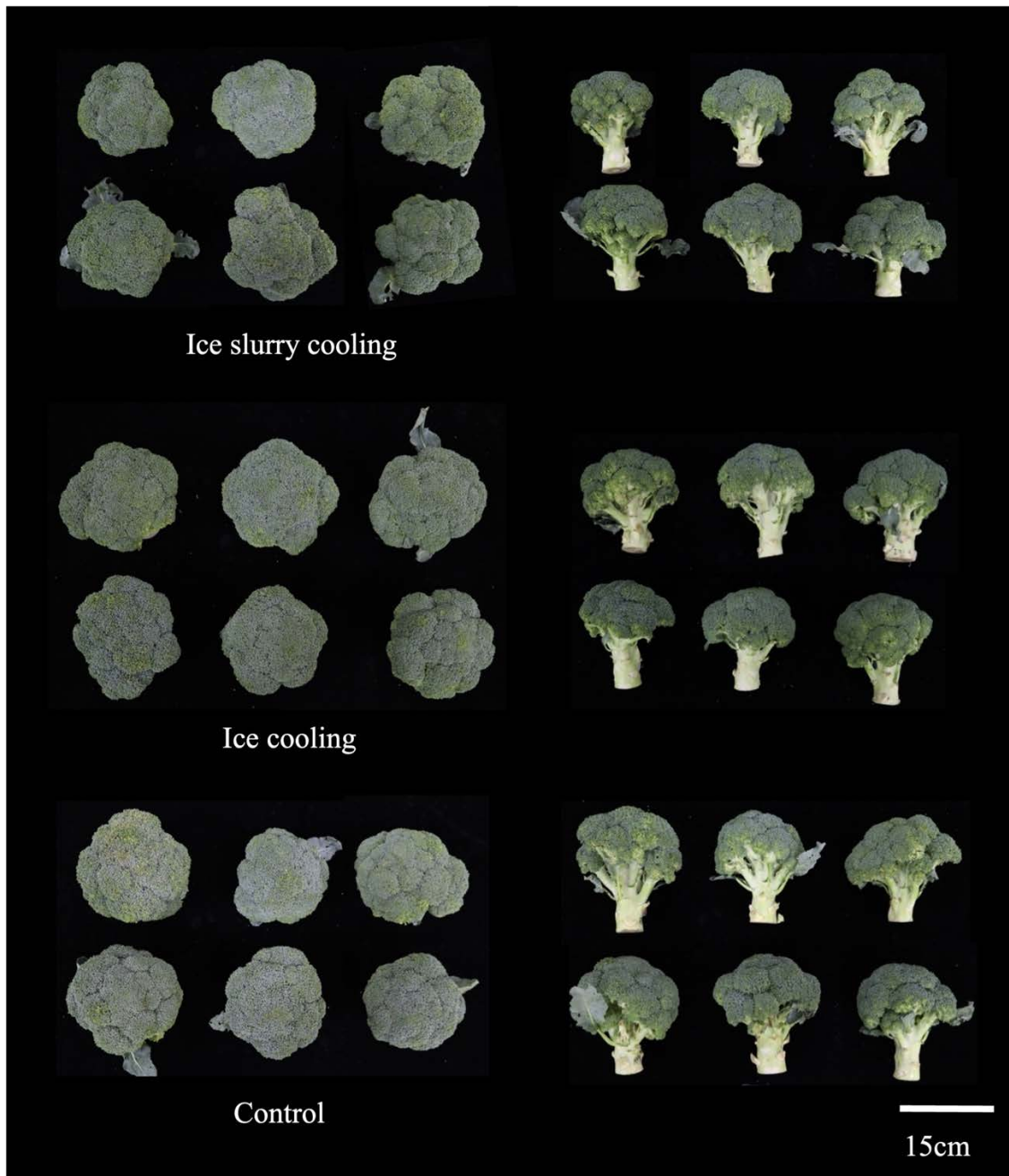


圖3. 不同預冷處理'綠寶'青花菜於低溫1°C貯藏8週之薈球外觀。

Fig 3. The appearance of 'Green Baby' broccoli with different pre-cooling treatments storage at 1 °C for 8 weeks. (Control = non pre-cooling).

表1. 不同預冷處理'綠寶'青花菜於低溫1°C貯藏4和8週之蕾球品質

Table 1. The quality of 'Green Baby' broccoli with different pre-cooling treatment storage at 1°C for 4 and 8 weeks. (n=16; ± SD)

Time	Treatment	Weight loss (%)	Yellowing index <sup>a</sup>	Bud falling rate (%)	Fungal infection rate (%)	Firmness index <sup>b</sup>
Week 4	Control	1.09 a <sup>z</sup>	0.17 bc	0	0.00	4.67 b
	Ice cooling	-2.71 b	0.00 c	0	0.00	4.83 ab
	Ice slurry cooling	-10.63 c	0.00 c	0	0.00	5.00 a
Week 8	Control	1.66 a	0.58 a	0	8.33	4.75 ab
	Ice cooling	0.86 a	0.25 abc	0	0.00	4.92 ab
	Ice slurry cooling	-3.97 b	0.50 ab	0	0.00	4.92 ab

<sup>a</sup> Yellow index: 0= no yellowing; 1= broccoli flower head 0-25% yellowing; 2= broccoli flower head 25-50% yellowing; 3= broccoli flower head 50-75% yellowing; 4= broccoli flower head 75-100% yellowing.

<sup>b</sup> Firmness index: touch the broccoli head and divide it into 5 level, the flower bud at 5 is the most firmness, and 1 is the loosest.

<sup>z</sup> Means within columns followed by the same letter are not significantly different at 5% level by LSD test.

#### 4. 落蕾與真菌性感染率

有無預冷在4-8週貯藏期間青花菜都無落蕾現象產生，對照組蕾球貯藏至第8週時有少許蕾球表面受真菌性感染(8.3%)，然而預冷處理組在貯藏期間蕾球表面皆無觀察到菌絲出現(表1)。

#### 5. 緊實度指數

冰泥預冷、碎冰預冷和對照組貯藏4週蕾球緊實度指數分別為4.67、4.83和5級，其中冰泥預冷之青花菜緊實度顯著高於對照組，與碎冰預冷則無顯著差異，貯藏至第8週時，三者緊實度指數為4.75、4.92和4.92，彼此無顯著差異，青花菜有無預冷在低溫1°C貯藏時皆能維持緊實度。

在本試驗中冰泥預冷組的蕾球失重率最低，且貯藏期間無落蕾和真菌性感染的情形，



可延緩黃化並維持蕾球緊實度；碎冰預冷組的蕾球失重率居中，在其餘外觀調查項目皆與冰泥預冷的結果相似，因此採後於低溫1°C貯藏前透過預冷可降低蕾球失重，避免真菌性感染，延長其商品價值。

## (二) 蕾球顏色

不同預冷處理'綠寶'青花菜於低溫1°C貯藏4和8週之蕾球顏色如表2所示。預冷處理組和對照組青花菜在貯藏期間L\*值介於42.49至44.69之間，貯藏至第8週時冰泥預冷、碎冰預冷和對照組L\*值為44.69、44.24和44.31，三者顯著高於採收當日L\*值(42.49)，亮度隨貯藏時間上升。預冷處理組和對照組青花菜在貯藏期間a\*值介於-6.40至-5.06，冰泥預冷處理之青花菜貯藏第4和8週a\*值為-6.40、-6.15，顯著低於碎冰預冷處理(-5.87、-5.31)和對照組(-5.65、-5.93) a\*值。預冷處理組和對照組青花菜在貯藏期間b\*值介於8.22至14.57之間，C\*值介於10.14至15.85之間。貯藏期間青花菜h°值分別為113.71至126.44之間，貯藏至第8週時冰泥預冷、碎冰預冷和對照組h°值為113.71、114.82和117.69，預冷處理組h°值顯著低於對照組，然而三者皆低於採收當日h°值(118.40)。

## (三) 呼吸率和乙烯釋放率

不同預冷方法對'綠寶'青花菜於低溫1°C貯藏時呼吸率和乙烯生成變化如表3所示。採收當日青花菜於室溫下(蕾球中心溫度約14至16°C)呼吸率為99.88 mL CO<sub>2</sub> · Kg<sup>-1</sup> · Hr<sup>-1</sup>，經由碎冰或冰泥預冷約2-3小時使中心溫度達1°C時的蕾球呼吸率為35.87和29.56 mL

表 2. 不同預冷處理'綠寶'青花菜於低溫1°C貯藏4和8週之蕾球顏色

Table 2. The color parameters of 'Green Baby' broccoli head with different pre-cooling treatment storage at 1°C for 4 and 8 weeks. (n=16; ± SD)

Time	Treatment	L*	a*	b*	C*	h°
Week0	-	42.49 b <sup>z</sup>	-5.06 a	9.89 cd	11.22 cd	118.40 c
	Control	44.44 a	-5.93 cd	8.73 de	10.60 cd	125.15 ab
Week4	Ice cooling	43.53 ab	-5.87 cd	8.22 e	10.14 d	126.44 a
	Ice slurry cooling	43.82 ab	-6.40 e	10.33 bc	12.18 bc	122.47 b
	Control	44.31 a	-5.65 bc	11.47 bc	12.88 b	117.69 c
Week8	Ice cooling	44.24 a	-5.31 ab	11.90 b	13.08 b	114.82 d
	Ice slurry cooling	44.69 a	-6.15 de	14.57 a	15.85 a	113.71 d

<sup>z</sup> Means within columns followed by the same letter are not significantly different at 5% level by LSD test.

$\text{CO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{Hr}^{-1}$ ，相較於室溫下呼吸率降低了64.09%和70.40%。未預冷青花菜放入 $1^\circ\text{C}$ 冷藏庫中待隔日中心溫度達 $1^\circ\text{C}$ 時蕃球呼吸率為 $31.30 \text{ mL CO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{Hr}^{-1}$ ，相較於室溫下呼吸率降低了68.66%，透過預冷處理和置於冷藏庫內呼吸率皆顯著降低青花菜的呼吸率。貯藏4週時對照組(未預冷直接放入冷藏庫貯藏)、碎冰預冷和冰泥預冷的青花菜呼吸率分別為48.97、19.02和 $30.96 \text{ mL CO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{Hr}^{-1}$ ，對照組呼吸率顯著高於預冷處理組，且碎冰預冷蕃球呼吸率顯著低於冰泥預冷處理，透過碎冰和冰泥預冷在低溫貯藏時較對照組呼吸率低了61.15%和36.78%。貯藏8週時對照組、碎冰預冷和冰泥預冷的青花菜呼吸率分別為56.82、9.91和 $29.29 \text{ mL CO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{Hr}^{-1}$ ，經碎冰和冰泥預冷之青花菜呼吸率較對照組低82.56%、48.45%，對照組呼吸率顯著高於預冷處理組，碎冰預冷蕃球呼吸率顯著低於冰泥預冷處理。

採收當日青花菜乙烯產量為 $13.17 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{Hr}^{-1}$ ，以碎冰和冰泥預冷使蕃球中心溫度降至 $1^\circ\text{C}$ 時則沒有偵測到乙烯產生( $0 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{Hr}^{-1}$ )，未預冷青花菜放入 $1^\circ\text{C}$ 冷藏庫中待隔日中心溫度達 $1^\circ\text{C}$ 時蕃球乙烯產量為 $8.28 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{Hr}^{-1}$ ，相較於室溫下低了28.48%。採收後經預冷處理在 $1^\circ\text{C}$ 貯藏第4週和第8週時皆沒有乙烯產生，對照組於第4週沒有乙烯產生，第8週時則有微量的乙烯產生( $0.16 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{Hr}^{-1}$ )。

本試驗比較不同預冷方法以達成降低青花菜呼吸率，並抑制乙烯生成之效果其中以碎冰預冷的效果最佳，於貯藏期間呼吸率皆顯著低於冰泥預冷處理組和對照組，且無乙烯產生。未預冷的青花菜置於室溫下呼吸率高，放入 $1^\circ\text{C}$ 冷藏庫中可降低其呼吸率，待中心溫度達 $1^\circ\text{C}$ 時呼吸率與預冷處理組無顯著差異，然而未經過預冷的青花菜在貯藏期間呼吸率顯著高於預冷處理組，且有乙烯產生。

## 討 論

於相同條件下，冰泥含5至30%的冰其冷凍能力是冰水的5到6倍(Bellas *et al.*, 2002)，其溫度低且降溫速度較快。本試驗中不同預冷方法降溫至 $1^\circ\text{C}$ 花費的時間以冰泥預冷(25分鐘) $<$ 碎冰預冷(140分鐘) $<$ 室冷(20小時)(圖1)。此次試驗中所使用冰泥溫度約 $-2^\circ\text{C}$ ，且流動性佳，可滲入小花蕾間的縫隙迅速降溫，與利用冰水預冷之作用相似。Gillies和Toivonen(1995)試驗中指出以冰水預冷(Hydrocooling)之蕃球中心溫度皆低於碎冰預冷和室冷處理，且 $1^\circ\text{C}$ 冰水預冷之蕃球放入 $2^\circ\text{C}$ 冷藏庫中僅需35分鐘即使中心溫度達 $2^\circ\text{C}$ ；碎冰預冷則需花費4.8小時。

本試驗中青花菜於 $1^\circ\text{C}$ 貯藏4週後碎冰預冷和冰泥預冷蕃球失重率為負值，表示重量增加(表1)。以碎冰和冰泥預冷後裝箱，花蕾縫隙可能會帶有小碎冰和冰泥，於貯藏期間融化變為水，使包裝內的水氣增加，由花梗切口處吸收，導致重量增加。貯藏至第8週時未預冷之青花菜有發霉的情形(表1)，Dirapan 等人(2021)的研究中指出未預冷的青花

表 3. 不同預冷處理'綠寶'青花菜於採收當日和低溫1°C貯藏期間呼吸率和乙烯釋放率  
 Table 3. Respiration rate and ethylene production rate of 'Green Baby' broccoli head with different pre-cooling treatment on the day of harvest and storage during storage at 1°C. (n=16; ± SD)

Treatment		Respiration rate (mL CO <sub>2</sub> · Kg <sup>-1</sup> · Hr <sup>-1</sup> )	Ethylene production (μL C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> · Kg <sup>-1</sup> · Hr <sup>-1</sup> )
Week 0	Room temperature	99.88 a <sup>z</sup>	13.17 a
	Control	31.30 cd	8.28 b
	Ice cooling	35.87 c	0.00 c
	Ice slurry cooling	29.56 cd	0.00 c
Week 4	Control	48.97 b	0.00 c
	Ice cooling	19.02 e	0.00 c
	Ice slurry cooling	30.96 cd	0.00 c
Week 8	Control	56.82 b	0.16 c
	Ice cooling	9.91 f	0.00 c
	Ice slurry cooling	26.29 de	0.00 c

<sup>z</sup> Means within columns followed by the same letter are not significantly different at 5% level by LSD test.

菜初始微生物量高於真空預冷和碎冰包裝預冷處理之蕾球，隨貯藏期間酵母菌和黴菌的數量會顯著增加，其中未預冷的青花菜酵母菌和黴菌數量高於預冷處理。Al-Dairi 等人(2021)也曾指出導致園產品品質下降之微生物生成過程與溫度有關。因此推測透過預冷可減少微生物的生長，減緩變質腐爛。相較於室冷之青花菜，透過水冷和碎冰預冷的蕾球在貯藏過程中可維持其緊實度和避免黃化(Gillies and Toivonen, 1995)。Forney和Rij (1991)也曾指出預冷的青花菜較未預冷的蕾球更能維持其緊實度。本試驗中貯藏4週冰泥預冷之蕾球緊實度顯著高於對照組(表1)，然而貯藏至第8週時預冷處理組的h<sup>o</sup>值顯著低於對照組(表2)，在外觀上並沒有觀察到預冷處理組之蕾球顏色較黃(圖3)，推測蕾球顏色上的些微變化肉眼可能無法看出差異。

青花菜為花菜類蔬菜，其採後具有很高的呼吸率。Ding等人(2016)的研究中指出未預冷的青花菜(室溫25°C)呼吸率高達315.84 mg CO<sub>2</sub> · Kg<sup>-1</sup> · Hr<sup>-1</sup>，而經過預冷處理之蕾球呼吸率皆顯著降低，約降低19-28%。Toivonen(1997)結果顯示隨1°C的貯藏時間增加，會導致

青花菜的呼吸率下降，推測可能使蕾球的代謝活性受到抑制。本試驗中採收當日(約15°C)未預冷的青花菜呼吸率顯著高於預冷處理組，與前人研究結果相似，其中以碎冰預冷的青花菜在貯藏期間呼吸率會逐漸降低，其下降趨勢較冰泥預冷快。King和Morris (1994a)發現室溫下青花菜的乙烯產量在採後3小時顯著增加，放置24小時後會下降至接近初始乙烯產量，本試驗中未預冷的青花菜乙烯產量(13.17  $\mu\text{L C}_2\text{H}_4/\text{Kg}^{-1} \cdot \text{Hr}^{-1}$ )，可能是採後所造成的傷害刺激乙烯在短時間內迅速增加(King & Morris, 1994b)，然而透過碎冰和冰泥預冷於採收當日和貯藏期間皆可避免乙烯的產生。

綜合上述，以冰泥預冷速度最快，可在30分鐘內迅速降低蕾球溫度，透過碎冰和冰泥預冷皆可避免青花菜失重，並維持緊實度，效降低青花菜的呼吸率並避免乙烯產生，減少低溫貯藏期間之霉腐，降低損耗率。

## 參 考 文 獻

- Aghdam, M. S., M. Sayyari, and Z. S. Luo. 2020. Exogenous application of phyto-sulfokine alpha (PSK alpha) delays yellowing and preserves nutritional quality of broccoli florets during cold storage. *Food Chem.* 333:127481.
- Al-Dairi, M., P. B. Pathare, and R. Al-Yahyai. 2021. Effect of postharvest transport and storage on color and firmness quality of tomato. *Horticulturae.* 7(7):163.
- Bellas, J., I. Chaer, and S. A. Tassou. 2002. Heat transfer and pressure drop of ice slurries in plate heat exchangers. *Appl. Therm. Eng.* 22(7):721-732.
- Brennan, P. and R. Shewfelt. 1989. Effect of cooling delay at harvest on broccoli quality during postharvest storage. *J. Food Quality.* 12(1):13-22.
- Ding, T., F. Liu, J. G. Ling, M. L. Kang, J. F. Yu, X. Q. Ye, and D. H. Liu. 2016. Comparison of different cooling methods for extending shelf life of postharvest broccoli. *Int. J. Agr. Biol. Eng.* 9(6):178-185.
- Dirapan, P., D. Boonyakiat, and P. Poonlarp. 2021. Improving shelf life, maintaining quality, and delaying microbial growth of broccoli in supply chain using commercial vacuum cooling and package icing. *Horticulturae.* 7(11):506.
- Elansari, A. M., D. L. Fenton, and C. W. Callahan. 2019. Precooling. In: *Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities*, Elhadi (eds.), Woodhead. pp. 161-207.
- Fang, H. X., F. Luo, P. X. Li, Q. Zhou, X. Zhou, B. D. Wei, S. C. Cheng, H. S. Zhou, and S. J. Ji. 2020. Potential of jasmonic acid (JA) in accelerating postharvest yellowing of broccoli by promoting its chlorophyll degradation. *Food Chem.* 309:125737.
- Forney, C. F. and R. E. Rij. 1991. Temperature of broccoli florets at time of packaging influences

- package atmosphere and quality. Hort Sci. 26(10):1301-1303.
- Gillies, S. L. and P. M. A. Toivonen. 1995. Cooling method influences the postharvest quality of broccoli. Hort Sci. 30(2):313-315.
- Han, J. W., C. J. Zhao, J. P. Qian, L. Ruiz-Garcia, and X. Zhang. 2018. Numerical modeling of forced-air cooling of palletized apple: Integral evaluation of cooling efficiency. Int. J. Refrig. 89:131-141.
- Kauffeld, M., M. J. Wang, V. Goldstein, and K. E. Kasza. 2010. Ice slurry applications. Int. J. Refrig. 33(8):1491-1505.
- King, G. A. and S. C. Morris. 1994a. Early compositional changes during postharvest senescence of broccoli. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 119(5):1000-1005.
- King, G. A. and S. C. Morris. 1994b. Physiological changes of broccoli during early postharvest senescence and through the preharvest-postharvest continuum. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 119(2):270-275.
- Liang, Y. S., O. Wongmetha, P. S. Wu, and L. S. Ke. 2013. Influence of hydrocooling on browning and quality of litchi cultivar Feizixiao during storage. Int. J. Refrig. 36(3):1173-1179.
- Liu, S. C., L. Hao, Z. M. Rao, and X. X. Zhang. 2017. Experimental study on crystallization process and prediction for the latent heat of ice slurry generation based sodium chloride solution. Appl. Energy. 185:1948-1953.
- Luo, F., H. Fang, B. Wei, S. Cheng, Q. Zhou, X. Zhou, X. Zhang, Y. Zhao, and S. Ji. 2020. Advance in yellowing mechanism and the regulation technology of post-harvested broccoli. Food Quality Safety. 4(3):107-113.
- Matsumoto, K., H. Kubota, Y. Umehara, K. Ehara, J. Sakamoto, J. Ueda, and K. Sato. 2018. Investigation on cohesive force of ice particles in ice slurry for long-term ice storage. Int. J. Refrig. 90:156-162.
- Toivonen, P. M. A. 1997. The effects of storage temperature, storage duration, hydro-cooling, and micro-perforated wrap on shelf life of broccoli (*Brassica oleracea* L, *Italica* Group). Postharvest Biol. Tec. 10(1):59-65.

## Influence of Pre-cooling Method on The Quality of Broccoli (*Brassica oleracea* L. *italica* Group) during Storage

Hsiang-Yuan Wang<sup>1)</sup> Chang-Lin Chen<sup>2)</sup> Huey-Ling Lin<sup>3)</sup>

Key words: Broccoli, Cooling method, Storage quality, Respiration rate

### Summary

This study was to investigate the effects of ice slurry and crushed ice cooling on the cooling time, head quality, respiration rate and ethylene production rate of broccoli after long-term storage at 1°C. The broccoli head cooled with ice-slurry had faster cooling rate than the crushed-ice treatment and the core temperature can reach at 1°C in about 25 minutes. After pre-cooling by ice slurry or crushed ice, the appearance of broccoli head showed dark green after storage at 1°C for 8 weeks. Broccoli heads pre-cooled with ice slurry and crushed ice reduce the weight loss, and the respiration rate which was 61.15% and 36.78% lower than the control after 4- week storage at 1°C. However, there was no ethylene detected during storage. Overall, broccoli can be rapidly cooled by ice slurry after harvesting. After pre-cooling, broccoli head can maintain the firmness decrease fungal infection, reduce the respiration rate and inhibit the production of ethylene to prolong the shelf life.

---

1) Student in M.S. 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.