

短期葉菜真空預冷技術應用之研究¹

朱詠筑²、張嵐雁³、林詩庭²、張錦興²

摘 要

朱詠筑、張嵐雁、張錦興、林詩庭。2024。短期葉菜真空預冷技術應用之研究。臺南區農業改良場研究彙報 83：40-59。

短期葉菜為臺灣重要蔬菜類別，具有栽培時間短、全年可供應、價格易浮動、低溫貯藏需求高及供貨需求彈性大等特性。國內短期葉菜多由雲嘉南生產，利用共同運銷或直銷送往北部，為供應大量短期葉菜需求、確保採後品質及延長貯架壽命，預冷及貯藏作業為一大課題。本試驗針對青梗白菜、葉萵苣、小白菜及芥藍等短期葉菜，配合真空預冷技術，進行貯藏、共同運銷及延遲預冷等模式之比較試驗。貯藏試驗結果顯示，青梗白菜、葉萵苣、小白菜、芥藍經 5°C 預冷終溫處理後，放置 2°C 冷藏庫 20 天，葉菜損耗率少於未預冷組，分別降低 19.4%、10.0%、29.0%、47.0%。共同運銷試驗結果顯示，經真空預冷機設定預冷終溫 5°C 處理組，比一般慣行對照組（未預冷）明顯降低損耗，青梗白菜減少 5.3%、葉萵苣減少 12.2%、小白菜減少 13.2%、芥藍減少 2.4%。延遲預冷試驗方面，成功建立青梗白菜採後延遲預冷之臨界時間，採收後 2 小時進行預冷處理，並貯放 10°C 冷藏櫃 6 天之可販售率 (96.7%)，與採收後 4 小時進行預冷處理者無顯著差異 (95.2%)，但皆顯著高於採收後 6 小時才預冷處理者 (68.9%)，因此推測，青梗白菜應於採收後 4 小時內進行預冷作業，此為其採後延遲預冷之臨界時間。

現有技術：目前真空預冷技術應用於蔬菜產業已偏向成熟，惟短期葉菜經過真空預冷後進行貯藏之貯藏損耗資料較舊，且真空預冷技術較少應用於共同運銷模式，以及採收後延遲預冷臨界時間之觀念尚需建構。

創新內容：本研究擬建立短期葉菜經真空預冷之貯藏損耗資料，並將真空預冷技術導入共同運銷體系，亦建立短期葉菜之延遲預冷臨界時間。

對產業影響：短期葉菜利用真空預冷後之貯藏損耗資料建立，有助於業者出貨期程安排；真空預冷技術導入共同運銷體系，有效提升葉菜類市場到貨品質；建立短期葉菜之延遲預冷臨界時間，使短期葉菜類貯運損耗率下降，減少損耗風險。

關鍵字：短期葉菜類、真空預冷、延遲預冷、運銷

接受日期：2024 年 3 月 26 日

1. 農業部臺南區農業改良場研究報告第 569 號。
2. 農業部臺南區農業改良場助理研究員、研究助理、研究員兼科長。712009 臺南市新化區牧場 70 號。
3. 國立中興大學園藝學系助理教授。402 臺中市南區興大路 145 號。

前 言

短期葉菜類為臺灣週年可生產之重要蔬菜品項，且全臺皆可種植，其品項包含：十字花科不結球葉菜（小白菜、青梗白菜、芥藍、油菜等）、萵苣、萵菜、蕓菜及冬季之菠菜、茼蒿等^(2,8)。因短期葉菜類生產具有高複作特性，通常種植約 22 ~ 35 天即能採收，年產量高⁽⁴⁾。依據農業統計年報顯示⁽¹⁾，短期葉菜中的不結球白菜 2022 年之收穫面積達 5,322 公頃，每公頃產量達 19 公噸，年產量達 101,286 公噸，為臺灣重要之蔬菜品項。

目前葉菜類直銷業務增加，供應新北市、臺北市及其他縣市的校園營養午餐，或全國各大連鎖量販店、餐廳等通路^(6,9)。為應付現行產銷模式的需求，蔬菜的預冷及貯藏作業成為重要課題，尤其短期葉菜類具有栽培時間短、全年無休、價格波動大、低溫貯藏需求高以及供貨彈性需求大等特性，需要完整的預冷和貯藏試驗規劃，以支持產業運作^(13,11)。

一般蔬果生產合作社、蔬菜產銷班或農場銷路可分為直銷業務或共同運銷業務，直銷業務通常會將短期葉菜類於中南部採收後預冷、冷藏，然後利用冷藏車配送到目的地⁽⁷⁾，若能建立貯藏損耗資料，有助於業者出貨期程安排，進而降低葉菜損耗成本。共同運銷業務方面，通常利用常溫大貨車將中南部生產之葉菜運送至北部拍賣市場，常造成葉菜類的損耗率提高，使售價變低，影響農民收益，因此如何提升短期葉菜之市場到貨品質，為產業重要之議題。

另外，葉菜採後即刻降溫可維持其最佳品質⁽¹²⁾，但考量田間集貨到預冷場域之運送成本，一般多在田間裝箱集貨滿足操作數量（如一車或一棧板等），才會送往預冷場域進行預冷，造成採收後無法立即預冷，如遇氣溫較炎熱，田區集貨時間過長，可能造成葉菜品質損耗，若能掌控葉菜採收延遲預冷之臨界時間，則能有效保持葉菜之品質，減少損耗。

本試驗利用真空預冷機，進行短期葉菜之（一）採後預冷及貯藏試驗、（二）真空預冷技術應用於共同運銷測試，及（三）延遲預冷臨界時間建立等，期能減少葉菜損傷之風險，最終建立短期葉菜完整的預冷、貯運以及延遲預冷臨界時間相關數據資料，提供農友及相關業者參考，共同提升產業競爭力。

材料方法

一、探討真空預冷對短期葉菜類貯藏壽命之影響

為探討真空預冷處理對短期葉菜（未包裝）冷藏效果之影響，並建立貯藏期限資料以做為往後試驗規劃依據，亦可供團膳業者參考，本次試驗選用青梗白菜（‘巨無霸’）、葉萵苣（‘青妹’）、小白菜（‘純秀’）、芥藍（‘翠津’）等短期葉菜類，利用真空預冷機（DL-VP2.5, Daylight, Taiwan）進行預冷處理，參試葉菜配合團膳業者之規格進行採收，並以 15 公斤裝成一籃進行處理，籃子規格為內徑 63 × 38 × 35 公分之塑膠籃，採收時籃內會先套入打洞之塑膠布（30 洞），葉菜排列方式參考團膳業者之擺放方式（交錯橫放堆疊），擺放完成後再將塑膠布綁起，送入真空預冷機進行預冷作業。完成預冷之葉菜即送入 2°C 冷藏庫貯藏，並分別於第 10、20、30 天進行損耗率調查。

（一）預冷終溫處理：110 年 4 月 6 日利用真空預冷處理短期葉菜之貯藏試驗，進行 5°C 和 10°C 之預冷終溫處理，並从未進行預冷組作為對照組。

(二) 損耗率調查：將黃化、萎凋、腐爛之植株視為損耗。重量耗損率 (%) = 損耗總重量 / 總重量 × 100%。

二、真空預冷導入共同運銷模式

(一) 預冷終溫處理及包裝：本試驗選用芥藍(‘翠津’)、青梗白菜(‘巨無霸’)、小白菜(‘蚵仔白菜’)、葉萵苣(‘青妹’)等葉菜，裝入共同運銷之紙箱(參考實際農會共同運銷之紙箱規格 20 公斤(芥藍、小白菜及葉萵苣紙箱：長 59 公分、寬 41 公分、高 42 公分。青梗白菜紙箱：長 60 公分、寬 41 公分、高 37 公分)，葉菜層層擺放堆疊，進行預冷終溫 5°C 和一般慣行對照(未預冷組)兩種處理。預冷後之葉菜保存於 2°C 冷藏庫暫存，等待常溫 26 噸貨車集貨並運送至臺北第二果菜批發市場。

(二) 損耗率調查：當葉菜運送至臺北第二果菜批發市場後，隨即開箱調查重量損耗率(同材料方法第一點第二項之損耗率調查方式)，另增加修整率及數量損耗率調查。

1. 修整率調查：將損耗葉片去除秤重(黃化、萎凋、腐爛之葉片視為損耗葉片)。

修整率 (%) = 損耗葉片重 / 總重量 × 100%。

2. 數量損耗率調查：將損耗植株之株數統計(黃化、萎凋、腐爛之植株視為損耗)。

數量損耗率 (%) = 損耗總株數 / 總株數 × 100%。

(三) 溫度記錄：利用連續型溫度記錄器(HOBO MX2300, Onset Corp., USA)進行溫度記錄，記錄器於田區採收時放入農會共同運銷之 20 公斤紙箱中(放置於離頂部向下 10 公分深處，放置完畢後將紙箱密合)。田區採收後至真空預冷結束，每 1 分鐘記錄 1 次溫度資料，預冷結束後改以每 10 分鐘記錄 1 次的頻率，記錄葉菜集貨起至運往臺北農產第二果菜批發市場之溫度變化資料。

三、葉菜延遲預冷臨界時間建立

本試驗選用青梗白菜(‘巨無霸’)，採收時微氣象站(WatchDog 2475, Spectrum Technologies, USA)測得採收環境氣溫為 25.2°C，青梗白菜於採收後 2 小時、4 小時及 6 小時等延遲時間，分批進行真空預冷，將預冷完之葉菜於 20°C 冷氣房中進行包裝(每包 250 g)貯於 10°C 冷藏櫃進行櫥架品質評估，並於貯藏後第 6 天進行下列調查。

(一) 失重率調查：(貯藏前重量 - 貯藏後重量) / 貯藏前重量 × 100%。

(二) 硬度調查：利用固定量測人員進行人工官能檢測，將葉柄硬度分為 1 ~ 5 級，1 級為柔軟無硬度，5 級為具有硬度手感。

(三) 脆度調查：利用固定量測人員進行人工官能檢測，將葉柄折斷之脆度分為 1 ~ 5 級，1 級為毫無脆度，5 級為具有脆度手感。

(四) 萎凋率調查：萎凋植株重量 / 總重量 × 100%。

(五) 黃化率調查：黃化植株重量 / 總重量 × 100%。

(六) 可販售率調查：具有商品價值之植株重量 / 總重量 × 100%。

四、試驗設計採完全逢機設計法(Completely randomized design, CRD)，共計 3 重複，試驗數據以 COSTAT 6.4 統計軟體(CoHort Software)分析最小顯著差異(least significant difference, LSD)，了解各處理間是否有顯著差異($P \leq 0.05$)。

結果與討論

一、探討利用真空預冷對短期葉菜類貯藏壽命之影響

葉菜採收後進行預冷處理有助於保持葉菜品質^(10,5)，大部分短期葉菜類多以預冷終溫 5°C 為主要處理溫度，惟性喜溫暖之蕹菜和甘藷葉等作物，需將預冷終溫改設為 10°C，以避免寒害之產生⁽³⁾。故多數預冷場域為求提升作業效率，若需一次性處理數個不同種類之短期葉菜，會將預冷終溫設為 10°C，經預冷之葉菜則放入 2°C 冷藏庫中等待出貨。

建立貯藏壽命資料可供團膳業者參考，利於安排出貨期程。本次試驗處理設定 5°C 或 10°C 等 2 項預冷終溫，另以未預冷者作為對照，試驗葉菜種類經處理後送入 2°C 冷藏庫貯藏，並分別於貯藏第 10、20、30 天調查損耗率。結果顯示，青梗白菜、小白菜和芥藍於貯藏第 10、20 及 30 天，皆以預冷終溫 5°C 處理者，較對照組具有較低之重量損耗率；葉萵苣則於貯藏第 20 天，以預冷終溫 5°C 處理者，具顯著低於對照組之重量損耗率。然貯藏至 30 天，4 種葉菜之所有處理，重量損耗率偏高，皆逾 91.01% (表 1)。由結果可推測，預冷終溫以 5°C 處理者能有效減少葉菜貯藏損耗，而團膳業者可保存之期限依據菜種不同而有所差異，青梗白菜、小白菜和芥藍以 10 天內出貨為佳，若超過 10 天出貨則有損耗率大幅提升之風險；葉萵苣則以 20 天內出貨為宜，若超過 20 天出貨，損耗率也會有大幅提升的趨勢 (表 1)。

表 1. 短期葉菜類進行不同預冷終溫處理後貯藏 10、20、30 天之重量損耗率

Table 1. Total lost rate of leafy vegetables with different pre-cooling temperature and storage for 10, 20, and 30 days

品項 Items	預冷處理 Pre-cooling treatment	重量損耗率 (%) Total lost rate (%) ^x		
		10 days	20 days	30 days
青梗白菜 Spoon cabbage ^y	5°C	1.09b ^w	20.96b	94.27b
	10°C	2.60b	46.86a	94.51ab
	No pre-cooling (CK)	6.47a	40.36a	95.77a
葉萵苣 Leafy lettuce ^y	5°C	0.00a	6.98b	91.01a
	10°C	0.00a	10.90ab	91.90a
	No pre-cooling (CK)	0.00a	16.97a	93.90a
小白菜 pak choi ^y	5°C	1.91b	62.61b	92.93b
	10°C	9.34a	90.23a	95.51a
	No pre-cooling (CK)	17.33a	91.60a	94.40ab
芥藍 Chinese kale ^y	5°C	0.40b	40.15c	94.14b
	10°C	0.87ab	64.28b	94.72b
	No pre-cooling (CK)	2.76a	87.15a	95.62a

^y Spoon cabbage (*Brassica rapa chinensis* (L.) Hanelt.), Leafy lettuce (*Lactuca sativa* var. *crispa*), pak choi (*Brassica campestris* L. *Chinensis*), Chinese kale (*Brassica oleracea* L. *Alboglabra* Group).

^x Total lost rate (%) of 10, 20, 30 days: (yellowing or wilting vegetable weight for 10, 20, 30 days / total weight of test vegetable) × 100%.

^w Mean separation within columns and cultivars followed by different letters indicate significant differences by LSD at $P \leq 0.05$.

除了損耗率，青梗白菜、葉萵苣、小白菜和芥藍以不同預冷終溫處理後 (5°C、10°C 及未預冷處理) 貯藏第 10、20 及 30 天之葉菜外觀變化則如圖 1 ~ 4。經預冷終溫 5°C 處理之葉菜較能維持葉菜品質，如青梗白菜貯藏第 20 天後，才出現部分葉片黃化萎凋 (圖 1A)，葉萵苣於貯藏第 30 天開始出現明顯萎凋 (圖 2A)，小白菜和芥藍於貯藏第 20 天開始出現部分葉片黃化萎凋 (圖 3A、圖 4A)。預冷終溫 10°C 處理以及未預冷處理組，青梗白菜於貯藏 10 天後開始出現黃化萎凋 (圖 1B、C)，葉萵苣和小白菜則於貯藏第 20 天開始出現明顯黃化或萎凋 (圖 2B、C；圖 3B、C)，芥藍於貯藏第 20 天開始出現明顯葉片黃化萎凋 (圖 4B、C)。由圖 1 ~ 4 的葉菜外觀變化，可讓團膳業者掌控葉菜於不同天數貯藏後的損耗及具商品價值的狀況，以利安排出貨的期程，確保出貨品質。

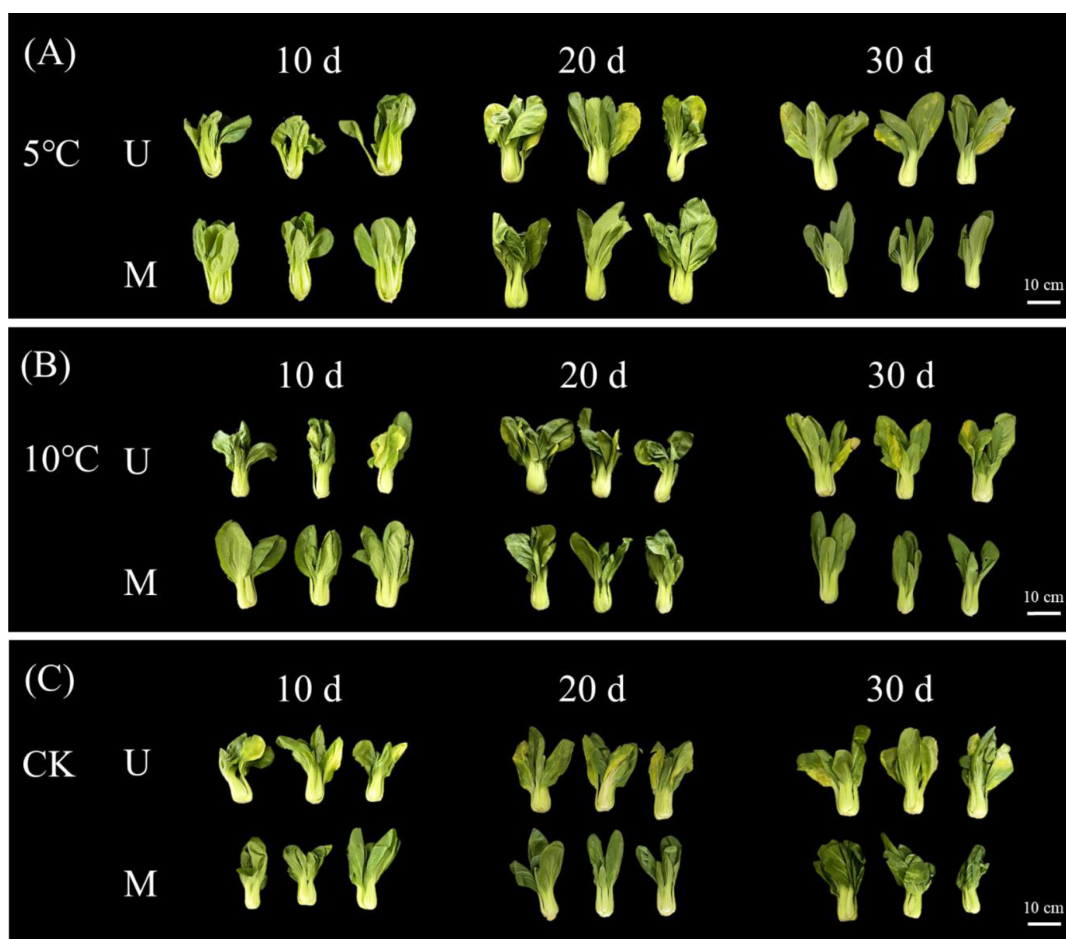


圖 1. 青梗白菜以 5°C (A)、10°C (B)、CK 未預冷對照組 (C) 等不同預冷終溫處理後貯藏於 2°C 冷藏庫 10 ~ 30 天之外觀。(U：為損耗植株；M：為尚具商品價值之植株)

Fig. 1. Appearance of Spoon cabbage treated with different pre-cooling temperatures (A: 5°C, B: 10°C, C: CK) and stored at 2°C for 10-30 days. (U: Unmarketable products; M: Marketable products)

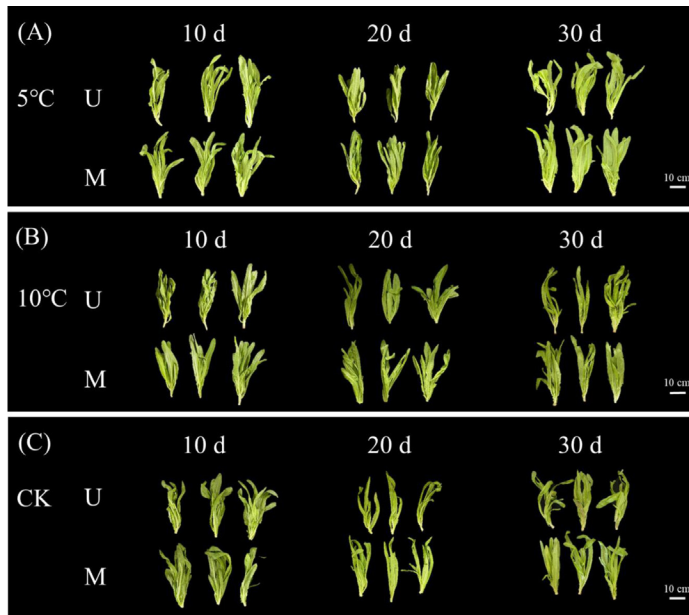


圖 2. 葉萵苣以 5°C (A)、10°C (B)、CK 未預冷對照組 (C) 等不同預冷終溫處理後貯藏於 2°C 冷藏庫 10 ~ 30 天之外觀。(U：為損耗植株；M：為尚具商品價值之植株)

Fig. 2. Appearance of leafy lettuce treated with different pre-cooling temperatures (A: 5°C, B: 10°C, C: CK) and stored at 2°C for 10-30 days. (U: Unmarketable products; M: Marketable products)



圖 3. 小白菜以 5°C (A)、10°C (B)、CK 未預冷對照組 (C) 等不同預冷終溫處理後貯藏於 2°C 冷藏庫 10 ~ 30 天之外觀。(U：為損耗植株；M：為尚具商品價值之植株)

Fig. 3. Appearance of pak choi treated with different pre-cooling temperatures (A: 5°C, B: 10°C, C: CK) and stored at 2°C for 10-30 days. (U: Unmarketable products; M: Marketable products)

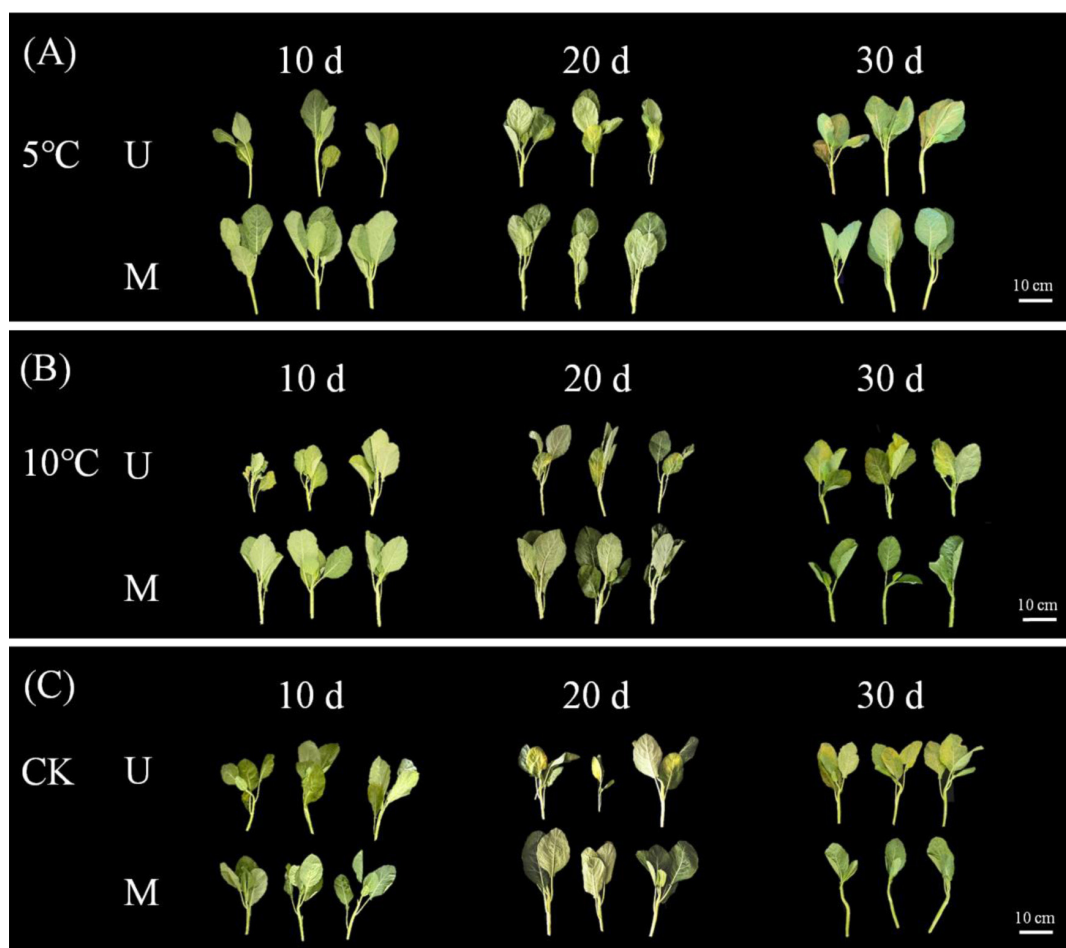


圖 4. 芥藍以 5°C (A)、10°C (B)、CK 未預冷對照組 (C) 等不同預冷終溫處理後貯藏於 2°C 冷藏庫 10 ~ 30 天之外觀。(U：為損耗植株；M：為尚具商品價值之植株)

Fig. 4. Appearance of Chinese kale treated with different pre-cooling temperatures (A: 5°C, B: 10°C, C: CK) and stored at 2°C for 10-30 days. (U: Unmarketable products; M: Marketable products)

二、真空預冷導入共同運銷模式

短期葉菜類多由中南部運往各地，以共同運銷送往臺北市場為例，貨車大部分無冷藏設備，常造成短期葉菜類貯運的損傷，本試驗將短期葉菜（芥藍、青梗白菜、小白菜、葉萵苣）利用真空預冷技術處理後，以常溫方式配送，並以未預冷處理作為對照組，調查損耗率，並評估預冷後短期葉菜若以常溫運送對商品價值之影響，期有助於提升市場到貨品質。

芥藍試驗方面，真空預冷處理組於 2021 年 8 月 26 日上午 9 時 30 分完成採收作業（箱內芥藍平均溫度 28.1°C），並於 10 時 10 分完成預冷作業（箱內芥藍平均溫度 7.1°C），暫存 2°C 冷藏庫（箱內芥藍平均溫度 6.6°C），並於 13 時時搬運至常溫貨車送往臺北第二果菜批發市場（箱內芥藍溫度 7.0 ~ 25.9°C）（圖 5）。未預冷之對照組於同日 9 時 50 分完成採收後送至常溫集貨區（箱內芥藍平均溫度 31.9°C），亦於 13 時同樣以

常溫貨車送往臺北第二果菜批發市場(箱內芥藍溫度 29.4 ~ 30.1°C)(圖 5)。對照組之芥藍平均貯運溫度為 30.0°C，明顯高於預冷處理組平均溫度 17.4°C，且於臺北第二果菜批發市場調查到貨品質(8月27日上午1時50分)，對照組修整率(4.2%)顯著高於預冷處理組(1.7%)(圖 6)，且對照組不良株明顯黃化萎凋(圖 7U)，預冷處理組不良株僅有部分有萎凋，無黃化現象，狀態優於對照組(圖 7U)。

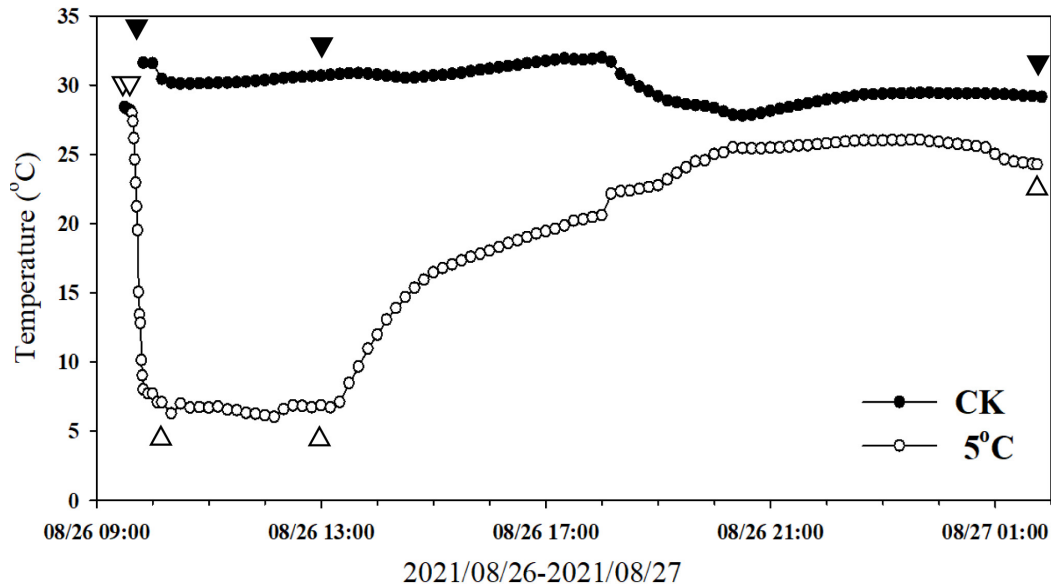


圖 5. 芥藍經不同預冷處理後由共同運銷送往臺北第二果菜批發市場之溫度記錄。▽標示點由左至右依序為：預冷組完成採收時間 9：30、開始預冷時間 9：40；△標示點由左至右依序為：完成預冷作業 10：10、貨車集貨 13：00、抵達臺北第二果菜批發市場 1：50 (第二日凌晨)；▼標示點由左至右依序為：未預冷對照組 (CK) 完成採收時間 9：50、貨車集貨 13：00、抵達臺北第二果菜批發市場 1：50 (第二日凌晨)

Fig. 5. Temperature variation of Chinese kale sent to Taipei Second Wholesale Fruit and Vegetable Market by collective marketing with different pre-cooling treatments. ▽ From left to right: The pre-cooling treatment completed harvesting at 9:30, pre-cooling time started at 9:40; △ From left to right: completed pre-cooling at 10:10, trucks collected vegetable at 13:00, arrived at Taipei Second Wholesale Fruit and Vegetable Market at 1:50 of the next day; ▼ From left to right: the no pre-cooling treatment (CK) completed harvesting at 9:50, trucks collected vegetable at 13:00, arrived at Taipei Second Wholesale Fruit and Vegetable Market at 1:50 of the next day

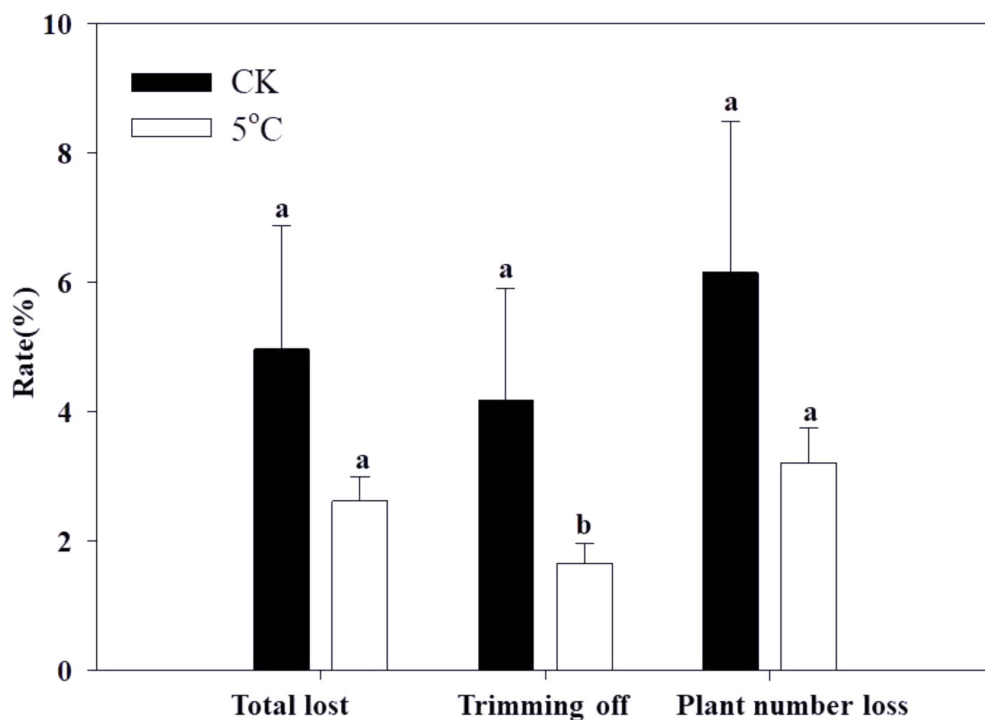


圖 6. 芥藍於不同預冷處理後經由共同運銷送往臺北第二果菜批發市場之重量損耗率、修整率以及數量損耗率。不同預冷處理間，英文字母不相同者表示達顯著差異 $P \leq 0.05$

Fig. 6. Total lost rate, trimming off rate and rate of plant number loss of Chinese kale sent to Taipei Second Wholesale Fruit and Vegetable Market by collective marketing with different pre-cooling treatments. Different letters between treatments indicate significant differences ($P \leq 0.05$)

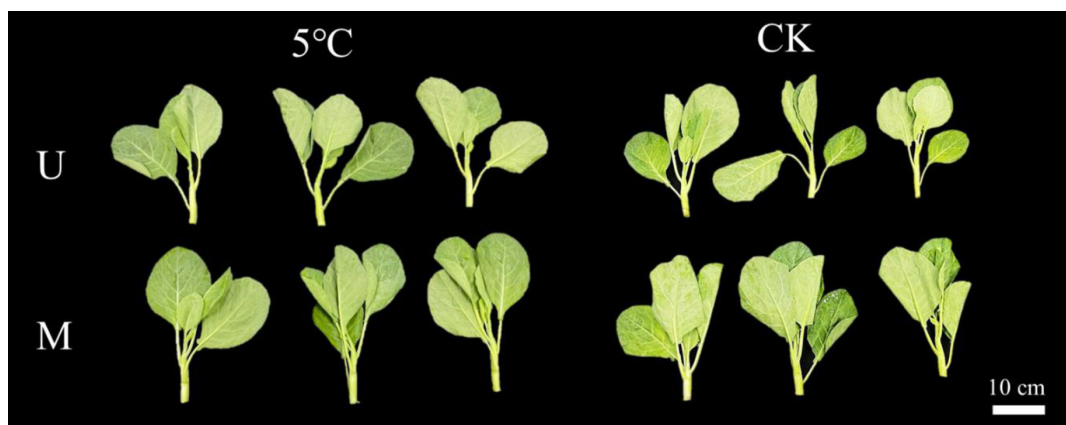


圖 7. 芥藍於不同預冷處理後經由共同運銷送往臺北第二果菜批發市場之外觀。(U：為損耗植株；M：為尚具商品價值之植株)

Fig. 7. Appearance of Chinese kale sent to Taipei Second Wholesale Fruit and Vegetable Market by collective marketing with different pre-cooling treatments. (U: Unmarketable products; M: Marketable products)

青梗白菜試驗方面，真空預冷處理組於 2021 年 9 月 10 日上午 9 時 50 分完成採收作業（箱內青梗白菜平均溫度 28.2℃），並於 10 時 30 分完成預冷作業（青梗菜平均溫度 6.0℃），暫存 2℃ 冷藏庫（箱內青梗白菜平均溫度 4.8℃），並於 13 時 15 分上貨於常溫貨車送往臺北第二果菜批發市場（箱內青梗白菜溫度 3.5 ~ 26.7℃）（圖 8）。未預冷之對照組於同日 10 時 10 分完成採收後送至常溫集貨區（箱內青梗白菜平均溫度 29.1℃），亦於 13 時 15 分同樣以常溫貨車送往臺北第二果菜批發市場（箱內青梗白菜溫度 28.6 ~ 31.7℃）（圖 8）。對照組之青梗白菜平均貯運溫度為 30.7℃，明顯高於預冷處理組平均溫度 15.2℃，且於臺北第二果菜批發市場調查到貨品質（9 月 11 日上午 2 時 30 分），對照組重量損耗率（8.8%）、修整率（2.4%）、數量損耗率（11.1%），皆顯著高於預冷處理組之重量損耗率（3.5%）、修整率（0.6%）、數量損耗率（4.5%）（圖 9），且對照組不良株明顯萎凋（圖 10U），預冷處理組不良株僅有部分有萎凋，狀態優於對照組（圖 10U）。

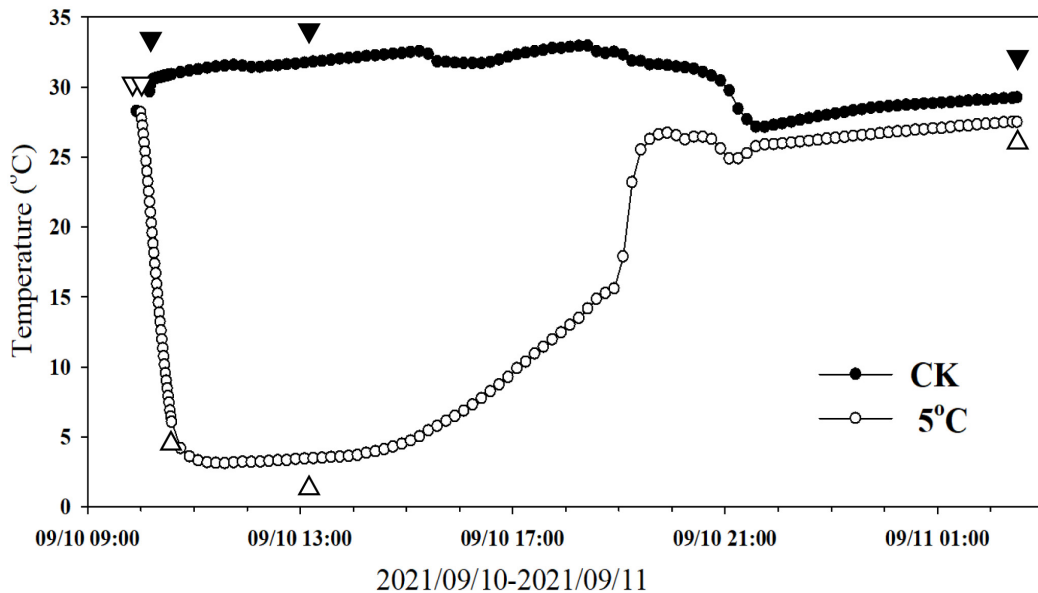


圖 8. 青梗白菜經不同預冷處理後由共同運銷送往臺北第二果菜批發市場之溫度變化。▽標示點由左至右依序為：預冷組完成採收時間 9：50、開始預冷時間 10：00；△標示點由左至右依序為：完成預冷作業 10：30、貨車集貨 13：15、抵達臺北第二果菜批發市場 2：30（第二日凌晨）；▼標示點由左至右依序為：未預冷對照組（CK）完成採收時間 10：10、貨車集貨 13：15、抵達臺北第二果菜批發市場 2：30（第二日凌晨）

Fig. 8. Temperature variation of spoon cabbage sent to Taipei Second Wholesale Fruit and Vegetable Market by collective marketing with different pre-cooling treatments. ▽ From left to right: The pre-cooling treatment completed harvesting at 9:50, pre-cooling time started at 10:00; △ From left to right: completed pre-cooling at 10:30, trucks collected vegetable at 13:15, arrived at Taipei Second Wholesale Fruit and Vegetable Market at 2:30 of the next day; ▼ From left to right: the no pre-cooling treatment (CK) completed harvesting at 10:10, trucks collected vegetable at 13:15, arrived at Taipei Second Wholesale Fruit and Vegetable Market at 2:30 of the next day

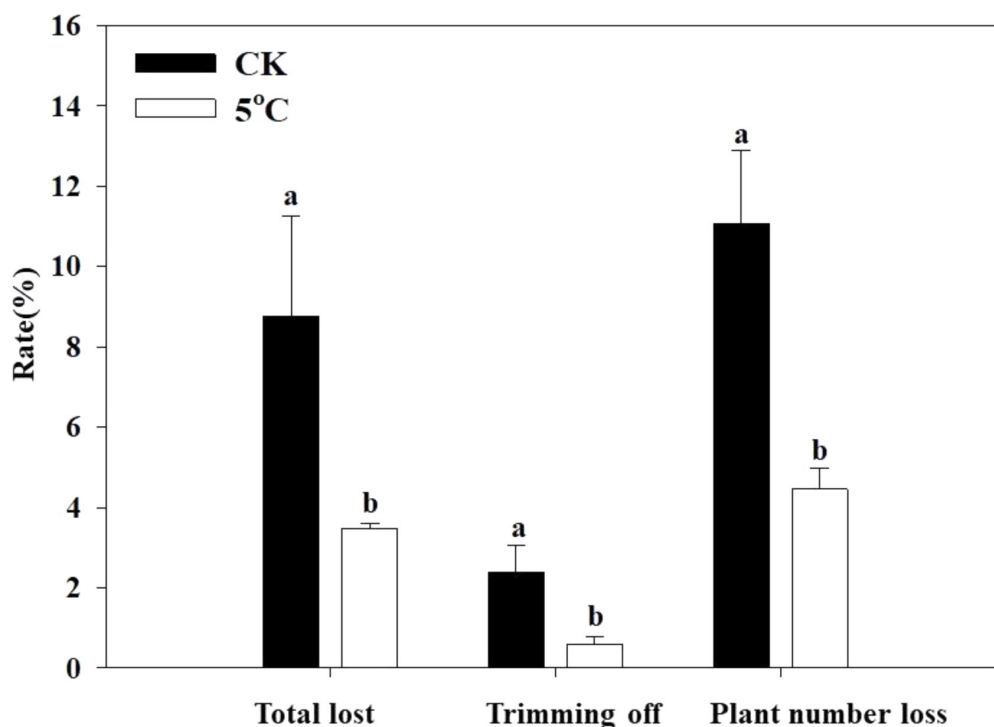


圖 9. 青梗白菜於不同預冷處理後經由共同運銷送往臺北第二果菜批發市場之重量損耗率、修整率以及數量損耗率。不同預冷處理間，英文字母不相同者表示達顯著差異 $P \leq 0.05$

Fig. 9. Total lost rate, trimming off rate and rate of plant number loss of spoon cabbage sent to Taipei Second Wholesale Fruit and Vegetable Market by collective marketing with different pre-cooling treatments. Different letters between treatments indicate significant differences ($P \leq 0.05$)



圖 10. 青梗白菜於不同預冷處理後經由共同運銷送往臺北第二果菜批發市場之外觀。(U：為損耗植株；M：為尚具商品價值之植株)

Fig. 10. Appearance of spoon cabbage sent to Taipei Second Wholesale Fruit and Vegetable Market by collective marketing with different pre-cooling treatments. (U: Unmarketable products; M: Marketable products)

小白菜試驗方面，真空預冷處理組於 2021 年 9 月 27 日上午 10 時 20 分完成採收作業 (箱內小白菜平均溫度 31.1°C)，並於 10 時 55 分完成預冷作業 (箱內小白菜平均溫度 8.4°C)，暫存 2°C 冷藏庫 (箱內小白菜平均溫度 6.4°C)，並於 14 時上貨於常溫貨車送往臺北第二果菜批發市場 (箱內小白菜溫度 5.7 ~ 25.6°C) (圖 11)。未預冷之對照組於同日上午 10 時 20 分完成採收後送至常溫集貨區 (箱內小白菜平均溫度 31.6°C)，亦於 14 時同樣以常溫貨車送往臺北第二果菜批發市場 (箱內小白菜溫度 26.2 ~ 32.1°C) (圖 11)。對照組之小白菜平均貯運溫度為 29.2°C，明顯高於預冷處理組平均溫度 15.7°C，且於臺北第二果菜批發市場調查到貨品質 (9 月 28 日上午 2 時 40 分)，對照組修整率 (15%) 顯著高於預冷處理組 (7.1%) (圖 12)，且對照組不良株明顯萎凋，部分植株有發霉現象 (圖 13U)，預冷處理組不良株僅有部分有萎凋，狀態優於對照組 (圖 13U)。

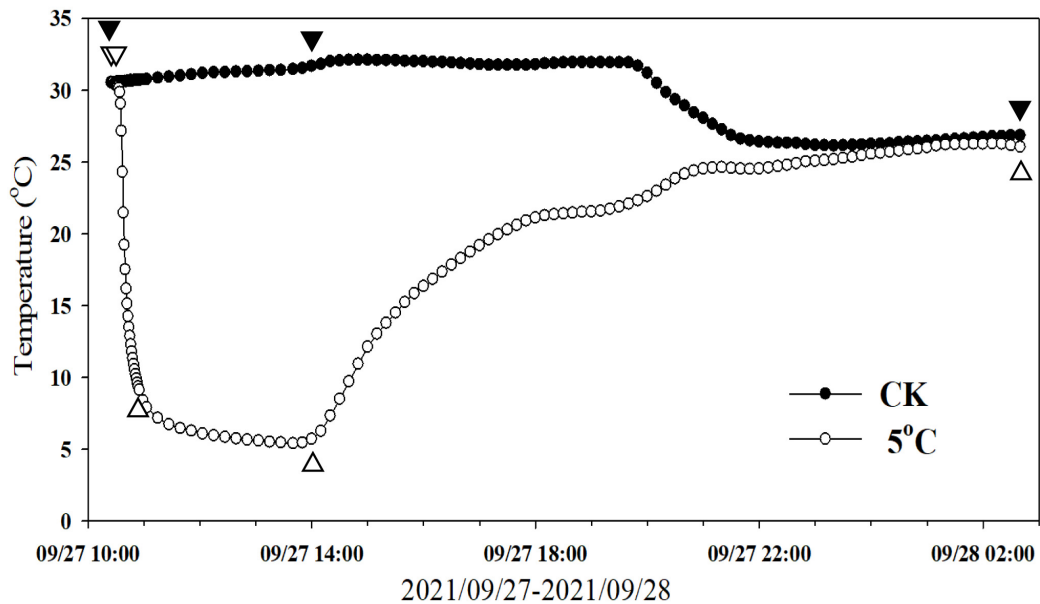


圖 11. 小白菜經不同預冷處理後由共同運銷送往臺北第二果菜批發市場之溫度變化。▽標示點由左至右依序為：預冷組完成採收時間 10:20、開始預冷時間 10:30；△標示點由左至右依序為：完成預冷作業 10:55、貨車集貨 14:00、抵達臺北第二果菜批發市場 2:40 (第二日凌晨)；▼標示點由左至右依序為：未預冷對照組 (CK) 完成採收時間 10:20、貨車集貨 14:00、抵達臺北第二果菜批發市場 2:40 (第二日凌晨)

Fig. 11. Temperature variation of pak choi sent to Taipei Second Wholesale Fruit and Vegetable Market by collective marketing with different pre-cooling treatments. ▽ From left to right: The pre-cooling treatment completed harvesting at 10:20, pre-cooling time started at 10:30; △ From left to right: completed pre-cooling at 10:55, trucks collected vegetable at 14:00, arrived at Taipei Second Wholesale Fruit and Vegetable Market at 2:40 of the next day; ▼ From left to right: the no pre-cooling treatment (CK) completed harvesting at 10:20, trucks collected vegetable at 14:00, arrived at Taipei Second Wholesale Fruit and Vegetable Market at 2:40 of the next day

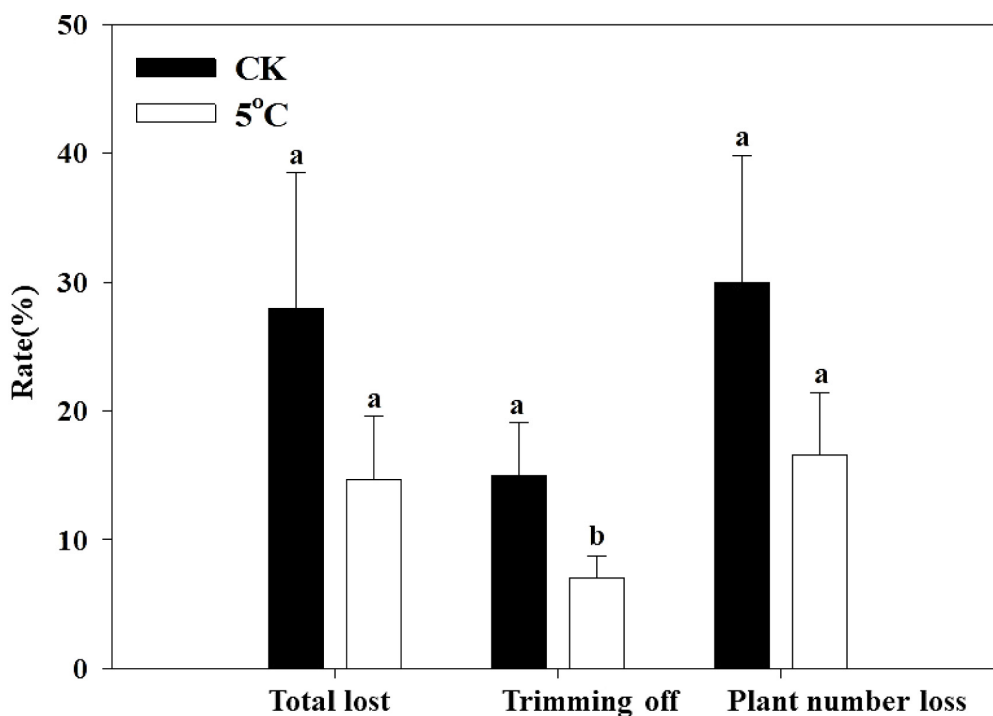


圖 12. 小白菜於不同預冷處理後經由共同運銷送往臺北第二果菜批發市場之重量損耗率、修整率以及數量損耗率。不同預冷處理間，英文字母不相同者表示達顯著差異 $P \leq 0.05$

Fig. 12. Total lost rate, trimming off rate and rate of plant number loss of pak choi sent to Taipei Second Wholesale Fruit and Vegetable Market by collective marketing with different pre-cooling treatments. Different letters between treatments indicate significant differences ($P \leq 0.05$)



圖 13. 小白菜於不同預冷處理後經由共同運銷送往臺北第二果菜批發市場之外觀。(U：為損耗植株；M：為尚具商品價值之植株)

Fig. 13. Appearance of pak choi sent to Taipei Second Wholesale Fruit and Vegetable Market by collective marketing with different pre-cooling treatments. (U: Unmarketable products; M: Marketable products)

葉萵苣試驗方面，真空預冷處理組於 2021 年 10 月 25 日上午 10 時 55 分完成採收作業（箱內葉萵苣平均溫度 26.3℃），並於 11 時 40 分完成預冷作業（箱內葉萵苣平均溫度 6.6℃），暫存 2℃ 冷藏庫（箱內葉萵苣平均溫度 4.4℃），於 14 時 30 分上貨於常溫貨車送往臺北第二果菜批發市場（箱內葉萵苣溫度 4.5 ~ 16.9℃）（圖 14）。未預冷之對照組於同日上午 10 時 55 分完成採收後送至常溫集貨區（箱內葉萵苣平均溫度 25.4℃），亦於 14 時 30 分同樣以常溫貨車送往臺北第二果菜批發市場（箱內葉萵苣溫度 26.2 ~ 27.7℃）（圖 14）。對照組之葉萵苣平均貯運溫度為 26.6℃，明顯高於預冷處理組平均溫度 12.5℃，且於臺北第二果菜批發市場調查到貨品質（10 月 26 日上午 2 時 30 分），對照組重量損耗率（14.7%）、修整率（2.7%）、數量損耗率（18.3%），皆顯著高於預冷處理組重量損耗率（2.5%）、修整率（0.5%）、數量損耗率（2.9%）（圖 15），且對照組不良株明顯萎凋（圖 16U），預冷處理組不良株僅有部分有萎凋，狀態優於對照組（圖 16U）。

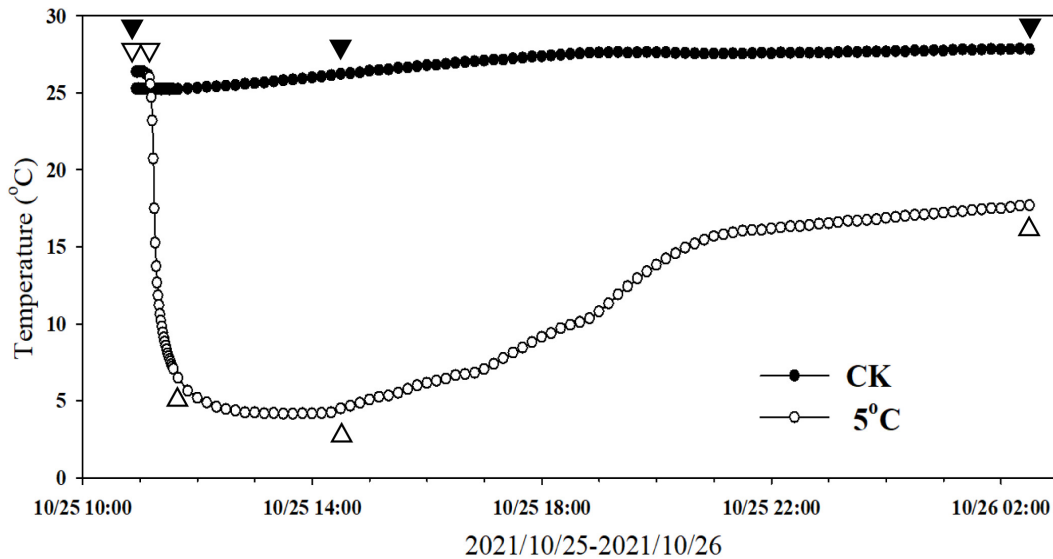


圖 14. 葉萵苣經不同預冷處理後由共同運銷送往臺北第二果菜批發市場之溫度變化。▽標示點由左至右依序為：預冷組完成採收時間 10：55、開始預冷時間 11：10；△標示點由左至右依序為：完成預冷作業 11：40、貨車集貨 14：30、抵達臺北第二果菜批發市場 2：30（第二日凌晨）；▼標示點由左至右依序為：未預冷對照組 (CK) 完成採收時間 10：55、貨車集貨 14：30、抵達臺北第二果菜批發市場 2：30（第二日凌晨）

Fig. 14. Temperature variation of leafy lettuce sent to Taipei Second Wholesale Fruit and Vegetable Market by collective marketing with different pre-cooling treatments. ▽From left to right: The pre-cooling treatment completed harvesting at 10:55, pre-cooling time started at 11:10; △From left to right: completed pre-cooling at 11:40, trucks collected vegetable at 14:30, arrived at Taipei Second Wholesale Fruit and Vegetable Market at 2:30 of the next day; ▼From left to right: the no pre-cooling treatment (CK) completed harvesting at 10:55, trucks collected vegetable at 14:30, arrived at Taipei Second Wholesale Fruit and Vegetable Market at 2:30 of the next day

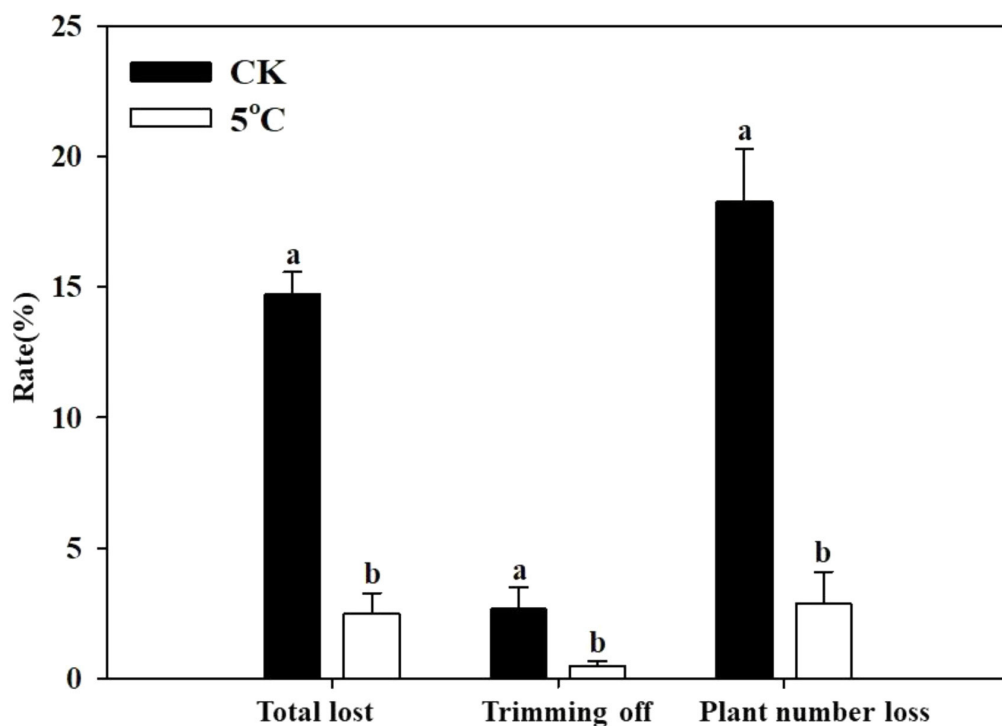


圖 15. 葉萵苣於不同預冷處理後經由共同運銷送往臺北第二果菜批發市場之重量損耗率、修整率以及數量損耗率。不同預冷處理間，英文字母不相同者表示達顯著差異 $P \leq 0.05$

Fig. 15. Total lost rate, trimming off rate and rate of plant number loss of leafy lettuce sent to Taipei Second Wholesale Fruit and Vegetable Market by collective marketing with different pre-cooling treatments. Different letters between treatments indicate significant differences ($P \leq 0.05$)

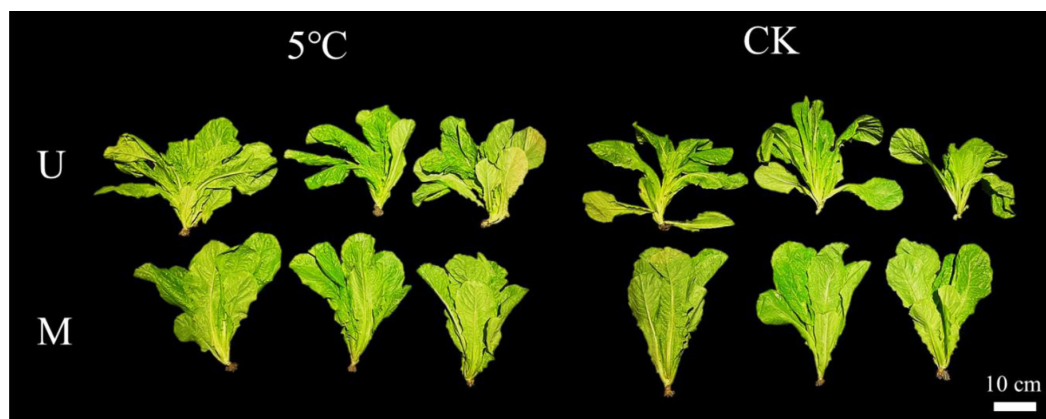


圖 16. 葉萵苣不同預冷處理後經由共同運銷送往臺北第二果菜批發市場之外觀。(U：為損耗植株；M：為尚具商品價值之植株)

Fig. 16. Appearance of leafy lettuce sent to Taipei Second Wholesale Fruit and Vegetable Market by collective marketing with different pre-cooling treatments. (U: Unmarketable products; M: Marketable products)

三、葉菜延遲預冷臨界時間建立

葉菜採後即刻降溫可維持其最佳品質，但考量田間集貨到預冷場域之運送成本，常無法採收後立即進行預冷處理，本試驗選用青梗白菜，分別於採收後 2 小時、4 小時及 6 小時等延遲時間，分批進行真空預冷，並將預冷完之葉菜包裝貯於 10°C 冷藏櫃進行櫥架品質評估，期能建立青梗白菜之預冷臨界時間。試驗結果顯示，青梗白菜貯放 10°C 冷藏櫃 6 天後，採收後 2 小時預冷處理之失重率 (2.0%)、萎凋率 (0.0%)，與採收後 4 小時預冷處理之失重率 (2.0%)、萎凋率 (0.0%) 無顯著差異，且顯著低於採收後 6 小時才進行預冷處理者 (失重率 4.6%、萎凋率 26.6%) (表 2)。

表 2. 青梗白菜不同延遲預冷時間處理後，貯藏於 10°C 冷藏櫃之第 6 天品質調查

Table 2. Effect of quality on spoon cabbage stored at 10°C for 6 days with a delay to vacuum cooling by 2, 4 or 6 hours (2 H, 4 H, 6 H)

	失重率 (%) Weight loss rate (%)	硬度 Firmness ^y	脆度 Crispness ^y	萎凋率 (%) Wrinkle rate (%)	黃化率 (%) Yellowing rate (%)	可販售率 (%) Marketable rate (%)
2H	2.0b ^z	4.0a	4.3a	0.0b	3.3a	96.7a
4H	2.0b	4.0a	4.3a	0.0b	4.8a	95.2a
6H	4.6a	2.7b	3.0a	26.6a	11.0a	68.9b

^z Mean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

^y Both firmness and crispness are tested by sensory (1 is the softest or no crispness when the petiole is broken; 5 is the hardest and there is a clear crisp feeling when the petiole is broken).



圖 17. 青梗白菜於不同延遲預冷時間處理後，貯藏於 10°C 冷藏櫃之第 6 天貯藏情形

Fig. 17. Chingensai stored at 10°C for 6 days with delayed vacuum-precooling by 2, 4 or 6 hours

青梗白菜硬度官能評分及可販售率方面，採收後 2 小時預冷處理之硬度官能評分 (4 分) 及可販售率 (96.7%)，與採收後 4 小時預冷處理之硬度官能評分 (4 分) 及可販售率 (95.2%) 無顯著差異，且顯著高於採收後 6 小時才進行預冷處理之硬度官能評分 (2.7 分) 及可販售率 (68.9%) (表 2)，由上述試驗結果可推測，為維持青梗白菜之貯藏品質，需於採收後 4 小時內進行預冷，為延遲進行預冷處理之臨界時間。

結 論

短期葉菜類採收後仍然持續行呼吸作用，且會繼續老化和出現失水萎凋現象，為了減緩呼吸作用、老化及萎凋現象，利用預冷技術可進行調控，除預冷處理外，植體延遲預冷的臨界時間也相當重要，在不明顯影響葉菜品質的延遲預冷時間點，進行預冷處理，使農友能更有彈性的進行集貨工作。本試驗成功建立青梗白菜、葉萵苣、小白菜、芥藍等葉菜類之貯藏損耗資料庫，上述 4 種葉菜經 5°C 預冷終溫處理後，放置 2°C 冷藏庫 20 天，葉菜損耗率少於未預冷組，分別降低 19.4%、10.0%、29.0%、47.0%，可提供農友或倉貯業者參考。共同運銷試驗方面，導入真空預冷技術，有效降低葉菜運送到北部拍賣市場之重量損耗率（青梗白菜減少 5.3%、葉萵苣減少 12.2%、小白菜減少 13.2%、芥藍減少 2.4%），提高市場到貨品質。葉菜延遲預冷臨界時間建立方面，建議青梗白菜採收後於 4 小時內進行預冷處理，以利品質維持，使農友能更有效掌握集貨最佳時間，減少損耗。

引用文獻

1. 行政院農業委員會農糧署。2022。農業統計年報。https://agrstat.coa.gov.tw/sdweb/public/inquiry/InquireAdvance.aspx。
2. 李金玲。2018。設施農業產業經濟效益分析－以北部地區有機短期葉菜類為例。桃園區農業改良場研究彙報 83: 52-64。
3. 林棟樑。2001。蔬果預冷保鮮技術。臺南區農業改良場技術專刊 115: 1-8。
4. 陳世芳、戴登燦、高德錚。2010。臺中地區設施葉菜行銷通路差異之研究。臺中區農業改良場研究彙報 107: 61-70。
5. 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介紹。農業試驗所技術服務季刊 104: 26-30。
6. 楊克仁。2001。北部地區吉園圃短期葉菜運銷通路之研究。桃園區農業改良場研究彙報 44: 30-40。
7. 楊克仁。2005。北部地區短期葉菜產銷個案研究－以八德市蔬菜產銷班為例。桃園區農業改良場研究彙報 57: 48-54。
8. 廖偉翔，王斐能，馮永富，李阿嬌。2021。北部地區設施短期葉菜採收後處理流程介紹。桃園區農業改良場農業專訊 118: 9-13。
9. 廖偉翔，馮永富，李阿嬌。2022。北部地區設施短期葉菜改良式冷水預冷技術介紹。桃園區農業改良場農業專訊 122: 14-15。
10. Duan Y., G. B. Wang, O. A. Fawole, P. Verboven, X. R. Zhang, D. Wu, U. L. Opara, B. Nicolai and K. Chen. 2020. Postharvest precooling of fruit and vegetables: A review. Trends Food Sci. Tech. 100: 278-291.
11. Song L., R. Yi, H. Luo, L. Jiang, S. Gu and Z. Yu. 2020. Postharvest 1-methylcyclopropene application delays leaf yellowing of pak choi (*Brassica rapa* subsp. *chinensis*) by improving chloroplast antioxidant capacity and maintaining chloroplast structural integrity during storage at 20 °C. Sci. Hort. 270: 109466.

12. 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. Tech.* 85: 67-77.
13. Zhu Z., Y. Geng and D. W. Sun. 2021. Effects of Pressure Reduction Modes on Vacuum Cooling Efficiency and Quality Related Attributes of Different Parts of Pakchoi (*Brassica Chinensis* L.). *Postharvest Biol. Tec.* 173: 1-9.

Study on the application of vacuum pre-cooling technology for leafy vegetables¹

Chu, Y. C.², L. Y. Chang³, S. T. Lin² and C. S. Chang²

Abstract

In Taiwan, leafy vegetables are important vegetables with the characteristics of short cultivation time, year-round production, large price fluctuations, great demands on low-temperature storage, and high requirement of supply chain flexibility. Most of them are produced from southern Taiwan, and sent to the northern market for sale. In order to meet the great demand of leafy vegetables, to ensure their postharvest quality and to extend the shelf-life, delicate operations by pre-cooling and proper storage is therefore an essential issue. In this study, vacuum pre-cooling was conducted on Chinese mustard, spoon cabbage, Chinese kale, and leafy lettuce for further storage quality evaluation, stimulation in cooperative marketing procedures, and critical time determination on delayed pre-cooling. Results showed that leafy vegetables (Chinese mustard, spoon cabbage, Chinese kale, and leafy lettuce) pre-cooled to 5°C and followed by 2°C storage for 20 days had lower loss rate than control (no pre-cooling treatment) by 19.4%, 10%, 29%, and 47%, respectively. In terms of stimulation in cooperative marketing procedures, leafy vegetables treated with 5°C pre-cooling temperature had lower loss rate compared to no pre-cooling treatment which was reduced by 2.4% for Chinese kale, 5.3% for spoon cabbage, 13.2% for Chinese mustard, and 12.2% for leafy lettuce. In delayed pre-cooling study, the critical operation time limit for spoon cabbage was established. The final yield of spoon cabbage stored at 10°C for 6 days showed no significant difference between treatments within 4 hours (2 hour: 96.7%; 4-hour: 95.2%) delayed on pre-cooling. However, the final yield of treatment with 6-hour delayed pre-cooling (68.9%) was significantly lower than previous treatments within 4-hour precooling. It was suggested the critical precooling time limit of spoon cabbage should be 4 hours. Packing house should be aware of to operate the pre-cooling process of spoon cabbage within 4 hours to achieve its better quality and longer shelf-life.

What is already known on this subject?

The application of vacuum pre-cooling is common and stable for vegetable crops. However, the database for storage on leafy vegetables with vacuum pre-cooling needs to be updated. Besides, vacuum cooling is rarely used in collective marketing, and the critical operation time for delayed pre-cooling still needs to be established.

What are the new findings?

In this experiment, vacuum pre-cooling was applied to update the data on general storage, collective marketing procedures and critical delayed-time for pre-cooling.

What is the expected impact on this field?

The establishment of storage database on leafy vegetables with the application of vacuum pre-cooling will help farmers or packing house to arrange schedules for marketing more efficiently. Vacuum pre-cooling is also applied to vegetable crops via cooperative marketing procedures, which is expected to effectively improve the quality when it is arrived at the market. The critical time for delay pre-cooling on leafy vegetables will be further established to reduce the loss on storage and transportation.

Key words: Leafy vegetables, Vacuum pre-cooling, Delayed pre-cooling, Cooperative marketing

Accepted for publication: March 26, 2024

-
1. Contribution No. 569 from Tainan District Agricultural Research and Extension Station.
 2. Assistant Researcher, Research Assistant, Researcher and Chief of crop improvement division, respectively, Tainan District Agricultural Research and Extension Station. 70 Muchang, Hsinhua, Tainan 712009, Taiwan, R.O.C.
 3. Assistant Professor, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.