

蔬菜採後處理研發成果及未來發展

徐敏記¹、廖偉翔²、梁佑慎³、陳昶霖⁴

農業試驗所¹ 桃園區農業改良場² 國立屏東科技大學³ 國立中興大學⁴

mchsu@tari.gov.tw

摘要

因世界人口持續增加及社會逐漸發展，蔬菜需求量也隨之增加，同時都市化的比例提升也導致蔬菜至通路銷售變多，新技術的引入更趨重要。因此，隨著通路供應的改變，蔬菜需求種類與採後的操作模式也隨之變化，越長的櫥架壽命、穩定的供貨生產及消費者對品質的注重。作物適宜的低溫貯藏，維持了蔬菜的品質；產地預冷設備使用，可確保後端販售耗損降低與較好的販售性；氣調貯藏與氣變包裝的逐步發展，穩定了供貨；驗證與食安的重視，也帶來了更多的食品安全概念和規範；最後，育種、包裝與人工智能的發展，將結合蔬菜採後處理技術，將新的操作模式透過通路進入了一般消費者身旁，使蔬菜新運銷體系更具效率。

關鍵字：蔬菜、採後處理、通路、未來發展

前言

至2050年，世界人口預計將超過90億，糧食需求預計將增加接近100%（Fukase 和 Martin，2020年；Pawlak 和 Kołodziejczak，2020年）。因此，為了滿足未來的需求，糧食產量和農業生產力必須大幅提高約70%，才能滿足未來不斷增長的需求（Cole 等人，2018年；Sharma 等人，2020年）。而在全球所有食品商品中，水果和蔬菜的採後損失最高，佔總產量的28%至55%，每年估計損失約7,500億美元（Opara 等人，2021年；Ueda 等人，2022年）。臺灣早期農業發展著重於品種育種、生產技術提升與開發，針對於採收後處理及貯運之研究，因為屬就近銷售、拍賣市場隔日需求及臺灣島內運輸距離較短等因素，導致蔬菜層面針對採後處

理技術與資材應用等較為薄弱，為改善此情形，良好的低溫貯藏方式，預冷與冷鏈管理等技術持續引入；另一方面針對食品安全與持續性的議題，持續發展新形式的食品保存技術也越顯重要（王等人，2021）。因此，在蔬菜品質的維持層面，採後處理技術及預冷作業是冷鏈前端基石，小農藉由簡易的田間採後處理，就能讓農產品鮮度更持久，但完整的冷鏈建置，仍須資本投入，近年陸續有合作社、農民團體、供應商、集理貨包裝場、團膳業者及外銷廠商體認蔬菜在冷鏈的重要性，臺灣農產運銷的面貌，正在透過需求端的逐漸轉變，更有了新的動力。

內容

（一）產業特性與通路改變

在產品到達消費者之前，水果和蔬菜



供應鏈中的採後損失和浪費高達 13-38% (Gustafsson、Cederberg、Sonesson 和 Emanuelsson, 2013 年)。傳統的臺灣社會蔬菜採收後會運送至產地市場，透過經銷人進行買賣運輸，因此蔬菜從產地到消費者手上，處理流程較少，主要採常溫運銷。而現在的蔬菜產銷鏈，整條生產鏈往往需要經過多樣操作流程，如產地採收、收穫後預冷、分級包裝處理、低溫貯運暫存及配送作業等。因此臺灣為改善小農經營型態解決個別獨立運銷之不利現象，而採取共同運銷之機制，農會、農聯社、國聯社及青果社為臺灣蔬果共同運銷之四大團體。依據廖2014研究，共同運銷模式之優勢在於資源豐富、輔導措施完善、價格透明化等；劣勢則在於組織效能效率問題、缺乏人才培育；而挑戰則

來自進口蔬果衝擊、市場需求改變等項。但是共同運銷機制的團體，在通路改變的現況下，則受到了從需求端來的挑戰如全聯、好事多的需求。對於傳統拍賣市場來說，國內的批發市場通常在常溫作業(圖1、2)，為了完成冷鏈最後一哩路，臺北農產公司也逐年建置低溫卸貨拍賣區，可在攝氏15到18度的低溫環境中，進行卸貨拍賣物流等作業，藉以保持蔬果鮮度、降低耗損，並導入摺疊籃回收循環機制，因應未來的變化(農產運銷報導，2022-2023合刊號)。也因應通路的改變，包裝販售模式也隨之改變，產地包裝人工成本較低，而消費地包裝降低途中損害重新包裝問題；販售模式也由常溫販售轉為低溫櫃模式販售，以維持品質減少耗損(圖3)。



圖1. 台北第一果菜市場拍賣前集貨情形



圖2. 青葱運送至台北果菜市場拍賣之分級與包裝方式



圖3. 日本鮮蔬菜低溫冷藏開架販售模式

(二) 蔬菜種類不同之操作與貯藏方式

在農業中，採後處理是作物收穫後立即生產的階段，包括冷卻、清潔、分類和包裝，以幫助減少作物的快速惡化 (El-Ramady 等, 2015)。特別是園藝產品的種類、包裝方式與品質對於決定市場接受度至關重要，因此直接影響貯藏和採後操作。蔬菜種類繁多，共分為根菜(胡蘿蔔、蘿蔔、番薯、山藥等)、莖菜(球莖類:芋頭球莖甘藍、塊莖類:馬鈴薯、根莖類:蓮藕、薑、嫩莖類:竹筍、蘆筍、筴白筍、鱗莖類(大蒜 洋葱)、葉菜(十字花科、蔥科、菊科、旋花科等)、花菜、果菜(葫蘆科、茄科、豆科等)、蕈類(香菇、草菇、洋菇、磨菇、金針菇、袖珍菇、杏鮑菇、猴頭菇、鴻喜菇、松茸菇、柳松菇)、芽菜等。但是歸類整體貯藏條件，溫度仍為最重要的貯藏因子，降低溫度可以減少蒸散作

用、呼吸作用及乙烯生成效率，亦可減輕乙烯作用與延遲產品之完熟與衰老情形(劉, 1994)，相關資料如註1所示。如近 0°C 的溫度配合高濕(95-98% RH)貯藏可維持莢用豌豆新鮮度，貯藏在 5°C 以上溫度兩週後果莢則產生失水、物理性傷害周圍白點及醣類降低的現象(Morris and Joplin, 2016)，6°C下僅 24 hr 豆仁可溶性醣即轉化成澱粉，致使籽粒硬化造成品質變劣(Cantwell 和 Saltveit, 2015；Ihl 等, 2001)。白蘿蔔低溫貯藏試驗顯示，以早生種白娘品種進行試驗，呼吸率 1°C: 5.1mg CO₂/Kg/hr; 5°C: 6.1mg CO₂/Kg/hr; 10°C: 9.1mg CO₂/Kg/hr; 20°C: 19.9mg CO₂/Kg/hr，溫度影響呼吸率高低。而低溫貯放4週與6週，結果顯示外觀品質差異最大為葉梗之脫落，5°C貯藏下明顯黃化與離層產生掉落，而於1°C下貯藏則無太大差異，可溶性固形物4周貯藏下無



差異，6週後5°C貯藏有下降趨勢，貯藏時間較長者表皮若有物理機械傷害者會有褐化現象。因此隨著貯藏溫度的升高留葉梗的掉落率明顯增加是造成失重的因素之一(圖3)。

(三) 蔬菜預冷及採後技術應用

由於持續的生理過程，田間高溫容易導致收穫的水果和蔬菜水分流失(Lufu,等, 2019; Valero等, 2015)，導致品質下降加劇。水分損失是呼吸與蒸散作用的結果，取決於蒸氣壓不足(VPD)(Wills和Golding, 2016)。VPD結合了相對濕度和溫度的影響，是飽和蒸氣壓和實際空氣蒸氣壓之間的差異(Fanourakis等, 2013)。這些變化可能會導致農產品品質下降、貯藏和櫥架期受到限制，對生鮮農產品跨地區、跨境長途銷售以及整個冷鏈農產品的經濟效益產生不利影響。因此，收穫後必須除去農產品中的田間熱量，而預冷就是去除田間熱的最佳方式。

預冷的主要目的是減緩水果和蔬菜的生理生化活動，透過消除田間熱量，並為接下來的低溫貯藏做好準備(Kader, 2002)。在日本長野縣伍賀地區，萵苣農民原以凌晨四點採收的方式避免田間熱影響品質，而引進真空預冷設備後，便改為上午七時，或下午二時採收後採收再運送至農協進行預冷處理。此外，預冷可以防止水果和蔬菜發生生理紊亂，延緩老化或成熟，減少採後腐爛，並保持水果品質(Kader, 2002)。另依據張1997年針對不同預冷方法對葉菜類的品質及保鮮期的影響研究，有預冷處理之小白菜與韭菜的葉色、全糖含量、纖維含量顯示比不做預冷處理的品質保存效果好，都市近郊葉菜類則是以水冷及壓差預冷較經濟。

常用的預冷技術包括室冷(room cooling)、壓差預冷(forced-air cooling)、水冷(hydrocooling)、碎冰(冰泥)預冷(icing

cooling)和真空預冷(vacuum cooling)，預冷方法考量取決於產品性質、作業流程與操作成本等，效率則受冷卻介質吸熱特性、產品狀態、處理條件與方式及包裝堆疊樣態等因子影響(林, 2001; Hardenburg等, 1986)。這些技術從技術角度來看有所不同，儘管它們都涉及將熱量從農產品快速傳遞到冷卻介質，例如空氣和水(Hardenburg等, 1986; Wang和Sun, 2003)。而根據商品和容器的特性、冷卻速率以及進一步的貯藏和運輸條件等參數，最合適的技術則取決於現實情況(Alibas和Koksal, 2014)。

在國內的預冷使用上，室冷為最常用的方式(圖4)：

室冷操作方式是將產品放在冷庫裡讓冷空氣冷卻容器及產品，通常堆放時要稀疏通風，讓更多的容器面與產品面與冷空氣接觸(劉, 1994)。有些國外的預冷室會將冷空氣從天花板上至下建構數個噴氣筒(ceiling jets)進行噴氣降溫，國內則透過冷藏機組之風扇協助進行氣體流動，並於牆壁處留有間隙使冷空氣流動。此種方式多數的品項均能適用，如國產的香菇(圖5)。但缺點則是預冷速度較其他方式較慢，且需受到作物品項、包裝方式、使用方式及通路階段。

冰水預冷：

冰水預冷是指用冷或冰水沖淋或浸泡園產品，可以快速冷卻產品稱之。國內使用冰水預冷的蔬菜如萵菜、長豇豆、竹筍及茭白筍等。而預冷速度與水總量通過產品的單位時間而定。依據桃園場研究，傳統通路農場葉菜品質無法達到新興通路標準之主要原因為：(a)清洗和水冷用水水質不佳，葉菜易腐爛。(b)冷藏庫有限，葉菜需同時暫貯於5~7°C，夏季葉菜長期貯藏易發生寒害(圖6)。因此透過更新清洗水並以10°C冰水

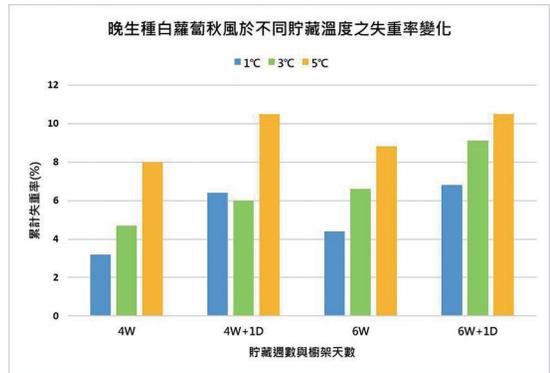
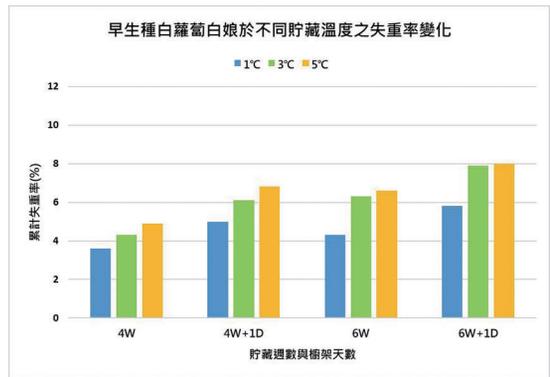


圖4. 早生種白娘與晚生種秋風於不同溫度下貯藏出庫外觀情形，較高溫(5°C)易造成葉梗脫落品質下降(徐敏記未發表資料，2023)。



圖5. 台灣生鮮香菇室冷暫存預冷模式

預冷處理後，總剔除率減少59%(由94%降至35%)，再搭配以11°C暫存處理可再降至22%。農試所研究由1、5、10°C冰水預冷1、10分鐘後裝箱模擬至北農拍賣，並調查包裝箱內溫度變化，結果顯示長豇豆浸泡冰水1°C-1min初始溫度10.8°C雖然低於10°C-10min(12.4°C)處理，但1°C浸泡1分鐘處理升溫速度

比10°C-10min快，推測處理時間需10分鐘左右才能徹底降溫。另長豇豆於冰水預冷1分於28°C模擬櫥架第2天出庫後，其硬度皆明顯下降，但冰水預冷10分鐘處理維持較高硬度(10.2-11.6N較預冷1分鐘硬度8.3-9.6N高)，而無處理預冷者櫥架1天出庫其色相角明顯降低。

壓差預冷：

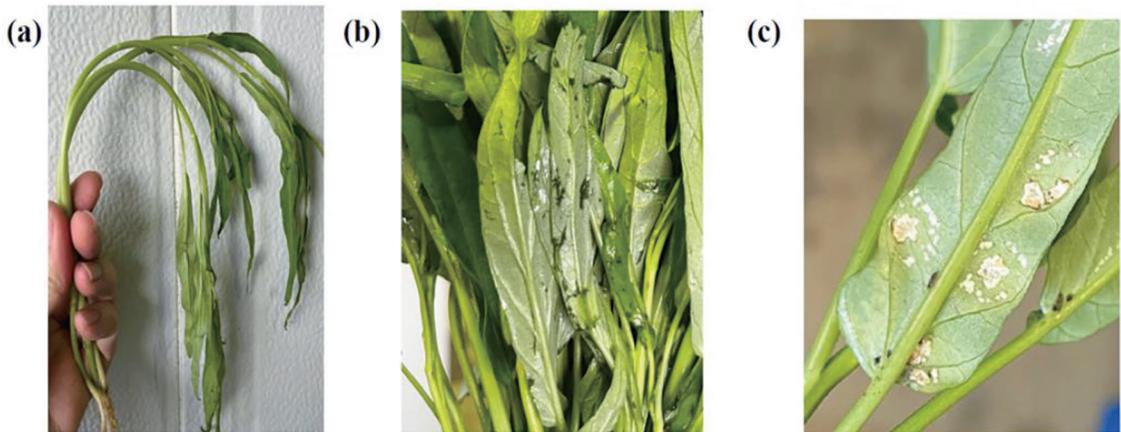


圖6. 薙菜採後耗損樣態: (a)葉片萎凋伴隨莖部軟化。(b)葉片水浸腐爛沿著傷口產生。(c)葉片病害有黃色圓斑(白銹病)

壓差預冷是指在低溫冷藏庫中使用排氣扇使通氣孔兩側產生壓力差，使冷空氣進入後直接與產品接觸，此時將熱帶走使產品快速冷卻(Ambaw等，2017)。壓差預冷的冷卻速度比室冷快且常用於預冷水果、蔬菜或切花(Mercier等，2019)。壓差預冷在國外多以隧道式(tunnel)、冷牆式(cold wall)或蛇行式(serpentine)方式進行，但國內因處理量較少且多以裝箱方式預冷，因此農業試驗所也開發了頂吸式壓差預冷模組(vertical forced-air cooling facility)，將冷空氣改成由下至上方式均勻預冷。臺中場也利用此種模組，將呼吸率高、品質變化快速不易貯藏的甜豌豆，透過頂吸式壓差預冷處理至5°C，可顯著減輕劣

化程度，且與真空預冷相比預冷後失重率僅0.73%，貯藏30天後硬度較高，總可溶性糖類含量較多，粗纖維和澱粉含量較低，後續於5°C、3天回溫後之褐化及軟化率亦較低，可售率達93.3%(陳等，2021)。相同的翼豆收穫後會累積大量田間熱量，若未能及時降溫，將造成豇薺品質迅速惡化，保質期縮短。而採用頂吸式壓差預冷(Vertical forced-air cooling)可比一般室冷(Room cooling)快9.6倍以上，且經歷壓差預冷處理後，重量損失率較室冷處理低，質量指標包括質地、可溶性固形物、維生素等也較佳，並且延緩腐爛率(圖7)(Lee等，2022)。

碎冰預冷：



圖7. 翼豆經過室冷(A)與壓差預冷(B)處理後再於12°C貯藏14天之外觀品質情形(Lee等, 2023)
Figure 7. Pod appearance after FC and RC and storage at 12°C for 14 days: (A) Room cooling. (B) Forced-air precooling.

由於青花菜採後呼吸率仍維持較高，冰泥預冷為國外常用的方式，碎冰預冷則國內有使用。比較不同預冷方式並使蕾球於低溫1°C長期貯藏調查品質變化。隨著蕾球溫度降低，青花菜呼吸率和乙烯釋放率也逐漸降低；採收當日將青花菜以冰泥預冷降溫至1°C較碎冰預冷快5.6倍，呼吸率較室溫下蕾球低64%和70%，且貯藏期間無乙烯生成，品質方面透過預冷可避免蕾球於貯藏期間失重，維持緊實度。以冰泥和碎冰預冷於1°C貯藏4週後離子後滲漏率低，因此並未引起青花菜寒害(王, 2022)。國內嘉義大學也透過了農業部冷鏈計畫，研發我國適用的灌注式流動冰機，碎冰以冰水為載體灌注於裝有青花菜的容器內，停留在花蕾球間隙的碎冰可持續維持低溫並維持品質。

真空預冷：

真空預冷原理是在低壓情形下水分自然由產品表面沸騰，氣壓降至4.6mmHg時水的沸點為0°C，因此只要氣壓降得夠低，常溫可

使水迅速汽化帶走汽化熱而使產品冷卻，時常應用於葉菜類。萵苣葉脈紅褐化，又稱紅莖(pink rib)產生對販售品質影響甚鉅。採收後儘早預冷處理搭配真空預冷方式，試驗結果顯示低溫冷藏一個月出庫病害與腐爛情況較少，品質較室冷延遲兩小時佳，模擬販售4日仍具販售價值(圖8)；真空預冷也可顯著減少萵苣紅莖的產生，可維持品質(徐與張, 2023)。

氣調技術與氣變包裝：

利用改變大氣組成降低氧氣與提高二氧化碳的氣調貯藏技術是一種非化學性的保鮮技術，對大多數的新鮮園產品而言具有無殘留與延長貯藏壽命的效果(王與王, 1988；林, 1974)。青花菜於20°C中可用1%O₂+6%CO₂之主動氣變包裝方式延長壽命(王, 1997)。而國內也有經過經氣調貯藏的方式與研究，黃等2002因應夏季颱風季節成有供應不足之問題，透過在冷藏庫內設置塑膠密封帳之研究，將室帳內氧氣濃度控制於

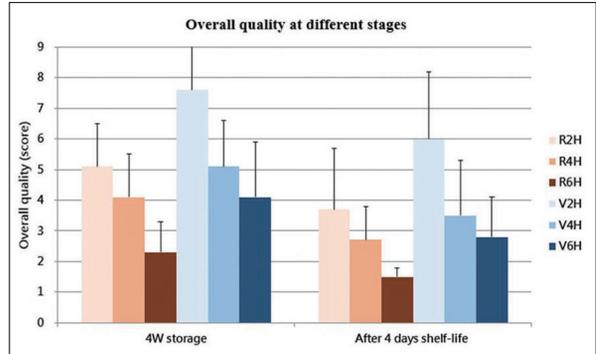


圖8. 結球萵苣採收後延遲預冷與預冷方式(室冷及真空預冷)不同於5°C貯放4周出庫之外觀與整體分數(9:最佳、5:最低可售、1:最差)。

Figure 8. Total score (1-9; 9: premium, 5: sale limitation, 1: worse). After 4 weeks low temperature storage(5°C)

2-6%之間，二氧化碳控制於3-5%間，針對失重率、葉片色澤鮮度、切口發根抑制、切口腐爛及葉片黑斑問題均有改善。農業試驗所也搭配氣調櫃進行試驗，結果顯示以低氧高二氧化碳(O₂ 3-7%+CO₂ 1-3%)進行西洋芹低溫貯藏4週與出庫櫥架3日，葉片經氣調貯藏後葉柄顏色較鮮綠；CA貯藏西洋芹葉柄顏色a*值(-12.3)、色相角119.9°均較對照組綠、葉

柄質地維持硬脆(70.1 N)，且整體病害情況整修率低、外觀分數為7.0分皆優於對照組(表1)，可溶性固形物與維生素丙含量則無明顯差異。顯示以氣調櫃方式低溫貯藏有利於西洋芹外觀品質維持，可做產業後續發展使用(圖9)。

氣變包裝最常應用方面為菇類，透過塑膠袋進行包裝可顯著降低袋內氧氣提升

表1. 西洋芹葉柄顏色與葉片葉綠素貯藏後變化情形

貯藏時間	處理	葉柄顏色					葉片葉綠素
		L*	a*	b*	C*	h°	
d0	處理前	52.1±2.3 ab	-11.2±0.5 ab	18.6±0.8 b	21.8±0.8 b	121.0±1.2 a	48.7±1.0 a
3°C, 33d	CK	55.4±1.0 a	-10.4±0.4 a	19.2±0.7 b	21.8±0.7 b	118.5±0.8 a	26.9±2.3 c
	CA	51.7±0.9 b	-11.3±0.3 ab	20.1±0.6 ab	23.1±0.6 ab	119.4±0.8 a	37.5±1.6 b
3°C, 33d +7°C, 3d	CK	55.2±0.8 a	-10.7±0.4 a	21.6±0.6 a	24.1±0.7 a	116.3±0.4 b	20.6±2.2 d
	CA	52.5±1.2ab	-12.3±0.3 b	21.4±0.4 a	24.7±0.5 a	119.9±0.5 a	36.4±2.3 b

Values represent mean ± standard error. Values in each column with the same letters are not significantly different at P<0.05 by LSD test.

每個數值為10個樣品之平均值±機差。

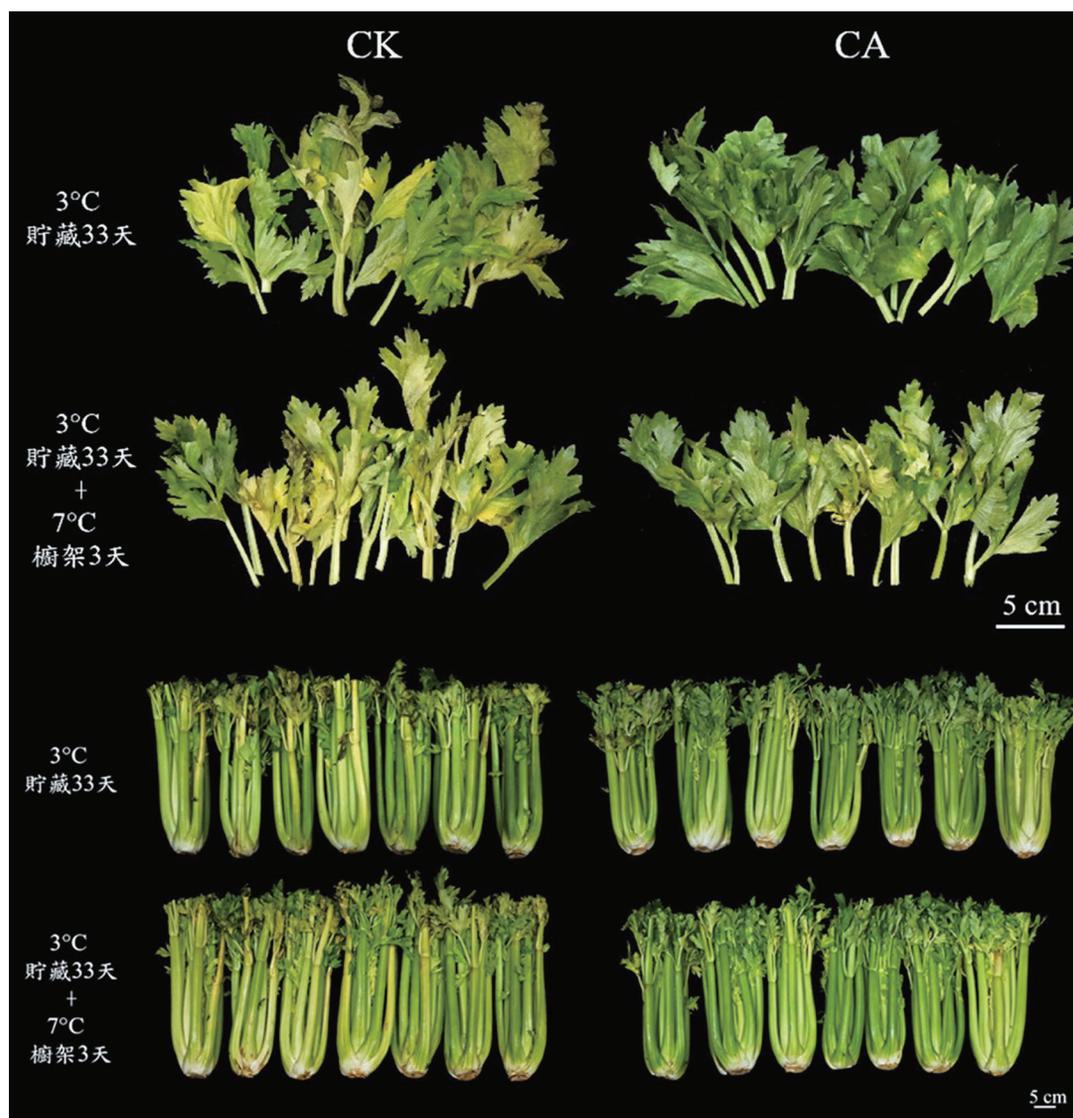


圖9. 3°C貯藏33日+7°C模擬櫥架販售3日之對照組與氣調貯藏組西洋芹外觀差異

二氧化碳量，進而降低菇體生理活動如呼吸率，而較高的二氧化碳搭配低氧也有助於減少微生物的繁殖；但仍須留意*Clostridium botulinum*與*Listeria monocytogenes*仍可能於低氧下會持續繁殖，因此需在集貨包裝端清潔消毒特別留意。

特殊處理方式對蔬菜採後品質與安全的影響：

因採收後需快速進行選別包裝，部分採後處理技術若操作時間較短，或於轉運貯

藏時期暫存維持品質，則有其需求。短時間熱處理對後續品質具有減少病害維持品質等特性，如麻竹筍貯藏前以70°C溫湯處理30秒，最能有效維持切面處的高L*與h°之亮白色，並保持貯藏期間的品質，並於1°C下貯藏可延長貯藏壽命至6週仍具商品價值(吳，2023)。高壓電場為一新穎的食品加工技術，具有操作方便、無劑量殘留及非熱處理等優點，可應用在蔬果保鮮上，林等人2020



結果發現在貯藏第12天有顯著差異 ($p < 0.05$)，且電場強度的影響大於處理時間，其中以360 Kv/m、110 min效果最佳；比較電場處理後秀珍菇於貯藏12天之品質變化，褐變度延緩56.0%，物性品質方面，失重率延緩49.3%、硬度下降率延緩67.2%、煮失率延緩27.0%，且有效維持秀珍菇細胞壁之間的緊密結構，延緩細胞壁分解所造成的組織自溶現象、進而延緩後續的劣變情形。利用清潔與消毒在食品安全，尤其是生食蔬菜上十分重要。驗證與食品安全規範日益重要，美國也在現代化食品安全行動方針(FSMA)列出相關規範，不僅僅是針對產品表面的清潔消毒，更搭配了「處理區域」(ZONE1-4)的概念，將風險規範於是否與食品直接接觸或間接接觸，來預防交叉污染的問題產生。

(四) 採後處理新技術與產銷搭配趨勢

收穫後階段是農業的最後也是最關鍵的階段，無效的採後階段或疏忽可能會導致嚴重的採後損失和隨之而來的財務問題 (Prusky, 2011)。

Hewett 2013研究顯示，透過進一步致力於了解品質性狀（包括抗逆性）的遺傳和分子基礎的研發，加強採後病害和害蟲的抵抗力，並透過系統生物學方法整合現有技術（生物技術、資訊科技和奈米技術），以克服採後品質和安全問題。同時使用機器人技術來收穫、包裝和處理個體到散裝物品；有效且有效率地管理物流和供應鏈，或使用生物調節劑和/生物刺激劑來管理生產力和品質，同時了解操縱控制生理和生化系統的基礎代謝原因，藉以減少產品劣化和老化，以上是前端生產與採後處理搭合作於未來農產價值鏈的韌性供應的未來趨勢。

包裝的目的是保護和保存食品，保持其品質和安全，並減少食物浪費。不同的包裝有塑膠袋、網袋、淺盤、收縮膜、小盒等包

裝方式，現代食品包裝材料和技術滿足了這些功能，而包裝在其中發揮關鍵作用。然而農產與食品行業一直在尋求新技術，以進一步提高品質、保質期、食品安全性和的產品的可追溯性。奈米科技的出現，開發具有改進性能的食品接觸材料開闢了新的機會。食品公司正在積極探索奈米材料在食品或食品中的應用潛力包裝 (Chaudhry 等, 2008)。在眾多可用的食品保鮮方法中，可食包膜的應用也成為人們關注的焦點。應用的潛力受到了廣泛的關注，並用以延長農產品和食品的保存期限 (Priya等, 2023)。而除了其實用性之外，可食包膜也具有永續發展概念，即現代食品工業的操作實務中越來越注重考慮此一方向 (Armghan Khalid 等, 2022 ; Soares 等, 2021)。

有關人工智慧應用的出版物近 30 年來，在採後處理研究不斷增加，過去十年該領域取得了顯著成長。中國、美國和印度是生產力最高的三個國家，佔分別佔入選出版品總數的52.4%、22%和18.6%(圖10)。分析也透露物聯網、冷鏈物流、大數據等議題數據、決策、即時監控發展程度較低在知識領域 (Fadiji等, 2023)。另外有證據表明人工智慧 (AI)、機器學習 (ML) 和深度學習 (DL) 在各種農產品上的使用，特別是在檢測缺陷、分級、選別、分類、自主決策、預測品質及品質控制等方面。楊等人(2022)開發了一種基於人工智慧的影像辨識系統，可以有效地將蘋果果實分類。Takruri等人(2020)採用機器學習演算法，使用偏振成像技術(polarization images)根據結果來估計蘋果的新鮮度和品質。Amoriello等人(2022)應用類神經網路 (Artificial Neural Network; ANN)來預測草莓果實的品質參數等等。

在丁(2013)研究指出，影響蔬果產銷運作模式關鍵成功因素，分別為：1.產業聚落

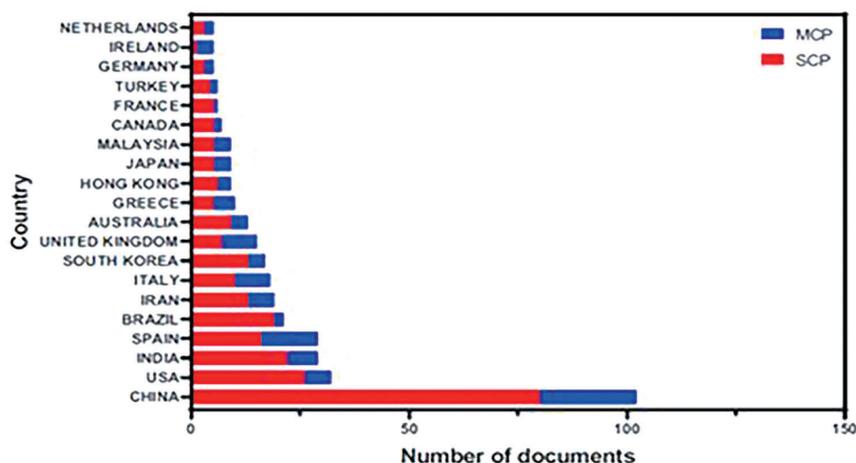


圖10. 有關AI與採後農業相關的通訊作者所處國家。SCP 和 MCP 分別代表國家內部和國家間合作或國家出版物和多國出版物 (Fadiji等, 2023 年)

Figure 10. The country of the corresponding author of the AI related to agriculture. The SCP and MCP stand for intra-country and inter-country cooperation or national and multi-national publications, respectively.(Fadiji et. al., 2023)

競爭力；2.現有競爭者；3.供應商議價能力；
4.行銷計畫及共同運銷；5.輔導措施完善；
6.政府訂定相關法規等六項重要關鍵因素，
其中國內胡蘿蔔成功外銷關鍵首先為產業聚
落競爭力。此項模式與臺灣其他成功外銷蔬
菜如毛豆、結球萵苣模式相同。因此蔬菜產

業透過產業聚落、品種優勢等項，結合與新
興處理技術如氣調、新型包裝、人工智能等
的研究的跨界契合，會是將來蔬菜採後處理
發展的項目之一(圖11、12)。

結語



圖11. 國內雲林低溫包裝室包裝情形



圖12. 大型現代化蔬菜低溫冷藏庫貯藏情形

在極端情況下，新鮮農產品的採後損失可能高達 60%，具體則取決於農產品類型與供貨模式 (Yahia 等人, 2019)。臺灣因氣候影響和非規畫性生產，造成蔬菜產量波動性大。國內貯藏品質控管能力不足，外銷供應低溫冷鏈斷鏈，缺乏標準化管理模式且農產品採收後預冷不足，採後分級低溫貯藏未落實，致使品質變化影響供貨與銷售去化。而蔬菜產品的品質、產品類型、供貨方式對於市場接受度與販售至關重要，因此直接影響了採後處理技術使用與資材的應用。透過專業設施與技術，自田間採收後到消費端前各項環節組合成「低溫品質保障體系」，包含採收、預冷、低溫貯運、分級包裝、宅配銷售等各階段，維持「穩定」與「可監控」的溫度下，保障產品品質、減少損耗的管理方式(徐, 2020)。同時，全球

也需要採取綜合和創新的方法來確保可持續的糧食生產和消費。農業部門對於緩解糧食不安全、改善營養和減少收穫後損失至關重要 (Emami 等, 2018)。持續研究透過人工智慧的研究增加在採後農業的應用，旨在減少採後損失，緩解糧食供應不穩，未來並提供寶貴的資料結果供產業使用。正如同日本全國農業協同組合連合會 (JA) 和進出口商，預計在日本14個點設立低溫物流中心，希望提供生鮮蔬果冷鏈物流，並結合攻擊型農業進行外銷。蔬菜生產後的保鮮的溫度控制可以分成幾個溫層，而4~15°C 冷藏溫層是最難控制品質的溫層，做好生鮮價值鏈溫度控制就是生鮮供貨的贏家。在現代化冷鏈的路途上，還有許多須要學習與改善的地方，也是未來臺灣農業發展的必經之路。



- Agr. 136:13–24.
21. Amoriello, T.; Ciccoritti, R.; Ferrante, P. Prediction of Strawberries' Quality Parameters Using Artificial Neural Networks. *Agronomy* 2022, 12, 963. <https://doi.org/10.3390/agronomy12040963>
22. Armghan Khalid, M., B. Niaz, F. Saeed, M. Afzaal, F. Islam, M. Hussain, M.M.S. Khalid, A. Siddeeg, and A. Al-Farga. 2022. Edible coatings for enhancing safety and quality attributes of fresh produce: A comprehensive review. *Intl. J. Food Properties*. 25:1817–1847. <https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2107005>
23. Cheng, H. P. 2006. Vacuum cooling combined with hydrocooling and vacuum drying on bamboo shoots. *Appl. Thermal Engineering*. 26:2168-2175.
24. Chaudhry, Q., M. Scotter, J. Blackburn, B. Ross, A. Boxall, L. Castle, R. Aitken, and R. Watkins. 2008. Applications and implications of nanotechnologies for the food sector. *Food Additives Contaminants*. 25:241-258.
25. Cantwell, M. and M. Saltveit. 2015. Tolerance of sugar snap peas to modified atmospheres with high concentrations of carbon dioxide. *Acta. Hort.* 1071:619-626.
26. 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. *Hortic. Environ. Biotechnol.* 56:662-668.
27. Cole, M. B., M.A. Augustin, M.J. Robertson, and J.M. Manner. 2018. The science of food security. *NPJ Sci. Food*. 2:14. doi: 10.1038/s41538-018-0021-9
28. El-Ramady, H.R., É. Domokos-Szabolcsy, N.A. Abdalla, H.S. Taha, and M. Fári. 2015. Postharvest management of fruits and vegetables storage. *Sustainable Agri. Rev.* 15:65–152. doi: 10.1007/978-3-319-09132-7_2
29. Emami, M., M. Almassi, H. Bakhoda, and I. kalantari. 2018. Agricultural mechanization, a key to food security in developing countries: strategy formulating for Iran. *Agri. Food Security*. 7:1–12. doi: 10.1186/s40066-018-0176-2
30. Fanourakis, D., R. Pieruschka, A. Savvides, A.J. Macnish, V. Sarlikioti, and E.J. Woltering. 2013. Sources of vase life variation in cut roses: A review. *Postharvest Biol. Technol.* 78:1–15. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.12.001>.
31. Fukase, E. and W. Martin. 2020. Economic growth, convergence, and world food demand and supply. *World Dev.* 132:104954. doi: 10.1016/j.worlddev.2020.104954
32. Fadiji, T., T. Bokaba, O.A. Fawole, and H. Twinomurinzi. 2023. Artificial intelligence in postharvest agriculture: mapping a research agenda. *Frontier Sustainable Food System*. 7:1226583. doi: 10.3389/fsufs.2023.1226583
33. Gross, K.C, C.Y. Wang, and M. Saltveit. 2016. The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks. Washington, DC: US Department of Agriculture.
34. Gustafsson, J., C. Cederberg, U. Sonesson, and A. Emanuelsson. 2013. The methodology of the FAO study: Global food losses and food waste-extent, causes and prevention-FAO, 2011. The Swedish Inst. Food Biotechnol.
35. Hewett, E.W. 2013. Postharvest innovation: current trends and future challenges in the

- global market. *Acta Hort.* 989:25-37. DOI: 10.17660/ActaHortic.2013.989.1.
36. Ihl, M., Conejeros, E. Mera, and V. Bifani. 2001. Quality changes of two sugar snap pea cultivar during cold storage. *Acta Hort.* 553:749-751.
37. Kader, A. A. 2002. *Postharvest technology of horticultural crops*. 3rd ed. University of California Agriculture and Natural Resources.
38. Lufu, R., A. Ambaw, and U.L. Opara. 2019. The contribution of transpiration and respiration processes in the mass loss of pomegranate fruit (cv. Wonderful). *Postharvest Biol. Technol.* 157:110982. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.110982>.
39. Lee, Y.C., M.C. Hsu, J.Z. Liao, Z.W. Wei, H.Y. Chung, Y.S. Liang. 2023. Effects of forced-air precooling on postharvest physiological and storage quality of winged beans. *Hort.* 9:45. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9010045>
40. Morris, S. and J. Jobling. 2016. Pea. p. 463-465. In: K.C. Gross, C.Y. Wang, and M. Saltveit (eds.). *The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks*. USDA Agriculture Handbook 66.
41. Opara, I.K., O.A. Fawole, A. Kelly, and U.L. Opara. 2021. Quantification of on-farm pomegranate fruit postharvest losses and waste, and implications on sustainability indicators: South African case study. *Sustainability.* 13(9):5168. <https://doi.org/10.3390/su13095168>.
42. Prusky, D. 2011. Reduction of the incidence of postharvest quality losses, and future prospects. *Food Security.* 3:463–474. doi: 10.1007/s12571-011-0147-y
43. Pawlak, K. and M. Kołodziejczak. 2020. The role of agriculture in ensuring food security in developing countries: considerations in the context of the problem of sustainable food production. *Sustainability* 12:5488. doi: 10.3390/su12135488
44. Priya, K., N. Thirunavookarasu, and D.V. Chidanand. 2023. Recent advances in edible coating of food products and its legislations: A review. *J. Agr. Food Res.* 12:100623. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100623>
45. Sharma, R., S.S. Kamble, A. Gunasekaran, V. Kumar, and A. Kumar. 2020. A systematic literature review on machine learning applications for sustainable agriculture supply chain performance. *Computer Operation Res.* 119:104926. doi: 10.1016/j.cor.2020.104926
46. Soares, J., I. Miguel, C. Venancio, I. Lopes, and M. Oliveira. 2021. Public views on plastic pollution: Knowledge, perceived impacts, and proenvironmental behaviours. *J. Hazardous Materials.* 412:125227. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125227>
47. Takruri M., A. Abubakar, N. Alnaqbi, H. A. Shehhi, A. -H. M. Jallad and A. Bermak, “DoFP-ML: A Machine Learning Approach to Food Quality Monitoring Using a DoFP Polarization Image Sensor,” in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 150282-150290, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3016904.
48. Udoh, I.P., C.I. Eleazar, B.O. Ogeneh, and M.E. Ohanu. 2015. Studies on fungi responsible for the spoilage/deterioration of some edible fruits and vegetables. *Adv. Microbiol.* 5:285-290. <https://doi.org/10.1007/s12571-011-0147-y>



- org/10.4236/aim.2015.54027.
49. Valero, D., S.H. Mirdehghan, M. Sayyari, and M. Serrano. 2015. Processing and impact on active components in food. In V. Preedy (Ed.), Chapter 23 - vapor treatments, chilling, storage, and antioxidants in pomegranates (pp. 189–196). San Diego: Academic Press.
50. Wang, L. and D.W. Sun. 2003. Recent developments in numerical modelling of heating and cooling processes in the food industry—a review. *Trends Food Sci. Technol.* 14:408–423. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(03\)00151-1](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(03)00151-1).
51. Wills, R.B.H. and J.B. Golding. 2016. *Postharvest: An introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables* (6th ed.). Oxfordshire, UNSW Press.
52. Wang, Q., H. Yu, B. Tian, B. Jiang, J. Xu, D. Li, Z. Feng, and C. Liu. 2019. Novel edible coating with antioxidant and antimicrobial activities based on whey protein isolate nanofibrils and carvacrol and its application on fresh-cut cheese. *Coatings*: 9(9):583. <https://doi.org/10.3390/coatings9090583>.
53. Yahia, E.M., J.M. Fonseca, and L. Kitinoja. 2019. Postharvest losses and waste. *Postharvest Technol. Perish. Hort. Commodities*. p. 43–69. <https://doi.org/10.1016/C2016-0-04890-8>.
54. Zhao, C.J., J.W. Han, X.T. Yang, J.P. Qian, and B.L. Fan. 2016. A review of computational fluid dynamics for forced-air cooling process. *Appl. Energy*. 168: 314–331. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.01.101>.
55. FSMA: <https://cals.cornell.edu/national-good-agricultural-practices-program/resources/educational-materials/decision-trees/sanitation-postharvest-handling>

種類	品項	預冷方式	建議貯藏溫度
根菜	胡蘿蔔 Carrot	室冷、水冷	0~1°C
	蘿蔔 Raddish	室冷、水冷	0°C
	番薯(甘藷) Sweet potato	室冷	13~16°C
	山藥 Yam	室冷	13~15°C
莖菜	馬鈴薯 Potato	室冷	鮮食:7~10°C; 種薯:4~5°C
	薑 Ginger	室冷	13°C
	竹筍 Bamboo shoot	水冷、壓差預冷	0~2°C
	蘆筍 Asparagus	水冷	0~2.5°C
	茭白筍 Water bamboo	水冷	5°C
	大蒜 Garlic	室冷	-1~0°C
	洋葱 Onion	室冷	0°C
葉菜	高麗菜 Cabbage	高濕壓差預冷、真空預冷	0°C
	不結球白菜 Chinese mustard	真空預冷、淋水式真空預冷	0~1°C

種類	品項	預冷方式	建議貯藏溫度
葉菜	青江菜 Bok choy	室冷、壓差預冷	0~5°C
	青葱 Green onion	水冷、壓差預冷、真空預冷	0°C
	萵苣 Lettuce	真空預冷	0°C
	蕹菜 Water spinach	室冷、水冷	12~15°C
	菠菜 Spinach	頂冰、水冷、真空預冷	0°C
	番薯葉 sweet potato leaves	室冷、高濕壓差預冷	7~10°C
	芹菜 Celery	水冷、真空預冷	0°C
花菜	花椰菜 Cauliflower	水冷、真空預冷	-1~0°C
	青花菜 Broccoli	頂冰、水冷、真空預冷	-1~0°C
果菜	絲瓜 Loofah	室冷	10~12°C
	胡瓜 Cucumber	水冷、真空預冷	10~12°C
	南瓜 Pumpkin	室冷	12~15°C
	苦瓜 Bitter melon	室冷、壓差預冷	10~12°C
	西瓜 Water melon	室冷	10~15°C
	辣椒 Chilli	水冷、壓差預冷、真空預冷	7~10°C
	甜椒 Pepper, (bell)	水冷、壓差預冷、真空預冷	7~10°C
	番茄 Tomato	室冷、壓差預冷	綠熟:10~13°C; 完熟:8~10°C
	茄子 Eggplant	室冷、水冷、壓差預冷	8~12°C
	菜豆 Common bean	水冷、水冷、壓差預冷	5~7.5°C
	豌豆 Pea	水冷、壓差預冷	0°C
豇豆 Cowpea (long-yard bean)	水冷、壓差預冷	4~5°C	
芽菜	綠豆芽 Mung bean sprouts	室冷、水冷、壓差預冷	0°C
蕈類	香菇 Mushroom	室冷、壓差預冷	0~1.5°C
	金針菇 Golden mushroom	壓差預冷	0°C

註：各種不同蔬菜的預冷方式與建議貯藏溫度

參考文獻

- Cheng, H. P. 2006. Vacuum cooling combined with hydrocooling and vacuum drying on bamboo shoots. *Applied Thermal Engineering*. 26:2168-2175.
- Kader, A. A. 2002. *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. 3rd ed. University of California Agriculture and Natural Resources.
- Will, R. and J. Golding. 2016. *Postharvest: An Introduction to the Physiology and Handling of Fruit and Vegetables*. 6th ed. UNSW Press.
- 馮永富 2005. 葉菜類採收後處理技術. 桃園區農技報導. 桃園區農業改良場編印. p. 1-4.



Integrated research and development Achievement of vegetables postharvest handling and future development.

Min-Chi Hsu¹, Wei-siang Liao², Yu-shen Liang³, Chang-lin Chen⁴

Taiwan Agricultural Research Institute, MOA¹, Taoyuan District Agricultural Research and Extension Station²,
National Pingtung University of Science and Technology³, National Chung Hsing University⁴
mchsu@tari.gov.tw

Abstract

The world's population continues increasing, and due to the gradual development of society, the demand for vegetables has increased. At the same time, the proportion of urbanization has also led to an increase by retailers channels, the introduction of new technologies has become more important as well. Therefore, supply chain changes, vegetable demand and postharvest handling also change, too. Longer shelf -life, stable supply and production, and consumers' attention to quality become necessary. Appropriate low-temperature storage of vegetables maintains the quality. The use of pre-cooling facilities at the packing house ensures reduced retailer' losses and with better sellability. Gradual development of controlled atmosphere storage and modified atmosphere packaging stabilizes supply chain. The emphasis on certification and food safety has also brought more food safety concepts. Last but not the least, the development of breeding, packaging materials and artificial intelligence will be combined with vegetable post-harvest handling technology to introduce new operating models through channels of supply. The new vegetable marketing system will be more efficient by novel postharvest handling model.