

評估冷鏈斷鏈對甜豌豆輸日品質之影響  
Assessing the Effect of Temperature Excursion during  
Cold-chain Process for Sugar Snap Pea Exported to Japan

徐筱晴、陳葦玲

Hsiao-Ching Hsu and Wei-Ling Chen

抽印自臺中區農業改良場研究彙報 161: 1-18 (2023)

農業部臺中區農業改良場

# 評估冷鏈斷鏈對甜豌豆輸日品質之影響<sup>1</sup>

徐筱晴<sup>2</sup>、陳葦玲<sup>2</sup>

## 摘 要

本研究為評估甜豌豆利用壓差預冷後，以海運(SF)及空運(AF)方式外銷至日本期間斷鏈對其品質之影響。盤點並模擬採後冷鏈流程，SF 斷鏈點出現在臺灣通關及裝櫃上船之間，3 hr 的斷鏈使果莢溫度略升至 6.5°C；AF 斷鏈發生於臺灣通關作業、機邊等待上貨、飛航及日本通關環節，當日夜班(AF+STE)及翌日日班飛機(AF+LTE)分別歷經約 12 及 23 hr 斷鏈，果莢最高溫度分別升高至 16.6°C 及 21.6°C。品質方面，SF 之甜豌豆果莢模擬到岸後貯藏於 1°C，經 12 天後之硬度、失重率及維生素 C 含量表現皆高於 AF，又以 AF+LTE 處理有較高之失重率、粗纖維含量及較低之維生素 C。於 1°C 儲藏不同天數果莢移至 7°C，經 3 天模擬上架販售情形，SF 之褐化及軟化率均較 AF 低，白點發生率則無顯著差異，持續觀察至貯藏 30 天後，所有處理仍有 70% 以上可售率，其中以 SF 較佳 (80%)、AF+LTE 最差 (72%)。因此，甜豌豆輸日方式以海運為佳，並建議流程為：1. 果莢採收後在 95%RH 環境下以壓差預冷處理至終點溫度 5°C、2. 預冷後果莢暫存 1°C、3. 以 5-8°C 低溫冷藏車運送至港及 4. 航運期間櫃體溫度設定 1-4°C 運輸。

**關鍵字：**甜豌豆、外銷、預冷、斷鏈、可售率

## 前 言

豌豆(*Pisum sativum* L.) 為世界性豆類作物，亦為臺灣重要冬季裡作蔬菜，2021 年全臺栽培面積約 385 公頃，主要產區集中於彰化縣福興鄉及秀水鄉等地<sup>(9)</sup>。豌豆種類依用途可分為五類，分別為甜豆莢用(sugar snap pea)、嫩豆莢用(snow pea)、豆仁用(garden pea)、豆芽用(seedling pea)及葉用(leafy pea)<sup>(6)</sup>，其中以甜豆莢用豌豆(*P. sativum* L. var. *macrocarpon*，以下稱甜豌豆)為主要外銷品項。近年甜豌豆在日本、新加坡及香港等地均有需求，頗具外銷潛力<sup>(5)</sup>，自 2018 年起始至 2023 年 3 月秋冬期作，輸日共達 256 公噸，產值達新臺幣 5,825 千元<sup>(1)</sup>；目前日本甜豌豆進口國包含中國、瓜地馬拉、泰國、祕魯、義大利及臺灣等六國，進口量前三名為祕魯(320-450 ton.y<sup>-1</sup>)、中國(175-275 ton.y<sup>-1</sup>)及泰國(70-175 ton.y<sup>-1</sup>)，平均進口價格約 380-829 JPY.Kg<sup>-1</sup>，而臺灣輸日甜豌豆價格高達 1,250 JPY.Kg<sup>-1</sup> (台農發股份有限公司提供資料)<sup>(5)</sup>。

<sup>1</sup> 農業部臺中區農業改良場研究報告第 1071 號。

<sup>2</sup> 農業部臺中區農業改良場研究助理及副研究員。

豌豆為幼嫩組織具高呼吸率不易儲藏，20°C 下呼吸率高達123-180 ml CO<sub>2</sub>·kg<sup>-1</sup>·hr<sup>-1</sup>，5°C 下仍有27-38 ml CO<sub>2</sub>·kg<sup>-1</sup>·hr<sup>-1</sup> (17,31)。果莢在1°C 儲藏下20-25天品質開始下降，若5°C 以上貯藏兩週，果莢出現失水、物理性傷害所致的白點及可溶性糖含量降低等現象<sup>(28)</sup>，而6°C 下儲藏僅24 hr 豆仁可溶性醣即轉化成澱粉，造成籽粒硬化品質劣變<sup>(23)</sup>；前人研究結果建議以接近0°C 溫度配合 95-98% RH高濕貯藏，以維持果莢新鮮度<sup>(28)</sup>。預冷可減輕甜豌豆劣化程度，預冷降溫理至5°C 可降低呼吸率從183.2 CO<sub>2</sub> ml·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>至94.7CO<sub>2</sub> ml·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>，又以壓差預冷處理減輕劣化程度最佳，在經1°C、儲藏30天後於5°C、3天回溫可售率達93.3%，其次為真空預冷83.3%，室內風冷果莢僅有75.5%<sup>(7)</sup>。

目前甜豌豆輸日因外銷量體尚少仍以空運為主，不僅運輸成本較高，市場競爭力不足，期間亦有多處斷鏈回溫狀況導致到岸品質不穩定，又為降低空運成本，較低成本之海運同時與其他作物併櫃之配套措施亟需被測試。因此，本研究先盤點現行空海運流程及斷鏈點，後進行模擬貯運，並導入預冷等採後處理技術，以建立外銷日本標準作業，冀希望能提升外銷甜豌豆供貨質量。

## 材料與方法

### 一、試驗材料

以目前外銷甜豌豆主要品種‘台中13號’為試驗材料，果莢除花萼採收自彰化縣埤頭鄉甜豌豆田區(Lat. 23°55399 N, Long. 120°28056 E)，於10:00AM集貨後迅速運至臺中區農業改良場(Lat. 24°00128 N, Long. 120°53469 E)進行預冷處理及後續模擬儲運。

### 二、試驗處理

#### (一)預冷處理

甜豌豆果莢分裝於L54 × W35 × H36 cm水果籃，籃子四邊及底層佈有1.5 cm<sup>2</sup>孔洞，底層孔洞面積佔22.9%(圖1A)，每籃裝20 kg果莢、堆疊厚度約30 cm、每批次2籃。壓差預冷採頂吸式壓差搭配控制系統，預冷庫容積13.8 m<sup>3</sup>，溫度設定4±1°C、相對濕度95%，籃子四周披覆不透氣防水帆布，上方以抽風扇抽氣(流速3450 r·min<sup>-1</sup>、流量90 m<sup>3</sup>·min<sup>-1</sup>)使冷風從籃底部進入板處(圖1D)。頂吸式壓差預冷處理到果莢表面溫度為5°C。預冷期間以藍芽溫濕度感測器HOBO MX2300 (Onset Computer Co., USA)放置於果莢堆正中央監測溫度變化，另轉換成無因次溫度(dimensionless temperature, Tdim)製作預冷降溫曲線，計算公式為Tdim=Tm-T/Tm-Ti (T=當下量測溫度、Ti=預冷起始溫度、Tm=預冷介質溫度)，求出7/8及3倍1/2預冷時間。

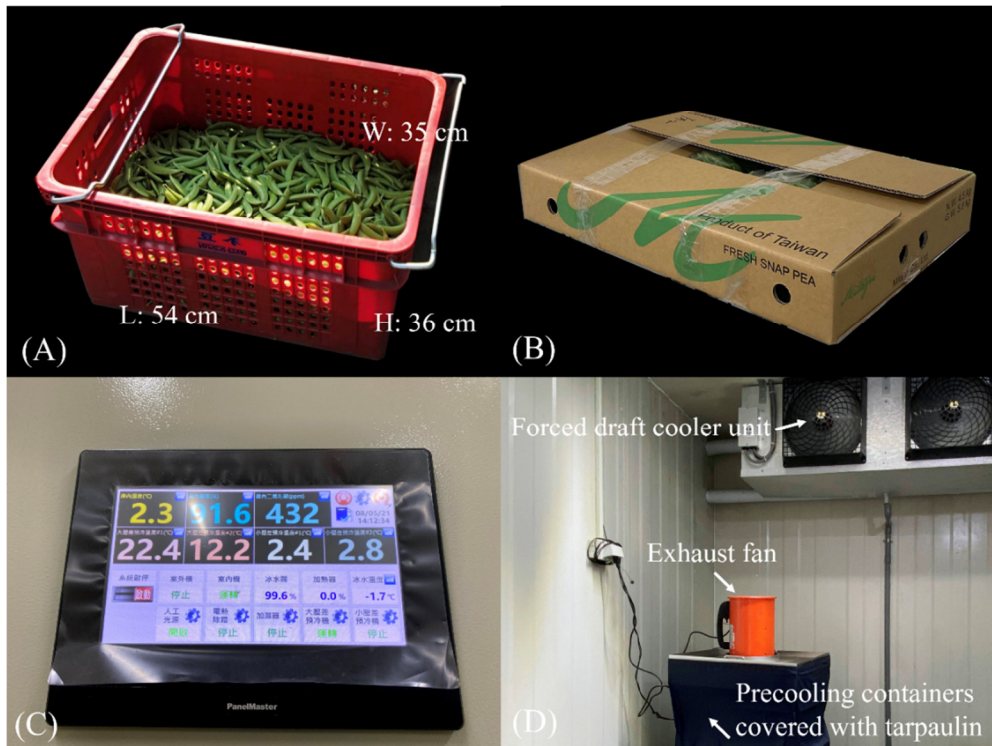


圖 1. 模擬儲運試驗用之預冷容器(A)、外銷包裝紙箱(B)、預冷庫 PLC 控制面板(C)及頂吸式壓差預冷設備(D)。

Fig. 1. Basket for precooling(A), packing box for exportation(B), PLC controller for cooling chamber (C), and top-suction forced-air precooling system (D) used in the simulation experiment.

## (二) 輸日貯運斷鏈模擬

預冷處理後果莢於15-20°C 環境下包裝，每250 g分裝於17×34 cm、厚度0.02 mm、具6個直徑6 mm孔洞之聚丙烯(oriented polypropylene, OPP)蔬果袋，後放置於輸日用紙箱(L59×W40×H10 cm、長側邊孔隙0.83%、短側邊孔隙1.23%、上方孔隙7.44%，圖1B)進行模擬貯運。

處理分為海運(Sea Freight, SF)及空運(Air Freight, AF)，其中空運又依班機現況分為短時間斷鏈(short temperature excursion, STE)之當日夜班空運(AF+STE)及長時間斷鏈(long temperature excursion, LTE)之隔日班空運(AF+LTE)，並以海運全程未斷鏈作為CK，海運溫度參考配合裡作期輸日主要作物萵苣併櫃，溫度設定為4°C<sup>(18)</sup>；抵達日本後貯藏在1°C、85%冷藏庫，每隔2天取樣進行果莢品質調查，並模擬商品於架上販售狀況，移至7°C、85%冷藏庫3天，調查其褐化率、軟化率及可售率等數據。

### 三、試驗分析項目

#### (一)果莢失重率、硬度及顏色

各處理組逢機選取50個豆莢，於貯運前( $W_0$ )及1°C貯藏不同天數後( $W_1$ )秤重，失重率( $\%$ )= $(W_0 - W_1 / W_0) \times 100\%$ 。果莢硬度以硬度計FR-5120(Lutron Electronic Enterprise Co. Ltd., Taiwan)避開豆仁量測豆莢中段，單位以kg表示。果莢顏色則以手持式色差儀NF 555(Nippon Denshoku Industries Co. Ltd., Japan)測定果莢上中下處之 $L^*$ 、 $a^*$ 及 $b^*$ 值。

#### (二)總可溶性固形物、維生素C及粗纖維含量

取全果莢均質後，以1號濾紙(Whatman Ltd., UK)過濾，利用糖度計PR-101 alpha (ATAGO Co., Ltd., Japan)量測總可溶性固形物 (total soluble solids content, TSS)含量；以反射式光度計RQ-Flex 20(Merck Ltd., German)配合維生素C測試紙Reflectoquant® 116981判讀，並換算成每公克鮮重所含之維生素C含量，單位為 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。參考Kitcherside等<sup>(24)</sup>方法分析粗纖維含量(crude fiber, CF)，全果莢冷凍乾燥後均質磨碎，取1 g放入坩堝移至粗纖維分析儀FibertecTM1020(Foss, Denmark)，依序分別加入150 mL 1.25%已預熱之 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 及NaOH煮沸30 min，而後通過過濾管以去離子水沖洗3回，取出坩堝放入100°C烘箱4 hr乾燥，冷卻後秤重( $W_a$ )，再以550°C灰化4 hr後秤重( $W_b$ )，粗纖維含量( $\%$ )= $(W_a - W_b) / \text{樣品重} \times 100\%$ 。

#### (三)褐化率、軟化率、白點發生率及可售率

目視調查果莢若出表面褐色斑點、斑塊或壞疽情形視為褐化，出現失水皺縮或水浸狀歸類於軟化，因擦壓傷等物理因素所造成的白點多於2處則是為白點發生(圖2)，排除上述褐化、軟化、白點及發霉即為視為可售果莢。

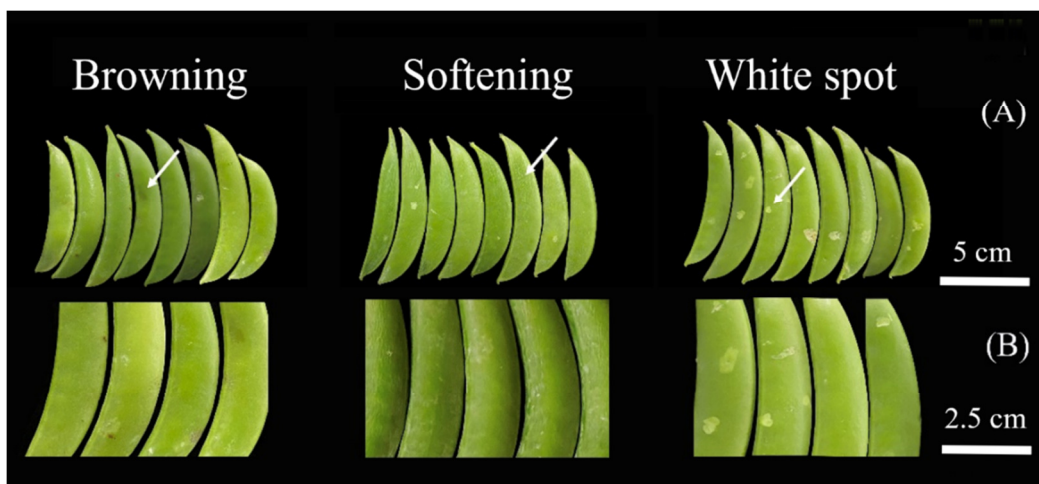


圖 2.甜豌豆採後褐化、軟化及機械傷害造成白點發生之果莢外觀。

Fig 2. Appearance of sugar snap peas with browning, softening, and white spots resulted from mechanical damage.

#### 四、試驗設計及統計分析

試驗採完全逢機設計(completely random design, CRD)，每處理3重複，分析項目(一)、(二)及(三)每1重複分析取樣5個果莢、分析項目(四)每重複調查10個果莢；百分比數據分析前先經Bliss氏角度值<sup>(15)</sup>換算後，利用Costat 6.3(CoHort Software, USA)進行變方分析(ANOVA)後以Fisher's Least Significant Difference Test ( $P<0.05$ )比較各處理間有無顯著差異。

## 結 果

### 一、甜豌豆輸日流程斷鏈點盤點

現行甜豌豆採收後集中於田區陰涼處，而後以常溫車運1 hr內輸至集貨場進行預冷；40 kg豆莢預冷至5°C 約需30 min，於低溫環境下裝箱後移以7°C 冷藏車運輸，經2.5-3 hr分別運輸至高雄港及桃園國際機場。空運斷鏈點始於臺灣通關、機邊等待及上貨過程，經飛航過程到日本成田機場通關為止，配合航班時間，搭乘當晚飛機的短時間斷鏈(AF+STE)和隔天日班飛機的長時間斷鏈(AF+LTE)，分別持續12 hr及23 hr。海運斷鏈點僅發生在高雄港通關期間，耗時3 hr。到日本出關後即以5-8°C 低溫冷藏車運送到各地事務所(圖3)。

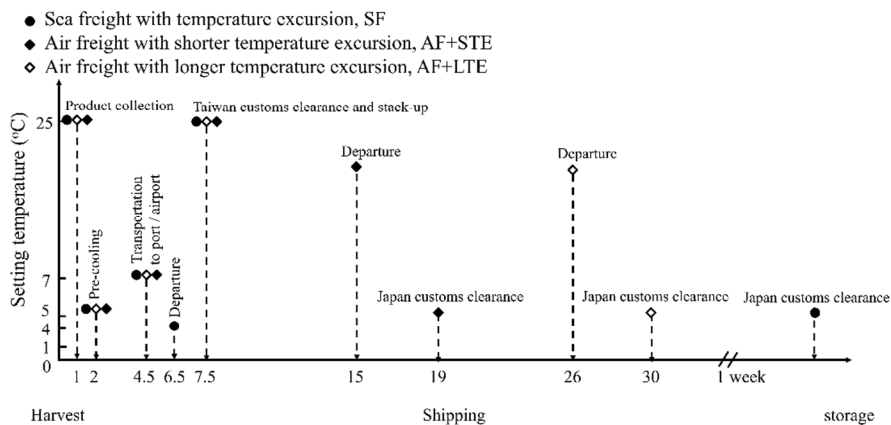


圖 3. 現行甜豌豆輸日採後冷鏈作業模擬流程與對應設定溫度。

Fig. 3. Simulation of the current postharvest cold-chain process and temperature setting for sugar snap pea exported to Japan.

## 二、預冷及模擬輸日貯運期間溫度變化

模擬試驗當天自田間採收集貨甜豌豆，果莢於預冷處理前溫度約 $18.8^{\circ}\text{C}$ ，以頂吸式壓差預冷處理，初期降溫速度快，但隨著產品溫度下降至 $7.5^{\circ}\text{C}$ 、無因次溫度 $0.2$ ，速度漸緩，產品溫度和無因次溫度預冷曲線表現一致如圖4。壓差預冷降溫度速度快，溫度和時間之間呈負指數分布(圖4)。實測果莢溫度降到 $5^{\circ}\text{C}$ 所需的時間為 $28\text{ min}$ ，由降溫曲線算出之 $7/8$ 預冷時間接近實際溫度，為 $20.5\text{ min}$ ，而3倍的半預冷時間則為 $36\text{ min}$ 。

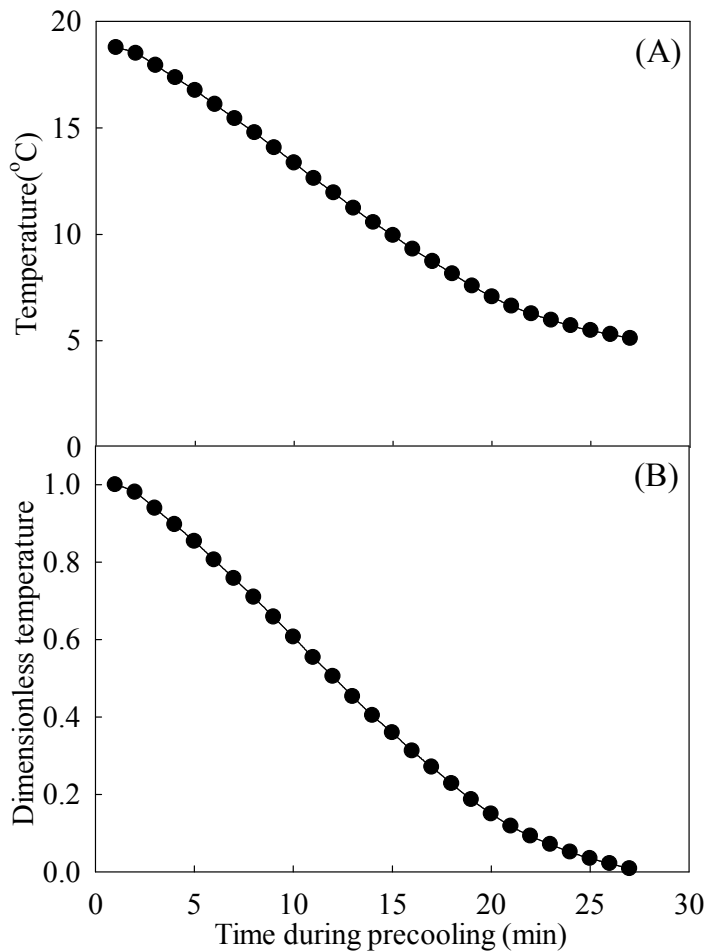


圖 4.甜豌豆果莢預冷至  $5^{\circ}\text{C}$  之產品(A)及無因次(B)溫度降溫曲線。

Fig 4. Pod temperature (A) and dimensionless temperature (B) cooling curve of sugar snap pea pod pre-cooled to  $5^{\circ}\text{C}$ .

預冷至5°C果莢經分裝過程莢溫提高至7.3°C，後隨以7°C 冷藏庫模擬冷藏車經2.5 hr分別運輸到高雄港及桃園機場，期間莢溫降低至5.6-6.1°C，可能是受放置位置靠近模擬冷藏庫回風處影響。不論海運和空運斷鏈點都發生在臺灣通關期間，然目前長期海運貯運過程多為混櫃，貨櫃溫度多設定2-4°C 進行貯運，故以SF處理斷鏈時間最短約3 hr，產品溫度略升至6.5°C；當日夜班飛機(AF+STE)和次日日班飛機(AF+STE)則因通關、等待飛機時未暫存機場倉儲低溫冷藏庫及運過程中未控溫，到日本通關共分別歷經12 hr及32 hr斷鏈，造成莢溫最高到16.6°C及21.6°C(圖5)。經4 hr空運與7天航程後到日本海關後完成開櫃抽樣通關，隨即送入模擬日本倉儲之1°C 冷藏庫，期間果莢溫度持續下降，約經15 hr降到1°C(圖5)。

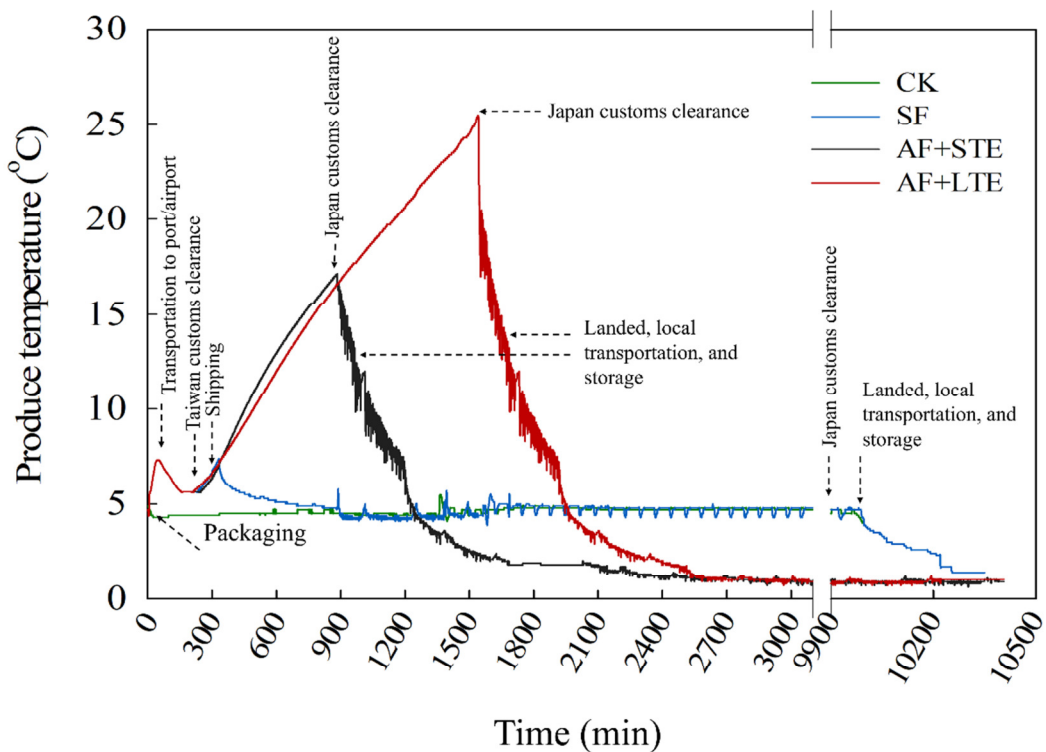


圖 5. 甜豌豆輸日模擬採後冷鏈作業溫度變化。

Fig 5. Changes of produce temperature during simulated cold chain processes for sugar snap pea exported to Japan.



### 三、貯運後及陳列販售果莢品質

模擬輸日甜豌豆抵達日本後貯藏在1°C、85%冷藏庫，每2天連續取樣進行果品調查。隨著貯藏時間增加其硬度降低及失水率增加，比較海空運輸模方式之間差異，未斷鏈SF運輸(CK)之果莢硬度表現在整個調查期間最佳，其次為經3 hr斷鏈的SF，貯藏4-10天後明顯高於AF+STE和AF+LTE處理，而兩AF處理間無顯著差異(圖6A)。失重率方面，僅AF+LT處理在儲藏12天後達2.10%，於不同運輸方法間均差異不大，失重率從0.21%-0.28%增加至1.49%-1.51%，失重率小於2%表示果莢萎凋情況不嚴重(圖6B)。在果莢顏色方面，從CIELAB色差結果可知，甜豌豆果莢在抵達日本當下L\*即呈現處理間之差異，CK(43.2)>SF(41.7)>AF+STE(39.2)≐AF+LTE(39.5)，a\*值亦有相同趨勢CK(-5.99)≐SF(-5.99)>AF+STE(-4.98)≐AF+LTE(-4.49)，顯示運輸時回溫斷鏈造成果莢從亮綠變成深綠；1°C儲藏期間亮度L\*在2-4天減少幅度較大，之後維持穩定值，而a\*和b\*則是緩慢減少(圖7)，在1°C貯藏下甜豌豆果莢維生素C、總可溶性固形物(TSS)及粗纖維(CF)含量緩慢增加(圖8)。海運(CK及SF)果莢在儲藏第8-12天後維生素C含量較AF顯著提升，直至12天調查結束CK含量(181.3 mg·L<sup>-1</sup>)>SF(164.0 mg·L<sup>-1</sup>)>AF+STE(148.7 mg·L<sup>-1</sup>)>AF+LTE(134.0 mg·L<sup>-1</sup>)(圖8A)。儲藏後TSS含量雖持續增加但幅度不大，範圍介於6.6-8.6%，儲藏2-8天時AF處理高於SF，然最終處理間無顯著差異(圖8B)；而CF含量在進入貯藏第0-6天顯著增加，從6.4%-6.9%提升至7.5%-8.2%，而後呈現平緩趨勢，又AF+LTE處理顯著高於其他3種處理，其餘處理間無差異(圖8C)。

將1°C貯藏不同天數後之果莢移至7°C冷藏庫儲藏，以模擬貨架販售之情況。結果顯示運輸方式顯著影響販售時果莢外觀，外觀劣便以褐化發生比例較高，其次為因碰撞物理傷害造成的白點，軟化則在儲藏到第12天時果莢回溫後才明顯出現(表1及圖9)。貯藏僅2天後AF+LTE處理果莢，在售架上3天即出現23.3%褐化，顯著高於其他處理，而儲藏12天後之AF+STE及AF+LTE運輸之果莢褐化率皆顯著高於SF處理，分別為33.3%(AF+STE)、33.3%AF+LTE及20.0%(SF)，全程未斷鏈之CK也有16.7%褐化率。果莢軟化徵狀自貯藏8天後出現，其中以AF+LTE處理發生率較高達16.7%。此外，壓傷所造成的白點發生在處理間皆無顯著差異(表1)。後持續於1°C貯藏至30天後回溫評估，所有處理皆有70%以上之可售率，其中以SF之80%最佳、AF+LTE之72%最差(數據未顯示)。

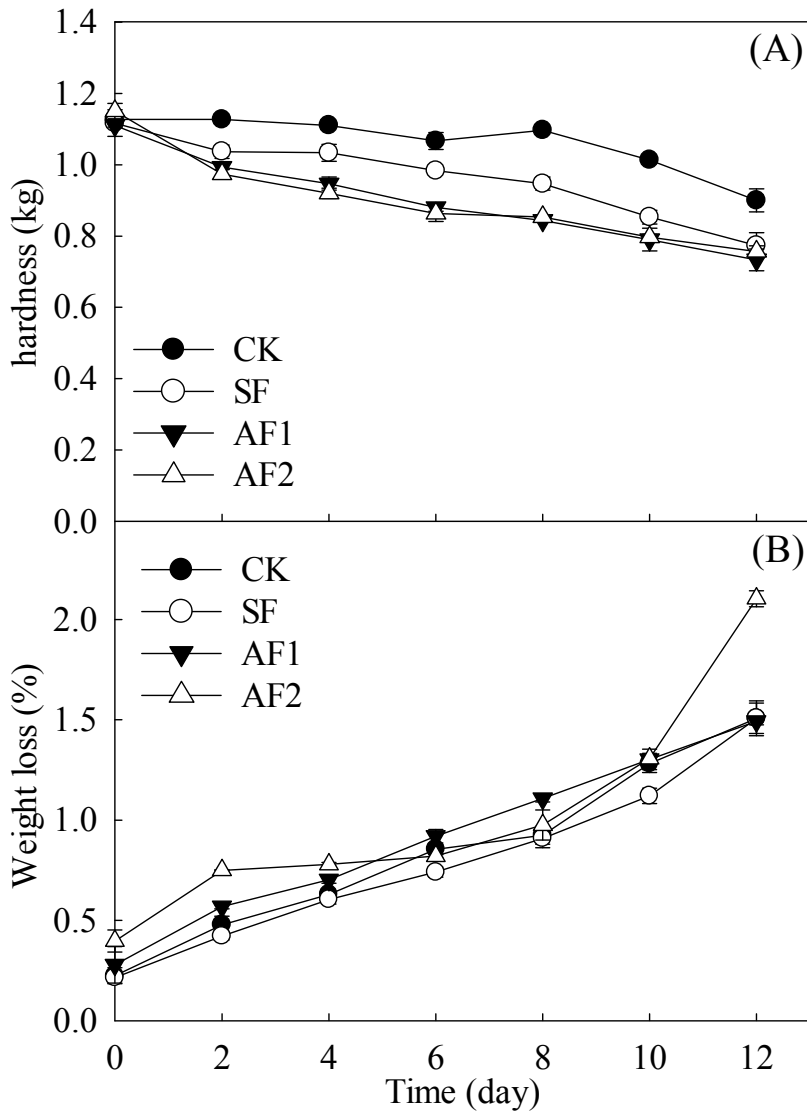


圖 6. 甜豌豆模擬以不同方式輸日後貯藏於 1°C 之果莢硬度(A)及失重率(B)變化。  
 Fig. 6. The change of pod hardness (A) and weight loss rate (B) of sugar snap peas at 1°C after simulating with different transportation procedures.

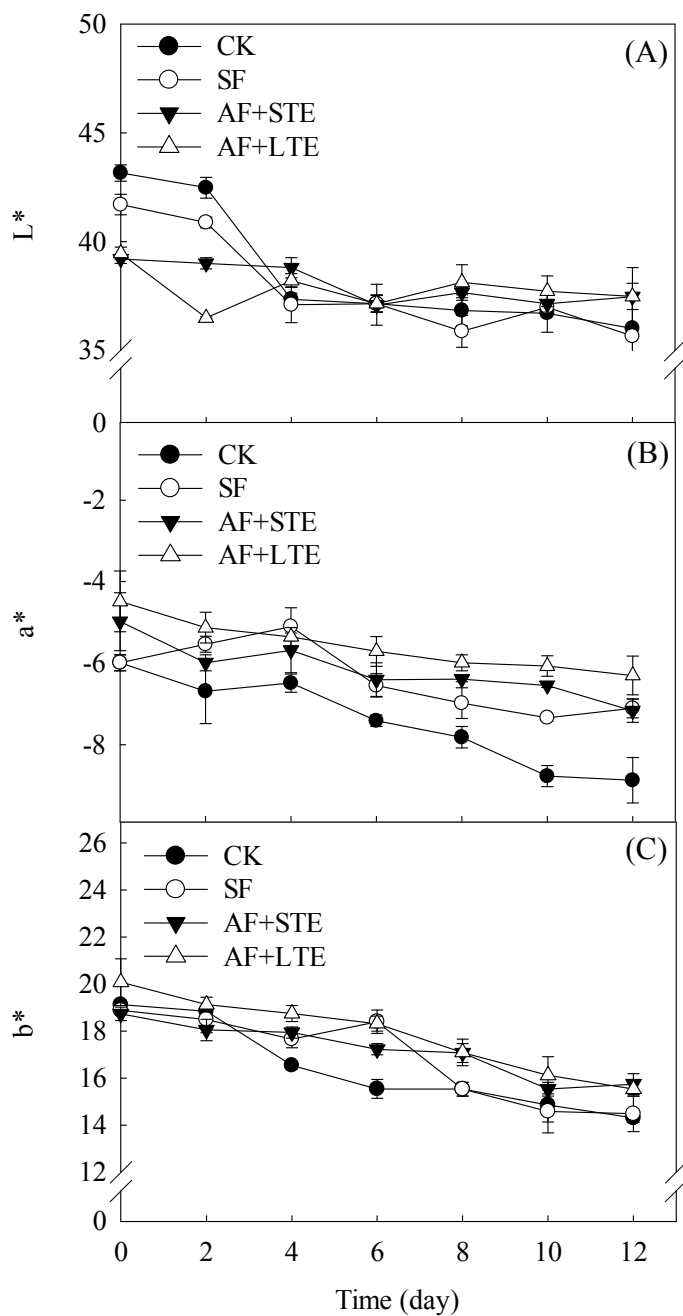


圖 7. 甜豌豆模擬以不同方式輸日後貯藏於 1°C 之果莢色差值變化。

Fig. 7. The change of pod chromatic value of sugar snap peas at 1°C after simulating with different transportation procedures.

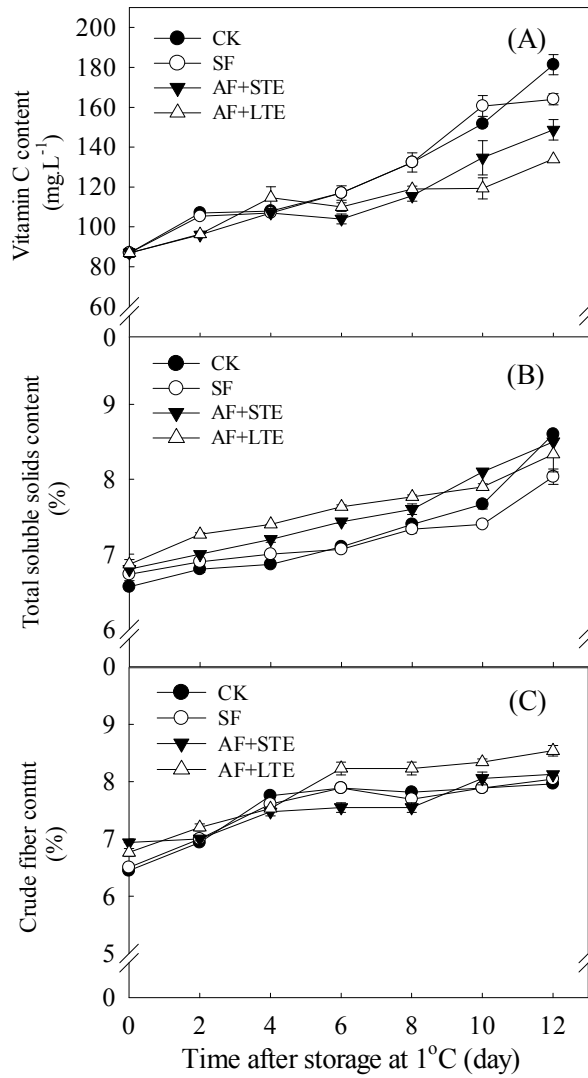


圖 8. 甜豌豆模擬以不同方式輸日後貯藏於 1°C 之果莢維生素 C(A)、總可溶性固形物含量(B)及粗纖維(C)含量變化。

Fig. 8. The change of pod vitamin C (A), total soluble solids (B), and crude fiber content (C) of sugar snap peas at 1°C after simulating with different transportation procedures.

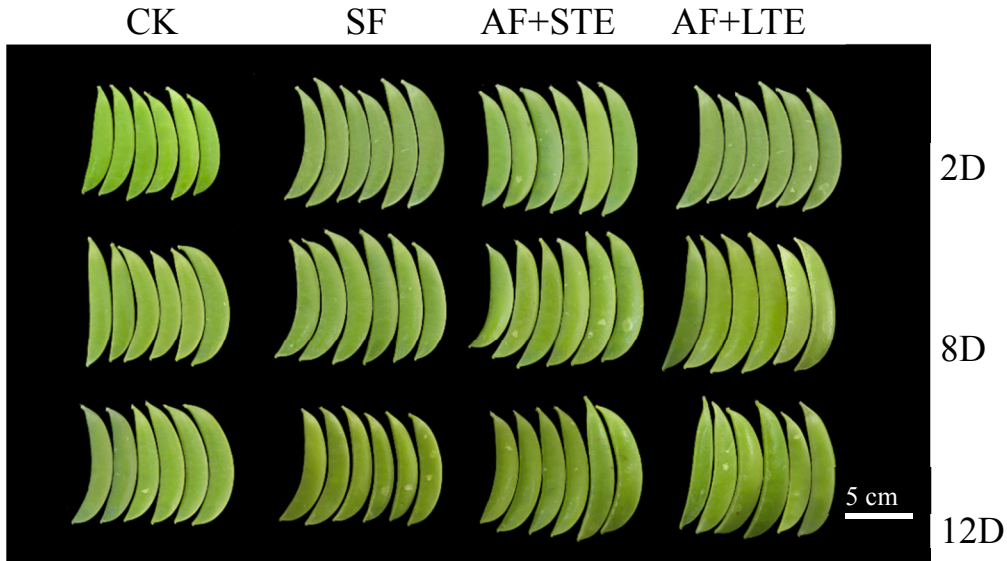


圖 9. 甜豌豆模擬以不同方式輸日後貯藏 2、8 及 12 天於 1°C，再移至 7°C、3 天後之果莢外觀。  
Fig 9. The appearance of sugar snap pea simulated with different transportation procedure exported to Japan then storage at 1°C for 2、8、12 days followed by moving to 7°C for 3 days.

## 討 論

園產品貯運品質受採前及採後流程影響，影響因子包含採收成熟度、狀態、時間點、集貨所需時間、到預冷時間、預冷方法及入庫冷藏後環境變化<sup>(10,12)</sup>。以豌豆為例，除花萼可大幅降低甜豌豆果莢呼吸率，經 1°C、30 天儲藏後於 5°C 售架、3 天之果莢可售率，以壓差預冷(93.3%)較真空預冷(83.3%)與室內風冷(75.5%)高，在硬度及粗纖維品質特性上亦表現較佳<sup>(7)</sup>；其最適冷藏條件建議為 0°C、95-98% RH、2-3% O<sub>2</sub>及 CO<sub>2</sub>，-0.6°C 以下易有寒害發生、反之 7.5°C 以上老化加速<sup>(31)</sup>。此外，延遲預冷導致產品高呼吸率消耗基質，造成莢用豌豆、獼猴桃、覆盆子、荔枝及番石榴果品劣化，可售率下降<sup>(10,17,21,22,23,28,33)</sup>，其中荔枝採後延遲預冷時間與貯藏期間表皮褐化及腐爛率成正相關<sup>(26)</sup>，故為維持產品品質並提升儲藏性，採後需盡速預冷後續以穩定低溫儲運。

斷鏈(temperature excursion)為園產品採收後進入低溫貯藏至到消費者購買過程中發生回溫的情形<sup>(10,12)</sup>，由於溫度上升使產品呼吸率增加，加速老化，且過程中產生的凝結水亦造成微生物滋生，將造成園產品品質大幅下降。臺灣農產品外銷經常出現冷鏈斷鏈之問題，本研究盤點目前甜豌豆外銷海運斷鏈點發生在臺灣通關及裝櫃共約 3 hr，產品溫略升至 6.5°C，而空運斷鏈擴大至臺灣通關作業、機邊等待上貨、飛航及日本通關環節，當日夜班(AF+STE)及隔日日班飛機(AF+LTE)分別經歷約 12 及 23 hr，豆莢溫升高至 16.6°C 及 21.6°C(圖 3 和圖 5)，又以長時間斷鏈 AF+LTE 果莢在 1°C 貯藏下失重率及粗纖維含量顯著較高(圖 6 和圖 8)，模擬 7°C、3 天販售時有較高之褐化及軟化率(表 1)，顯示

前期斷鏈影響最終櫥架壽命，造成甜豌豆果莢品質及可售率越差。前人研究中亦指出，胡瓜表面凹斑發生及腐爛程度與其在20°C下斷鏈時間呈正相關<sup>(16)</sup>，而劉<sup>(10)</sup>及林等人<sup>(4)</sup>曾評估番石榴外銷美國配合檢疫條件，果心溫度達1°C持續17天以上以確保可殺死檢疫害蟲東方果實蠅、瓜實蠅及南瓜實蠅之卵、蛹、幼蟲及成蟲，處理後若斷鏈回溫至25°C、36 hr會造成果實表皮輕微褐化，延長至48 hr則失重率上升，表皮褐化嚴重且果實腐爛，建議到貨打開船運貨櫃檢查時在常溫不可暴露超過2天以上；另以空運外銷加拿大或以短程海運(5°C，1週)外銷香港、新加坡、日本之紅龍果，於儲運過程若無維持低溫冷鏈則易發生由*Gilbertella persicaria*引起的濕腐病(wet rot)及引起及由*Fusarium oxysporum*引起的鐮孢果腐病<sup>(3)</sup>。從本試驗結果可知，冷鏈斷鏈回溫對呼吸率高之甜豌豆貯運品質影響甚鉅，從模擬貯運過程溫度變化曲線可見，空運之果莢抵達日本後相較於海運需多花超過10倍的時間(SF為1.4 hr、AF+STE為14 hr、AF+LTE為19 hr)產品溫度才能到達1°C(圖5)，同時觀察到斷鏈回溫及儲藏期間呼吸熱及蒸散導致袋內大量水氣，更亦導致腐敗。多種植物組織的呼吸速率在0-10°C下顯著降低<sup>(14)</sup>，因此建議控制回溫溫度不超過10°C，以避免呼吸率大幅提高<sup>(7,17,31)</sup>，為此，推薦使用全程回溫皆未超過10°C之海運，或空運斷鏈期間不超過7 hr並搭配使用保溫包材，以減緩斷鏈期間溫度劇烈變化。

表 1. 甜豌豆以不同方式輸日後貯藏於 1°C、2、8 及 12 天又移至 7°C、3 天之果莢品質  
Table 1. Pod quality of sugar snap pea with different transportation procedure exported to Japan then storage at 1°C for 2、8、12 days followed by moving to 7°C for 3 days

Transportation procedure <sup>2</sup>	Days storage at 1°C	Browning rate (%)	Softening rate (%)	White spot rate (%)
CK	2	3.0 c <sup>1</sup>	0.0 a	10.0 a
SF		10.0 b	0.0 a	10.0 a
AF+STE		13.3 b	0.0 a	16.7 a
AF+LTE		23.3 a	0.0 a	16.7 a
CK	8	16.7 b	0.0 c	20.0 a
SF		16.7 b	0.0 c	20.0 a
AF+STE		23.3 ab	10.0 b	23.3 a
AF+LTE		30.0 a	16.7 a	20.0 a
CK	12	16.7 b	6.7 b	20.0 a
SF		20.0 b	6.7 b	20.0 a
AF+STE		33.3 a	6.7 b	26.7 a
AF+LTE		33.3 a	23.3 a	26.7 a

<sup>1</sup> Means followed by different letter within days are significantly different by Fisher's LSD test at  $P \leq 0.05$ .

<sup>2</sup> CK, SF, AF+STE, and AL+LTE represented sea freight without temperature excursion (TE), sea freight with TE, air freight with short TE, and long TE, respectively.

豌豆採後品質下降的因素包含醣類損失及老化<sup>(20,30)</sup>，本研究中甜豌豆果莢總可溶性固形物含量隨成貯藏時間延長而增加(圖8B)，主因是由於澱粉轉化<sup>(35)</sup>，未成熟或成熟種子內蔗糖的增加進而總醣類提升<sup>(29)</sup>。粗纖維含量亦隨著貯藏時間逐漸增加，因此質地老化、口感變差，尤其是貯藏6天之後AF+LTE明顯高於其他處理(圖8C)，而粗纖維累積則是由碳水化合物轉換合成纖維或木質素等非水溶纖維，在菜豆、蘆筍、竹筍等都有此現象<sup>(7,10,19)</sup>。另一方面，豌豆富含抗氧化物Vit. C達40 mg/100g，即每100 g豌豆就能提供每日飲食所需量約67%<sup>(32)</sup>，本模擬試驗中甜豌豆在1°C貯藏下維生素C含量隨著儲藏時間持續增加直至12天調查結束(圖8A)，與先期研究<sup>(7)</sup>相符，抗氧化能力屬上升型<sup>(8)</sup>，經12天1°C貯藏維生素C含量又以CK最多其次為SF和AF+STE，而AF+LTE最低，可能原因為斷鏈回溫影響貯藏期間細胞膜穩定與葉綠體的完整性，導致抗氧化活性及總酚類化合物含量提升較不明顯，加速降低抗壞血酸含量的<sup>(25)</sup>。

模擬甜豌豆以不同運輸方式輸日之結果顯示以海運在果莢硬度、失水率、褐化率、壓傷所造成的白斑發生率及軟化率上表現較空運佳(圖6、表1)，然臺灣豌豆平均每戶栽培面積小且採收耗人力，產季間每週外銷量體僅3,000-4,000 kg(彰化縣新農果菜生產合作社提供資料)，目前輸日仍以空運為主，除斷鏈時間拉長外，運輸成本亦高，故以海運運輸有其必要性，而併櫃(mixed loads)運輸是必然的手段，且必須注意運輸溫度設定、各產品之乙烯釋放率及敏感度<sup>(11)</sup>。豌豆果莢雖屬非更年性(non-climacteric)果實，但對外源乙烯有一定的敏感性，長時間暴露於1 ppm乙烯下會導致加速變黃和腐爛，且花萼比豆莢對乙烯更為敏感<sup>(17)</sup>，應避免與高乙烯釋放量更年性之蔬果如苦瓜、洋香瓜、番茄、百香果或鳳梨釋迦放置一起，並可配合除花萼處理，室溫下除花萼之甜豌豆果莢呼吸率可明顯從183.2 CO<sub>2</sub> ml · kg<sup>-1</sup> · h<sup>-1</sup>降低至150.1 CO<sub>2</sub> ml · kg<sup>-1</sup> · h<sup>-1</sup>，在1°C貯藏下或回溫後果實品質均顯著提升<sup>(7)</sup>，亦可避免常見小型害蟲花薊馬(eastern flower thrips)躲藏於花萼內<sup>(2)</sup>造成外銷檢疫問題。

此外，目前日本豌豆進口國中，祕魯已利用氣調(controlled atmosphere, CA)進行海運運輸，船期長達24天<sup>(13)</sup>，極具市場競爭力，而豌豆於5°C貯藏下，以5% O<sub>2</sub>+5% CO<sub>2</sub>處理相對於一般大氣有較佳的果莢外觀，但低氧2.5% O<sub>2</sub>+5% CO<sub>2</sub>或高二氧化碳10% CO<sub>2</sub>+5% O<sub>2</sub>氣體環境下貯藏時間過長則有異味產生<sup>(30,34)</sup>。Mohammed等人<sup>(27)</sup>曾評估包含highly perforated (HPPP)、non-perforated (NPPP)和帶有6、12及24個微孔的micro-perforated (MPPP6、MPPP12及MPPP24)等五種聚丙烯包裝對豌豆的儲藏有效性，結果顯示MPPP6、MPPP12和MPPP24袋內O<sub>2</sub>減少而CO<sub>2</sub>緩慢增加，其中以MPPP12袋較佳，HPPP袋失重最多，而NPPP袋內O<sub>2</sub>減少及CO<sub>2</sub>增加變化急劇並伴有異味，品質最差。如先前所述，臺灣輸日甜豌豆量體少並不適用於整櫃CA處理，但後續可嘗試透過微孔袋氣變(modify atmosphere, MA)包裝以延長豌豆貯架壽命。

經由本模擬外銷試驗，在果莢品質及外銷成本考量下，建議甜豌豆應以海運輸日為佳，並整合先期研究成果<sup>(7)</sup>，建議採後冷鏈流程為：1.採收後95% RH環境下以壓差預冷處理至終點溫度5°C、2.預冷後果莢暫存1°C、3.以5-8°C低溫冷藏車運送至港及4.可配合同期輸日萵苣併櫃設定1-4°C運輸，以提高甜豌豆升外銷到貨販售品質。

## 參考文獻

1. 行政院農委會農業統計資料 2023 豌豆生鮮外銷量及產值 行政院農業委員會農糧署  
<<https://agrstat.coa.gov.tw/sdweb/public/trade/TradeCoa.aspx>>
2. 林益昇、方敏男 1999 豆菜類-豌豆 蔬菜病蟲害綜合防治專輯 p.23 台灣省政府農林廳  
南投。
3. 林筑蘋、蔡志濃 2021 紅龍果外銷期間常見之病害與防治建議 紅龍果外銷流程技術手冊  
農業試驗所。
4. 林慧玲、莊凱恩、林盈甄、江秀娥 2021 番石榴外銷美國技術手冊 農業試驗所 臺中 臺  
灣。
5. 徐筱晴、陳葦玲、戴振洋、吳建銘 2022 中部地區甜豌豆外銷產業與運輸作業現況 臺中區  
農業專訊 Newsletter 117: 16-21。
6. 郭俊毅 2005 葉用豌豆新品種台中15號之技術移轉 臺中區農業專訊 4: 11-14。
7. 陳葦玲、徐筱晴、沈峻榮 2021 預冷方式及除花萼處理對甜豌豆貯藏品質之影響 臺灣園藝  
67: 73-86。
8. 陳葦玲、蕭政弘、陳榮五 2010 品種、葉球部位、施肥量及冷藏對於甘藍抗氧化力之影響 臺  
灣園藝 56: 93-103。
9. 農情報告資源網 2023 各項作物規模別排序查詢-豌豆 行政院農業委員會農糧署  
<[https://agr.afa.gov.tw/afa/afa\\_frame.jsp](https://agr.afa.gov.tw/afa/afa_frame.jsp)>
10. 劉京育 2021 採收時間、延遲入庫、預冷方法及冷鏈斷鏈對‘珍珠’番石榴果實長程貯運品質  
之影響 國立中興大學園藝學系碩士論文 臺中。
11. 謝慶昌 2005 熱帶水果採後處理之現況與展望 台灣熱帶果樹產業發展研討會專刊  
p.90-103 臺中 臺灣。
12. 謝慶昌 2009 蔬果品質劣變及損耗之原因 興大農業 68: 1-5。
13. American Journal of Transportation. 2020. Peruvian sugar snap peas ship to Japan in Daikin  
controlled atmosphere (CA) container technology.  
<[https://ajot.com/news/peruvian-sugar-snap-peas-ship-to-japan-in-daikin-controlled-atmosphere-ca-c  
ontainer-technology](https://ajot.com/news/peruvian-sugar-snap-peas-ship-to-japan-in-daikin-controlled-atmosphere-ca-container-technology)>.
14. Ap Rees, T., M.M. Burrell, T.G. Entwistle, J.B. Hammond, D. Kirk, and N.J. Kruger. 1988. Effects  
of low temperature on the respiratory metabolism of carbohydrates by plants. p.377-393.  
In: Symposia of the Society for Experimental Biology. 42.
15. Bliss, G.A. 1938. Normality and abnormality in the calculus of variations. Trans. Amer.  
Mathematical Soc. 43: 365-376.



16. Cabrera, R.M. and M.E. Saltveit. 1990. Physiological response to chilling temperatures of intermittently warmed cucumber fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115: 256-261.
17. 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.
18. Cantwell, M.I. and R.F. Kasmire. 2002. Handling systems: Flower, leafy, and stem vegetables. p.423-432. In: Ed. A.A. Kader. *Postharvest technology of horticultural crops*. University of California, Agriculture and Natural Resources Publication. 3311.
19. El Seifi, S.K., M.A. Hassan, R.E.I. El-Bassiouny, M.W.M. Elwan, and I.N. Nasef. 2014. Changes in physical and chemical properties and determination of harvest time of snow peas as affected by pod development. *J. Plant Production* 5: 315-324.
20. Elwan., M.W.M., I.N. Nasef, S.K. El-Seifi, M.A. Hassan, and R.E. Ibrahim. 2015. Storability, shelf-life and quality assurance of sugar snap peas (cv. super sugar snap) using modified atmosphere packaging. *Postharvest Bio. Technol.* 100: 205-211.
21. Farina, V., G. Sortino, F. Saletta, R. Passafiume, D. Gianguzzi, D. Gianguzzi, P. Inglese, and G. Liguori. 2017. Effects of rapid refrigeration and modified atmosphere packaging on litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) fruit quality traits. *Chem. Engineering. Transactions.* 58: 415-420
22. Harvey, J.M. and C.M. Harris. 1986. In-storage softening of kiwi fruit: effects of delayed cooling. *Int. J. refrigeration.* 9: 352-356.
23. Ihl, M., Conejeros, E., Mera, M., and Bifani, V. 2001. Quality changes of two sugar snap pea cultivar during cold storage. *Acta Hort.* 553: 749-751.
24. Kitcherside, M.A., E.F. Glen, and A.J.F. Webster. 2000. Fibrecap: an improved method for the rapid analysis of fibre in feeding stuffs. *Animal Feed Sci. Technol.* 86: 125-132.
25. Kongwong, P., D. Boonyakiat, and P. Poonlarp. 2019. Extending the shelf life and qualities of baby cos lettuce using commercial precooling systems. *Postharvest Biol. Technol.* 150: 60-70.
26. Liang, Y.S., O. Wongmetha, P.S. Wua, and L.S. Ke. 2013. Influence of hydrocooling on browning and quality of litchi cultivar Feizixiao during storage. *Int. J. refrigeration.* 36: 1173-1179.
27. Mohammed, W.M.E., I.N. Nasef, S.K. El-Seifi, M.A. Hassan, and R.E. Ibrahim. 2015. Storability, shelf-life and quality assurance of sugar snap peas (cv. super sugar snap) using modified atmosphere packaging. *Postharv. Bio. Tech.* 100: 205-211.
28. 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.

29. Ntatsi, G., M.E. Gutiérrez-Cortines, I. Karapanos, A. Barros, J. Weiss, A. Balliu, E.A.D.S. Rosa, and D. Savvas. 2018. The quality of leguminous vegetables as influenced by preharvest factors. *Scientia Hort.* 232: 191-205.
30. Pariasca, A., T. Miyazaki, H. Hisaka, H. Nakagawa, and T. Sato. 2000. Effect of modified atmosphere packaging (MAP) and controlled atmosphere (CA) storage on the quality of snow pea pods (*Pisum sativum* L. var. *saccharatum*). *Postharvest Biol. Technol.* 21: 213-223.
31. Postharvest Center. university of California. 2021. Peas: snow and snap pod. Produce fact sheets. <<https://reurl.cc/9rGpka>>.
32. Rickman J.C., D.M. Barrett., and C.M. Bruhn. 2007. Review nutritional comparison of fresh, frozen and canned fruits and vegetables. Part 1. Vitamins C and B and phenolic compounds. *J Sci Food Agric.* 87: 930-944.
33. Robbins, J. and P.P. Moore. 1992. Fruit quality of stored, fresh red raspberries after a delay in precooling. *HortTechnol.* 2: 468-470.
34. Suslow, T. and M. Cantwell. 2002. Peas: snow and snap pod: Recommendations for maintaining postharvest quality. [http://postharvest.ucdavis.edu/Commodity\\_Resources/Fact\\_Sheets/Datastores/Vegetables\\_English/?uid=26&ds=799](http://postharvest.ucdavis.edu/Commodity_Resources/Fact_Sheets/Datastores/Vegetables_English/?uid=26&ds=799).
35. Yu, B., D. Xiang, H. Mahfuz, N. Patterson, and D. Bing, 2021. Understanding starch metabolism in pea seeds towards tailoring functionality for value-added utilization. *Intl. J. Mol. Sci.* 22: 8972.

# Assessing the Effect of Temperature Excursion during Cold-chain Process for Sugar Snap Pea Exported to Japan<sup>1</sup>

Hsiao-Ching Hsu<sup>2</sup> and Wei-Ling Chen<sup>2</sup>

## ABSTRACT

This study aims to evaluate the impacts of temperature excursion on the quality of sugar snap pea exported to Japan by sea freight (SF) or air freight (AF). Inventing the post-harvest cold chain processes indicated temperature excursions (TE) by SF occurred around 3 hours-excursion during Taiwan customs clearance where pods temperature increased slightly to 6.5°C. TEs during AF included Taiwan customs clearance, stack-up, flight, and Japan customs clearance. Therefore, AF+STE needed 12 hr and AF+LTE needed 23 hr, while lead pod temperatures to 16.6°C and 21.6°C, respectively. After shipping to Japan, the pea products were stored at 1°C for 12 days. Sugar snap pea by SF showed better performances in pod hardness, weight loss, and vitamin C content than AF treatment. Among all shipping procedures, AF+LTE had the higher weight loss, crude fiber content, and less vitamin C content. For shelf-quality, pods were moved to 7°C for 3 days after storage at 1°C. The results showed that browning and softening of pods by SF, were lower than AF, there is no significant difference in occurrence of white spots. After continuous observation for 30 days, all treatments marketable rates were higher than 70%, and SF had the highest market value(80%) but AF+LTE showed the worst (72%). Therefore, the result recommended that the postharvest process for sugar peas should follow the step 1) pre-cooling in a 95% RH cooling unit to 5°C, 2) temporarily storing at 1°C, 3) transporting to port by 5-8°C temperature-controlled vehicles, and 4) setting the cargo temperature at 1-4°C during transportation.

**Keywords:** sugar sanp pea, precooling, exportation, temperature excursion, marketable rate

---

<sup>1</sup>Contribution No.1071 from Taichung DARES, COA.

<sup>2</sup>Assistant and Associate Researcher of Taichung DARES, COA.