

蔬果預冷保鮮技術

文/圖 林棟樑
審稿/ 台灣大學 王自存

第一章 總論

前言

隨著經濟的發展，國民生活水準的提高，國內消費者對蔬菜品質的要求也相對提高，而園產品的新鮮度是決定其品質及價值的重要因素。蔬菜等園產品具有易腐性，乃因收穫後仍具有生命力，其呼吸作用、蒸散作用及其他許多生理變化仍繼續在進行，這些現象通常會加速產品老化、萎凋、黃化等，因而加速品質劣變。降低溫度是蔬菜保鮮的最佳手段，因低溫可抑制引起產品劣變的生理變化進行，在不引起寒害和凍害的條件下，愈快降到適當低溫對產品的保鮮愈好。

最近在有關園產品採後處理技術方面，預冷的觀念愈來愈被重視。何謂“預冷”、其對蔬菜保鮮有何重要性、以及如何有效的來操作預冷技術，將是本文想要探討及介紹的。

什麼是預冷？

“預冷”，顧名思義是“預先冷卻”，最早預冷是指產品在裝運前預先冷卻，以防止產品在運輸期間因高溫引起產品敗壞發生。但發展至今，預冷的意義乃泛指園產品在運輸、冷藏或加工前所採行的一種將產品本身所含田間熱及累積的呼吸熱除去，使產品快速降溫的處理措施。預冷在時間上是有限制的，通常需時數日的冷卻作業不能稱為預冷；一般而言，預冷的冷卻速率要快，應在數十分鐘或數小時內完成，以掌握保鮮時效。

預冷的重要性

1.溫度是影響園產品敗壞的重要因子：

園產品採收後會累積大量的田間熱及呼吸熱，這可由觀察包裝箱內中心溫度會高於產品四週氣溫許多的現象得知，因為產品會不斷的釋放出熱量，並在通風不良的包裝產品內部累積。農產品中蔬菜等園產品最易敗壞，是因為園產品特性上具有較高的呼吸速率及蒸散速率，高溫則更加速以上生理現象而加速產品的老化及劣變。例如高呼吸率促使產品容易老化，高蒸散率使產品容易失水萎凋，而高溫促使病原菌容易生長。本省蔬菜夏季期間自中南部北運台北市市場後，紙箱內累積的溫度平均高達35~40℃，在此高溫下輕微者造成失水萎凋，嚴重時造成腐爛及異味產生，尤其雨天或災害後搶收的產品更是無法忍受如此高溫，將使產品損耗更嚴重。因此運輸前降溫將可減少運輸期間因高溫造成產品的品質降低或腐敗。

此外，產品將進行冷藏時，常會在短時間內大量入庫，而此大量入庫後通常使冷藏庫負荷過重而無法快速降溫，有時需長達數天時間才會降到所須的冷藏溫度，如此一來會失去產品低溫冷藏保鮮的時效而降低了保鮮的效果。這對想要進行長期貯藏的產品來說甚為重要，因為延緩降溫速率將大大降低其貯藏壽命。因此產品大量入庫前若能先行預冷降溫，縮短入庫後降溫時間，對產品貯藏壽命將有助益，且能減少冷藏庫冷凍負荷的設計以降低冷藏庫建造及使用成本。

2.預冷處理是園產品採後溫度管理的第一步：

適當的溫度管理在園產品採後處理上是一項很重要的工作，預冷處理是在短時間內將產品降溫，通常在數分鐘到24小時內達到所需的低溫。由於需掌握時效，因此預冷處理實際上包含許多在不傷害產品情況下所進行的快速降溫的技術，而不是只有單純的降溫手段。例如在集貨至運輸或貯藏前的短時間內將大量產品迅速降溫的技術。

經過預冷後的產品基本上其溫度已經降至合理程度，接下來的其他溫度管理措施才可接著進行；例如在低溫中進行較長期的冷藏或經短暫的冷藏後裝入低溫貨櫃中運輸到終點市場，以完成所謂的低溫運銷保鮮系統。

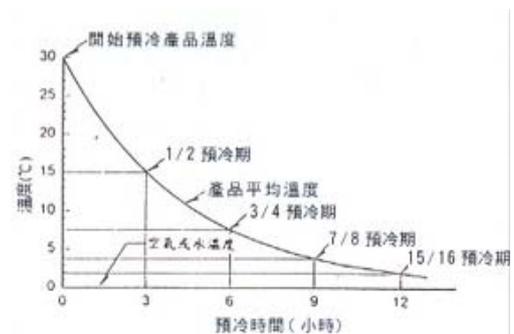
預冷的方式

在前面一再提到預冷作業通常需符合在短時間內處理大量產品的需求，因此預冷作業目前大都已是獨立於冷藏之外的另一項作業，而且需要一些特別的設備來完成，並在特定的空間中來實施。

目前已被實際採用的預冷方法可以分為下列幾項：冰水預冷、室內風冷、壓差預冷、真空預冷以及碎冰預冷等，在未進一步詳述預冷方法前，我們先來了解一下影響產品預冷時降溫速率的因素，包括以下幾項：

- 1.冷卻介質與產品間的溫度差：冷卻介質本身的溫度愈低，或冷卻介質與產品間的溫差愈大，達到預冷所需低溫的時間愈短，冷卻速度愈快。
- 2.冷卻介質的個別吸熱特性：冷卻介質包括冰水、碎冰及冷空氣等，其中以冰水的吸熱效果最好，冷空氣的效果最差。
- 3.冷卻介質的流動速度：單位時間內有愈多的介質與產品接觸，則冷卻的速度愈快，如冰水流速，冷空氣的循環速率等。
- 4.產品與冷卻介質接觸的程度：冷卻產品的包裝方式如塑膠袋包裝，或開孔不足的紙箱均使預冷效率降低，空氣的流動路線也會影響產品與冷卻介質接觸的程度。
- 5.產品的形狀與體積：表面積大的產品如葉菜類或體積小的產品如草莓其冷卻速度愈快。

蔬菜種類繁多，對於不同預冷方法的適應性必需視產品的特性、對冷卻速度的要求及包裝處理方式等而定(表一)。預冷的冷卻速率要求取決於蔬果的種類及預冷方法。欲決定預冷的終點，須先行製作預冷降溫曲線，以預冷時間及產品溫度作圖，如圖一。預冷開始時降溫速度快，但隨著產品溫度降低，降溫速度變慢，溫度降到產品最初溫度與冷卻介質溫度差的一半時，所需的時間稱半預冷時間。一般情況下，半冷時間不因產品溫度而改變，例如若由溫差30°C減為15°C須時2分鐘，則由15°C減至7.5°C亦須2分鐘，而一般用7/8預冷時間（3倍的半預冷時間）作為商業上操作的實際估計。



圖一、完成產品預冷需9小時的降溫曲線圖

以下就目前國內外常用的預冷方法逐一介紹。

1.冰水預冷(Hydrocooling)

冰水預冷是以冰水為冷卻介質的預冷方法，操作方式可分為(1)連續式(2)分批式兩種，連續式設有鏈條輸送帶，將產品放在輸送帶上慢慢通過冷卻室。分批式一般設有吊車或利於起重車操作的滾輪。冷卻室中的處理方式有沖淋式及流水浸泡式，前者可用於甜玉米，後者可用於竹筍，一台商業用的沖淋式預冷機其冰水沖淋的水量應達400~600公升/分鐘/平方公尺作業面積。

冷卻水的降溫方式一般有：(1)直接應用冷凍系統的蒸發器，(2)應用儲冰系統(冰水槽可蓄冰用)，(3)利用外來冰塊(可節省設備費)。冰水是吸熱效果最好的介質，所以如果產品能忍受冰水處理，且能依照正確的方法來操作，冰水預冷將是一種迅速且有效的預冷方法。要使預冷能順利進行，必須使冰水溫度維持在1°C左右，因此預冷設備必須有足夠的冷凍容量才行。

使用冰水預冷時常見的問題有：(1)水的溫度不夠低，(2)水的流速或沖淋的水量不夠大，(3)產品在預冷機中停留時間不夠長；因此使得預冷效果大打折扣。另外，由於冰水是循環使用的，經常會累積大量有機質及腐敗微生物而使產品受到污染，因此須隨時注意冰水槽中的水質，並不時加入殺菌劑，如100ppm氯水，進行消毒。

適用冰水預冷的蔬菜有竹筍、蘆筍、芹菜、莧菜、空心菜、網紋洋香瓜、毛豆、豌豆莢、敏豆、甜玉米等。



竹筍以浸水式保鮮效果良好



以冰水預冷完的產品以紙箱包裝，內部需襯塑膠袋

2.室內風冷 (Room cooling)

室內風冷以冷藏庫中的冷空氣作為預冷介質。在美國室內風冷被廣泛應用於水果的預冷，但較少用於蔬菜。不過在日本亦普遍應用在蔬菜上。使用冷藏庫中的冷空氣預冷須有下列條件才行：

- (1)庫房內的冷風循環路徑足以使庫房內各處的溫度均一。
- (2)產品周圍風速應有1~2公尺/秒,待冷卻作業完畢,貯藏作業開始時,風速可降至0.05~0.1公尺/秒。
- (3)堆積方式需使冷風流暢。
- (4)包裝箱本身需透氣性良好。

室內風冷的優點是操作簡單，只要具備一般的機械冷藏庫即可進行。但由於冷空氣本身的吸熱效果差，冷卻效率低，預冷時間通常需要4~24小時以上，因此通常只應用於貯藏前預冷，較少應用於運輸前短時間預冷。適用室內風冷的蔬菜有胡蘿蔔、甘藍、結球白菜、花椰菜等大宗貯藏的產品，及一般果菜類。



甘藍菜預冷後明顯提高保鮮期



結球白菜預冷後(左)保鮮效果較對照組佳(右)

3.壓差預冷(Forced-air cooling)

壓差預冷是室內風冷的改良方法，它與室內風冷不同之處在於使用抽風扇使包裝箱兩側造成壓差，使冷風由包裝箱之一側經過包裝箱上的通風孔進入箱內與產品直接接觸，將熱帶走，在短時間內

使產品的溫度迅速降低。依產品的堆疊、排列方式可分為隧道式（中央吸引式）、冷牆式（壁面吸引式）等。抽風扇風靜壓須在50mm水柱以上，每公斤產品須要有0.05CMM以上的風量(CMM，立方公尺/分鐘)，抽風扇風壓(或風量)愈大，冷卻效率愈高，但相對耗能也愈大。一般而言，壓差預冷效率較室內風冷快4~10倍，例如草莓在0.5℃冷風中進行壓差預冷，可在1小時15分鐘內由24℃降至4℃，對於許多不適冰水等其他預冷方法的產品，壓差預冷是一種很理想的預冷方式。壓差預冷的唯一缺點是操作較繁雜，產品須依一定的方式排列，若排列不良造成抽風時壓差無法形成，則使預冷效率大打折扣。

由於目前在國內已有不少單位成功地應用壓差預冷技術，且所使用的方式很適用於小型農場或產銷班，因此將於下一章節中做進一步詳細的介紹。

4.真空預冷（Vacuum cooling）

真空預冷是將產品放在一個耐壓倉中，然後抽氣降低倉內壓力，在正常大氣壓力下(760毫米水柱)，水的沸點是100℃，隨著氣壓力的降低，水的沸點降低，當壓力降為4.6毫米水銀柱時，水的沸點降低為0℃，水由液態變為氣態帶走大量的熱，產品溫度亦迅速降低。由於真空預冷是靠水的蒸發帶走熱，故產品每降溫5℃，約失重1%，通常真空預冷時產品約須失重1.5%~5%不等。由於真空預冷所失去的水份是自產品表面均勻蒸散，只要失水率在5%以下，產品因真空預冷所造成的萎凋情況不明顯。較新型的設備則在壓力倉頂部加裝灑水裝置預先加濕。



油菜預冷後(右)常溫運輸一天，較對照組(左)品質佳

真空預冷降溫快速，通常在10~30分鐘內完成；表面積與容積比大的產品降溫速度更快，如結球萵苣等，且適合已使用具通氣孔塑膠膜包裝的產品。在日本，部份根菜類及果菜類如胡蘿蔔、甜椒等亦採用真空預冷。

真空預冷技術是目前操作最簡便及效率最高的預冷技術，在產地已漸為運銷業者所喜愛，因此亦將於往後章節中進一步介紹。

5.碎冰預冷（Package-icing）

碎冰預冷是在包裝箱內加上碎冰，當冰溶化時以相當快的速度使產品降溫，碎冰預冷的優良是可以維持產品在低溫高濕下一段相當長的時間，尤其在沒有冷藏或保溫的運輸設備情況下，另外不需精良的設備，是最容易做到的預冷方式。而其缺點是冰水增加重量增加運輸成本，若使用紙箱包裝內部須襯塑膠袋防止紙箱吸水軟化，或須使用耐水性的包裝箱，則將增加包裝成本。適用碎冰預冷的產品有芹菜、小包裝蔬菜、菜豆、青蔥、青花菜等。



芹菜加碎冰預冷保鮮



碎冰預冷紙箱包裝需襯塑膠袋

其他注意事項

- 1.預冷設施之設置須配合集貨、包裝、冷藏、運銷作業流程。
- 2.預冷後之產品在未運輸前須暫時冷藏，避免回溫。
- 3.預冷產品在運輸時最好有保溫或冷運輸設備。
- 4.預冷產品須標示清楚以區別其他非預冷保鮮產品，提高產品價位。
- 5.預冷終點溫度選擇依產品而異，大部份產品可預冷至5°C以下，而部份具寒害敏感作物，預冷終點必須設定在寒害溫度以上。

結論

溫度對蔬果品質劣變影響很大，產品應儘快降溫才能保持鮮度，在先進的國家歐美及日本對蔬菜運銷時的溫度管理相當重視，以提高產品鮮度品質。國內以往由於冷藏設不足，且對低溫管理觀念不夠，因此沒有能做好低溫運銷系統。目前產地冷藏設備不斷在擴充，市場設施亦在改善，倣效歐美日等先進同業使產品做好低溫運銷系統，維持產品品質，似乎是未來國內蔬菜產業發展的重要趨勢。



預冷產品貼上標證，以區別一般產品

表一、數種不同蔬菜最適貯藏條件及預冷方式

圖例說明：最適◎ 適○ 注意△ 不適×

(西村勝義 1993)

種類	菜種	最適貯藏條件			預冷方式				備註
		溫度	濕度	預冷終溫	水冷	強風	真空	壓差	
果菜類	番茄	綠熟13°C	85~90%	13°C以上	○	○	×	◎	真空預冷降溫困難
		完熟7~10°C	85~90%	7°C以上	○	○	×	◎	
	甜椒	7~10°C	90~95%	7°C以上	△	○	×	◎	"
	小黃瓜	7~10°C	90~95%	7°C以上	△	○	×	◎	"
	茄子	7~10°C	90~95%	7°C以上	△	○	×	◎	"
	毛豆	0°C	95%	5°C	○	○	◎	◎	
	甜玉米	0°C	95%	5°C	○	○	◎	○	真空預冷注意失水問題
莖菜類	菜豆	7~10°C	90~95%	7°C以上	○	○	△	◎	
	甜豌豆	0°C	90~95%	5°C	△	○	○	◎	
	草莓	0°C	90~95%	5°C	×	○	×	◎	水冷造成腐爛嚴重
	洋蔥	0°C	60~70%	5°C	×	○	×	○	
	青蔥	0°C	95%	5°C	○	○	◎	◎	
	蘆筍	0°C	95%	5°C	△	○	△	◎	水冷須防止筍尖受傷,真空防止失水

	結球白菜	0°C	95%	5°C	x	○	○	◎	
	甘藍	0°C	95~100%	5°C	x	○	○	◎	
	結球萵苣	0°C	95~100%	5°C	x	○	◎	○	
	葉萵苣	0°C	95~100%	5°C	△	○	◎	○	
	菠菜	0°C	90~95%	5°C	△	○	◎	○	
	小白菜	0°C	95%	5°C	△	○	◎	○	
	茼蒿	0°C	95%	5°C	△	○	◎	◎	
	莧菜	10°C	95%	10°C	◎	○	◎	◎	
	蕹菜	10°C	95%	10°C	◎	○	◎	◎	
	芹菜	0°C	95%	5°C	◎	○	◎	◎	
	蕪菁	0°C	95%	5°C	◎	○	◎	◎	
花菜類	花椰菜	0°C	95%	5°C	x	○	○	◎	
	青花菜	0°C	95%	5°C	○	○	○	◎	
根菜類	蘿蔔	0°C	95%	5°C	◎	○	△	◎	
	胡蘿蔔	0°C	98~100%	5°C	◎	○	△	○	
	牛蒡	0°C	98~100%	5°C	◎	○	△	○	
水果類	蘋果	0°C	90~95%	5°C	○	○	x	◎	
	酪梨	10~13°C	85~90%	15°C	x	◎	x	◎	
	楊桃	2°C	85~90%	5°C	○	○	x	◎	
	葡萄	0°C	85%	5°C	x	○	x	◎	
	番石榴	10°C	90%	12°C	x	○	x	◎	世紀拔品種可貯存在10°C
	枇杷	0°C	90%	5°C	x	○	x	◎	
	荔枝	2°C	90~95%	5°C	○	○	x	◎	
	芒果	13°C	85~90%	15°C	○	○	x	◎	
	木瓜	10~12°C	85~90%	15°C	x	◎	x	◎	
	鳳梨	7~13°C	85~90%	15°C	x	◎	x	◎	
	梨	0°C	90~95%	5°C	○	○	x	◎	
	柑桔類	11~14°C	90~95%	15°C	○	◎	x	◎	

第二章壓差預冷技術

前言

預冷作業大都已是獨立於冷藏之外的一項作業，而且需要一些特別的設備來完成，並在特定的空間中來進行。目前已被實際採用的預冷方法可分為下列幾項：冰水預冷，室內風冷，壓差預冷，真空預冷以及碎冰預冷等。不同的預冷方式各有其優缺點，本文中將只針對氣冷式的壓差預冷做進一步的詳細介紹。

何謂壓差預冷

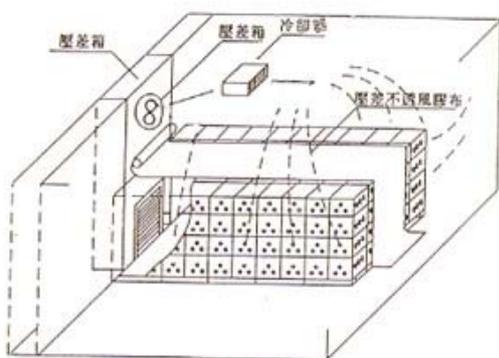
壓差預冷(Forced-air cooling)，是一個普遍應用在水果、蔬菜或切花上的預冷技術，降溫的方式是強迫冷風進入包裝箱中，使冷空氣直接與產品接觸，其原理是利用抽風扇使包裝箱兩側造成壓力差，使冷風由包裝箱之一側通風孔進入包裝箱中與產品接觸後由另一側通風孔出來，同時將箱內的熱帶走。其優點是設備簡單，且幾乎所有的園產品均可使用壓差預冷方式降溫，其使用的包裝箱可不用如水冷或加冰預冷必須是防水的。其缺點是1.降溫速度較其他方法慢(除了室冷)，2.在某些產品上會造成2%以上的失水。因此有效的壓差預冷必須：

- 產品排列良好，使包裝箱兩側形成壓差。
- 包裝箱經過設計，使冷風能通過並與產品直接接觸。
- 空氣必須維持在一定的低溫。
- 空氣相對濕度必須維持在90%以上。

壓差預冷的型式

一、隧道式壓差預冷(Tunnel cooler)

這是最常用來強迫冷風通過箱子的方法，棧板堆積的包裝箱排列成兩行，中央具開放走道（圖二），用帆布覆蓋中央走道的上方及末端以形成一隧道，再用抽風扇抽去隧道內的空氣，如此迫使隧道外的冷空氣穿過箱子中的產品進入隧道中，而由風扇抽出的暖空氣則再經由冷排降溫。棧板可堆高兩層以上，以充份利用庫內空間。用紙箱裝箱的產品，只要紙箱具有適當的通風孔也可使用此方法降溫。



圖二.隧道式壓差預冷庫示意圖
(Thompson et al., 1998)



國內中型壓差預冷產品入庫情形



大型隧道式壓差預冷庫操作情形
(Thompson et al., 1998)



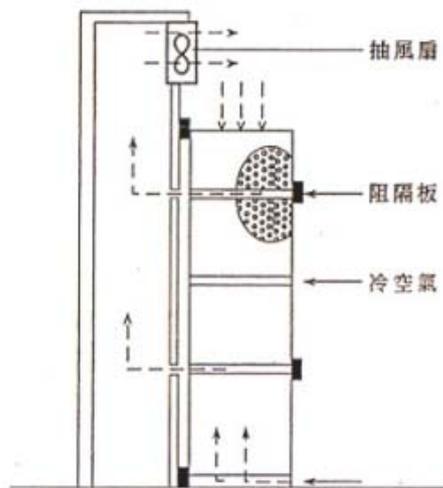
中型隧道式壓差預冷庫操作情形

這個系統可整批操作使大量產品降溫，而不需操作個別箱子或棧板。每一操作系統有單一的抽風扇，此抽風扇最好有速度控制器，當穿過包裝箱的空氣溫度降低時，風速亦逐漸降低，如此可減少風扇耗能、熱量產生及減低產品失水。

二、蛇形式壓差預冷(Serpentine cooler)

這個系統是設計使用在具底部開孔的包裝木箱上，堆高機操作的側邊底部開孔是用來作為空氣進出的通道，木箱緊靠透空牆（plenum），以偶數層堆積，偶數層木箱底部側邊開孔對準牆上通風孔。在交錯的木箱底部開孔分別有阻風板條，如此強迫冷空氣通過木箱上層，再經木箱中的產品後，由底部通道進入透空牆後面經冷排及壓差扇抽出。由於需特殊包裝容器，目前只以美國蘋果包裝的標準木箱使用較

普遍。此系統通常是整批操作，但每次可沿著牆壁堆高許多層，蛇形式預冷對庫內空間利用率高（圖三）。



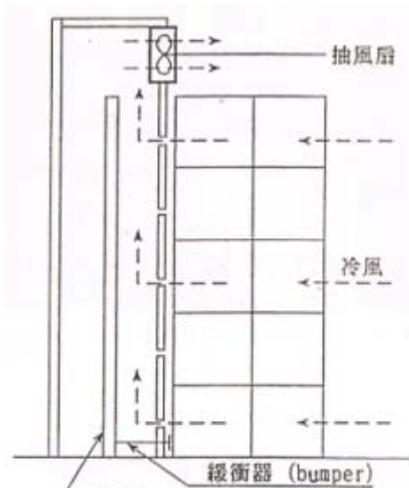
圖三.蛇形壓差預冷庫示意圖
(Thompson et al., 1998)



移動式壓差預冷設施

三、冷牆式壓差預冷(Cold-wall cooler)

這是一種使少量及無法完整棧板堆積的產品有效降溫的通風系統。單行的棧板排列在透空牆上，透空牆內部有冷排及壓差風扇使造成負壓，棧板靠近牆壁時，壓下彈簧使阻隔通風孔的調氣閥打開，空氣開始流通，調氣閥可安排在一定的高度以適合不同高度堆積的產品預冷，不用調整或怕造成漏氣現象（圖四）。



圖三.冷壁式壓差預冷庫示意圖
(Thompson et al., 1998)



壁面吸引式壓差預冷庫
(Thompson et al., 1998)

切花較常使用冷牆式壓差預冷，透空牆內約需2~4cm水柱的靜壓力，操作時包裝箱沿著牆壁堆積，將箱子的通風孔對準透空牆的孔隙，牆上的孔隙須小到足夠使透空牆內外壓力差大於箱子內外的壓力差，如此操作時通過箱子的風量才不會改變，且沒有調氣閥亦可操作。

另可安裝自動起動式系統，操作者不需起動壓差扇，產品一旦靠近即自動起動，一個棧板預冷結束可立即更換另一棧板，使操作空間有效利用，但缺點是設備費相對較高，所需操作空間亦較大。由於每一棧板預冷結束時間不同，操作者須不斷觀察每一棧板降溫情形，以防止因通風過久而使產品損傷，因

此有些降溫設備加上定時器，棧板靠近起動調氣閥後，同時起動定時器，一旦達到降溫終點後，即自動關閉壓差扇，如此操作者可不用經常去擔心是否已達到預冷終點。

壓差預冷庫設計

一、冷凍能力

壓差預冷庫的冷凍能力計算主要考慮的熱量來源是產品的田間熱，預冷初期產品本身的熱量高，且須很快的降溫，因此冷凍系統必須有足夠能力去除產品最初的熱量，一般是以移除產品完全冷卻所須最高冷凍噸的75~80%為標準。以單一隧道式壓差預冷庫處理葉菜類每次處理2噸為例，產品初溫為30°C降至5°C須要15~20冷凍噸的冷凍能力才可達到快速降溫的要求。

二、壓差風扇選擇

壓差風扇的選擇依其可產生的風量及其靜壓力而定，大部分設備須達風量0.5~2.0 L-sec-1-kg-1，如前所述，風量愈大愈耗能，操作量不同時可使用變頻器來調節風量大小。

壓差風扇操作時所產生的靜壓力通常很難測量，簡易的量測方法是以一段透明塑膠管一端伸入壓差箱中，另一端置於大氣壓力中，塑膠管中間折成U型，啟動風扇時，U型管內的水柱型成水位差，此高度差即為風扇最大靜壓力。空氣通過箱子後產生的壓力差受下列因素影響：

通過風扇的壓差還包括通過冷排及風道的阻抗，一般來說壓差風扇的設計須能有50mm水柱以上的壓力抗性，除非是經測試過的小型壓差預冷設備，其靜壓力較低的也可被接受。

軸流(Axial-flow)風扇及離心(centrifugal)風扇均可使用在壓差預冷，軸流風扇適合使用在靜壓力大於1.5吋水柱時，離心風扇則在相同靜壓力下較軸流風扇靜音。

操作上應注意事項

一、預冷時間

如前面提過，產品預冷的降溫模式曲線如圖一，降溫速率由產品溫度與冷空氣的溫度差決定，開始時產品降溫速度較快，愈接近終點時降溫速度愈慢，降溫過程可以半預冷期表示，使產品溫度降到其最初溫度與冷空氣溫度差的一半所需的時間稱半預冷期，產品最初溫度為30°C，空氣溫度為0°C，產品由30°C降為15°C是第一個半冷期，第二個半冷期的時間約等於第一個半冷期，但由於產品的溫度與冷空氣溫度差只有第一個半冷期溫度差的一半，所以實際降低的度數只有第一個半冷期的一半，大多數的產品以三個半冷期(7/8預冷期)，或四個半冷期(15/16預冷期)時間為預冷終點。

體積較大的產品，如洋香瓜，位置前後的預冷速度差異較小，不同位置洋香瓜果實中心的熱量移除時間相同，然而體積小或表面積大的果實或葉菜類，則差異很大，操作者需注意當最不易降溫位置的產品已經降溫，才算結束並移除棧板。

降溫設備通常設定的風量約需1 cfm/lb(1 L-sec-1-kg-1)，如此才有一個合理的降溫速率及風扇大小。風量加倍到2 cfm/lb，葉菜類約可減少40%的預冷時間，但洋香瓜則只減少10%，而加倍的風量須使風扇增加4倍的靜壓力，即需增加6~7倍的馬力。降低風量會增加處理時間，因此雖可降低風扇的大小及減少成本，但降溫速度太慢有以下的缺點：(1)須要有較大的操作空間使整批產品能夠有較長的操作時間，(2)會增加產品的失水量。

二、產品堆疊

產品在包裝箱中堆放如果太過緊密，會使靜壓力加大，增加風扇阻力。包裝箱堆疊愈寬，冷空氣通過產品的距離愈長，當達預冷終點時，產品最高最低溫度差會很大。堆疊較寬時靜壓力必須加大，才能

使風量加大，通常降溫設備可堆疊一個棧板寬度，棧板寬度1.2m，上面排列3~4層，單行堆疊時在較低靜壓力下可有較大的風量及較快的降溫速率。兩排棧板中間回風道及棧板外側的出風道寬度需50公分左右，棧板排列長度以480公分為宜。

三、壓差預冷造成的失水

良好的壓差預冷處理並不會造成產品失水，然而如果因操作不當使產品因失水太多而受損，將因而限制其使用。其中影響最大的是處理風量及預冷時間，風量超過太多時會造成大量失水，因此應避免大風扇處理少量的產品的情況。有時風量稍大，失水情形反而較少，原因是使預冷時間縮短。壓差預冷時當到達預冷終點時應立即停止冷風繼續通過產品，持續的通風，是造成產品失水太多的重要原因。預冷時間會隨產品溫度及處理風量的因素而不同，一般來說散裝非結球葉菜類的預冷時間為1~2小時，甘藍等結球型葉菜類為4~8小時，果菜類則約1到2小時。有些降溫設備以抽回的冷空氣溫度控制，當循環回來的空氣溫度與壓差扇剛吹出時的溫度接近時，風扇速度自動調節變慢，接近預冷終點時所需的風量遠較預冷初期為低，因為接近預冷終點時熱量的移除速率變的很慢。

產品初始溫度太高會造成較多的失水，早晨或夜晚採收可使產品溫度較低，如果要在田間暫時停留的產品必須遮陰，或是採收後儘早進行預冷。有些產品包裝前先部份降溫，包裝後再完全降溫，在包裝時應儘量減少回溫情形，以減少失水。

蒸散係數小的產品如柑橘，降溫時並不會有失水的情形，很適合壓差預冷。胡蘿蔔的蒸散係數是柑橘的10倍，預冷後失水0.6~1.8%，以PE塑膠袋包裝可使失水減少到0.08%，但預冷時間增加5倍。蒸散係數很大的產品如葉菜類可先淋水後再預冷可防減少失水。

適當的壓差預冷處理，空氣濕度在80~100%範圍，對產品失水影響不大。冷空氣與產品間的蒸氣壓差大小，主要受產品溫度的影響，而不是空氣濕度，然而預冷時加濕可增加紙箱的水份，防止產品預冷後紙箱自產品中吸水。

四、降溫速率變慢的因素

造成遂道式壓差預冷速度變慢的主要因素有:1.冷排溫度設定不當.2.容器的通風不當。大量產品預冷時庫內空氣溫度上升的原因可能為冷凍能力不足或庫體保溫不良。庫內溫度上升時，須與冷凍工程師商量，在經濟考量下設法有效提高冷凍機能力。

假如溫度顯示一直維持在設定的低溫，但產品無法降溫，表示冷空氣無法進入包裝箱內使產品降溫，造成並沒有足夠的空氣通過箱子，使降溫速度變慢，可能原因：

- 抽風扇的風靜壓力不足，無法產生1~2 cfmlb的風量。
- 產品堆疊不良，使冷風經由堆疊空隙通過而不經由包裝箱開孔進入
- 紙箱開孔面積不足，須有3~5%的開孔面積，且棧板堆積時開孔須對齊。
- 包裝材質阻礙空氣流通。
- 堆積太多產品造成風量相對不足。
- 出風道及回風道的寬度不足，造成前後或上下降溫不均勻。

結語

溫度對蔬果品質影響很大，產品應儘快降溫才能保鮮度，在先進國家歐美及日本對蔬菜運銷時的溫度管理相當重視，以保持產品鮮度。國內目前由於冷藏庫大量興建，冷藏及低溫運銷技術

漸受重視，而預冷是做好產品溫度管理的第一步，也是重要的一步，因此預冷技術跟隨著不斷改進及發展。壓差預冷並不一定是最佳的預冷方式，但有其特殊的優點存在，如對產品的適應性廣，設備簡單，降溫快，處理量大，及預冷庫同時可當冷藏庫使用等優點。但缺點是操作上要注意的細節很多，如果操作不良會使降溫效果大打折扣，甚或對產品造成失水等傷害。正確的預冷觀念及預冷技術發展，可使國內農產品不論內外銷均可有很好的低溫保鮮的處理以提升產品品質。



壓差預冷產品之包裝箱需注意開孔型式
(摘自Thompson等, 1998)

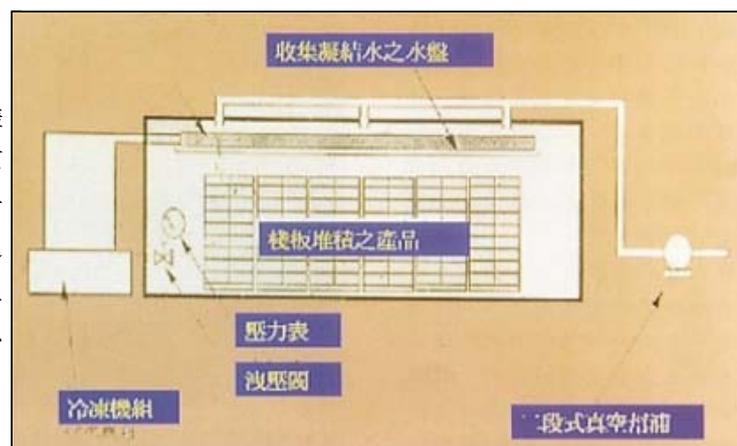
第三章 真空預冷技術原理及應用

前言

前文中有大略提到真空預冷的降溫原理，且一再提到真空預冷是預冷效率最佳的方式，而以下文章中將詳述其降溫原理，所需的設備構造及比較其處理應用上的優缺點。

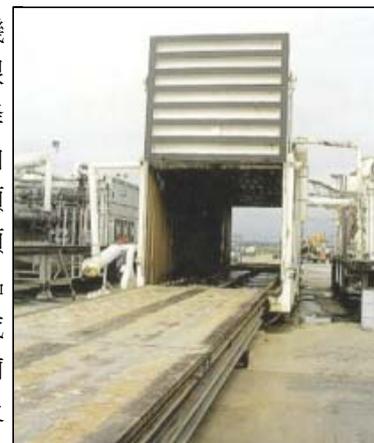
真空預冷的降溫原理

真空預冷 (Vacuum cooling) 主體結構為可棧板堆積的真空槽，另須具有真空幫浦以降低倉內壓力。在真空幫浦之前有一冷凍機組是用來凝結幫浦抽出的氣體中之水氣，由於水氣的蒸發會使真空幫浦的負荷加大，因此在真空幫浦之前先行凝結以提高真空幫浦效能 (圖五)。



圖五. 真空預冷機模式圖

處理時將產品以起重機作業，放入真空槽中，起動冷凍機組，然後抽氣降低槽內壓力，在正常大氣壓力下(760毫米水銀柱)，水的沸點是100℃，隨著壓力降低，水的沸點降低，當壓力降至4.6毫米水銀柱之壓力終點時，水的沸點降低至0℃，水沸騰時由液態變為氣態帶走大量的熱，產品溫度亦迅速降低。由於真空預冷是靠水分蒸發帶走大量的熱，故產品每降低5℃約會失水1%，預冷完成時通常會失水2~4%，由於真空預冷所失去的水分是自產品表面均勻的散失，只要失水率在5%以下，產品因真空預冷所造成的萎凋情況並不明顯。雖然如此，採收後仍應在產品尚未萎凋前儘速預冷，有時甚至必須在產品表面灑水來加強預冷降溫效果及減少失水失重。



美國大型真空預冷機



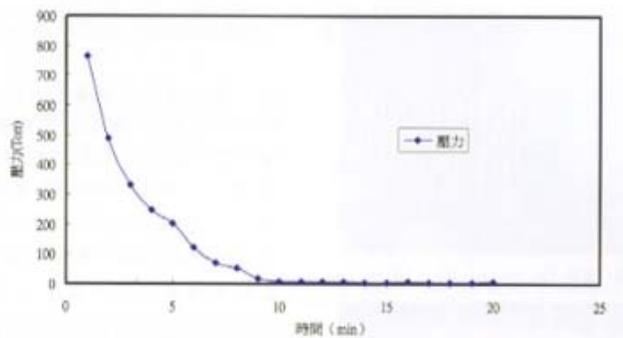
中大型真空預冷機
(摘自Thompson等, 1998)



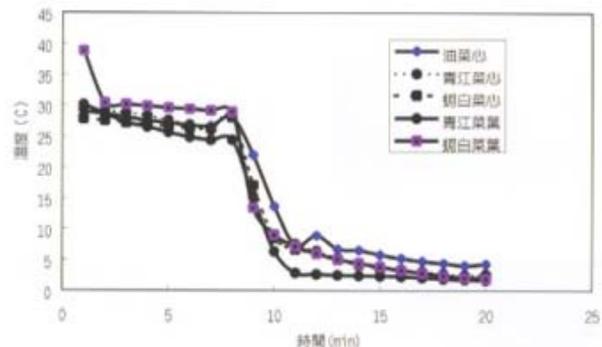
國產中型真空預冷機

真空預冷之應用

以恆資公司提供的商業預冷機操作為例，每次蔬菜處理量約800公斤，進行短期非結球型葉菜類真空預冷處理，預冷時真空槽中壓力在6分鐘後降至100 Torr(毫米水銀柱)以下，到10分鐘時降至10 Torr以下（圖六），如前所述，此時水的沸點已接近0°C。測量真空槽中產品的溫度變化如圖七，在8分鐘前，溫度幾乎沒有降低，但在8~10分鐘時，兩分鐘內溫度迅速由27°C左右降至5°C以下，之後再加上回壓時間，整個處理過程應在15~20分鐘內完成一批。



圖六.真空預冷時真空槽內壓力降低情形



圖七.數種短期菜類真空預冷時降溫情形

計算其耗電量每操作一次共需17度(KW/hr)，每度電費以1.65元計算(農業用電)，共需28.05元，折合每公斤處理電費成本為0.035元，可見就操作成本及能源使用效率來說，真空預冷是最經濟的預冷處理方式。雖然如此，真空預冷機也不是萬能的，有許多產品進行真空預冷時降溫速率緩慢，如水果類、果菜類及根菜類。最主要為其可供水分蒸散的表面積與體積的比例小，而真空預冷最主要是靠水分的蒸散原理降溫。因此，真空預冷最主要還是應用在葉菜類或花卉上效果較顯著。

真空預冷的優缺點

優點

- 1.使產品預冷澈底且降溫均勻，保鮮效果顯著。
- 2.操作簡便，產品不須特別堆積處理，且經由自動控制設備通常只須按一鍵即可完成所有操作。
- 3.降溫速度快，以短期葉菜類為例，每次只要20~30分鐘即可完成數公噸的處理量。3.沒有包裝容器的限制，不像水冷式須考慮容器的防水性，氣冷式須考慮冷空氣與產品的接觸性。
- 4.能源使用效率高，由於大幅縮短預冷時間，及處理量大，因此操作時之耗能相對的較水冷或壓差預冷少。

缺點

- 1.部分品目不適合，園產品中水果類並不適合使用，蔬菜類中如附表一，有部分產品不適合，如果菜類、根菜類由於預冷時蒸散表面積小，因此預冷效率差，但表面積大的葉菜類則大都很適合。
- 2.處理不當會造成失水萎凋。
- 3.設備費用高，初期的投資成本大。
- 4.必須有冷藏庫配合，預冷處理完的產品必須進入冷藏庫中貯藏。

使用上應注意事項

- 1.真空預冷通常以表面積與體積比大的產品較適合，如**結球萵苣**等葉菜類，水果及結球緊密的甘藍、結球白菜等表面積小且蒸散作用小的產品較不適合真空預冷。但在日本部分根菜類及果菜類如胡蘿蔔、甜椒、甜玉米等亦採用真空預冷，主要考量的因素是其操作方便性。
- 2.雖然有很好的預冷降溫設備，但仍須注意產品的新鮮度，如儘量利用清晨或傍晚採收以減少田間熱，採收後並儘快進行預冷降溫處理，否則產品新鮮度一旦喪失，即很難恢復，再好的處理技術通常只能維持品質而無法增進品質。
- 3.容易失水的產品如短期葉菜類，甜玉米等，處理前先淋水，可增進預冷降溫效率及減少失重。
- 4.真空預冷處理之操作通常需有起重機及棧板操作，否則會失去其操作簡便性之優點。另處理場附近須有冷藏庫，以利預冷處理完之產品保鮮貯藏。
- 5.大部分產品可以壓力控制操作流程，使操作時間固定，部分具有低溫寒害特性的產品則須改以溫度控制，並應注意預冷終溫的設定。

結語

有許多人認為預冷只是把產品浸一下冷水，或放入冷藏庫一段時間後讓溫度有稍微降低。也有些人已有很好的預冷設備，如冰水預冷機或壓差預冷庫，但是常常由於操作不良或是因嫌麻煩而自行簡化操作步驟，使預冷處理效果大打折扣，或不再使用而任由設備閒置。由於預冷處理會增加處理成本，而且如此不夠徹底的預冷做法對產品的保鮮增進有限，因此許多人對預冷作業是敬而遠之，不願去做或只浸一下冰水或直接放入冷藏庫一段時間，覺得已經降溫就滿意了。所以多年來國內預冷預技術的發展是走走停停，進展有限。但近幾年來經由農政單位、學術單位及產地業者的努力，至少喚醒了大家對預冷及低溫保鮮的重視，也建立了預冷技術在國內採後處理的上重要地位。

真空預冷最主要的優點是只要簡單的操作就能使產品均勻而澈底的降溫，因此保鮮效果明顯，且時間短，對採後處理流程影響小，操作的人工成本及耗能成本低。真空預冷技術在歐美已發展多年，在大型農場上使用非常普遍，但只限定在某些效果特別明顯的作物上，如**結球萵苣**、西洋芹菜等，在日本則已開發出中小型真空預冷機，且廣泛使用在大多數的蔬菜上面。



有真空預冷設備，產品可以在田間包裝，簡化處理手續

以往我們沒有直接推廣使用的原因是國內尚未開發商業型真空預冷機，由國外引入除了價錢昂貴外，將來的機械維護及保養也是問題。近年來由台大農機系（目前改名生物機電系）與廠商建教合作研發，及經多次的改良後，已有很好的商業機械在產地實際操演，如此一來真空預冷機將有很大的降價空間及解決了機械維護問題，大大的提高了其在國內發展的可能性。真空預冷技術如果推展成功，在國內園產品的保鮮處理上將會有十足的影響。

 [回出版品](#)

 [回技術專刊目錄](#)