

蔬 菜 預 冷

On Precooling of Edible Vegetables

國立臺灣大學農機系教授

陳 貽 倫

Yi-luen Chen

摘 要

從產銷情形調查，國內蔬菜之供應不是患不足，而是患供時不均。冷藏為保持蔬菜新鮮品質、調節市場供需、減少損失、維護產銷雙方利益之最佳途徑之一。為確實達成保鮮，進而延長其安全貯藏期，某些蔬菜應在冷藏前予以預冷，以儘早除去田間餘溫，降溫至設定溫度，並減輕冷藏庫之冷凍負荷。

國人常食用蔬菜有98種，預冷方法有四種，某種蔬菜適用之預冷方式應由蔬菜本身性質及價格因素、處理量多寡、預冷性能、預冷費用、預冷機械等因素來決定。

一些冷藏、預冷數據一併收集在本文。

Summary

A brief literature review on the vegetable marketing in this country shows that the edible vegetable production is more than plenty in the winter, therefore, causing serious price drop to hurt the producers, whereas the supply becomes scarce in the summer, especially during typhoon season, to raise the complaint of house wives.

Refrigerated storing would be one of the best ways to solve the problem, and precooling the products before storing is to remove the field heat, and to assure quick temperature drop of the products, thereby maintaining the quality and prolong the safe storage life of the products.

There are 98 different edible vegetables generally found in local markets, and there are four precooling methods available, namely, forced-air cooling, hydro-cooling, vacuum cooling, and top-icing. The best choice would depend on the physical and thermal properties of individual product, the market value and the quantity of the product processed, the precooling performance and the precooling cost of the precooling method used, and other factors.

Some data concerning cold storage and precooling are presented in this paper.

前 言

蔬菜為國人飲食習慣上最主要之副食，每人每

年消費 130 公斤。消費者需求之彈性甚小。今後隨人口之增加、保健及營養智識之增進，蔬菜之需求勢必增加，同時蔬菜也為我主要外銷產品之一，直

接關係民生經濟。

臺省現階段蔬菜產銷之主要問題之一不在於「不足」，而在於「產時不均」。臺灣蔬菜夏季生產量少，因為，夏季水田多利用於種植水稻，蔬菜栽培面積有限，同時，夏季高溫多濕，雜草容易滋生，病蟲害嚴重又時遭豪雨，故單位面積產量低。夏季時有颱風、豪雨、乾旱、病蟲等災，生產者所冒之風險大。正因常遭災害、管理費工費時，使用農藥頻率高，成本提高，又因高溫、多雨，在運銷過程中容易腐損及失重。因此，夏季蔬菜少而價高，冬季蔬菜多而價賤，相差可達五、六倍。

蔬菜在運銷過程中之損耗也為各方所注目，據臺大農經系實際調查所得在各種運銷階段之果蔬損耗如下表：

表一 果菜在各市場階段之運銷損耗（按重量計算）

名目 稱	運銷損耗 (%)			產地—消費地合計 (%)
	販運階段	批發階段	零售階段	
包心白菜	4.35	22.78	4.85	29.72
甘藍	4.28	20.93	4.85	27.98
蘿蔔	2.43	9.51	4.06	15.29
茄子	3.01	3.24	1.90	7.98
胡瓜	3.08	3.12	1.47	7.48
敏豆	3.36	0.64	0.21	4.18
花椰菜	3.49	5.44	3.09	11.56
芹菜	2.50	5.60	2.62	10.37
甜椒	2.92	2.83	1.35	6.94
蕃茄	0.60	5.12	2.01	7.59
椪柑	2.56	1.69	4.97	8.97
甜橙	1.67	2.95	4.30	8.67
西瓜	10.93	1.21	0.12	12.12
香瓜	2.13	5.09	9.36	15.78
木瓜	2.09	7.26	14.28	21.33
楊桃	2.36	6.51	7.18	15.22
蘋果	2.61	0.86	3.18	5.66
香蕉	—	2.73	6.57	9.03

其中包心白菜和甘藍之損耗最為可觀，這不但產品本身之損失，也是包裝、運輸、人工等各項資源之浪費，同時，也為消費地區增加不必要之垃圾。

為了調節供需，減少損失，保持新鮮品質，維護產銷雙方的利益，今後似需加強注意蔬菜收穫後

之處理，這收穫後處理包括：洗滌、選別、分級、包裝、預冷、貯藏、運輸等，本文僅討論其中之預冷問題。

由於消費品質之提高，臺省各地均已設有食品冷藏庫之設立，據調查各冷藏庫所貯藏之果蔬種類繁多，計有：胡蘿蔔、胡瓜、馬鈴薯、洋葱、甘藍、毛豆、敏豆、豌豆、皎白筍、結球白菜、薑、蘆筍、洋菇、木耳、梨、蘋果、水蜜桃、荔枝、香蕉等，常發生腐損者有：瓜果、甘藍、結球白菜、胡蘿蔔、洋葱、馬鈴薯、水蜜桃、及葉菜類等，這些腐損現象之發生原因很多，其中主要者為冷藏庫業主或管理者欠缺專業之知識所致，尤其對預冷處理之重要性沒有認識。

胡蘿蔔、甘藍、結球白菜、洋葱，和馬鈴薯五種蔬菜因其貯藏壽命較長，為有關農政單位定為防黴蔬菜，已有多位研究者從事冷藏試驗。關於預冷則尚少見有人提出探討或從事試驗研究。

近年來有人試驗，洋葱以 0~1°C、80~85% RH 冷藏者可保持品質 6 個月以上，但以 3~4°C、85~90% RH 冷藏者經一個月後，有腐爛或發根之情形。馬鈴薯以 3~4°C 或 10~12°C 冷藏，因溫度偏高，於冷藏一個月後即開始發芽，而以溫度波動小之 2~3°C 冷藏，則無此不良現象。⁽⁵⁾ 據臺大農機系調查；洋葱在 14~19°C 品溫時進倉（北投，省物資局冷藏庫），經過 12 天才降到設定的溫度 2°C。一小箱溫度在 16~18°C 的馬鈴薯於 2°C 和 95% 相對濕度的倉庫，需三天才降到設定的溫度⁽³⁾。在這漫長的降溫過程中，產品品質可能已相當降低，縮短了蔬果之安全貯藏期。這漫長之降溫期，一面是由於室內冷卻 (Room Cooling) 本來較別的冷卻方式費時 (圖十二)，一面是由於該冷藏庫內冷空氣流動速度過慢所致。在 0°C 和 98% RH 之環境中，晚生種之甘藍可有 4~6 個月之貯藏壽命 (表四)，但是，將一批保有田間餘熱之甘藍放置在空氣流動不暢之冷藏庫，由於其個體大，單位體積之表面積小、體內組織之熱傳導係數小，其冷卻時間可能倍於洋葱和馬鈴薯者。食品工業發展研究所陳如茵等氏⁽⁴⁾，在 0~2°C、90~95% RH 作甘藍之冷藏試驗，三個月內，各處理皆維持 80% 以上之可售率，超過三個月，品質急劇下降。如加預冷處理，或加強冷藏冷空氣之流通，應可增進貯藏品質，延長安全貯藏期。

溫度與品質

蔬菜因下列主要因素而降低其品質：

1. 因呼吸、成熟和老化而生之新陳代謝變化（成分、組織、顏色等）；
2. 因失水而枯萎；
3. 受機械損傷；
4. 寄生蟲菌病；
5. 生理病害；
6. 凍傷；
7. 香味和營養成分改變；
8. 生根、發芽。

上述因素幾乎都和溫度有直接或間接的關係：

低溫是緩和呼吸及其他生命活動的最佳方法。

甜玉米在 21°C 時之呼吸量是在 0°C 時呼吸量的八倍，豌豆莢在 15.5°C 時之呼吸量是在 0°C 時呼吸量的五倍⁽⁷⁾。（表二）

表二 各種蔬菜之呼吸熱(7)

種類	呼吸熱 (Kcal/t·h)				
	0°C	5°C	10°C	15°C	20°C
甘藍	11~32	18~49	42~79	43~132	64~118
萵苣	14~39	28~46	50~92	74~104	118~139
菠菜	27~59	63~134	134~255	310~517	387~664
蘆筍	62~185	123~315	210~704	231~756	402~1155
花椰菜	18~56	44~63	78~112	99~189	173~198
青花菜	43~79	80~185	187	355~674	643~788
芹菜	12~17	21~29	45~63	86	149
甜玉米	69~119	111~180	258	350~403	620~718
豆	46~95	79~120	126~134	196~463	273~557
紅蘿蔔	10~47	30~61	72	60~124	106~220
白蘿蔔	22~40	30~48	—	93~180	133~315
蕃茄完熟	10	14	33	56~67	56~102
蕃茄綠熟	6	12~19	35	33~65	65~95
草莓	28~41	38~77	—	164~213	236~453

因腐爛而品質惡化是蔬果運銷過程中最大的損失。果蔬表面通常均帶有微生物，給予適當環境。例如：表皮受傷、溫濕度高，便會迅速感染而生腐爛，而低溫可抑制微生物的生長⁽⁸⁾。

因成熟和老化引起之變色也可藉低溫而使其緩和。例如，青花菜在無冷藏條件下，一日之內，就顯示一些黃變現象，但在低溫冷藏處可維持青色三、四天。

在 30°C 時，甜玉米在一天內便失去糖分 60%；但在 0°C 時，同樣一天內只失糖 5%（圖一）⁽¹⁴⁾在 20°C 時，剛採收之蘆筍在一天內便失去維他命 C 50%，但在 0°C 時，需要 12 天才會失去同樣比率之維他命 C。豌豆在 20°C 時，一天失去 23% 維他命 C，在 4°C 時一天只失去 7%（表三）。除了一些例外，就生理和病理而言，最佳之貯藏溫度是恰在果蔬之冰點以上一度左右。

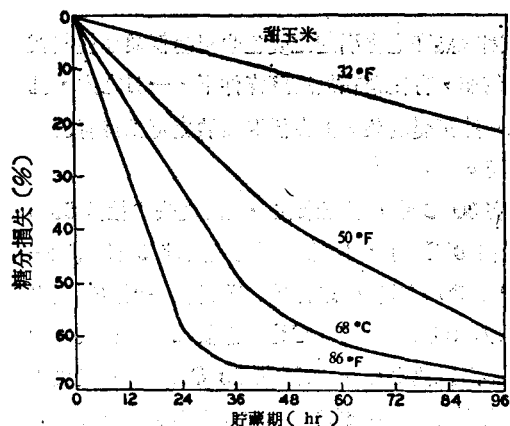
因失水而枯萎為果蔬失去鮮度原因之一，葉蔬放在空氣中，其含水率與空氣中之相對濕度成平衡狀。大部分蔬菜含水率在 80~95% 範圍，在相對濕度低之空氣中，極易蒸散。許多蔬菜，只要失水 3~6%，品質顯著降低，而降低空氣溫度，能提高其相對濕度，因而，防止其水分之蒸散。

萵苣在 0°C 時可保鮮 20 天，但在 23°C 時僅能保鮮 5 天⁽¹³⁾（圖二）

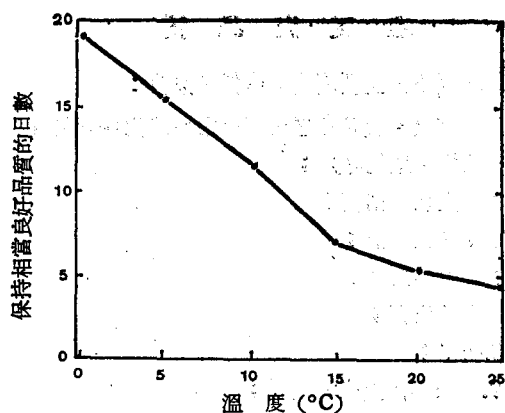
表三：貯藏期新鮮蔬菜之維他命 C 損失

品名	貯藏溫度 (°C)	維他命 C 總量	
		新鮮時 (mg/100g)	24hr 後 48hr 後之損失%
法國豆	4	25.6	22 34
	12		26 40
	20		36 52
豌豆	4	36	7 10
	12		18 29
	20		23 36
菠菜 (春季)	4	39.8	20 32
	12		27 43
	20		34 54
菠菜 (秋季)	4	72.3	27 33
	12		41 51
	20		56 79
菠菜 (冬季)	4	120.5	5 8
	12		5 8
	20		14 20

表四列有各種蔬菜在各自適宜的溫濕度環境下之貯藏壽命。⁽¹³⁾



圖一：甜玉米中糖分損失與溫度之關係



圖二：高苳在各種溫度下保持相當良好品質所需的日數

表四 蔬菜在貯運期適宜的溫度、相對濕度、貯藏壽命、水分含量及比熱

蔬菜種類 (中名) (英名)	溫度 (°F)	相對濕度 (%)	貯藏壽命	水分含量 (%)	比熱 (Btu/lb-F)
朝鮮薊 (Artichoke, globe)	32	95+	2 星期	84	.87
朝鮮薊 (Artichoke, Jerusalem)	31-32	90-95	5 月	80	.84
蘆筍 (Asparagus)	32-36	95+	2-3 星期	98	.94
菜豆 (Beans, lima)				66	.73
帶莢 (in pod)	40-45	95	3-5 天	—	—
不帶莢 (Shelled)	37	95	1 星期	—	—
四季豆 (Beans, snap)	38-42	95+	10 天	89	.91
根甜菜, 成束 (Beets, bunched)	32	95+	10-14 天	—	—
不帶葉, 供鮮菜市場 (topped, fresh market)	32	98-100	3-5 月	88	.90
不帶葉, 加工用 (topped, processing)	32	98-100	8 月	—	—
青花菜 (Broccoli)	32	95+	10-14 天	90	.92
抱子甘藍 (Brussels sprouts)	32	95+	3-5 星期	85	.88
甘藍, 早生種 (Cabbage, early)	32	98	3-6 星期	92	.94
晚生種 (late)	31-32	98	4-6 月	92	.94
白菜 (Chinese)	32	95+	1-2 月	95	.96
胡蘿蔔, 未熟, 成束 (Carrot, immature, bunched)	32	95+	3 星期	—	—
未熟, 不帶葉 (immature, topped)	32	98-100	1 月	88	.91
成熟, 不帶葉 (mature, topped)	32	98-100	6-9 月	88	.91
花椰菜 (Cauliflower)	32	95+	1 月	92	.93
根芹菜 (Celeriac)	32	98-100	6-8 月	88	.91
芹菜 (Celery)	32	95+	2-4 星期	94	.95
葉甜菜 (Chard)	32	95+	10-14 天	—	—
野生苦苣 (Chicory, witloof)	32	95+	2-4 星期	—	—
光葉羽衣甘藍 (Collards)	32	95+	10-14 天	87	.90
胡瓜 (Cucumber)	50-55	95	10-14 天	96	.97
茄子 (Eggplant)	50-55	95	10-14 天	93	.94
苦苣及寬葉苦苣 (Endive and escarole)	32	95+	2-3 星期	93	.95
大蒜 (Garlic)	31-32	60	6-7 月	61	.69
薑 (Ginger)	55	65	6 月	87	.90
各種綠葉菜 (Greens, various leafy)	32	95+	10-14 天	—	—

辣根 (Horseradish)	30-32	98-100	1 年	75	.80
羽衣甘藍 (Kale)	32	95+	10-14 天	87	.89
球莖甘藍 (Kohlrabi)	32	95+	1 月	90	.92
韭薹 (Leek)	32	95+	2-3 月	85	.88
結球萵苣 (Lettuce, head)	32	95+	2-3 星期	95	.96
不結球萵苣 (Leaf, semi-heading)	32	95+	3-6 天	—	—
洋菇 (Mushrooms)	32	95	8-12 天	91	.93
洋香瓜 (Muskmelons)				93	.94
大香瓜, 硬熟果 (Hard ripe)	38-40	95	10-14 天		
東部精選果 (Eastern choice)	38-40	95	7-10 天		
西部精選果 (Western choice)	34-36	95	4-6 天		
加薩巴瓜 (Casaba)	45-50	85-95	3 星期		
柯林紹瓜 (Crenshaw)	45-50	85-95	2 星期		
蜜露香瓜 (Honey Dew)	45-50	85-95	2-3 星期		
波斯香瓜 (Persian)	45-50	90-95	2 星期		
黃秋葵 (Okra)	45-50	95+	1 星期	90	.92
乾洋葱 (Onions, dry)	31-32	65-70	7月(5)	87	.90
綠洋葱 (green)	32	95+	1 星期	89	.91
香芹菜 (Parsley)	32	95+	1-2 月	85	.88
防風 (Parsnips)	32	98+	4-5 月	79	.83
豌豆 (Peas, garden)	32	95+	7-10 天	74	.79
豌豆莢 (edible podded)	32	95+	3-5 天	—	—
綠甜椒 (Pepper, green)	45-50	95	2 星期	92	.94
熟甜椒 (ripe)	40-45	95	1 星期		
馬鈴薯, 早熟種 (Potatoes, early)	35-59	85	2月以上(5)	81	.85
晚熟種 (late)	35-59	85	2月以上(5)	78	.82
美國南瓜 (Pumpkins)	50-60	60	30-180天	90	.92
春蘿蔔, 除葉 (Radish, spring topped)	32	95+	3-4 星期	94	.96
冬蘿蔔 (winter)	32	98	6 月	—	—
食用大黃 (Rhubarb)	32	98	2-3 星期	95	.96
蕪菁甘藍 (Rutabagas)	32	98	2-4 月	89	.91
波羅門參, 除葉 (Salsify, topped)	32	98	2-4 月	79	.83
豇豆 (Southern peas)	38-42	95+	1 星期	—	—
菠菜 (Spinach)	32	95+	10-14 天	93	.94
夏南瓜 (Squash, summer)	50	95	1 星期	94	.95
冬南瓜 (winter)	50-60	60	30-180天	85	.88
甜玉米 (Sweet corn)	32	95+	4-6 天	74	.79
甘藷 (Sweetpotatoes)	55	90	4-6 月	68	.75
蕃茄, 未熟 (Tomatoes, unripe)	50以上	90		93	.94
完熟 (ripe)	35-45	90	3-5 天	94	.95
蕪菁 (Turnip)	32	95+	2-4 月	91	.93
蕪菁葉 (Turnip greens)	32	95+	10-14 天	90	.92
荸薺 (Water chestnuts)	40-45	98	4 月	—	—
豆瓣菜 (Watercress)	32	95	4-7 天	93	.95
西瓜 (Watermelon)	45-60	80-90	2 星期	93	.94
山藥 (Yam)	60	60或100		—	—

預冷之定義

果蔬預冷之功能為在短時間內，除去剛採收果蔬之田間餘熱 (field heat)，以防止其腐敗，並儘可能保持果蔬原有之鮮度和品味。通常，一俟果蔬採收需邊採即予以預冷。並且，冷至某特定低溫，方能防止在採收後，運銷貯藏期內腐敗微生物之生長，抑制酵素活動和呼吸。在國內而言，一般內銷菜蔬之運銷時期甚短，並不需要貯藏，但是，一般外銷及部份內銷果蔬則需較長之運銷和貯藏。

嚴格說來，預冷之冷卻速度要迅速，應在數小時甚至數分鐘之內完成。需時數天之冷卻速度不能稱為預冷。預冷之時機應在採收後，包裝前後運輸、貯藏或加工前。預冷之後需迅速予以冷藏。

果蔬預冷之需求

果蔬種類多，其預冷之需求也不同。預冷之方式也不一樣。如何選擇合適之預冷方法決定於各項因素，如：冷凍機械與其費用、處理量多寡、成本，及果蔬本身之限制等，有些產品極易腐敗，在採收後需迅即予以預冷。這類產品中，蔬菜有：蘆筍、四季豆、青花菜、花椰菜、甜玉米、蕃茄，及葉菜類。蔬菜中其稍可久存者有：抱子甘藍、甘藍、芹菜、紅蘿蔔、白蘿蔔等，再如：馬鈴薯、甘薯、南瓜和成熟之綠蕃茄等，預冷對其並不要緊，但當採收時田間溫度甚高時，預冷也有需要。

蔬菜之敗壞 (deterioration)，如同呼吸，在低溫下進行得慢，在高溫下進行快。例如：菠菜在 80F (26.7°C) 下，其變為不能賣程度的速率比在 35F (1.7°C) 時之十三倍，遲緩預冷一小時，可使零售壽命損失半天。⁽¹⁰⁾

預冷之方法

預冷種類包括：水冷、風冷、真空冷，及加冰接觸等四種。

強制通風空冷效率較高於室內冷卻，已大規模用於蕃茄、甜瓜、瓜類、花椰菜、芹菜，和菠菜等。

水冷法冷卻快速，已大規模用於紅蘿蔔、白蘿蔔、甜玉米、蘆筍、和芹菜等。水冷較氣冷成本較高，以連續淋式其冷卻較勻，對批式堆積冷卻則較不均勻。維護較繁，病菌較易藉水傳播感染。

真空預冷適合葉菜類，因其單位重量之表面積大，在預冷時，菜葉損失約 2.5~3% 之水分，因

其水分自葉菜之各部蒸散，故不影響其品質，且可預先噴水，則更可保持其原有水分，不易用別法預冷之葉菜類可在田間包裝，可用此法在 0.33~0.5 小時內均勻地予以冷卻。美國加州絕大部分之萵苣菜在裝運前用此法預冷。部分芹菜、花椰、甜玉米、紅蘿蔔，和白蘿蔔也用真空預冷。

加冰接觸是有效預冷方式之一，其方式為將碎冰撒在蔬菜上面，或撒在包裝容器上面。廣泛地用於菠菜等葉菜，容器上撒冰用於紅白蘿蔔、芹菜和甜玉米等。

水冷 (Hydrocooling)

用水將產品之熱，藉對流作用傳至冷媒或冰塊。由於用法簡單、經濟、有效、水冷法普遍應用於預冷。其基本熱傳公式為：

$$Q = hA\Delta T$$

式中 Q：熱傳速率

h：熱傳係數

A：熱傳總面積

ΔT ：產品表面與周圍溫度之差

當水快速流過產品表面時，表面之熱傳阻力幾可忽略，水溫與產品表面溫度幾為一致，俟產品內部熱量傳至表面，即可傳至水中。因此，在理想水冷狀況時，適宜之平均對熱流傳係數 (film Coefficient)，粗計為 680w/m²K；平均接觸表面溫差約為 0.44K，依此計算，則單位產品面積之熱傳速率為：

$$Q' = h\Delta t = 680 \times 0.44 = 299w/m^2$$

此熱傳速率應是果蔬水冷之極限。其實際冷卻速率受產品內部熱傳速率之影響，即受產品大小、形狀、組織、熱性質等之影響。⁽¹²⁾

水冷法冷卻快速，可大規模用於紅、白蘿蔔、甜玉米、蘆筍、和芹菜等。

水冷之方式有：①淹水 (Flooding)；②噴水 (Spraying)；③浸水 (Immersing) 三種。淹水式為大量冷水由上方水槽靠重力自然流下，流經產品。噴水式冷水由置於產品上方之噴嘴噴洒在下方輸送帶之產品上，而浸水式是將產品浸沒在流動之冷水中。

水冷之系統則分二種，一為連續式 (Flow-through)，另為批式 (Batch system)。在連續式中，產品不斷輸送至水冷隧道，以上述三種方式，任一種予以冷卻。預冷之速率主要視：(1)水溫

與產品溫度之差；(2)水流之大小；及(3)冰與產品之接觸的面積多少而定。

蔬菜也可在大木條箱內利用浸水與淹水合併法加以預冷。使木箱在慢速移動之輸送帶上經過一水冷隧道，隧道底部有一冷水槽，大木箱之底部自冷水中經過，而木箱上部產品之冷卻則用幫浦將冷水抽上而使其落下。

風冷 (Forced-air Precooling)

風冷之熱傳公式和水冷者一樣，其對流熱傳係數 h 是風速和物品物理性質的函數。但是，風冷之熱傳係數 h 較水冷者小甚多。爲了提高冷卻速度，風溫必需降到冰點以下。-6.7°C 之冷風以 3.05 m/s 接近速度來冷卻單個蘋果，則其冷卻速度較以 1.7°C 之冷水噴洒之冷卻速度爲快 (Pflug, 1965)，以此算出之 h 值爲 $41 \text{ w/m}^2\text{-}^\circ\text{C}$ 。以風冷冷卻堆積 0.36 公尺高之馬鈴薯，單個體間之風速 (interstitial velocity) 爲 7.11 m/s，則在堆積中心之 h 值測得爲 $20.8 \text{ w/m}^2\text{-}^\circ\text{C}$ (Minh, 等 1969)。堆積體之 h 值較單個體 h 值爲小之原因之一是由於堆積後其暴露之表面積減少之故。風冷 72mm 直徑之堆積柳橙，Baird 和 Gaffney 二氏算得：在 0.055 及 2.1 m/s 之接近風速下，其 h 值各爲 8.36 及 $55.12 \text{ w/m}^2\text{-}^\circ\text{C}$ 。(11)

真空預冷

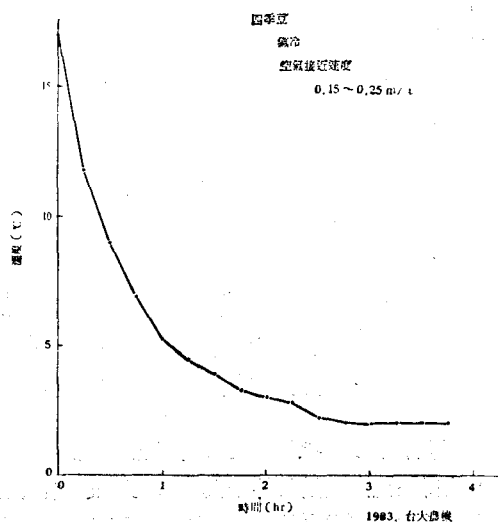
在密閉室內，如以真空幫浦抽氣使之降低氣壓，則可降低水之汽化溫度。當密閉室壓力低至 4.6 厘米時，水之汽化溫度到達 0°C，室內蔬菜組織表面上之水分因而汽化，其所需之汽化熱能來自蔬菜本身，因此，如能保持此低壓到相當時間，蔬菜溫度會降至 0°C。Barger 氏在 1961 年所作試驗，使萵苣蒸發 1% 的水分可使它本身平均降低約 5°C，蒸發 3% 水分，則可降溫 15°C。(10)

真空預冷之速率主要受物品單位體積之表面積大小及物品自其組織釋出水分之難易所影響。例如蕃茄，其表面積比率小，且表皮層阻碍水分之釋出，故不適於真空預冷。

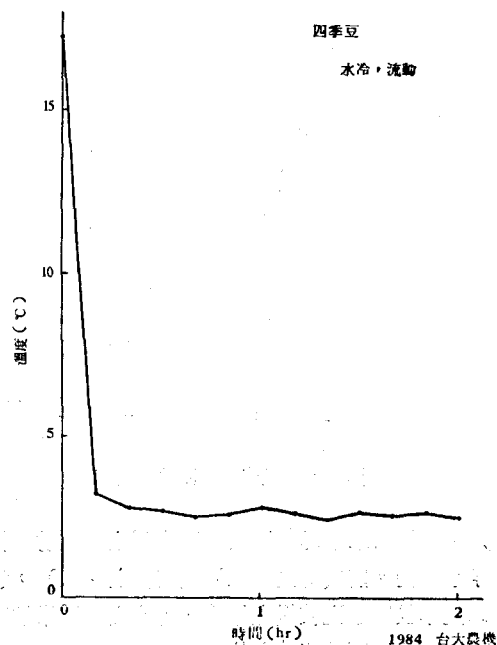
蔬菜預冷資料

在 0.15~0.25 m/s 接近風速 (Approach Velocity) 下，四季豆之風冷冷卻時間相當長久 (圖三)，但如以冷水冷卻，則在 10 分鐘之內即可達到冷水之溫度，其原因爲：冷水與四季豆界面之對流熱傳遞係數較大。同樣條件下，將四季豆置於攪動之冷水中與置於靜止之冷水中作冷卻試驗，則前者降溫更迅速 (圖四、五)。四季豆不宜在 5°C 以下低溫貯存，本試驗之目的在探討其冷卻速率。

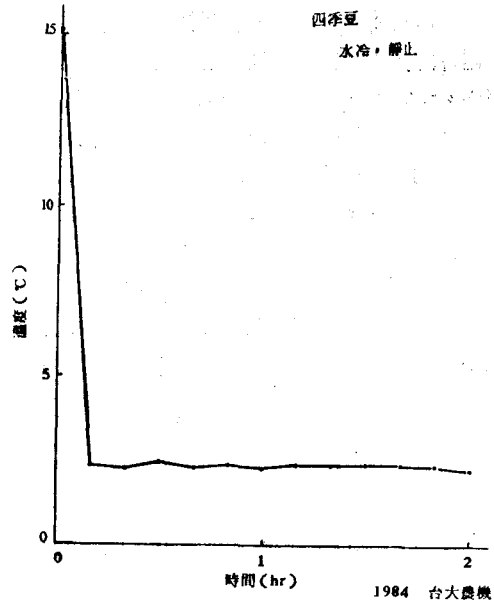
甜玉米之呼吸率和其糖分對溫度極爲敏感，在 0.15~0.25 m/s 風速下，其冷卻相當緩慢 (圖六



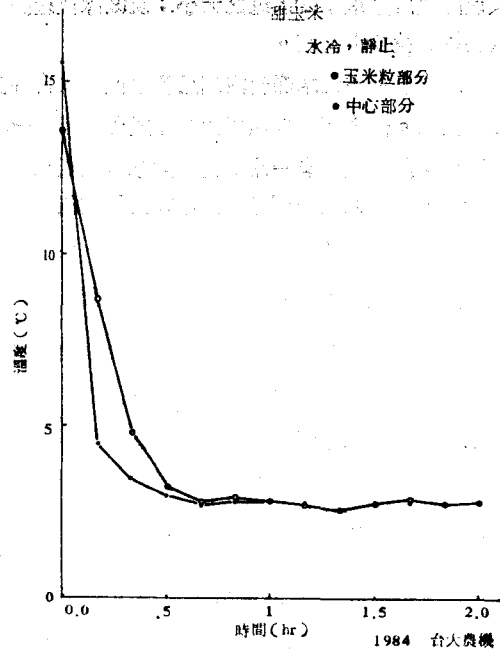
圖三：四季豆之風冷冷卻速率



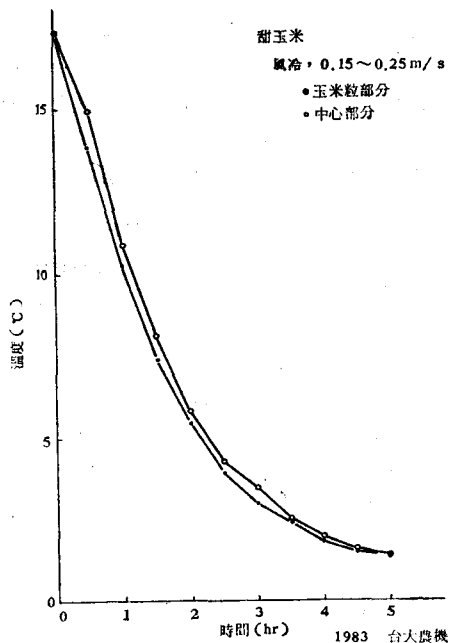
圖四：四季豆在流動冷水中之冷卻速率



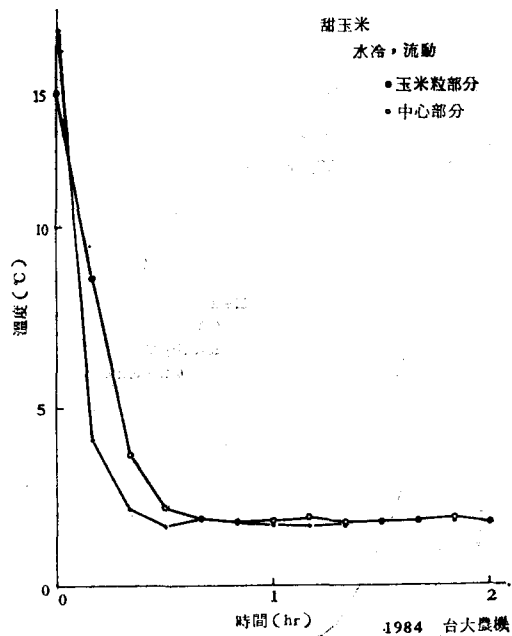
圖五：四季豆在靜止冷水中之冷却速率



圖七：甜玉米穗在靜止冷水中之冷却速率



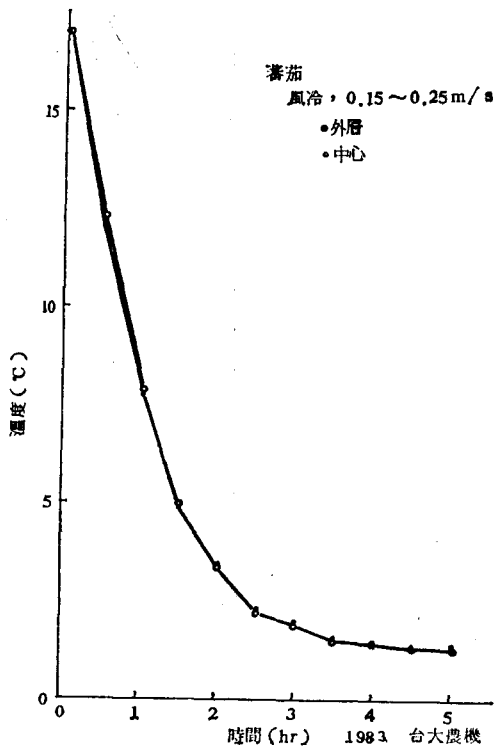
圖六：甜玉米之風冷冷却速率



圖八：甜玉米穗在流動冷水中之冷却速率

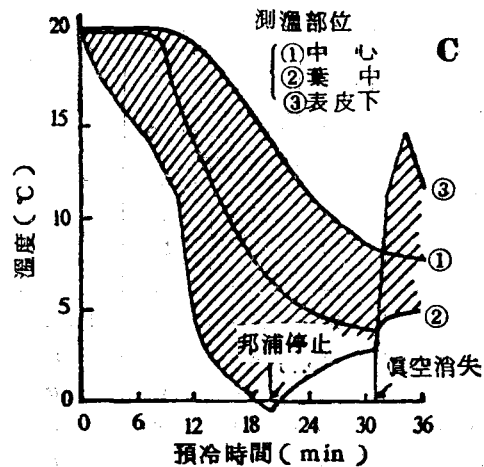
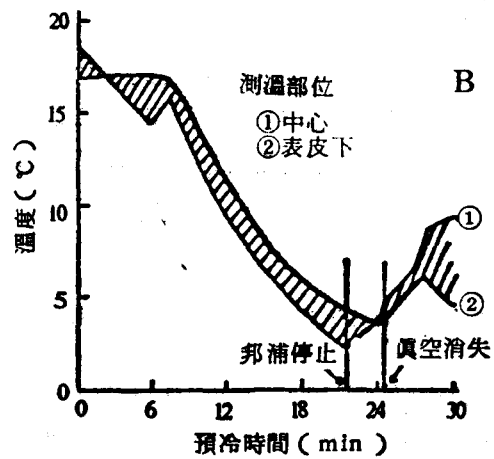
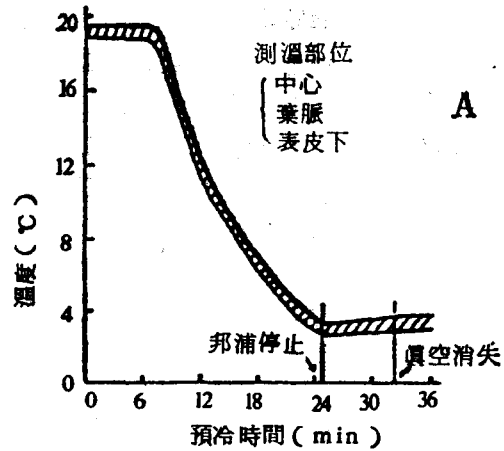
), 如以冷水冷却, 則無論冷水靜止或攪動, 約可在半小時內, 將其降到冷水溫度 (圖七、八), 它的冷却速率較四季豆較慢之原因, 可能由於玉米粒表皮之組織成分較不易傳熱之故。

蕃茄在 $0.15\sim 0.25\text{m/s}$ 風速下之冷却曲線如圖九, 值得注意之點為其外層與中心之溫度相當接近, 表示其內部組織之熱傳相當快捷。同時可能也與蕃茄之大小有關 (被測試之蕃茄之直徑約 5.5 公分)。

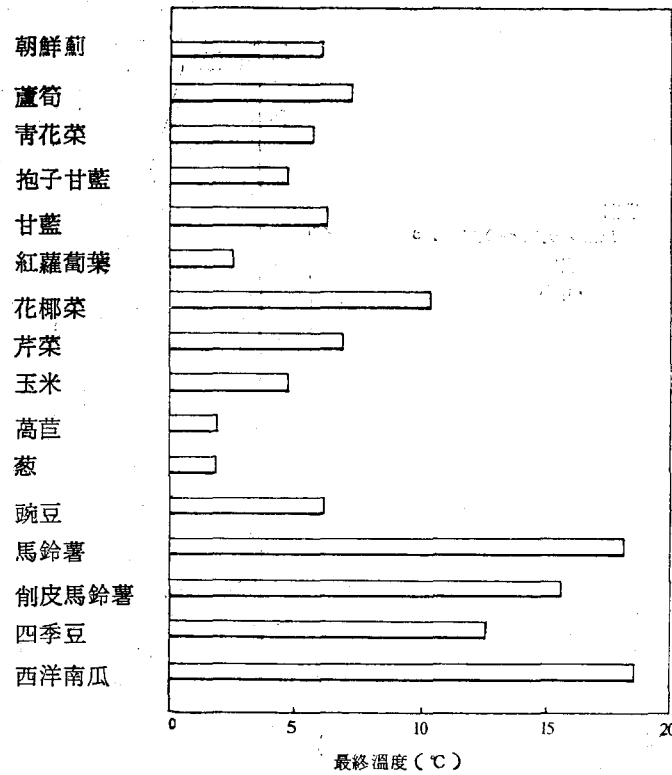


圖九：番茄之風冷冷却速率

圖十A、B、C各為萵苣、大白菜、和甘藍在真空預冷方式下之品溫下降情形⁽⁹⁾。萵苣為應用真空預冷最成功之蔬菜，其原因可在降溫曲線上窺其端倪，即其各部位（中心、葉脈或表皮下）之品溫相當一致。相對的，甘藍在冷却過程中，中心部位和表皮下品溫差異相當大，大白菜在預冷過程中各部位溫差接近萵苣，其原因可能由於菜葉間之結構不如甘藍之緊密。甘藍之菜葉間所形成之空氣層是熱的不良導體。



圖十：萵苣、大白菜和甘藍以真空預冷處理下之品溫變化 1982 小泉武紀等

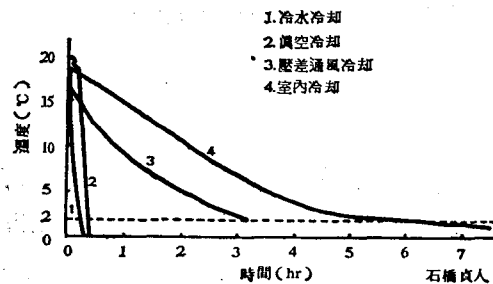


圖十一：真空冷却性能例二（初期品溫 20~22°C；最低壓力 0.532~0.612 KPa；凝結器溫度 -1.7~0°C）

表五為真空冷却性能測定資料，該資料顯示：凡單位體積之表面積大者所需時間短，而終期品溫降得很低。

表五 真空冷却性能例 小泉武紀

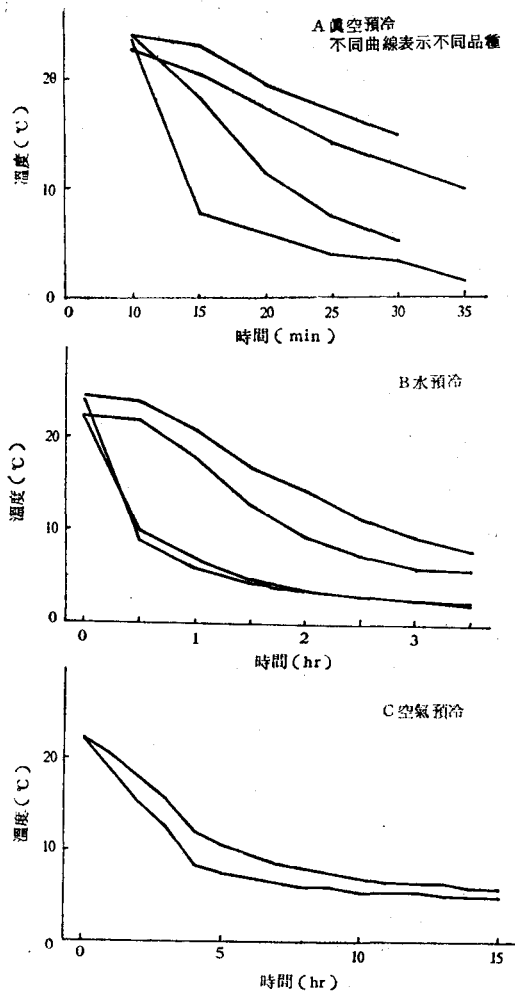
品名	時間 (min)	品溫 (°C)		備註
		初期	終期	
香芹菜	7	18.8	0.3	萬豆1967
甘藍	15	21.0	2.1	"
蔥	7	17.5	0.0	"
甜玉米	24	32.0	1.5	"
甜玉米	29	19.4	5.0	Barger
菜豆	26	28.0	8.0	萬豆
草莓	26	19.4	7.8	"
大芹菜	8	11.4	4.2	"
紅蘿蔔	10	16.6	12.8	"
黃瓜	17	22.2	19.2	"
蕃茄	17	24.6	22.0	"
甜椒	9	18.0	12.6	"



圖十二：青豌豆以不同方式預冷之冷却速率

圖十一為 16 種蔬菜在同一真空預冷條件下，在冷却槽內停留 25~30 分鐘後之終期品溫⁽¹²⁾，同樣顯示：單位體積之表面積大之蔬菜在同樣時間內，品溫降得快，如蔥、萵苣菜、及蘿蔔葉等；而單位體積之表面積大之蔬菜，如南瓜、馬鈴薯、四季豆等，則品溫降得少。

表六為日本食品流通技術研究所所作試驗結果資料，所測試之蔬菜也為國人常食用者，初期品溫在 27~31°C 範圍，與臺省夏季氣溫相近，每種蔬



圖十三：不同品種之甘藍在不同方式預冷下之冷卻速率
(頂部之下5公分處) 1969 松田好裕等

菜測定表裡兩點，時間均設為 20 分鐘，結果顯示：就個體而論，表面積大者，仍然冷卻較快；成束或集合之蔬菜，則束中央或集合體中央之空氣溫度難降下，其原因為在該處之水分難蒸發之故；此十數種蔬菜中，小黃瓜、茄子，和扁豆莢顯然不適合應用真空預冷之方式。

表七為真空預冷性能之例三⁽⁸⁾，是在相同之預冷條件下，比較有包裝和無包裝情況下之冷卻效果。結果顯示：用紙箱或用有孔塑膠膜或有孔塑膠袋包裝之蔬菜，其真空預冷效果與無包裝者無太大差異，但是，用無孔塑膠袋包裝，則明顯失去預冷效果，其理自明。

表六 真空預冷性能例三
(日本，食品流通技術研究所，1975)

品名	初期品溫 (°C)	部位	20分後溫度 (°C)	20分後壓力 (Torr)	失重 %
萵苣	28	葉部中心	0.5 1.8	5.0	5.2
香菜 (Parsley)	30	莖中心 束中心	5.3 6.1	6.2	8.0
菠菜	28	莖內部 束內部	0.3 1.3	6.2	5.2
甜玉米	27	穗中心 粒中心	5.3 5.5	4.4	2.6
甜椒	32	中心 內部	9.5 9.8	4.3	2.7
扁豆莢	31	中心 束中央 (空氣)	15.1 14.8	4.4	2.5
茄子	28	中心 集合體 中 (空氣)	20.0 18.0	5.2	1.7
小黃瓜	27	中央 集合體 中心 (空氣)	25.5 25.5	4.1	1.6
蘆筍	28	軸內部 束中央 (空氣)	4.3 15.2	5.0	2.2
蔥	29	莖中心 束中央	4.6 9.6	6.8	5.5

註：供試材料重 200~600 公克

表八為 Steward 和 Couey 二氏在 1963 年之試驗測定多種蔬菜之半冷時間之結果。預冷方式包括水冷和壓差式風冷；預冷時物品之情況有單個體者，有不同包裝、不同堆積方式者。所謂半冷時間 (或稱半冷期 half cooling time) 是指一定的一段時間，在此段時間內，物品與冷卻媒體之溫差降低達原始溫差之一半。例如，蘆筍之始溫為 30°C，以 0°C 冷水為冷媒，則蘆筍溫度降至 15°C 時所需之時間為其半冷期，由此可知，在半冷期內，物品並未降溫到必需之低溫。7/8 冷期 (7/8 cooling time) 比半冷期更實用、易瞭解⁽¹¹⁾，它也是指一定的一段時間，在此段時間內，物品與冷卻媒體之溫差降低達原始溫差之 1/8。1/8 冷期可由實驗

表七 真空預冷性能例三*

(1967, 石橋貞人)

品名	包裝材料	** 溫度 (°C)			失重 %
		初溫	終溫		
			A	B	
甘藍	無包裝 紙箱	21.7	5.0	6.7	3.0
		21.7	5.6	5.6	
花椰菜	無包裝 有孔薄膜	17.2	7.8	10.0	1.7
		17.2	8.9	11.7	
芹菜	無包裝 有孔塑膠袋	18.3	6.7	8.3	1.9
		18.9	6.7	8.9	
玉米	無包裝 紙箱	24.4	2.2	4.4	3.8
		24.4	1.7	3.3	
萵苣	無包裝 紙箱	19.4	2.2	3.3	3.7
		18.9	1.7	2.2	
洋芫荽 (Parsley)	無包裝 有孔塑膠袋	25.6	1.7	5.6	4.9
		25.6	1.7	2.8	
馬鈴薯	無包裝	20.0	17.8	18.3	0.5
剝皮馬鈴薯	〃	21.1	14.4	15.6	1.0
Salad mix	有孔塑膠袋 無孔	16.7	1.7	1.7	3.0
		16.7		12.8	

* 真空冷却條件：最低壓力 4.0~4.6 mm Hg 冷凝器溫度 -1.7~0.0°C，冷却槽內保留時間 25~30分。

**A為最低溫度；B為減壓停止後不傷害組織之溫度。

直接測得，也可由半冷期間推算，即76冷期約等於半冷期之三倍。此項推算可擴大表八之應用，例如，單個體帶包葉之甜玉米穗，在水冷時，其半冷期為 20 分鐘，則其76冷期當為 60 分鐘。

同樣的蔬菜以不同方式來預冷，其所需冷却時間也不同。例如，芹菜在條板箱內水冷，半冷期只需 9.1 分鐘，而以差壓風冷則需 35~60 分鐘，蕃茄水冷只需 11 分鐘，差壓風冷需時 47 分鐘。

圖十二為青豌豆以不同方式預冷之冷却速率比較。1、2、3、4 四曲線各代表：水冷、真空冷却、差壓風冷、及室內冷却 (Room Cooling)。其冷却速率之差異一目瞭然。不同品種之甘藍在不同方式預冷下之冷却速率見圖十三之(A、B、C各圖

表八 蔬菜水冷、風冷性能

(1963, Steward and Couey)

品名	冷却劑	預冷時之情況	半冷時間
朝鮮薊	水	單個體	8 min
		在板條箱內，不加蓋	12 min
蘆筍	〃	單個蘆筍	1.1 min
		在有蓋板條箱內	2.2 min
青花菜	〃	單個體	2.1 min
		在有襯墊之木條箱內，3/4浸水，疊四層	2.2 min
抱子甘藍	〃	在無襯墊之木條箱內，疊四層	3.1 min
		單個體	4.4 min
甘藍	〃	在紙板箱內，九吋深，浸於水中	4.8 min
		單個體	1.1 hr
胡蘿蔔	〃	在紙板箱內，兩層，開蓋，浸水中	1.3 hr
		單個體，直徑 1 1/2 吋	3.2 min
花椰菜	〃	在 50 磅裝網袋內，平放	4.4 min
		修整好的單個體	7.2 min
芹菜	水	在單層紙板箱內，花球以塑膠膜包裹	1.5 hr
		單個葉柄	5.8 min
豌豆	水	以紙作襯墊之單層條板箱內	9.1 min
		在鐵絲扣條板箱內，空氣自一邊吹向另一邊	35 min
馬鈴薯	風	在紙板箱內	60 min
		單個體	1.9 min
蘿苣 (帶葉)	〃	在斗籃內，無蓋	2.8 min
		在斗籃內，加水，預冷時鼓風	2~3 hr
甜玉米	〃	在斗籃內，加水，不預冷，車動時鼓風	8~18 hr
		單個體，或堆高九吋	11 min
蕃茄	〃	在 100 磅袋內，在機械冷藏車上	24 hr
		單個體	1.1 min
蘿苣 (不帶葉)	〃	在條板箱內，九吋深	1.9 min
		在紙板箱內，九吋深，浸水內	1.4 min
甜玉米	〃	堆成九吋深	2.2 min
		單個穗；帶包葉	20 min
蘿苣	〃	在鐵絲扣條板箱內，五個穗深	28 min
		單個體	10 min
薯茄	〃	堆成五個高	11 min
		風壓 0.1 吋；在紙板箱內	47 min

中之不同曲線代表不同品種)。圖中顯示：品種差異甚大。同時可以看出，以室內冷卻，需時甚久⁽¹⁰⁾。

結 論

冷藏為保持蔬菜新鮮品質、調節市場供需、減少損失、維護產銷雙方利益之最佳途徑之一。為確實達成保鮮，進而延長其安全貯藏期，某些蔬菜需在冷藏前予以預冷，以儘早降溫至設定溫度，並減輕冷藏庫之冷凍負荷。

葉菜類，如：抱子甘藍、白菜、芹菜、韭、蔥、萵苣、芥菜、菠菜等是可以應用真空預冷方式來做，惟設備費鉅大，蔬菜又不是高價作物，其經濟上之實用性，還需詳作計算。

水冷法簡單，冷卻均勻，是很普遍使用之預冷方法，可以和清洗作業併行（紅蘿蔔在冷藏前用水洗淨並吹乾表面水滴，而後包裝冷藏有助減少長期冷藏中之腐爛）⁽⁶⁾。惟當注意病菌之傳播、腐爛之發生。

差壓式風冷在原則上可應用在任一種蔬菜，它的冷卻時間是室內冷卻時間的 $\frac{1}{4}$ ，甚至 $\frac{1}{5}$ 。但是，比水冷和真空冷卻仍高出兩三倍，對不適於水冷的蔬菜，當以風冷完成預冷作業。

加冰接觸是有效預冷方式之一，國內果菜市場已有應用。使用相當簡便，如果在偏遠地區之果園菜園也有碎冰可資應用，則對某些對溫度極敏感之果蔬之保鮮很有助益。

在國內，蔬菜之供應是患不均，並非不足，其價格雖偶而在颱風或梅雨季抬高得超過尋常，大部份時間裏是相當便宜。因此，其收穫後之處理，無論是清洗、預冷、包裝、加工，得考慮其處理成本。蔬菜之預冷在技術上已有許多先進國家之資料數據可供參考，惟在經濟上之可行性却必先需深入考察國內生產及消費情況，各種預冷之理論與實務需有人積極從事研究。

引 用 文 獻

1. 廖士毅、林昌義，1976，蔬菜生產專業區產銷之經濟研究，農產運銷專題研究報告專輯第三輯，經濟部農產運銷改進小組編印。
2. 錢明賽，1979，如何減少農作物收穫後的損失，

食品工業，Vol. 11, No. 11 臺灣新竹。

3. 蕭介宗、盧福明、雷鵬魁，1984，臺灣主要蔬菜冷藏方式之研究和改善工程分析，臺大農機系研究報告。
4. 陳如茵、楊瑞森、呂理焜，1982，甘藍及結球白菜大規模冷藏，食品工業發展研究所No. 268 報告，臺灣新竹。
5. 王家仁、吳碧鏗，1977，洋葱、胡蘿蔔及馬鈴薯實用冷藏法之研究，食品工業發展研究所研究報告第六輯之第 100 號，臺灣新竹。
6. 王家仁、戴志成、吳堅鏗，1977，洋葱、胡蘿蔔及馬鈴薯冷藏手冊，食品工業發展研究所，食品工業叢書之23，臺灣新竹。
7. 小野田、明彥，野菜之預冷方法及設施現狀。農業機械化研究所，日本埼玉縣。
8. 石橋貞人，1967，葉菜類用真空冷卻裝置之原理、構造及性能，食品工業 Vol. 10 No. 14
9. 小泉武紀、小野田、明彥，1982，真空冷卻設施之調查研究，農業機械化研究所，日本埼玉縣。
10. 松田好裕、時田鐵二、島津陽子、北尾次郎，1969，甘藍之預冷研究，科學技術廳研究調查局，日本。
11. Mitchell F. G., Rene Guillou, R. A. Parsons. 1972. Commercial Cooling of Fruits and Vegetables. California Agricultural Experiment Station, Extension Service Manual 43
12. ASHRAE: Handbook & Product Directory. 1978 Applications.
13. Ryall A. L. and W. J. Lipton. 1972. Handling, Transportation and Storage of Fruits and Vegetables, Vol. 1.
14. Karel M, O. R. Fennema, and D. B. Lund. 1976. Physical Principles of Food Preservation. Marcel Dekker, Inc. New York

誌 謝

本文為「果菜之預冷方式與保鮮效果之研究」專題之研究報告之一，該專題承行政院農業發展委員會經費支助，同事蕭介宗博士、蔡慶隆講師提供部份資料，楊進添助理協助實驗，一併致謝。