

改良式果蔬冷藏庫冷卻系統

李社修、李允中

食品工業發展研究所副研究員、國立臺灣大學農機系副教授

摘 要

本研究利用非傳統的冷卻方式以取代蒸發器冷卻的效果。設計此一機構必須準備儲冰式冰水機與冰水冷風機，並利用泵浦將冰水送入位於冷藏庫內的冰水冷風機經熱交換而送出低溫高濕的空氣。經40分鐘運作後冷藏庫內平均溫度為6°C，出風溫度為5°C，相對濕度自60%起最終維持在85%。200分鐘運作後蔬菜品溫由25°C降到8°C，失重3.1%。電力使用平均為一冷凍噸之傳統冷藏庫每小時使用0.64度(KWh)，三冷凍噸之儲冰式冰水機儲冰時每小時使用1.64度，冰水冷風機(1.375 HP)每小時使用0.9度。

傳統冷藏庫初期降溫時皆呈現很大的溫度升降變化。此一現象直到庫內溫度分佈平衡後才穩定。因此在蔬菜冷卻階段冷凍機啟動與停機時產生相對濕度的巨大變動。冰水冷風機獨自運作時，庫內降溫很穩定地達到平衡狀況，同時可以繼續保持穩定的溫度狀況。相對濕度自啟動後便維持在85%以上，整個階段都沒有太大的變化。

關鍵字：冷藏庫、相對濕度、儲冰

前 言

蔬菜採後經預冷處理保持品質，但有時仍需要低溫儲存以較長期維持一定的品質⁽⁷⁾。一般冷藏庫使用蒸發器強制送風冷卻時會造成空氣相對濕度降低，使蔬菜本身水份蒸發迅速而形成葉面乾枯、產品失重等的現象^(9,11)。雖然針對蔬菜冷藏庫採用加濕器的方法，往往卻形成蒸發器結霜嚴重，除霜時間延長的缺點^(8,10)。因此本研究設計以冰水為媒介的冷卻方式來產生低風溫、高相對濕度、高風速的空氣流來調節冷藏庫內的溫濕度，以期控制於蔬菜低溫儲存的條件內，再加上適當的倉儲擺放位置，減少水份失重，提高冷藏庫的使用效果。

本計畫在農委會輔導之下，從事冷藏庫營運技術管理的研究，發現缺少相對濕度的控制及適當溫度的維持，會使蔬菜的品質仍處於日益惡化的狀況中。因此冷藏庫具備良好設計的溫、濕度控制是蔬菜品質保持的首要因素。就空調技術上而言，一般降溫的狀況極易造成空

氣中濕度的下降。但是在特定的條件下，可以使空氣溫度下降而相對濕度保持一定甚至上昇的情況。根據物理學中空氣的濕氣性質，沿等焓線移動改變的空氣狀況，可以獲得降低乾球溫度及增加相對濕度的空氣品質^(5,6)。此一現象發生在特殊的熱交換器設計及特定交換溫度的熱傳媒介，因此設計熱交換器機構及媒介溫度的條件設定為本計畫的重要目標。提高冷藏庫的基本性能，包括溫濕度控制及運作條件的設定，並測試蔬菜冷藏的效果，以期減少冷藏中的脫水現象與提高冷藏庫使用效率。

材料與方法

1. 實驗蔬菜

取用空心菜、青梗白菜、小白菜、萵苣等四種葉菜作冷藏實驗，每次各取10Kg裝一籃，作混合蔬菜冷藏實驗。

2. 實驗設備

(1) 拼裝式冷藏庫：

冷藏庫的尺寸為270cm長×180cm寬(1.5坪大)，高度為200cm，保溫厚度為5cm(材料為PU發泡棉)。冷凍機組為氣冷式往復式壓縮機，冷凍能力為3,024 Kcal/hr(一冷凍噸)。

(2) 二冷凍噸儲冰式冰水機：

冰水機外觀尺寸為140cm長×90cm寬×110cm高，水槽內部尺寸為78cm長×69cm寬×90cm深，保溫材料厚度為10cm(材料為PU發泡棉)。冷凍機組為往復式壓縮機，採用氣冷式冷凝器，冷凍能力為6,048 Kcal/hr(二冷凍噸)，1.5m長的3/8"銅管作為製冰盤管。底部裝置一個二分之一馬力的離心式送水泵浦，3/4"管徑的出水口，冷凍機運作三小時後，盤管結冰可達直徑5公分以上。

(3) 一冷凍噸儲冰式冰水機：

冰水機外觀尺寸為70cm長×60cm寬×120cm高，水槽內部尺寸為60cm長×50cm寬×80cm深，保溫材料厚度為10cm(材料為PU發泡棉)。冷凍機組為往復式壓縮機，採用氣冷式冷凝器，冷凍能力為3,024 Kcal/hr(一冷凍噸)，1m長的3/8"銅管作為製冰盤管。底部裝置一個二分之一馬力的離心式送水泵浦，3/4"管徑的出水口。

(4) 垂直氣流式冰水冷風機：

利用噴水盤管將冰水霧化注入熱交換區間內，在此與空氣產生熱傳及質傳作用，即降低空氣溫度和提高相對濕度。此型將空氣流垂直導入熱交換區間，交換面積為0.5m²，交換距離為80cm。外部尺寸為50cm寬，100cm長，140cm高。

機構部份：不銹鋼製造，可分為三部份，下方為集排水區，中間為噴水區，上半部為風扇，正前方有門可以開啓。集排水區為水槽和二分之一馬力的離心式送水泵浦。噴水區的噴水盤管為四根80cm長的不銹鋼管組成，管上每隔20cm裝設一1/4"120°廣角實心圓錐噴嘴共裝設12個，噴水區的上方有不銹鋼網以阻擋水汽飛出，下方為斗型的集水盆，噴水區中間充填波浪形塑膠板以增加交換面積。風扇採用三個四分之一馬力，直徑25cm

的風扇。全系統設計及機構如圖 1。

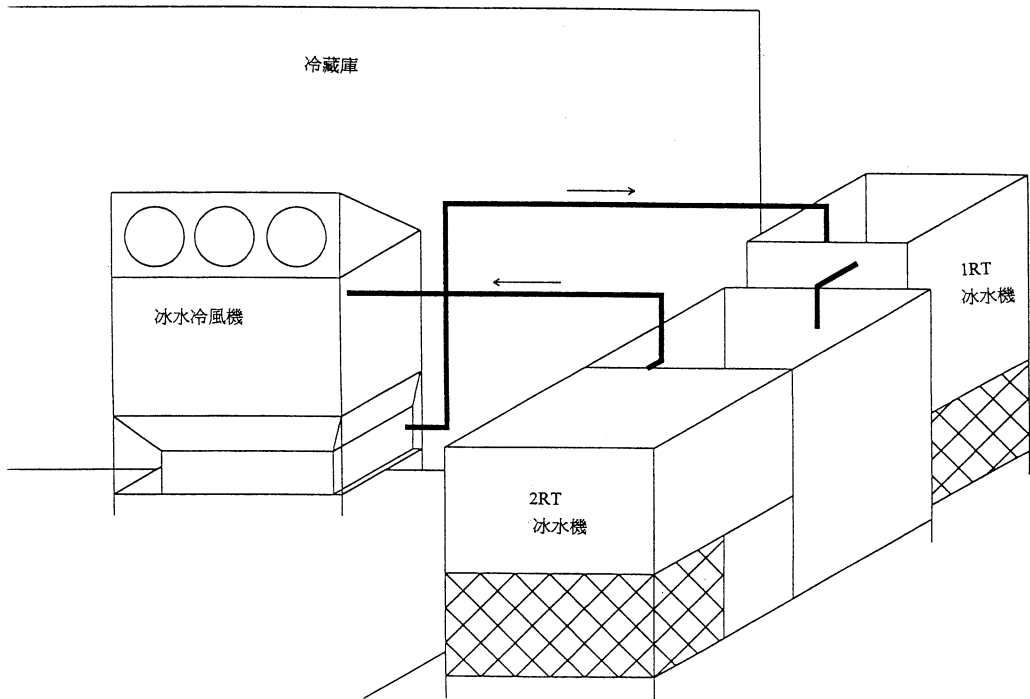


圖 1. 實驗設備佈置圖

Fig 1. The layout of equipments

(5)鐵柄塑膠籃：

可裝入10Kg的葉菜，並可以堆疊起來。尺寸為38cm寬，58cm長，38cm深。

(6)差壓風箱：

尺寸為48cm寬，52cm長，180cm高。排氣量為34cm³。

3. 實驗儀器

(1)多點資料擷取記錄器(MOLYTEK公司，3702型)：

可外接多種感測器組，測量各種的物理參數（如溫度、濕度或電壓等數據）。實驗中連接32組T型熱電偶(T-type Thermocouples)測量溫度。

(2)電腦(ACER公司，1120NX型)：

與資料記錄器透過RS-232連接，將蔬菜溫度變化與時間的關係存入磁碟片記錄及處理。

(3)攜帶型電子式溫濕度計(SHINYEI公司，TRH-CZ型)：

以風扇型溫濕度感測器可即時顯示冷藏庫內之相對濕度及溫度。以3m/sec的空氣流速通過感測器，可以較快及較精確地得到數據。

(4)攜帶型電子式溫濕度計(TESTOTERM公司，TESTO-452型)：

以溫濕度感測器可即時顯示冷藏庫內之相對濕度及溫度。另配置扇型風速計可以測

量風速。

(5)壁掛型電子式溫濕度計(VAISALA公司，HMD-20YB型)：

以溫濕度感測器輸出4-20mA的訊號，經過處理後搭配顯示器，可顯示冷藏庫內之相對濕度及溫度。

(6)攜帶型電子式表面溫度計(ANRITSU公司，HL-200型)：

以不同型式的K型熱電偶探針可即時顯示被測物體的內部溫度或表面溫度及空氣溫度。

(7)精密電力分析儀(ELECONTROL公司，EL-55W型)：

可以測量三相電壓，消耗電流，使用功率，相位角度等電力參數，在實驗中量測冷藏庫和冰水冷風機的動力消耗量，以供成本分析使用資料。

4. 實驗方法

利用非傳統的冷卻方式以取代蒸發器冷卻的效果，運作方式為儲冰式冰水機在冰盤管外儲冰量達一定厚度後，水溫可達0~1°C之間，利用泵浦將冰水送入位於冷藏庫內的冰水冷風機經熱交換而送出低溫高濕的空氣。在此一過程中測量冷藏庫內出風與回風的溫濕度及蔬菜的溫度變化與重量變化。重要工作項目如下：

- (1)量測分析並改善冷藏庫的基本性能，例如：庫房之冷卻能力、庫內溫濕度分佈，並利用電力分析儀測量能源使用效率。另外針對冰水冷風機的溫濕度性能加以改進，使風溫再降低，相對濕度提高。
- (2)葉菜類蔬菜冷藏實驗，將預冷後的蔬菜以組合式冷藏庫冷藏，量測冷藏庫中空氣濕度變化及溫度分佈，並量測蔬菜冷藏所對應的溫度變化曲線及失重率，用以評估在冷藏庫中蔬菜短期儲藏所需的條件。
- (3)針對傳統冷藏庫、冰水冷風機的冷藏方式，配合蔬菜冷藏實驗測量所需的電力以及所獲得的冷凍能力，評估此兩種方式對蔬菜冷藏的效果。

實驗中以四籃共40Kg的四種蔬菜作為冷卻的對象。四個塑膠籃垂直堆疊以差壓風箱抽氣通過冷風實驗方法。冷風機風速在風扇中央為3m/s，風扇周圍為7m/s。根據三小時運作後所得的資料，利用溫度記錄器及各式相對濕度計測量並製成圖表。濕球溫度由包著濕紗布的熱電偶求得，並根據空氣濕氣圖(Psychrometric Chart)求出相對濕度及露點溫度⁽³⁾。

結果與討論

(一) 結果

1. 冰水冷風機運作

經40min運作後冷藏庫內平均溫度為6°C，出風溫度為5°C，相對濕度自60%起上升最終維持在85%。出風溫度與冰水溫度維持3°C的差距。使用電力在儲冰時：11.2KWh/10hr(3RT冰水機)，運作時：2.61KWh/3hr。庫內溫濕度變化曲線如圖2。

2. 冰水冷風機運作，冰水溫度分三階段下降

運作後冷藏庫內平均溫度為 6°C ，出風溫度為 5°C ，相對濕度最終平均維持在 82% 左

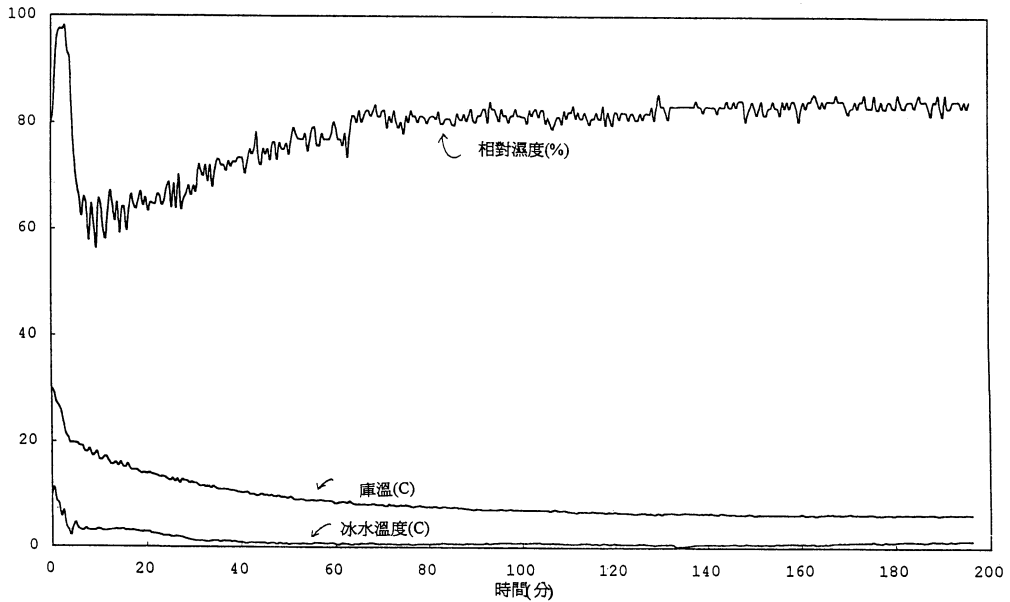


圖 2. 冰水冷風機運作中溫濕度之變化

Fig 2. Changes of temperatures and relative humidity during the operation of wet-air blower systems

右。出風溫度與冰水溫度維持 3°C 的差距。由於冰水溫度的變動致使出風溫度隨之改變而造成相對濕度出現上下的跳動。庫內溫濕度變化曲線如圖 3。

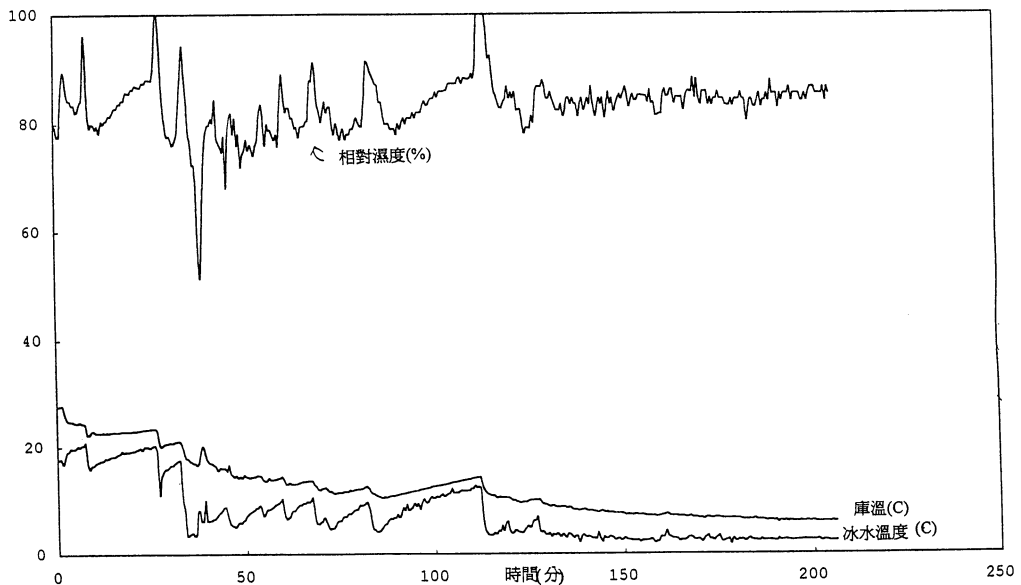


圖 3. 冰水冷風機冰水溫度階段下降之溫濕度變化

Fig 3. The change of temperature and relative humidity while wet air blower

3.傳統冷藏庫蒸發器運作

經30min後冷藏庫內平均溫度為7°C，出風溫度為5°C，相對濕度維持在85%到100%之間變化。使用電力為1.9 KWh/ 170 min。庫內溫濕度變化曲線如圖4。

4.蔬菜試驗

在改良式冷卻系統之貯藏庫中200min運作後蔬菜品溫由25°C降到8°C，失重3.1%。蔬菜品溫變化曲線如圖5。

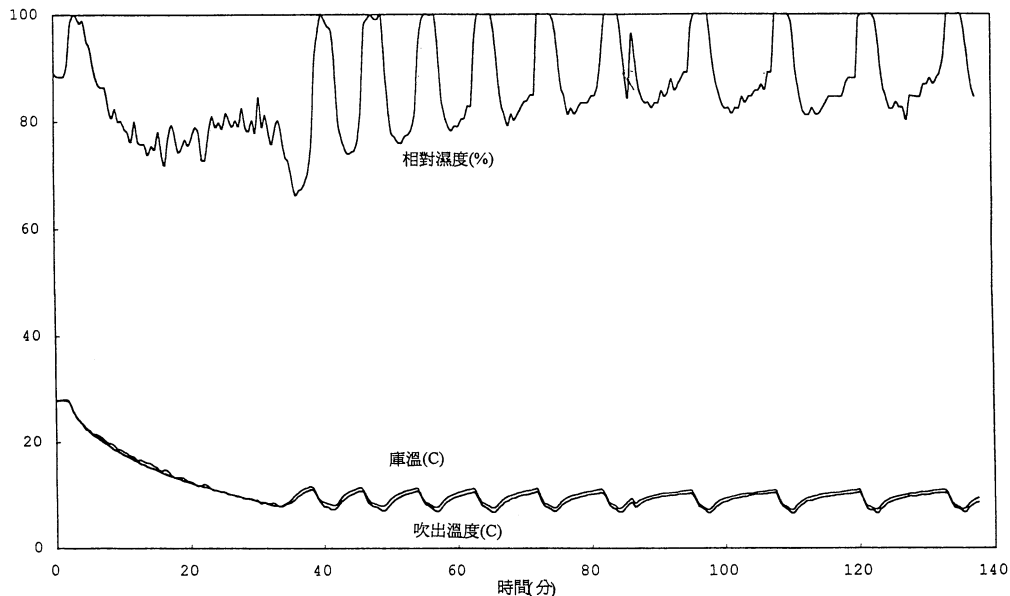


圖4. 傳統冷藏庫運作中溫濕度之變化

Fig 4. Changes of temperatures and relative humidity in conventional cold storage.

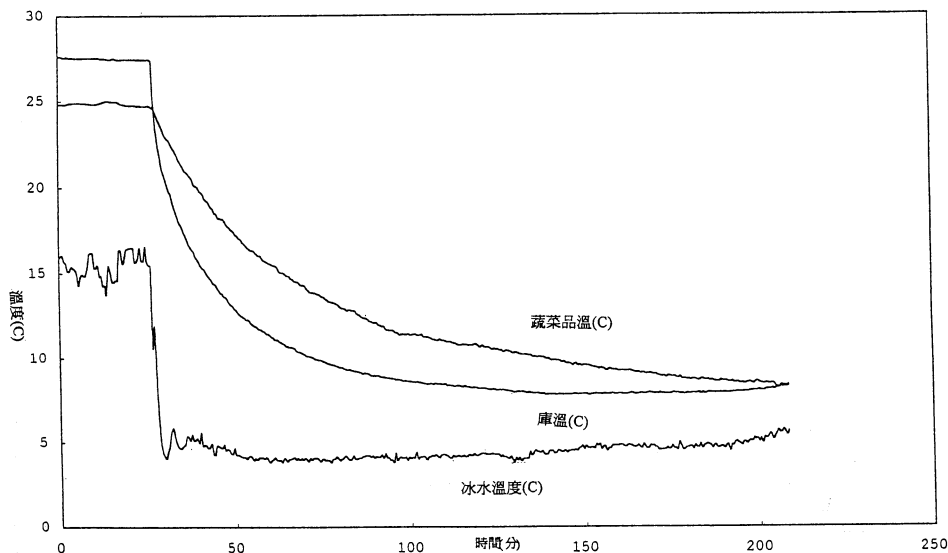


圖5. 蔬菜在冰水冷風機冷藏庫中降溫曲線

Fig 5. Rate of temperature reduction of vegetables in wet-air blower cooling room

(二)討論

1.溫濕度變化狀況

傳統冷藏庫初期降溫皆呈現很大的溫濕度變化性。此一現象直到庫內溫度分佈平衡後才呈現較穩定的小幅度溫度變化。此後冷凍機啟動時庫內相對濕度迅速下降(因為冷凍機有除濕的作用)，而停機時因庫溫回升造成庫內濕度達到飽和狀態(因為蔬菜表面水分蒸發)，於是產生相對濕度的巨大變動。對冷卻蔬菜而言，相對濕度低時使水份容易蒸散，而相對濕度高時容易產生凝結水。因此對蔬菜冷卻後品質而言，造成整體失水而局部又有凝結水產生的現象^(1,2,4)。冰水冷風機獨自運作時，庫內降溫很穩定地達到平衡狀況，同時可以繼續保持穩定的溫度狀況。相對濕度自啟動後便維持在85%以上，整個階段都沒有太大的變化。對於蔬菜的冷卻及貯藏而言，失水率低於冷藏庫單獨運作。

2.電力使用平均狀況

- (1)一冷凍噸傳統冷藏庫每小時使用0.64度(KWh)
- (2)三冷凍噸儲冰式冰水機每小時使用1.12度(KWh)
- (3)冰水冷風機(1.375 HP)每小時使用1.0度(KWh)

傳統冷藏庫運作電力雖略小於改良方式(2,3兩項加起來每小時2.12度,等於每冷凍噸0.71度),但是因為離峰電力的使用使儲冰式冰水機的電力價格只需一般電價的三分之一。冷風機運作電力仍可經由設備的修改而驅近冷藏庫的電力使用標準。

若冰水供應溫度持續保持在庫內空氣的濕球溫度與露點溫度之間，則可以保持庫溫下降的同時相對濕度不會下降⁽³⁾。因此在庫溫逐漸下降的同時，控制冷風機供水溫度隨空氣露點溫度變化，以溫度階段方式供應冰水可以使庫內維持在高濕度並使蔬菜失水減少。

冰水冷風機於四小時運作所需電力略高於傳統冷藏庫系統(約一度(KWh)電)，主要為兩組1/2HP水泵浦所耗用。冰水機由2RT提昇為3RT，儲冰時間約為11小時，耗用電量約12度電。以電價觀點則可以與冷藏庫抗衡。

蔬菜冷藏中應採取階段式程序作業。先以大風量平衡庫內溫度，再以正常風量將庫內溫度均化(tempering)，最後以低風量維持庫溫的程序進行作業。

運用冰水製造適應蔬菜貯藏的空氣品質，同時搭配儲冰式冰水機的應用，不但可以提高蔬菜的貯藏效果更配合政府所倡導分散電力使用的政策。所以在中小型冷藏庫內使用此一冷卻方式又可以提供冰水作蔬菜採收後處理使用，對小農戶的採收作業會有更佳效率。

誌 謝

本計畫承蒙行政院農業委員會經費補助(81農建-12.2-輔-15A1; 82科技-2.15-輔-03(1); 83科技-2.22-輔-04(1))特此致謝。

參考文獻

1. 李社修、林雅文、曾琳祥. 1994. 果蔬冷藏庫營運技術改善(三). 食品工業發展研究所研究報告83-885號.

2. 李祉修、林雅文、曾琳祥. 1993. 果蔬冷藏庫營運技術改善(二). 食品工業發展研究所研究報告792號.
3. 王家騏. 1993. 冷凍空調工程. 國家圖書公司出版.
4. 李祉修、林雅文、馮臨惠. 1992. 果蔬冷藏庫營運技術改善. 食品工業發展研究所研究報告696號.
5. 王洪鎧. 1991. 空氣調節設計基礎(增訂版). 徐氏基金會出版.
6. 胡興邦、王文博. 1990. 冷凍空調原理. 承美科技圖書公司出版.
7. 張炳揚、盧福明、陳貽倫、蕭介宗、李允中、蔡慶隆. 1989. 生鮮食品低溫運銷設備. 食品工業發展研究所出版.
8. 陳貽倫. 1986. 農產品冷藏庫冷凍負荷實例研究. 農工學報32(3):1~11.
9. 陳貽倫. 1984. 蔬菜預冷. 農工學報30(1):41~53.
10. 蕭介宗. 1984. 蔬菜冷藏庫規劃與設計. 中國農業工程學會七十三年學術研討會p.79~92。
11. Ryall A. L., W. T. Pentzer. 1982. "Handling, Transportation and Storage of Fruits and Vegetables", 2nd Ed., AVI. p.240-354.

A Modified Cooling System for Cold Storage of Fruits and Vegetables

Chih-Hsiu Lee and Yun-Chung Lee

Associate Food Researcher, Food Industry Research and Development Institute
Associate Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, NTU.

Summary

Vegetables are often stored in cold storage to keep quality. When vegetables are cooled by cold air in a conventional cold storage, they suffer from heavy water loss. A modified cooling system, in which low temperature, high relative humidity and high velocity air stream was generated by blowing air through ice-water mist, was developed in order to improve the vegetable quality.

In this system, ice-storage type water chiller and cold wet-air blower were used in a cold storage room. Vegetables could be kept at 6°C and 85% relative humidity which only caused 3% of weight loss of the vegetables. The energy consumption of cold wet-air blower system was slightly higher than that of conventional cold storage. However, the cost could be balanced by using off-peak electric power to chill the water in the former system.

Key Word : cold storage, relative humidity, ice-storage.