

主要果蔬預冷設備之研製和應用(I)—— 真空預冷設備之研製與應用

Design and Application of Precooling Systems for Major Fruits and Vegetables(I)—Primary Design and Application of Vacuum Precooling System

前國立台灣大學農工研究所研究生

國立台灣大學農機系教授兼主任

郭 景 儀

蕭 介 宗

Ching-yee kuo

Jai-tsung Shaw

摘 要

真空預冷為預冷葉菜最有效方法之一；乃於真空室中，使蔬菜水分急遽蒸發，導致其本身溫度迅速下降之過程。本研究提供真空預冷裝置之基本設計資料，探討溫度與壓力控制真空預冷系統之優缺點，做為設計大型真空預冷系統之參考，以減少國內葉菜類的損耗，達至農機國產的目標。

以壓力控制預冷預濕之青蔥與芹菜，控制點應在 5.0mmHg（略高於溫度 0°C 時之對應壓力 4.6mmHg），以避免凍傷，而未經預濕之青蔥與芹菜其壓力控制點為 4.0 mmHg。經預冷後其重量損失為 2.5% 到 6 % 之間，但不致於產生枯萎現象。

因為乾球與濕球溫度在預冷室可能有 20°C 之差異，以溫度控制預冷時，必須以濕球溫度控制作為基準，且設定在 2°C 以上，以避免青蔥與芹菜凍傷。

預冷初溫 22°C 之青蔥到 4.2°C，預冷時間為 13.6 分；而預冷初溫 22°C 之芹菜至 4.2°C 只需 11 分鐘。主要原因是芹菜和青蔥的組織與面容比不一樣，導致預冷時間之差異。

Abstract

Vacuum precooling leaf vegetable is one of the most effective methods; and its procedures are to put the vegetable under a vacuum chamber, let the water in the vegetable evaporate and then cool down its temperature rapidly. This paper provides basic design information of the vacuum precooling systems, and investigate the advantages and disadvantages of the vacuum precooling system controlled by temperature and pressure. These results can be used as the reference for designing a large scale vacuum precooling system, reducing the deterioration of domestical leaf vegetables, and reaching the goal of producing agricultural machinery by ourselves.

To avoid the frozen damage of the prewetted green onion and celery during the precooling process, the vacuum pressure must be set at 5.0 mmHg which is a little higher than the corresponding pressure 4.6 mmHg at temperature 0°C. For green onion and celery without prewetting, the pressure can be set at 4.0 m.m Hg. After precooling, the weight loss will be between 2.5% and 6% but the result will not cause wilting.

Because the temperature differential between dry bulb and wet bulb in the precooling chamber may be about 20°C, the temperature control must be based on the wet bulb temperature, and set about 2°C to prevent green onion and celery from the frozen damage.

To precool the green onion from the initial temperature 22°C down to 4.2°C, it will take 13.6 minutes. However, it will take 11 minutes to precool the celery from 22°C to 4.2°C. This result may be due to different tissue and ratio of surfaces and volumes between green onion and celery.

1. 前言

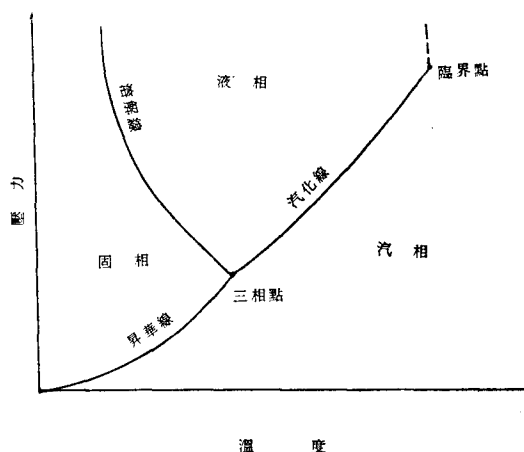
果蔬預冷之功能為短期時間內，去除剛採收果蔬之田間餘熱 (Field Heat)，以防止其腐敗，確保果蔬原有之鮮度品味。預冷方法目前有水冷、風冷、真空預冷及加冰接觸等四種，而本文乃針對真空預冷蔬菜系統作一些基本之研究，其範圍包括：

1. 分析臺大農機系真空預冷試驗裝置之設計。
2. 比較真空預冷系統以溫度和壓力控制，兩者之優缺點。
3. 比較芹菜和青蔥之預冷曲線。

2. 文獻探討

根據 Wylen 和 Sonntag (1972) 所述，圖一為水的壓力與溫度之關係圖，在汽化線上某一飽和壓力下就有一相對應的飽和溫度。小泉武記等 (1982) 研究水在不同沸點下所對應的飽和壓力與蒸發熱如表一；譬如 0°C 時，水之飽和蒸氣壓為 4.58 mmHg 或 4.58 Torr，每公斤水的蒸發熱為 597.1 仟卡。

所以，真空預冷是在一密閉室內，利用真空幫浦抽氣，以降低室內的氣壓，降低蔬菜內水之汽化溫度而達到冷卻蔬菜的目的。例如密閉室壓力低至 4.58 mmHg 時，由表一水之汽化溫度為 0°C，室內蔬菜組織內的每公斤水份汽化所需之蒸發潛熱為 597.1 仟卡來自蔬菜降溫所放出之熱能。



圖一 水之壓力與溫度圖
(Wylen 和 Sonntag, 1972)

因此，如能保持此低壓到相當時間，蔬菜溫度終於會降至 0°C。

蔬菜之最高凍結點，根據 ASHRAE (1981) 之資料溫度介於 -0.1°C 到 -2.5°C 之間。含水率 89% 之青蔥之凍結溫度為 -0.9°C 而含水率 94% 之芹菜之凍結溫度為 -0.5°C。因此，若真空預冷之壓力降至 4.58 mmHg 時，若控制點不準確或預冷時間過長可能會導致蔬菜之凍傷而降低其商品價值。

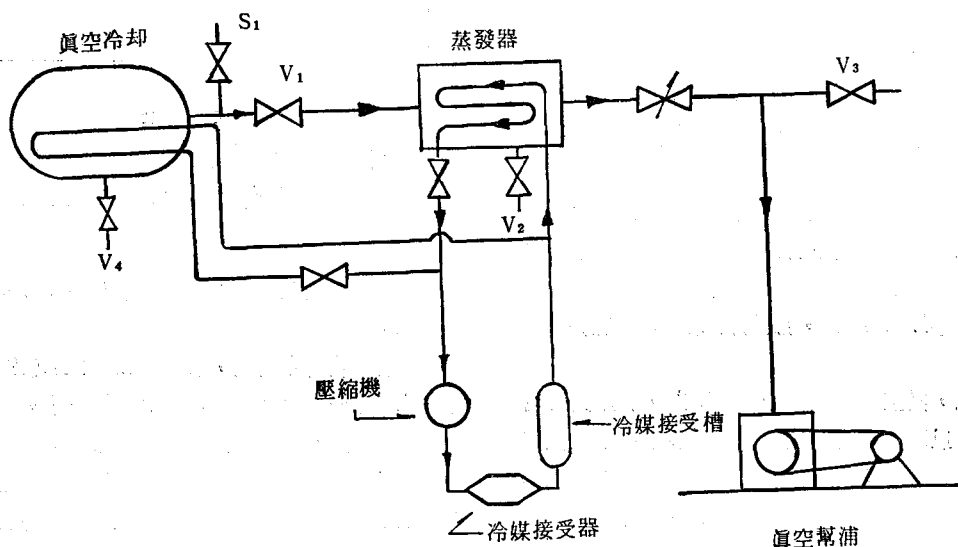
表一 水的沸點、飽和蒸氣壓和蒸發潛熱 (小泉武記等, 1982)

沸點 °C	飽和蒸 壓力 mmHg	蒸發潛熱 kcal/kg	沸點 °C	飽和蒸 壓力 mmHg	蒸發潛熱 kcal/kg
100	760	538.8	14	12.0	589.3
50	92.6	568.8	12	10.5	590.4
40	55.3	574.5	10	9.21	591.5
30	31.8	580.2	8	8.04	592.6
28	28.4	581.4	6	7.01	593.8
26	25.2	582.5	5	6.54	594.3
24	22.4	583.6	4	6.10	594.9
22	19.8	584.8	3	5.68	595.4
20	17.5	585.9	2	5.29	596.0
18	15.5	587.0	1	4.93	596.6
16	13.6	588.1	0	4.58	597.1

3. 真空預冷試驗裝置之設計分析

如圖二，一般真空預冷裝置是由真空幫浦，蒸發器和真空冷却室三個重要部份構成。本試驗裝置設計條件如下：

- (1)預冷設計條件：葉菜一批20公斤，由葉菜初溫 30°C 預冷到 0°C，預冷時間為30分鐘。



圖二 真空預冷設備之主要構件示意圖

- (2)真空室規格：外徑為0.73公尺，高為1公尺，容積為0.42立方公尺。

- (3)真空幫浦之規格：在5分鐘內真空冷却室的壓力由1大氣壓降至 2mmHg。

- (4)蒸發器：以液態冷媒，冷凝從蔬菜蒸發之水蒸氣為水或冰，變成氣態之冷媒再循環為液態之冷媒。

- (5)壓縮機：氣態冷媒循環之動力。

- (6)冷凝器：高溫高壓之氣態冷媒經過熱交換變成液態之冷媒。

- (7)控制閥：V₁：主閥

V₂：洩水閥

V₃：洩壓閥

V₄：洩壓閥

S₁：洩壓閥

3.1 真空幫浦的選定

真空幫浦的種類有很多種，本試驗裝置為達可移動性、體形小、重量輕、佔面積少和真空度可極易達至 2~7 mmHg 等條件，選用迴轉油封幫浦 (Rotary Oil-sealed pump)。

根據賴 (1981) 真空幫浦之抽氣時間與排氣容積，排氣速度，大氣壓力和設計之真空度有關，一般可由下列推算之：

$$\Delta t = 2.303 \frac{V}{S} \log \left(\frac{P_0}{P} \right) \dots \dots \dots (1)$$

Δt ：時間 (s)

V：排氣容積 (ℓ)

S：所求壓力下的排氣速度 (ℓ/s)

P₀：大氣壓力 (mmHg)=760mmHg

P：設計的真空壓力 (mmHg)

依 Barger (1961) 之研究發現，冷却室由 1 大氣壓降至 20~22mmHg 之間時，已達到閃變點，使產品溫度有明顯的下降。此時大約已抽氣 3~6 分鐘。所以假定本試驗裝置達至 20mmHg 需 3 分鐘來推算排氣量。

本試驗裝置要求邦浦的條件：

1. 圓筒型真空冷却室容積：

D=0.73m D：真空冷却室直徑，m

L=1m L：真空冷却室長，m

V₁：真空冷却的體積，ℓ

$$V_1 = \frac{(0.73)^2}{4} \times \pi \times L = 0.42\text{m}^3 = 420\ell$$

其他管路與蒸發器的容積約 80ℓ

∴ 總容積為 V=80+420=500ℓ

2. 設計的壓力(P)：

P=20mmHg

3. 所須時間達至 20mmHg

t = 3 分鐘

若以迴轉油封式真空泵來考慮：

$$S = \frac{2.303V}{t} \log \left(\frac{P_0}{P} \right)$$

$$= \frac{2.303 \times 500}{3} \cdot \log \left(\frac{760}{20} \right)$$

$$= 606\ell/\text{min}$$

$$\div 620\ell/\text{min}$$

選用 ULVAC 邦浦：620ℓ/min

3.2 冷却容量

真空冷却室內之冷却負荷大致上來自於果蔬之田間熱，果蔬的呼吸熱，真空冷却室和包裝箱之熱。每次操作期間 (the operation period) 與實際冷却時間 (the actual cooling time) 之差別在實際冷却發生在冷却室內絕對壓力達至閃變點，此時水的飽和蒸氣壓所相對的飽和溫度，恰為蔬菜的初溫 (亦冷却室內的蒸氣壓，低於蔬菜組織內之蒸氣壓時)。蔬菜就開始冷却，通常達至此點所須的時間被推薦為 5 分鐘，另外，將蔬菜搬進、搬出所須的時間亦為 5 分鐘。因此，如決定每次操作期間為 30 分鐘，那實際冷却時間為 20 分鐘，再由圖三，可發現在 20 分鐘中的前 10 分鐘所處理負荷量為全部的 2/3。根據，Wang 和 Gitlin (1964)，產物的田間熱為：

$$Q_R = C \times (T_1 - T_2) \times V \times 2/3 \times$$

60

1/2 × 實際冷却時間

Q_R：產品的田間熱，kcal/h

T₁：產品的初溫，°C

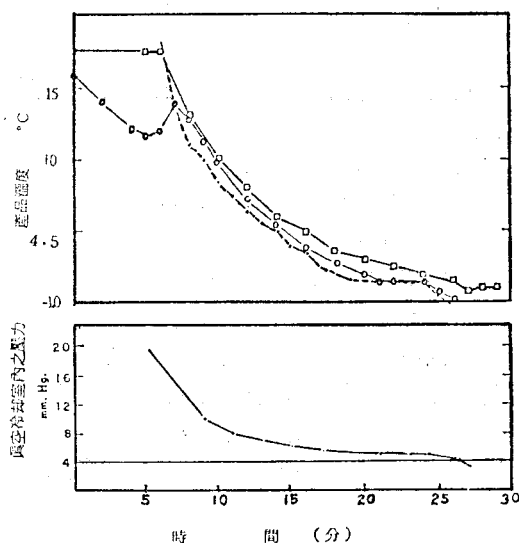
T₂：產品的終溫，°C

C：葉菜的比熱，約為 0.9kcal/kg-°C [根據 ASHRAE (1981)，青蔥為 0.87kcal/kg-°C；芹菜為 0.871 kcal/kg-°C]

V：每次冷却的蔬菜量，kg

本系真空試驗裝置之設計條件為

預冷蔬菜 20 公斤，由 30°C 至 0°C 時間為 30 分鐘
所需移除的田間熱 Q_R 為：



圖三 真空冷却室內、壓力、產品、溫度與時間的變化情形 (Wang 和 Gitlin' 1964)

$$Q_R = 20 \times 0.9 \times (30 - 0) \times \frac{2}{3} \times \frac{60}{1/2 \times 20}$$

$$= 2160 \text{ kcal/kg}$$

根據石橋貞人等 (1969)，預估 300 公斤葉菜之呼吸熱為 140kcal/h；ASHRAE (1981) 之資料，青蔥與芹菜之呼吸熱在 20°C 每噸每小時各為 690 和 1,659kcal/kg，假設 20 公斤的葉菜所需之呼吸熱約 10kcal/h。

根據石橋貞人等 (1969)，冷却真空冷却室內壁和紙箱的熱，Q_w 為

$$Q_w = 300\text{kcal/h}$$

因此，所有之熱負荷 (Q_t) 可以計算如下：

$$\begin{aligned}\therefore Q_t &= Q_R + Q_S + Q_W \\ &= 2160 + 10 + 300 \\ &= 2470 \text{ kcal/h}\end{aligned}$$

3.3 蒸發器之冷卻容量

蔬菜由 30°C 冷至 0°C 需除去 2470 kcal/h，此熱量能蒸發的水分爲 (W_w)：

如表一所示，在 4.6 mmHg 時水的蒸發潛熱爲 597.1 kcal/kg

$$\text{得 } W_w = Q_t / 597.1 = 4.2 \text{ kg/h}$$

假設水蒸氣由蒸發器來凝結成 -10°C 的冰，蒸發器所須的負荷 Q'_R 爲在 4.6 mmHg 時每公斤之水變成冰的凝結潛熱爲 79.65 kcal，冰之比熱爲 0.5 kcal/kg-°C

$$\begin{aligned}\text{得 } Q'_R &= 4.2 \times (597.1 + 79.65 + 0.5 \times 10) \\ &= 2885 \text{ kcal/h}\end{aligned}$$

假設在此負荷下使用氣冷式線圈凝結的冷凍裝置效率爲 90%

$$2885 \times 1 / 0.9 = 3205 \text{ kcal/h}$$

$$3205 \text{ kcal/h} \times 3.97 \text{ Btu/kcal} \div 12000 \text{ Btu/h/ton} = 1.1 \text{ 冷凍噸}$$

所以，使用 1.1 冷凍噸之冷凍機。

3.4 線圈 (Coil) 蒸發器之蒸發面積與其長度在蒸發器中水蒸氣和冷媒間之熱交換過程，是正確設計真空預冷裝置上不可缺之研究對象，目前都沒有從事於實驗性或理論性之研究。因此，根據石橋貞人等 (1969)，一般的概略計算法來計算蒸發器之蒸發面積可由下列式子計算之：

$$Q'_R = K \cdot F \cdot \Delta t$$

K ：總熱傳係數 (kcal/m²-h-°C)

F ：凝結面積 (m²)

Δt ：溫差 (°C)

Δt ： $t_s - t_w$

t_s ：在操作真空下水之飽和溫度 (°C)

t_w ：冷媒蒸發溫度 (°C)

根據上節之計算得 $Q'_R = 2885 \text{ kcal/h}$

和假設總熱傳係數 $K = 51 \text{ kcal/m}^2\text{-h-}^\circ\text{C}$

設計之操作真空度爲：

在壓力爲 4.6 mmHg 時 $t_s = 0^\circ\text{C}$

冷媒蒸發溫度 $t_w = -10^\circ\text{C}$

代入上式，可求得蒸發器之蒸發面積 (F) 爲：

$$F = Q'_R / K \cdot \Delta t = 2885 / 51 \times 10 = 5.8 \text{ m}^2$$

根據石橋貞人等 (1969)，使用如圖四，附有散熱片之散熱盤。一個散熱片露出的表面積爲

$$2991.28 \text{ mm}^2。$$

管長爲 1m 時其總表面積爲 S' ：

每一公尺長度的散熱片數目

$$\text{爲 } 1000 \text{ mm/m} \div 6.35 \text{ mm} = 157 \text{ 個/m}$$

每一公尺長度的散熱片表面積

$$\text{爲 } 2991.28 \times 157 = 469,630 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

每一公尺長度之蒸發器的表面積爲

$$16\pi \times 1000 - 16\pi \times 0.3 \times 157 = 47,873.7 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

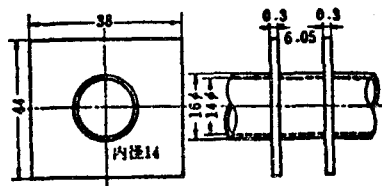
每一公尺管長之總表面 (S') 爲

$$\therefore S' = (469,630 + 47,873.7) \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

$$= 0.5715 \frac{\text{m}^2}{\text{m}}$$

所需總管長 L 爲

$$L = \frac{F}{S'} = \frac{5.8}{0.572} = 10.2 \text{ m}$$



圖四 蒸發器內線圈上散熱片

3.5 真空冷却室之強度

真空冷却室的斷面形狀，一般而言，考慮強度和製作成本兩方面做成圓筒形最爲普通，本裝置亦爲圓筒形。

本裝置設定條件如下：外直徑 (D_o) 爲 730 mm，長 (L) 爲 1000 mm，外界壓力爲 1.02 atm，冷却室最高使用溫度爲 149°C (T)，材料選用碳鋼求出冷却室之厚度 (t)。

$$\therefore L/D_o = 1000/730 = 1.369 \approx 1.4$$

圖五 (淺尾莊一郎, 1967) $L/D_o \approx 1.4$ 與 $T = 149^\circ\text{C}$ 等溫線之交點處剛好在 $D_o/t = 250$ 之線上所以 $D_o = 730 \text{ mm}$

$$\therefore t = 730/250 = 2.92 \approx 3 \text{ mm}$$

圖五爲碳鋼 [屈伏點 (Yield Limit) 17~21 kg/mm²] 因此選用 SS34 之材料，屈伏點在 20 kg/mm² 以上

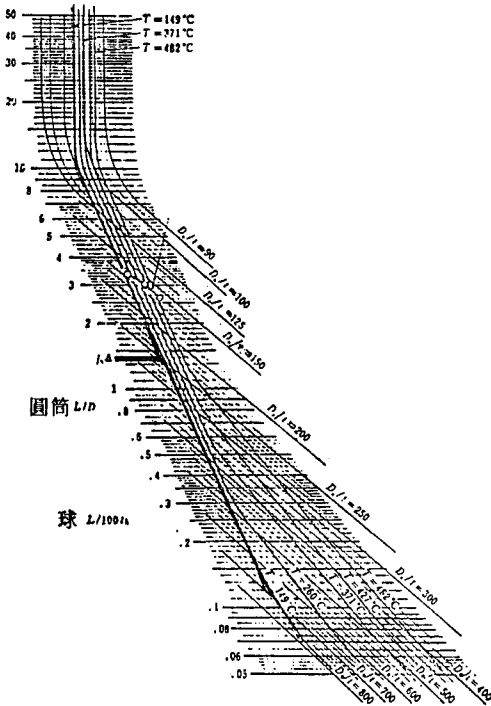
4. 實驗方法

圖六為溫度控制真空預冷系統路線圖，本系統由溫度控制來控制主閥（ V_1 ），亦當產品被預冷到所設定的溫度（為 2°C ）時，溫度控制器會感應控制 V_1 閥「開」與「關」。

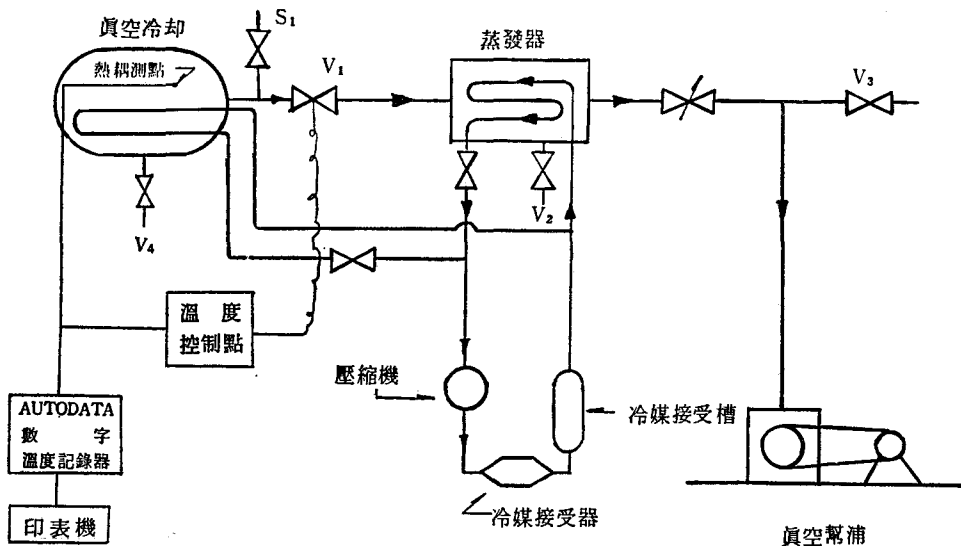
圖七為壓力控制真空預冷設備路線圖，控制方法乃以真空冷却室內的壓力來控制 V_5 （針閥），而非控制主閥（ V_1 ），使真空冷却室內的壓力能保持在所設定的壓力下，真空壓力控制器是 Pirani Gauge 其詳細情形參看郭式(1986)之論文。

本實驗以熱耦線所量測的溫度有真空冷却室內濕球溫度，青葱之葉溫及莖—1 溫（葉與莖分歧部）和莖溫，而芹菜則量葉溫和莖溫。溫度記錄以 Autodata Ten/5 多點數值記錄儀。其詳細情形參看郭氏 (1986) 之論文。

圖八為以溫度或壓力來控制真空預冷系統來預冷芹菜與青葱的實驗流程與比較。溫度控制分別以莖部、葉部、與濕球溫度作控制點。又在每個控制點下分為預濕的與未預濕的青葱、芹菜兩組來進行預冷，比較何者預冷效果為佳。

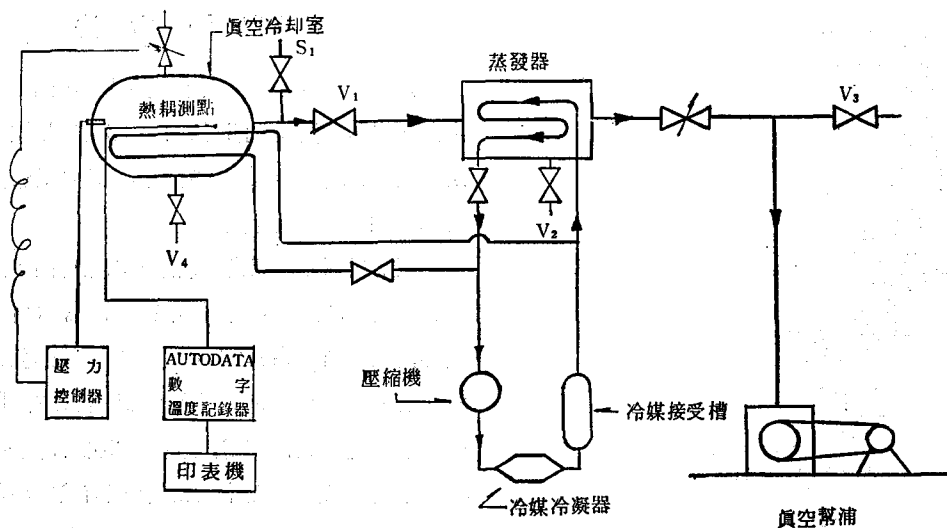


圖五 圓筒和球形容器，外受壓力為 1.02atm 時其厚度之計算圖（淺尾莊一郎，1967；破鋼之屈伏點在 $17\sim 21\text{kg/mm}^2$ ）

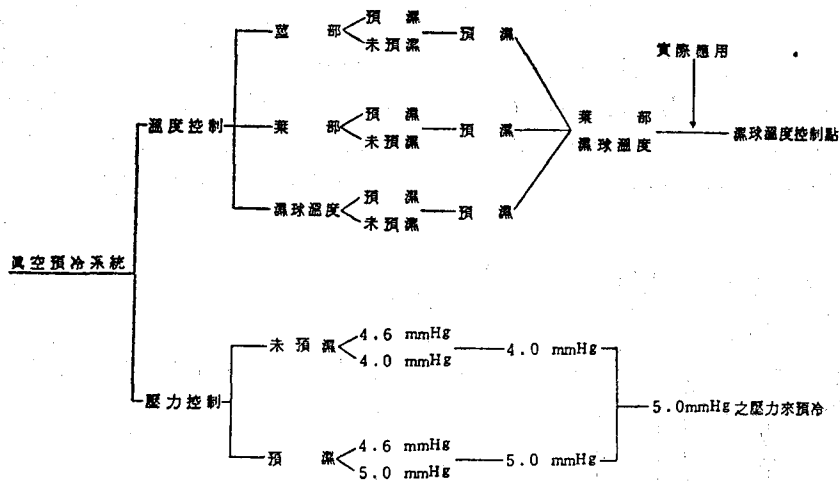


(V_1 : 主閥, V_2 : 洩水閥, V_3 : 洩壓閥, V_4 : 洩壓閥, S_1 : 洩壓閥)

圖六 溫度控制路線圖



圖七 壓力控制路線圖



(V_1 : 主閥, V_2 : 洩水閥, V_3 : 洩壓閥, V_4 : 洩壓閥, V_5 : 針閥, S_1 洩壓閥)

圖八 真空預冷系統以溫度或壓力控制的實驗流程與比較

5. 結果與討論

以溫度或壓力控制真空預冷系統，來預冷芹菜與青蔥的實驗結果，每個控制點下經預濕的青蔥、芹菜預冷效果較未預濕者佳。因此，對預冷青蔥、芹菜時，須經預濕，其預冷效果較佳。

經預濕的青蔥、芹菜，比較不同的控制點（莖

部、葉部、濕球溫度）預冷時，以葉部和濕球溫度兩者較佳。以莖部溫度控制真空預冷系統來預冷青蔥時發生，預冷青蔥莖部未達至設定溫度（ 2°C ）時，葉部已發現凍傷的情形。主要是青蔥莖部與葉部構造相差甚多，其冷却速度亦不一樣。

普通預冷的蔬菜在預冷前先用打孔的膠袋包裝，放入紙箱內再把紙箱堆放於真空預冷室內，如以

蔬菜葉溫為控制基準時，將熱耦線或溫度計插入蔬菜的葉部，不僅對預冷蔬菜具有破壞性，並且在堆滿蔬菜的真空室可能有實際上的困難來安插。而以葉溫或濕球溫度來控制真空預冷系統效果都一樣，選用濕球溫度來控制較便利。

壓力控制方面亦分未預濕與預濕，在未預濕的青蔥與芹菜分別以 4.6 mmHg 和 4.0 mmHg 之壓力來預冷，其結果如圖九。比較壓力控制在 4.6mmHg 與 4mmHg 之下未預濕青蔥預冷曲線由圖九(a)中發現在 4mmHg 壓力下青蔥葉溫之初溫較 4.6mmHg 之壓力下青蔥初溫度 2°C，經 720秒之預冷後，前者終溫降為 3.2°C；而後者經

820秒之預冷後，其終溫為 3.9°C，相差 0.7°C 所以，于 4mmHg 的壓力下預冷未預濕青蔥的葉部預冷速度較 4.6mmHg 之壓力下的青蔥葉部預冷速度為快。亦縮短預冷時間約 2 分鐘。

由圖九(b)發現 4.0 與 4.6mmHg 之壓力下，預冷未預濕青蔥之莖—1 部初溫皆為 18°C，前者經 720秒之預冷後，莖—1 部終溫為 3.2°C，而後者經 820秒之預冷後，莖—1 部終溫為 3.9°C，相差 0.7°C。因此，在 4.0mmHg 壓力下預冷未預濕青蔥之莖—1 部預冷速度，較在 4.6mmHg 壓力者為快，亦縮短 2 分鐘的預冷時間。

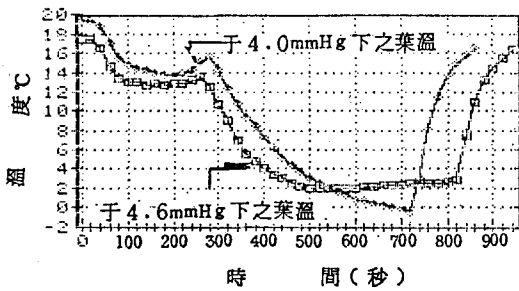
自圖九(c)發現在 4mmHg 之壓力下預冷未預濕青蔥之莖部初溫較在 4.6mmHg 之壓力下，青蔥之莖部初溫高 2°C，前者經 720秒之預冷後，青蔥莖部終溫為 6.1°C；而後者經 820秒之預冷後，青蔥莖部終溫為 5°C，相差 1.1°C。在 720秒時兩者莖溫相差 0.6°C。因此，兩者在青蔥莖預冷速度相近。

綜合圖九(a)(b)和(c)，可見 4.6mmHg 之壓力下被預冷之整株青蔥的品溫（經 820 秒之預冷後）為 3.4°C 而在 4.0mmHg 之壓力下青蔥的品溫為 2.1°C，相差 1.3°C。因此，以稍低於 4.6mmHg 之壓力來預冷蔬菜其預冷效果較在 4.6mmHg 之壓力下的預冷效果為佳，亦能縮短預冷時間，節省能源，降低成本。致於較 4.6mmHg 之壓力低多少，將視其被預冷之蔬菜之種類而定，如在此以 4.0mmHg 來預冷未預濕青蔥，預冷效果佳；再依據 Barger(1961) 之研究，以 4.6mmHg 之壓力下來預冷萵苣，須 23 分鐘，如以 3.8mmHg 之壓力下來預冷萵苣，只需 15 分鐘，萵苣之品溫降至 1.1°C，尚未低其凍結（-0.2°C，ASHRAE，1981），因而未發生凍傷的現象。所以設定壓力較 4.6mmHg 之壓力低多少，視被預冷之蔬菜及預冷時間而定。

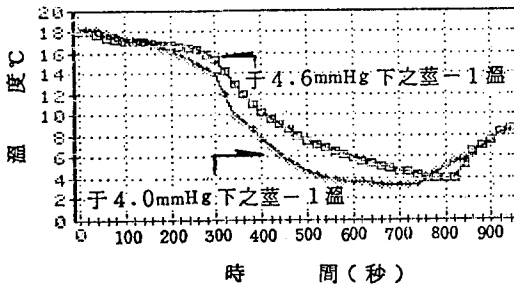
圖十為壓力控制為 4.6mmHg 下預冷預濕的芹菜之預冷曲線。經過 9 分鐘之預冷，濕球溫度均接近 -3°C，因此在包紮在熱耦線外之紗線之道管內之水份，可能有凍結的情形而影響其準確性。

於圖十(a)可發現芹菜莖部初溫為 21.2°C，預冷至 540 秒時為 1°C。此時，莖溫與濕球溫度（-3.1°C）相差 4.1°C。

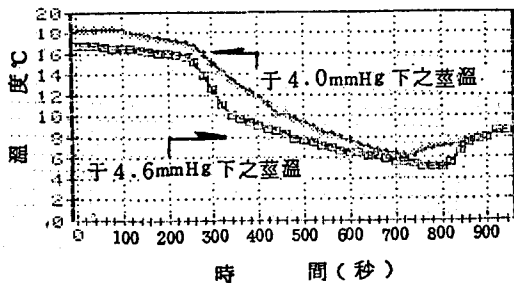
於圖十(b)可發現芹菜莖—1 部初溫為 21.4°C 經過 540 秒之預冷後，莖—1 溫降至 -1.1°C。根



(a) 葉溫隨時間變化的情形



(b) 莖—1 溫隨時間變化情形



(c) 莖溫隨時間變化情形

圖九 壓力控制在 4.6mmHg 與 4.0mmHg 之下未預濕青蔥之預冷曲線

據 ASHRAE(1981)，芹菜之凍結溫度為 -0.5°C ，凍傷的情形可能發生。此時，莖-1 溫比濕球溫度高約 2°C 。

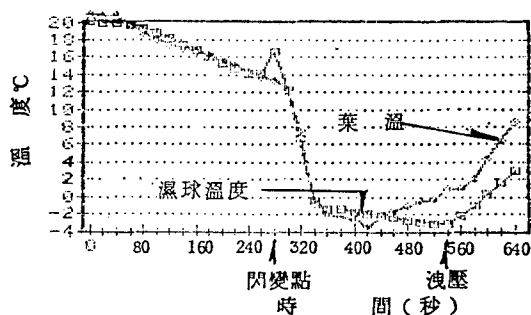
於圖十 (c)可發現芹菜葉部初溫為 20.6°C 經過 420 秒之預冷後，葉溫降為 -3.5°C 後慢慢上升至洩壓時葉溫為 0.8°C ，此現象可能因為預濕的水分過多或水粒太大，導致葉面蒸發後，可能使葉部水份有局部凍結成冰，不易繼續蒸發，導致葉部溫度之上升。

綜合圖十 (a)(b)和(c)發現預濕芹菜以 4.6mmHg 之壓力來預冷，在莖-1 部與葉部發生凍傷。因此，將控制壓力設定為 5mmHg ，預冷試驗之結果如圖十一。

由圖十一(a)可發現經 480 秒之預冷後，芹菜莖部初溫由 21.4°C 降至 2°C 。且其預冷曲線與濕球溫度曲線非常接近。

由圖十一(b)可知經 480 秒之預冷後，芹之莖-1 部由初溫 21.5°C 降至 1.9°C 。

由圖十一(c)可發現芹菜葉溫由初溫 20.3°C ，經 460 秒之預冷後，降至 -0.8°C ，非常靠近芹菜

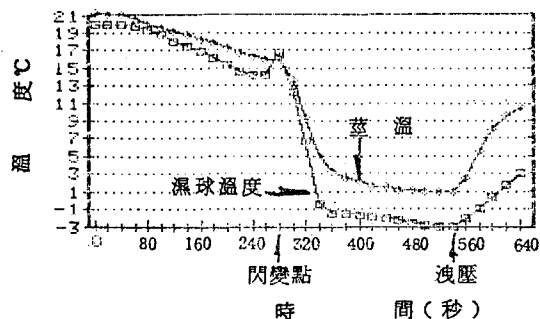


十(c)濕球溫度與芹菜葉溫隨預冷時間變化之情形

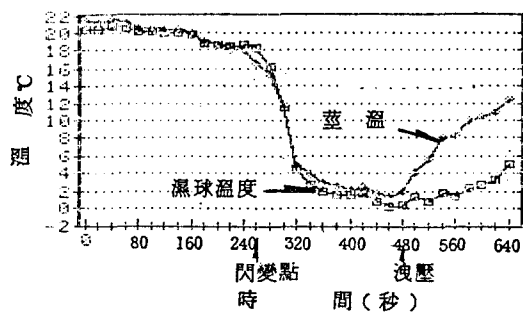
圖十 壓力控制在 4.6mmHg 之下預濕芹菜之預冷曲線

之凍結溫度 -0.5°C 。較在 4.6mmHg 之壓力下預冷預濕芹菜之凍傷情形可能減輕了許多。為避免凍傷預冷之芹菜，可把設定的壓力稍為提高到 $5 \sim 6\text{mmHg}$ 間或者縮短預冷時間。

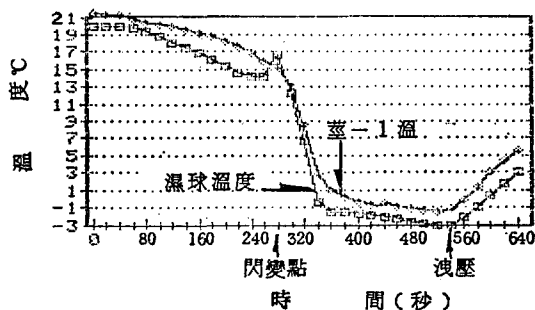
以 5mmHg 的壓力下來預冷預濕的青蔥其結果如圖十二所示。發現經過13分鐘之預冷，濕球溫



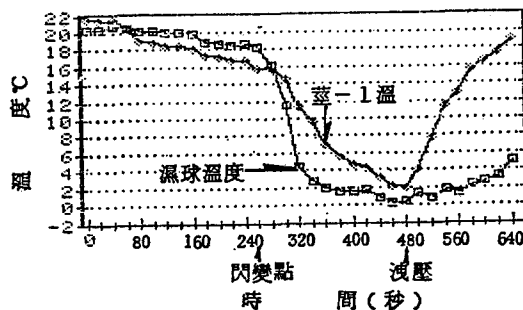
十(a)濕球溫度與芹菜莖溫隨預冷時間變化之情形



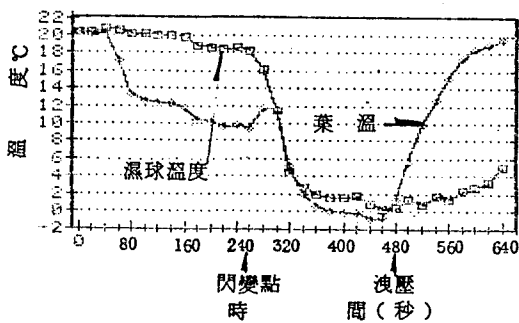
十一(a)濕球溫度與芹菜莖溫隨預冷時間變化之情形



十(b)濕球溫度與芹菜莖-1 溫隨預冷時間變化之情形



十一(b)濕球溫度與芹菜莖-1 溫隨預冷時間變化之情形



十一(c)濕球溫度與芹菜葉溫隨預冷時間變化之情形

圖十一 壓力控制在 5mmHg 之壓力下預濕芹菜之預冷曲線

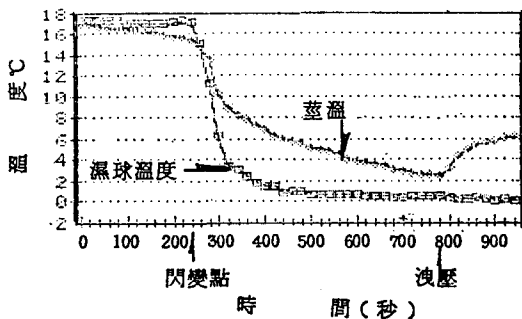
度自 440 秒至洩壓前，溫度一直保持在 0°C，且未有凍傷的情形。預濕水分 (14.5 公克) 佔初重量 (515.1 公克) 之 2.8%，青蔥總損失重量 (27.9 公克) 佔總重量 (529.8 公克) 之 5.2%。

由圖十二(a)中可知青蔥莖溫由初溫 17°C，經 580 秒之預冷後降至 2.4°C，此時，濕球溫度為 0.4°C，相差 2°C。

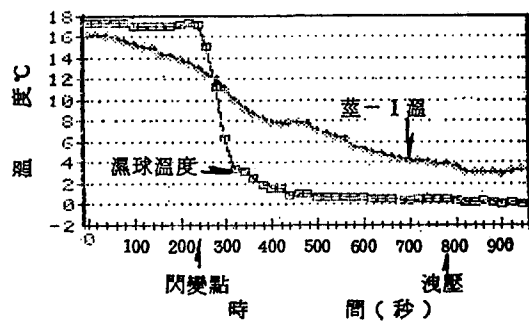
由圖十二(b)可發現青蔥莖 - 1 溫由初溫 16.1°C 經過 780 秒之預冷後降為 3.8°C，此時，濕球溫度為 0.4°C，相差 3.4°C。

由圖十二(c)可發現青蔥葉溫由初溫 16.1°C，預冷至 500 秒時，葉溫降至 0.3°C，冷至洩壓前降為 0.2°C，在此時間內，葉溫曲線與濕球溫度曲線幾乎相重合。所以濕球溫度可以在預冷操作過程中當作指標。

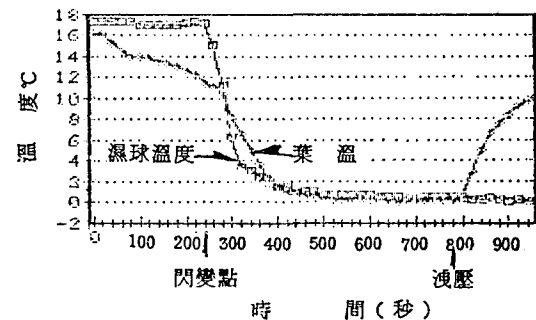
綜合以上的現象發現，預濕後的芹菜或青蔥，必須以 5mmHg 以上之壓力來預冷，才不致於產生凍傷的情形。



十二(a)濕球溫度與青蔥莖溫隨預冷時間變化之情形



十二(b)濕球溫度與青蔥莖 - 1 溫隨預冷時間變化之情形



十二(c)濕球溫度與青蔥葉溫隨預冷時間變化之情形

圖十二 壓力控制在 5mmHg 之壓力下預濕青蔥之預冷曲線

圖十三為預濕與未預濕青蔥預冷曲線之比較，預濕者以 5mmHg 之壓力來預冷，而未預濕者以 4mmHg 來預冷之。

圖十三(a)發現未預濕青蔥莖部的初溫為 19.3°C，預濕者初溫 16.1°C，經過 500 秒之預冷後前者降為 3.1°C，後者降為 0.3°C。即使在較高的預冷壓力下，預濕之青蔥莖部預冷速度較未預濕為快。

由圖十三(b)發現未預濕之青蔥莖 - 1 部初溫 18.2°C，而預濕者初溫為 16.1°C，經 700 秒之預冷後，前者莖 - 1 溫為 3.3°C，而後者為 4.2°C，相差 0.9°C。所以，未預濕之青蔥莖 - 1 部預冷速度並未較預濕者慢，主要可能莖 - 1 部有足夠之蒸發水份時，在較高壓力下，預濕者水份蒸發之速度可能較慢。

由圖十三(c)發現未預濕之青蔥莖部初溫為 18.3°C，而預濕者初溫為 17°C，經 700 秒之預冷後前者莖溫降為 6.3°C，後者莖溫降為 2.9°C，相差

3.4°C，所以，預濕之青蔥莖部預冷速度較未預濕者快。

就以經過 700 秒之預冷後，預濕的青蔥平均品溫為 1.8°C，而未預濕的青蔥平均品溫為 2.4°C，前者預冷效果佳。

綜合前面各實驗結果，在溫度控制分別設於莖部、葉部、濕球溫度，每控點分預濕、未預濕，經比較與配合實際應用，發現以濕球溫度控制點來預冷預濕的青蔥與芹菜，其預冷效果較理想；壓力控制分為預濕，未預濕，兩者比較發現以 5.0mmHg

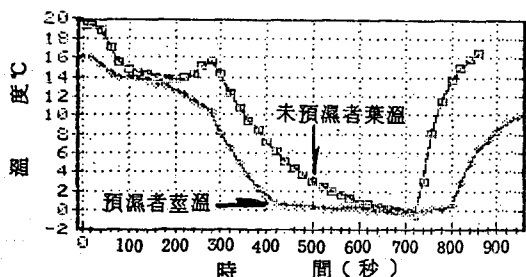
之壓力下來預冷經預濕的與芹菜之預冷效果較好。

圖十四 為濕球溫度控制與壓力控制在 5.0 mmHg 下，預濕的青蔥之預冷曲線之比較。

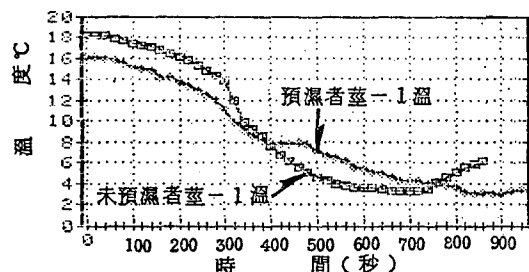
由圖十四(a)可發現溫度控制以濕球溫度控制點（以下簡稱濕球控點）來預冷預濕的青蔥葉部之初溫為 18°C，而以壓力控制（以下簡稱壓控點）來預冷青蔥葉部之初溫為 16°C，經過 780 秒之預冷後，前者葉溫降至 2.3°C，後者葉溫降至 0.2°C 相差 2.1°C。

以濕球控點預冷的青蔥葉部溫度自 520 秒至 780 秒間一直保持於 2.7°C 與 2°C 間，沒有再降下的趨勢。因為溫度控制乃以濕球溫度來控制，其控制溫度為 2°C，因此，葉溫最低只能降至所設定濕球溫度 2°C。如果，將濕球溫度調至 1°C 來預冷預濕青蔥，由於本系所設計的預冷系統只有上限溫度，無下限溫度，所以，濕球溫度會降至所設定 1°C 以下，也可能 0°C 以下，而實際上應用預冷一批蔬菜須 20 分鐘至 30 分鐘，濕球溫度太近水的凍結點 0°C，會凍結成冰之可能，因此，以濕球溫度為控制點，溫度設定須較 0°C 高 2°C~3°C。

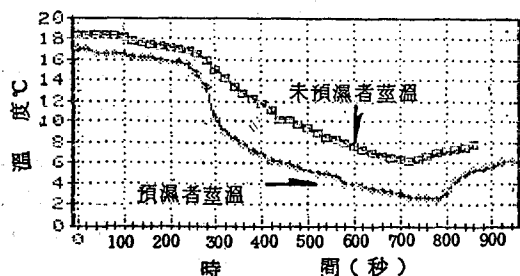
當濕球溫度達至設定溫度 2°C 時，會感應控制主閥開或關，促使冷却室內的壓力會有起伏的情形



(a) 青蔥葉溫隨預冷時間變化之情形

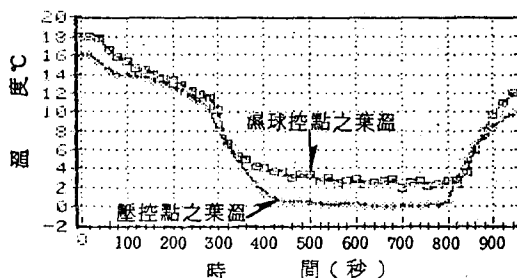


(b) 青蔥莖-1溫隨預冷時間變化之情形

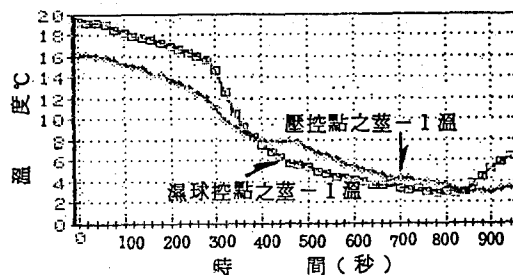


(c) 青蔥莖溫隨預冷時間變化之情形

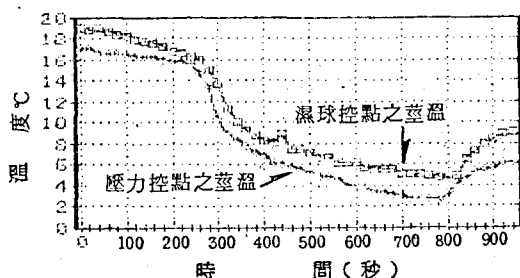
圖十三 壓力控制未預濕與預濕青蔥預冷曲線之比較（未預濕者，預冷壓力設定在 4mmHg；預濕者，預冷壓力設定在 5mmHg）



(a) 預濕的青蔥葉溫隨預冷時間變化之情形



(b) 預濕的青蔥莖-1溫隨預冷時間變化之情形



(c)預濕的青蔥莖溫隨預冷時間變化之情形

圖十四 濕球溫度控制與壓力控制在5.0mmHg下預濕青蔥之預冷曲線比較

，而葉溫亦會有跳動情形發生。再則，主閥或開或關時會發出較大的聲響，容易使操作員心理產生不安全感，對主閥壽命亦有極大的影響。

壓力控制預冷之青蔥葉溫於400秒與780秒間相當穩定的趨近0°C，並無跳動的情形。因為，冷卻室內壓力達至5mmHg時壓力控制器感應針閥，再調整針閥至適當位置，使冷卻室內壓力維持於5mmHg下。在壓力一定時，其冷卻速度較穩定，使得葉溫得以平穩降至較低的溫度而不會產生凍傷的情形。

由圖十四(b)可發現以濕球控制點來預冷預濕的青蔥莖—1部初溫為19.2°C，而壓控點預冷青蔥莖—1部初溫為16°C，經780秒之預冷後，前者降為2.8°C，後者為3.8°C，相差1°C。

由圖十四(c)可發現以濕球控制點來預冷預濕的青蔥莖部初溫為18.9°C，而壓控點來預冷預濕青蔥莖部初溫為17°C，經780秒之預冷後前者莖溫降為4.7°C，後者莖溫降為2.4°C相差2.3°C。

在經過780秒之預冷後，整株青蔥的平均品溫分別為溫度控制者為3.1°C，壓力控制點為1.7°C，相差1.6°C，所以壓控點能較穩定的控制預冷溫度至接近蔬菜凍結點之溫度，而不致於產生凍傷預冷之蔬菜。

5. 結 論

- (1)分析真空預冷試驗裝置之基本設計原理，可做為將來設計本省大型商用真空預冷設施之參考。
- (2)溫度或壓力控制真空預冷系統來預冷青蔥或芹菜預濕處理之優點為減少葉溫與莖溫間之差距，減

少預冷蔬菜水分之損失，縮短預冷時間，及節約預冷之能源。

- (3)預濕處理能使青蔥或芹菜溫度與濕球溫度之差異減小，使濕球溫度成為控制預冷青蔥或芹菜時的指標。
- (4)未經預濕的青蔥或芹菜經預冷後，其重量損失為2.5%至6%之間，損失水分尚不致於使青蔥與芹菜有枯萎的現象。
- (5)每種蔬菜的預冷時間隨蔬菜之表面積與容積之比例大小及其組織脫水之難易而定，如芹菜與青蔥面/容比及兩者莖部組織不同。因此，青蔥由初溫22°C降至4.2°C，其預冷時間為13.6分鐘，而芹菜由初溫22°C降至4.2°C其預冷時間為11分鐘，相差2.6分鐘。
- (6)以溫度控制真空系統，真空冷卻室內的最後壓力，將隨溫度控制點擺設的位置之不同而有變化，容易產生凍傷情形。為了避免濕球溫度凍結或蔬菜凍傷，須把濕球溫度控制點設定較0°C高約2°C~3°C。因此，蔬菜預冷至最低的品溫以2°C~3°C為下限。
- (7)以溫度控制主閥時，當預冷產品溫度達至所設定溫度時，控制閥受感應而或開或關，影響真空冷卻室內的壓力，預冷蔬菜品溫有上、下較大跳動的現象。控制閥跳動時會產生噪音，對操作員心理產生不安全感且對主閥壽命有影響。
- (8)以壓力控制真空預冷系統時對未經預濕的蔬菜可用較4.6mmHg（對應水沸點為0°C）低的壓力來控制。預冷效果較4.6mmHg為佳。但較4.6mmHg低多少，將視蔬菜種類而定，如以4mmHg（對應水沸點-1.64°C）來預冷未預濕之青蔥，不會產生凍傷之情形。
- (9)對經預濕的蔬菜預冷時，以較4.6mmHg稍高的壓力來預冷，較不易有凍傷情形。如對預濕的青蔥或芹菜預冷時，以5.0mmHg（對應水沸點1.22°C）之壓力為佳。預冷壓力將視真空預冷蔬菜之最高凍結溫度而定。
- (10)以壓力來控制真空冷卻系統時，能使真空冷卻室保持在所設定壓力下，品溫在預冷過程中平穩或溫度上下跳動之差異較溫度控制時小。

參 考 文 獻

1. 郭景儀，1986.真空預冷系統之初步設計與應用，臺大農業工程學碩士論文，臺大農機系。（文轉第11頁）