

主要果蔬預冷設備之研製和應用(Ⅲ)—— 小型碎冰機之研製及應用於綠蘆筍之預冷

The Development a Prototype Crushed-ice Maker and Its Application to the Precooling of Asparagus

前國立臺灣大學農工所研究生

國立臺灣大學農機系教授兼主任

陳 凱 倫

蕭 介 宗

Kai-lun Chen

Jai-tsung Shaw

摘 要

本文包含小型碎冰機與輸送系統之研製，將製造之碎冰預冷 15~30°C 之蘆筍，並對照在五小時內不加碎冰之蘆筍溫度、含水率和顏色之變化情形。

本系統之碎冰製造量為每小時介於 2.7kg 到 3.2kg 之間；最大輸送冰量為每分鐘 4.5kg；碎冰顆粒大小約為 1cm×1cm×2cm；耗電率為 2.3kw；性能係數為 0.16。

在絕熱容器內，初溫 15°C~30°C 之蘆筍在 5 小時後，溫度平均分別升高約 2.7°C~4.6°C。由於筍尖之呼吸熱較大，蘆筍各層之間有溫差情形，初溫 30°C 之蘆筍在 5 小時後，上層筍尖部分和底層蘆筍之間溫差為 4°C。

加 2.05 到 5.63kg 碎冰預冷 15°C 到 30°C 之蘆筍（重量 13.5kg），在最初 2 小時內蘆筍之平均降溫情形最好。接近頂層碎冰 5 公分之筍尖在 5 小時內均可冷至 5°C 以下；初溫 15°C 之蘆筍，經過 5 小時之碎冰預冷，平均溫度降到 9°C 左右；而初溫 30°C 之蘆筍，經過 5 小時之碎冰預冷，平均溫度可降到 13°C。

在 5 小時內以碎冰預冷之整株蘆筍的含水率增加 0.4 到 0.6%；而筍尖部分增加 0.8 到 1.0%。有碎冰預冷之蘆筍的終含水率較未預冷者增加 0.5~0.6%。

以統計分析，碎冰預冷對蘆筍之光亮度和綠色有顯著影響。有碎冰預冷者，它的綠色和光亮度較接近原來之本色。

Abstract

This paper contained the development of a prototype crushed-ice maker and its attached conveying system, applied its manufactured crushed-ice to precool the asparagus with initial temperature from 15 to 30°C, and observed the change of temperature, moisture content, and

color of asparagus without and with precooling in 5 hours.

The ice production rate of this system is between 2.7 to 3.2kg per hour; maximum ice conveying speed is 4.5kg/min; the size of ice cube is about 1cm by 1 cm by 2cm; the power consumption is 2.3kw; its coefficient of performance is 0.16.

In an insulated container, the asparagus with initial temperature from 15°C to 30°C will increase temperature from 2.7°C to 4.6°C respectively after 5 hour storage. Because the respiration rate of asparagus spears is greater, temperature difference exists between each layer of asparagus. If the initial temperature is 30°C, the temperature difference between spears and bottom portions of asparagus will be 4°C after 5 hours.

With 2.05 to 5.63kg of top ice applied to precool 13.5kg asparagus of initial temperature from 15°C to 30°C, its average temperature reduction is the best in the beginning of 2 hours.

The temperature of asparagus spears at 5cm from the top ice is cool down to 5°C within 5 hours; With initial temperature 15°C, the average temperature of asparagus is dropped down to 9°C after 5 hours; If the initial temperature is 30°C, the average temperature of asparagus is 13°C after 5 hours.

During the 5 hour top-ice precooling, moisture content of the whole asparagus is increased from 0.4 to 0.6%. However, the moisture content of asparagus spears is increased from 0.8 to 1.0%. The final moisture content of asparagus with top-ice precooling is 0.5 to 0.6% higher than that without top-ice precooling.

According to the statistical analysis, asparagus treated with top-ice precooling has significant effect on its brightness and green color. With top-ice precooling, it will be close to the original green and bright color.

1. 前 言

根據 Gortner 等 (1967)，果蔬之生命過程可分為發育，成熟前期，成熟，完熟和衰老五個階段，依作物不同，由發育到衰老期間也各不相同。綠蘆筍自開始發育（抽出筍）至衰老，在 20°C 下只有 2 至 3 天，更由於呼吸作用、乙烯作用和蒸散作用，導致其老化、水分散失，影響產品的外觀和品質。

目前在蘆筍的運銷過程中，損耗乃佔了相當大的比例。減少損耗的方法可用真空預冷、風冷及水冷方式移除田間熱，加上冷藏貨櫃車運送到消費市場，不過設備上的投資相當高。另一可行的方式是

在採收後的新鮮綠蘆筍加上碎冰，利用碎冰在運銷過程中融解，降低蘆筍的溫度和呼吸熱，抑制微生物的活動，同時補足蘆筍蒸發的水分，確保新鮮。

綠蘆筍之預冷，國內已有用水冷方式者；而加碎冰預冷雖有人嘗試，但基本資料缺乏。再者目前加碎冰預冷的方式為購買由製冰廠所製的整塊碎冰，以機器打碎後，再以人工加碎冰方式完成，相當不便。本文從製冰之基本原理，設計出一小型製冰機，並針對蘆筍以碎冰預冷方式，觀察蘆筍降溫情形、顏色和含水率之變化，做為將來商用設計碎冰預冷之參考，並在小型冰機加上貯藏與螺旋輸出方式，代替目前以人工加碎冰之缺點，以便將來商用碎冰預冷系統機械化之參考。所以本研究之目的可

歸納為下列 5 點：

1. 研製一臺小型製冰機和機械化加碎冰系統。
2. 比較此小型製冰機和機械化加碎冰系統和真空預冷系統之能源效率。
3. 以碎冰預冷蘆筍，觀察其在 5 小時內降溫情形。
4. 估算在不同溫度下，預冷蘆筍到 5°C 所需之加冰量。
5. 觀察碎冰預冷和未預冷蘆筍顏色與含水率在 5 小時內變化之情形。

2. 文獻探討

2.1 小型碎冰機設計原理分析

製冰系統主要構造包括製造碎冰之製冰部，壓縮冷媒之壓縮機，移去冷媒熱量的凝結器，和控制壓力之毛細管（或用膨脹閥）。如圖 1 為冷媒簡易飽和冷凍循環之流程圖。

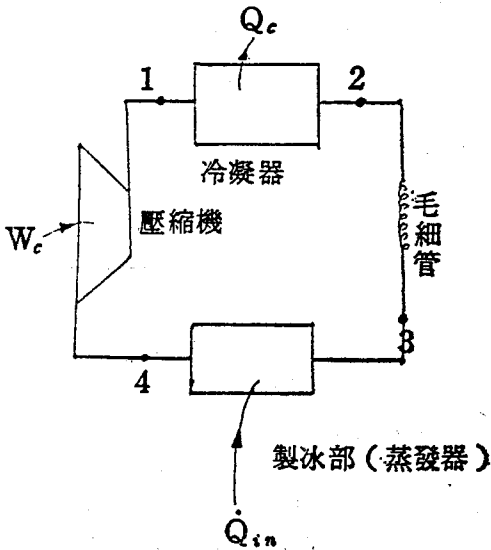


圖 1. 冷媒簡易飽和冷凍循環圖

冷媒在製冰部吸收水凝結成冰所需移除的熱量，蒸發成飽和氣體，是蒸發過程，製冰部相當於一蒸發器。氣態飽和冷媒經壓縮機壓縮是為壓縮過程。高壓氣態冷媒經凝結器散熱為液態，為凝結過程，冷媒經過毛細管降溫降壓，成為飽和低溫低壓液體，是為膨脹過程。茲就冷媒在各過程中之熱力性質和製冰速率找出壓縮機、製冰部和冷卻用風扇所需之馬力，冷媒選用 Freon-12。根據張 (1984)，假設冷媒 Freon-12 凝結溫度為 50°C，蒸發溫

度為 -30°C。

冷媒在各點的熱力性質可由圖 2 查得，分別是：

$$\begin{aligned}
 P_2 &= 1.2167 \text{MPa} & P_3 &= 0.10043 \text{MPa} \\
 T_2 &= 50^\circ\text{C} & T_3 &= -30^\circ\text{C} \\
 h_2 &= 249.76 \text{kJ/kg} & h_3 &= 249.76 \text{kJ/kg} \\
 P_4 &= 0.10043 \text{MPa} & P_1 &= 1.2167 \text{MPa} \\
 T_4 &= -30^\circ\text{C} & T_1 &= 65^\circ\text{C} \\
 h_4 &= 338.76 \text{kJ/kg} & h_1 &= 385 \text{kJ/kg}
 \end{aligned}$$

P 為壓力，T 為溫度，h 為焓。

假設製冰機每小時製冰量為 M_w kg/h，給水溫度為 $T^\circ\text{C}$ ，則每小時冷媒所需移走的熱量為 $T^\circ\text{C}$ 的水冷卻至 0°C 的水和 0°C 之水凝結冰所放出之潛熱。所以製冰部熱量流進速率 Q_{in} 可由下式計算：

$$\begin{aligned}
 Q_{in} &= (M_w \times T \times 1 + M_w \times 79.5) \text{ kcal/h} \\
 &= 4.2M_w(T + 79.5) \text{ kJ/h}
 \end{aligned} \tag{1}$$

這些熱量均由冷媒 Freon-12 藉由蒸發過程所吸收，Freon-12 的質量流率 M_f (kg/h) 可求得：

$$Q_{in} = M_f \times (h_4 - h_3) = 4.2M_w(T + 79.5) \tag{2}$$

$$M_f = 0.047M_w(T + 79.5) \tag{3}$$

壓縮機壓縮冷媒所作的功稱為壓縮熱，壓縮熱為冷媒所吸收，冷媒焓的增加量即為壓縮熱，而壓縮機之馬力 W_c 可由下式求得：

$$W_c = M_f(h_1 - h_4) \text{ kJ/h} \tag{4}$$

$$\text{代入(3)式, } W_c = 2.17M_w(T + 79.5) \tag{5}$$

假設製冰速率為每小時 3.5kg，給水溫度為 20°C ，則所需壓縮機馬力 W_c ，由(5)式可得 $W_c = 756 \text{kJ/h} = 0.282 \text{hp}$ 對於小型往復式壓縮機而言，其容積效率約為 60%~75%，所以所需壓縮機馬力約需 0.3~0.47hp 選用 0.5hp 之壓縮機即可。

在凝結器凝結過程中之凝結熱 Q_c 為

$$Q_c = M_f \times (h_1 - h_2) \tag{6}$$

代入(3)式，

$$Q_c = 6.36M_w(T + 79.5) \tag{7}$$

將 M_w ， T 代入(7)式可得

$$Q_c = 2215 \text{kJ/h} = 0.62 \text{kw}$$

焓 (Btu/lb)

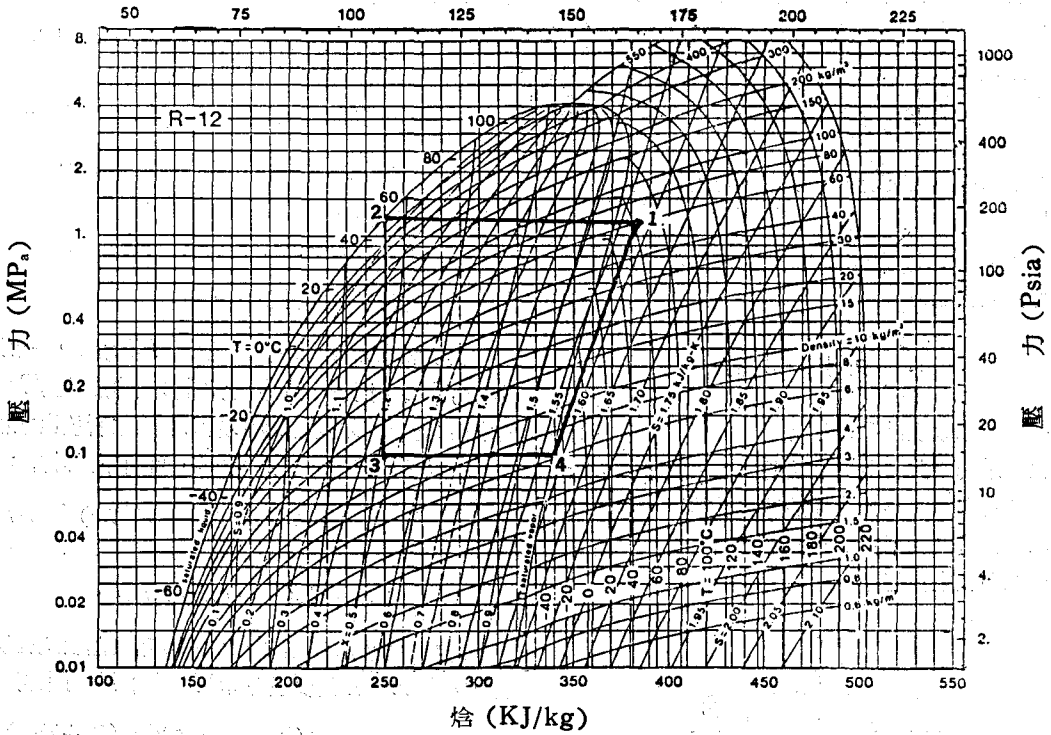


圖 2. Freon-12壓力—焓圖 (張, 1984)

根據 ASHRAE Handbook of Equipment (1983), 冷却風扇所需馬力為每 kw 約 21 至 42W, 所以本系統所需冷却風扇馬力約 0.01hp 至 0.03hp 之間, 選用 0.05hp 之冷却風扇馬達。

製冰機馬達所提供之動力是用以帶動製冰室螺旋刮刀, 並克服螺旋刮刀和凝結和製冰室內壁之冰的摩擦, 並需考慮傳動鍊條和皮帶的傳動效率。製冰機所需馬力和製冰部大小有關, 由於製冰速率固定, 製冰部大小也有一定規格, 根據設計經驗, 在每小時 3.5kg 的製冰速率下, 使用 0.5hp 之馬達即可。

製冰部所製造之碎冰經由斜槽導入一上寬下窄之圓錐貯存筒中貯放。圓錐下端有開口連接螺旋輸送機, 經由變速馬達帶動螺旋輸出碎冰。為防止碎冰在貯放期間凝結在一起, 並設有攪拌馬達帶動攪拌器維持碎冰為粒體, 以利輸出。在本輸出系統中, 輸送距離為 30cm, 水平輸送, 選用外徑 5 cm, 內徑 2 cm 之標準螺旋, 螺距為 5 cm, 若輸送冰量為 4.5kg/min, 根據 Henderson 和 Perry (1976), 帶動螺旋輸送機所需馬力為:

$$hp = C \cdot L \cdot W \cdot g \cdot F / 60 \cdot 746 \dots\dots\dots(8)$$

式中 C = 碎冰輸出速率, 0.021m³/min (4.5kg/min)

g = 重力加速度, 9.81m/s²

L = 輸送距離, 0.3m

W = 碎冰之密度, 約 720kg/m³ (Screw Conveyor Engineering (1976))

F = 滿載因子, 碎冰約 0.3² (Screw Conveyor Engineering (1976))

hp = 馬力

將(8)式中各數值代入, 求得馬達所需之馬力約 3×10⁻⁴hp, 選用易獲得 0.25hp 之變速馬達。

攪拌馬達所需馬力由攪動碎冰所需扭矩決定。攪拌器轉速若為 25rpm, 貯冰槽冰量直徑為 0.5m, 貯冰槽貯冰量約 25kg, 則攪拌馬達所需馬力可由下式決定。

$$hp = \pi \cdot D \cdot N \cdot m \cdot g / 746 \cdot 60 \dots\dots\dots(9)$$

hp = 馬力

D = 攪拌直徑, m

N = 攪拌器轉速, rpm
 m = 碎冰重量, kg
 g = 重力加速度 9.81m/s²

將以上數值代入(9)式中, 求得馬力數約
 0.215hp, 選用0.25hp之馬達。

2.2 預冷文獻之探討

田間餘熱是指將產品採收後之初溫降到預冷設定溫度所需移走之熱量。

$$Q_p = m \cdot C \cdot (T_1 - T_2) \dots\dots\dots(10)$$

Q_p: 田間餘熱(kcal)
 m: 產品重量(kg)
 C: 產品凍結點以上之比熱(kcal/kg-°C)[ASHRAE Handbook of Applications (1982)]
 T₁: 產品初溫(°C)
 T₂: 預冷設定溫度(°C)

農產品從母株採收後, 仍會進行呼吸作用, 放出CO₂, 水和熱量。呼吸熱(Q_{rsp})之計算如下式:

$$Q_{rsp} = m \cdot (R_1 + R_2) \cdot t \cdot CF / 2 \cdot 24000 \dots\dots(11)$$

Q_{rsp}: 呼吸熱(kcal)
 m: 產品重量(kg)
 t: 預冷時間(h)
 R₁: 溫度T₁ (產品初溫, °C)時, 產品之呼吸率(Mg-CO₂/kg-h)[Ryall和Lipton(1972)]
 R₂: 溫度T₂ (預冷設定溫度, °C)時, 產品之呼吸率(Mg-CO₂/kg-h)[Ryall和Lipton(1972)]
 CF: 轉換因子, 61.2(kcal/kg-day)

外界環境熱傳之量可由下列(12)式求得。

$$Q_e = U \cdot A \cdot (T_1 - T_2) \cdot t \dots\dots\dots(12)$$

Q_e: 外界環境之熱傳量(kJ)
 A: 絕熱容器表面積(m²)
 t: 預冷時間(h)
 T₁: 容器外面環境之溫度(°C)
 T₂: 容器內部之溫度(°C)

$$U = \frac{1}{\frac{1}{f_i} + \frac{1}{f_o} + \frac{x}{k}} \dots\dots\dots(13)$$

U: 容器總合熱傳係數(w/m²-°C)

f_i: 容器內部空氣對流熱傳係數(w/m²-°C)

f_o: 容器外部空氣對流熱傳係數(w/m²-°C)

在空氣靜止時, f_i, f_o二者值皆為
 8.29w/m²-°C [ASHRAE Handbook of Fundamentals (1985)]

x: 絕熱材料厚度(m)

k: 絕熱材料熱傳導係數(w/m²-°C)

全部預冷之熱負荷Q為

$$Q = Q_p + Q_{rsp} + Q_e \dots\dots\dots(14)$$

Q: 熱負荷(kcal)

若全部熱負荷為冰所吸收, 可計算預冷蘆筍所需之加冰量。

$$M = \frac{Q}{h + T_2 \cdot C_w} \dots\dots\dots(15)$$

M: 加冰量(kg)

Q: 熱負荷(kcal)

h: 水之潛熱(79.5kcal/kg)

T₂: 預冷設定溫度(°C)

C_w: 水之比熱(1kcal/kg-°C)

三、小型製冰試驗機

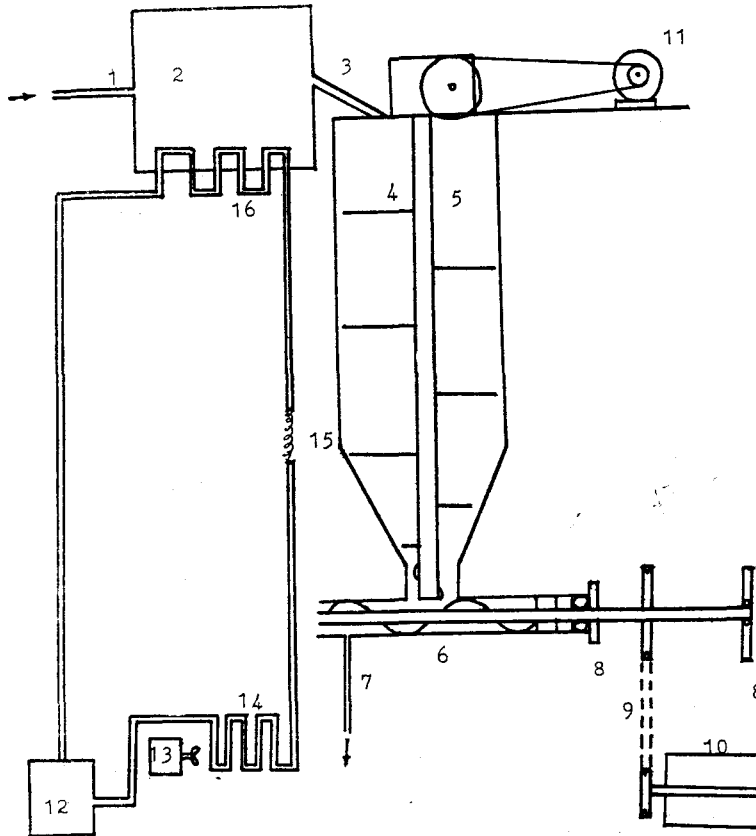
本文研製之小型製冰試驗機主要包括冷媒迴路系統, 碎冰製造和移除系統, 給水和排水管路系統, 電路控制系統和碎冰貯存和輸出系統, 茲分別說明如下:

3.1 冷媒迴路系統

如圖3冷媒為Freon-12 進入製冰部(1)溫度為-25°C, 壓力為0.12MPa離開時壓力為0.09MPa, 進入壓縮機前壓力降為0.069MPa之過熱低溫低壓氣體, 經0.5hp壓縮機(2)壓縮成高壓高溫氣體, 壓力為1.38MPa。冷媒再經0.05hp散熱馬達(3)及凝結器(4)降低溫度成為液體, 此時壓力為1.22MPa, 溫度為50°C, 經過乾燥劑吸收其中的水分。最後通過毛細管, 毛細管的作用和膨脹閥相同, 固定冷媒壓力。冷媒通過毛細管成為低溫低壓液體, 溫度為-25°C, 壓力為0.12MPa進入製冰部吸收之潛熱, 如此重覆循環(部份壓力與溫度資料由偉智飲食機械有限公司提供)。

所用製冰機馬達為電容啟動馬達，標示馬力為 0.5hp，標示輸入功率為 0.54kw，標示轉速1730 rpm標示效率為69%。本製冰機製冰速率測定結果

介於 2.7 到 3.2 kg/h，視進水溫度和大氣溫度之影響。本碎冰製造機構所製碎冰顆粒大小約為 1cm×1cm×2cm。



說明：1.給水管 2.0.5馬力製冰機 3.碎冰滑槽 4.碎冰攪拌器 5.碎冰儲藏槽 6.碎冰輸送機 7.排水管 8.軸承 9.傳動皮帶 10.0.25馬力直流變速馬達 11.0.25馬力攪拌馬達 12.0.5馬力壓縮機 13.0.05馬力風扇 14.凝結器 15.毛細管 16.蒸發器

圖3. 碎冰製造機構及輸送機構示意圖〔蕭(1985)〕

3.2 碎冰製造和移除系統

如圖4(a)，水由進水口進入，經由進水管道進入製冰室，此時冷媒由毛細管入口進入，蒸發使製冰管壁急速冷卻，水在管壁表面凝結成薄小冰片，再由螺旋刮刀刮送至冰條擠壓室部分，擠壓成較大的冰條。如圖4(b)所示，形成厚度為B寬度為A，冰條繼續往右移動，由打斷器打斷，再由撥桿推入儲冰槽，此時碎冰之長度為h。圓盤外殼可防止碎冰掉落，只能由撥桿推入儲冰槽中，冷媒由冷媒回收管回收。

3.3 給水和排水管路系統

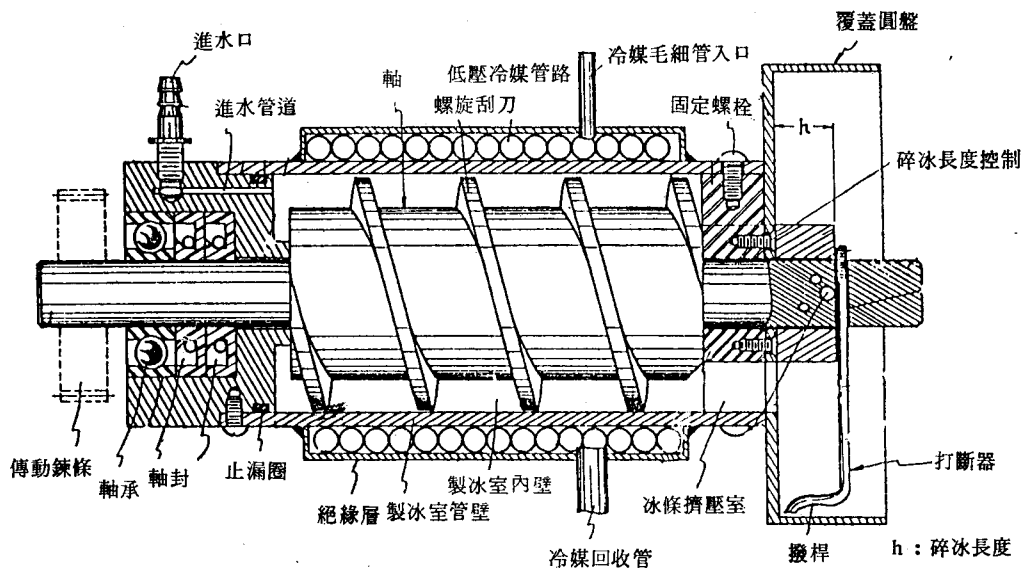
進水控制閥以壓力控制進水量，水壓高於設定壓力時，限制水進入製冰部，並將多餘之供水排出，以穩定製冰量。

3.4 電路控制系統

為防止停水而造成機器損壞，設有I.C. Timer控制器，停水30秒後，自動切斷電路，並有溫度感應器，若貯冰槽已滿，則停止製冰。

3.5 碎冰貯存和輸出系統

(a) 製冰部之構造圖



(b) 碎冰擠壓室細部圖

A : 碎冰寬度 B : 碎冰厚度

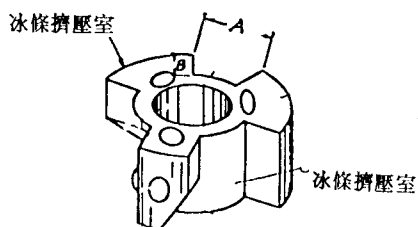


圖 4. 製冰部之構造及細部圖

如圖 5 所示，製冰機所製之碎冰經由斜槽導入貯存槽中貯放，俟使用時經由變速馬達控制輸出速率。為避免碎冰凝結成大冰塊，設有攪拌馬達帶動攪拌器將冰塊打碎利於螺旋輸出。

本製冰機系統碎冰貯量為 22kg，最大輸出冰量為每分鐘 4.5kg，攪拌馬達標示馬力為 0.25hp，分相起動，標示輸入功率為 0.3kw，標示效率為

58%，攪拌器轉速約 0.42rps。

3.6 製冰機之側視圖

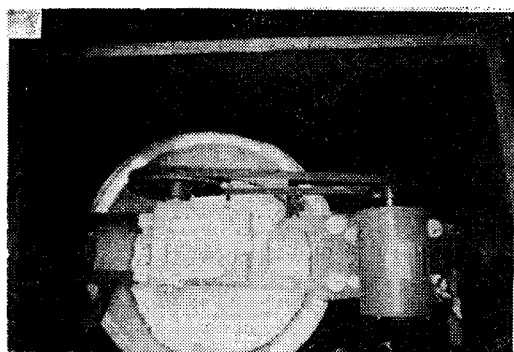


圖 5. 貯冰槽和攪拌馬達上視圖

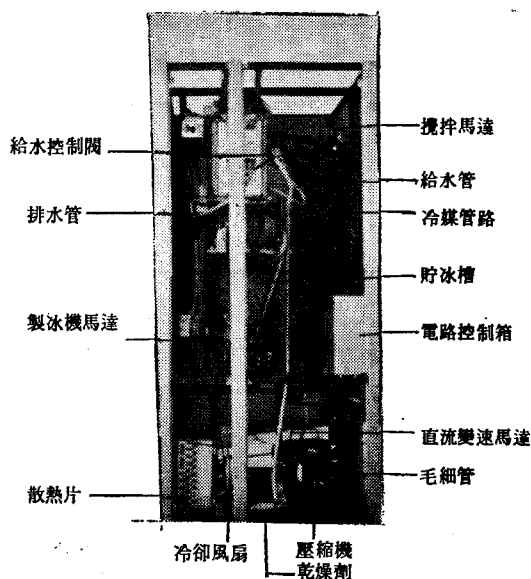


圖 6. 製冰機之側視圖

如圖 6，是綜合上述系統之製冰機側視圖，由圖中可看出主要構件：攪拌馬達，給水管，排水管，給水控制閥，冷媒管路，貯冰槽，製冰機馬達，電路控制箱，直流變速馬達，冷卻風扇，壓縮機，毛細管，散熱片，乾燥劑等。

四、實驗設備及方法

本實驗在溫度控制室中，將蘆筍置於絕熱容器內，測定有無碎冰預冷對於蘆筍溫度、含水率及顏色之影響。圖 7 為溫度測試情形，試驗之蘆筍皆從筍尖切取 20cm，測溫點分 5 層，每層測 6 點溫度，每半小時測一次溫度，連續 5 個小時。實驗前後各取 6 個樣品依 ASAE 標準測定牧草之含水率

方法在 103°C 烤箱中烤 24h，測定綠蘆筍之含水率[ASAE Standard S358.1(1984)]。

4.4 蘆筍顏色變化之測定

根據方和區 (1974)，色澤之測定是選定離筍尖 3 公分及 7 公分兩處，剝取厚約 0.3 公分之皮部，長 1 公分左右，置於色差計 (Color & Color Difference Meter, NP-101DP) 之儀器反射光之洞口處，測實驗前後 L, a, b 值之變化。L 表示光亮度，+a 表示紅色，-a 表示綠色，+b 表示黃色，-b 表示藍色。其差值分別以 ΔL , Δa , Δb 表示。並以統計二因子變異數分析有無碎冰預冷和顏色測定點之不同對其顏色變化有無明顯影響。

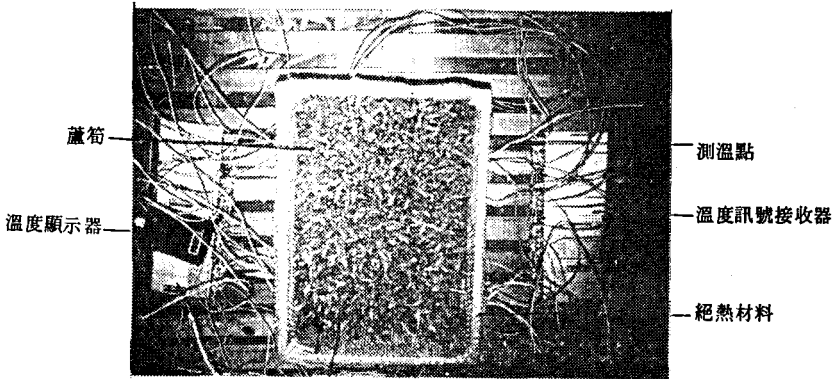


圖 7. 蘆筍之測溫情形

五、結果和討論

5.1 製冰機之性能與真空預冷之比較

本製冰機整個系統的性能係數可以產品所移去的热量除以製冰機所耗之能源來計算：

$$\text{性能係數} = \frac{\text{產品移去熱量}}{\text{耗費能源}}$$

$$= \frac{m \cdot C_w \cdot \Delta T + m \cdot h}{Q_{in}} \dots\dots\dots (16)$$

m : 水重

C_w : 水之比熱

ΔT : 水之溫差

h : 0°C 之水凝結為 0°C 之冰放出之潛熱

Q_{in} : 製冰機耗費能源，以系統的耗電功率 (電壓差 \times 電流大小) \times 操作時間。

表 1. 製冰機系統各次實驗數據

| | 進水溫度 | 操作時間 | 製冰量 | 移走熱量 | 耗費能源 | 能源效率 |
|---|------|------|-------|----------|----------|------|
| 1 | 21°C | 1h | 3.1kg | 312kcal | 2.3kw·h | 0.16 |
| 2 | 23°C | 2h | 6kg | 615kcal | 4.6kw·h | 0.16 |
| 3 | 24°C | 3h | 8.1kg | 838kcal | 6.9kw·h | 0.14 |
| 4 | 25°C | 7h | 22kg | 2299kcal | 16.1kw·h | 0.17 |
| 5 | 20°C | 2h | 6.5kg | 647kcal | 4.6kw·h | 0.16 |

表 1 為 5 次實驗之數據，以第 4 次為例， $m=22\text{kg}$ ， $C_w=1\text{kcal/kg}\cdot^\circ\text{C}$ ， $\Delta T=25^\circ\text{C}$ ， $h=79.5\text{kcal/kg}$ ， $Q_i=135\text{V}\times 17\text{A}\times 7\text{h}=16.1\text{kw}\cdot\text{h}$

$$\text{製冰機之性能係數} = \frac{(22\times 1\times 25+22\times 79.5)\text{kcal}}{16.1\text{kw}\cdot\text{h}}$$

$$= \frac{2299\text{ kcal}}{16.1\text{ kw}\cdot\text{h}} = 0.17$$

5 次實驗之性能係數平均值為 0.16。

本小型製冰機經測試，製冰速率介於每小時 2.7 至 3.2kg 之間，所製造之碎冰顆粒大小約為 $1\text{cm}\times 1\text{cm}\times 2\text{cm}$ ，碎冰貯量約 22kg，最大輸出冰量為每分鐘 4.5kg，耗電功率為 2.3kw。

將本製冰機所製造之碎冰應用於蘆筍之預冷，若預冷效率可以下列式子(17)表示

$$\text{預冷效率}(\%) = \frac{(\text{初溫} - \text{終溫}) \times 100\%}{\text{初溫} - \text{設計預冷溫度}(5^\circ\text{C})} \quad (17)$$

根據蘆筍碎冰試驗，初溫在 15°C 下，加冰量為 2.05kg，預計預冷至 5°C ，實際上只有預冷到 9.1°C ，預冷效率為 $(15-9.1)/(15-5)\times 100\% = 59\%$ 。 20°C 下，加冰量為 3.23kg，預冷效率為 63%。初溫在 25°C ，加冰量為 4.26kg，預冷效率為 68%。在初溫 30°C 加冰量為 5.63kg，預冷效率為 68.4%。因此，蘆筍初溫愈高，其碎冰預冷效率愈大。

而就整個系統的操作而言，預冷 15°C 之蘆筍能源效率為 $0.16\times 59\% = 0.09$ ，而預冷 20°C ， 25°C ， 30°C 蘆筍性能係數分別為 0.1，0.11，和 0.11。耗費能源的多寡可由所需加冰量計算。以預

冷 15°C ，13.5公斤之蘆筍為例，加冰量為 2.05kg，以製冰機每小時 3 公斤平均製冰速率和 2.3kw 的耗電功率而言，需耗費 1.57kw·h 的能源。預冷 20°C ， 25°C ， 30°C 同樣重量的蘆筍分別約需 2.48kw·h，3.27kw·h 和 4.32kw·h。

以目前臺大農機系之小型真空預冷設備做蘆筍預冷實驗，發現初溫 26°C 之蘆筍在 15 分鐘內降到 2°C ，蘆筍重量同樣為 13.5kg，耗電量為 3kw·h，性能源數為 0.12，和碎冰預冷差不多。不過若以耗電率而言則為製冰機之 5.2 倍。另一次以少量蘆筍 (0.61kg) 作真空預冷，蘆筍在 6.5 分鐘內由 19.6°C 降到 3.7°C ，耗電量為 0.7kw·h，能源效率僅為 0.02，每公斤蘆筍的電量為碎冰預冷的 3.6 倍。由此可見真空預冷不適用於小量產品預冷。

根據陳(1986)在真空預冷及其能源分析報告中指出大型真空預冷設備在應用萵苣之預冷時，空轉功率為 98kw 滿載時最高可達 448kw，消耗電力為 119kw·h，操作費用相當大，但是 C.O.P 可達 3.0，在處理大量產品時性能係數較好。利用製冰機和輸出系統預冷，性能係數較低，但設備和操作費用都較便宜，特別利用現有之製冰廠之碎冰預冷時，碎冰預冷有其可行性。

5.2 加冰量之計算與佔蘆筍之重量比

蘆筍碎冰預冷所需加冰量之計算，只需將蘆筍重量，蘆筍比熱，蘆筍在初溫和預冷設定溫度之呼吸熱，絕熱容器之總合熱傳係數和總表面積，預冷時間等數值代入公式計算預冷熱負荷，就可求得預冷蘆筍所需之加冰量。

表 2 不同溫度下，預冷蘆筍至 5°C 之各項熱負荷和所需加冰量 (蘆筍重量為 13.5kg)

| 溫度 | 熱負荷 | $Q_p(\text{kcal})$ | $Q_{rs,p}(\text{kcal})$ | $Q_e(\text{kcal})$ | $Q(\text{kcal})$ | 加冰量(kg) |
|--------------------|-----|--------------------|-------------------------|--------------------|------------------|----------------|
| | 百分率 | (% of Q) | (% of Q) | (% of Q) | | (% of 蘆筍重) |
| 15°C | | 126.9 (73.4) | 32.88 (19) | 13.2 (7.6) | 172.98 | 2.05 (15.2) |
| 20°C | | 190.35 (69.8) | 62.65 (23) | 19.81 (7.2) | 272.81 | 3.23 (23.9) |
| 25°C | | 253.8 (70.5) | 79.62 (22.1) | 26.41 (7.4) | 359.83 | 4.26 (31.5) |
| 30°C | | 317.25 (66.7) | 125.43 (26.4) | 33.01 (6.9) | 475.69 | 5.63 (41.7) |

以初溫為15°C之蘆筍為例，設定溫度為5°C，蘆筍重量為13.5kg，蘆筍比熱為0.94 kcal/kg-°C，絕熱容器總表面積A為0.7m²，預冷時間t為5小時，並由Ryall和Lipton(1972)查得 R₁,R₂分別為 327 和 136Mgco₂/kg-h，將各值代入式(10)(11),(12),(14)和(15)，可求得加冰量M為 2.05kg。表2是預估蘆筍在不同初溫預冷至5°C各項熱負荷和所佔之百分率，總熱負荷，所需加冰量，和加冰量所佔蘆筍之百分率。如初溫30°C之蘆筍欲預冷到5°C，加冰量佔蘆筍重量之41.7%。

5.3 新鮮蘆筍在絕熱容器內溫度變化之情形

蘆筍的溫度隨著貯藏時間之增加而增加，主要原因為新鮮之蘆筍產生相當高的呼吸熱，其上升之溫度可由下列熱平衡公式加以估算。

呼吸熱-熱傳損失=蘆筍內能增加

$$(K \cdot m \cdot R_1 \cdot t) - (U \cdot A \cdot \Delta T \cdot t) = m \cdot C \cdot \Delta T \dots\dots\dots(18)$$

- m：蘆筍重量，13.5kg
- R₁：蘆筍之呼吸熱，Mg-CO₂/kg-h。
- K：單位轉換因子，2.55×10⁻³
- t：時間，5 h之實驗時間。
- C：蘆筍比熱，0.94 kcal/kg-°C
- ΔT：蘆筍始末溫差。
- U：絕熱容器總合熱傳係數，0.4372w/m²-°C [由量測得，陳凱倫(1986)]
- A：絕熱容器總表面積，0.7m²

將以上數值代入(18)式，可求得初溫 15°C 之蘆筍溫差為 4°C，與實際量測溫差 2.7°C相差 1.3°C，此差距之原因乃蘆筍並非保持原來之高呼吸率，經過貯藏一段時間會趨於一平衡速率，溫度愈高，趨於平衡的時間愈短(Lipton, 1957)，另外原因可能是絕熱容器U值量測之差異 [陳凱倫(1986)]。初溫 20,25,30°C 之蘆筍在 5 個小時之後，實際溫度和預估溫度分別相差2.5,3.4和5.8°C。

圖 8 是未預冷之蘆筍在不同溫度下，絕熱容器內各層蘆筍溫度之平均值。由圖中可看出初始溫度愈高之蘆筍溫度隨貯藏時間之增加而溫度上升之情形較大。在 5 小時內，初溫 15°C 之蘆筍溫度平均升高了 2.7°C。初溫 20°C 之蘆筍平均升高了 3.6°C，初溫 25°C 之蘆筍溫度則升高了 4°C。而初溫 30°C 之蘆筍溫度平均升高了 4.6°C。

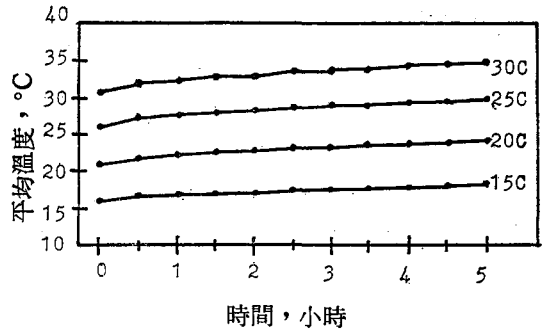


圖 8. 未預冷之蘆筍在不同溫度下，絕熱容器內蘆筍之溫度上升之情形

圖 9, 10, 11和12分別為初溫 15, 20, 25, 30°C 之絕熱容器內蘆筍各層溫度上升之情形。圖中 1 為筍尖，2 為距筍尖 5 公分處，3 為距筍尖 10 公分處，4 為距筍尖 15 公分處，5 為距筍尖 20 公分處，蘆筍長度為 20 公分。由上圖可看出一共同趨勢，即蘆筍呼吸熱以筍尖部分最大，溫度上升之情形比其他部分為快。在同一初溫下，各層蘆筍經過 5 小時後，有顯著溫差。如蘆筍初溫 15°C，筍尖部分和底

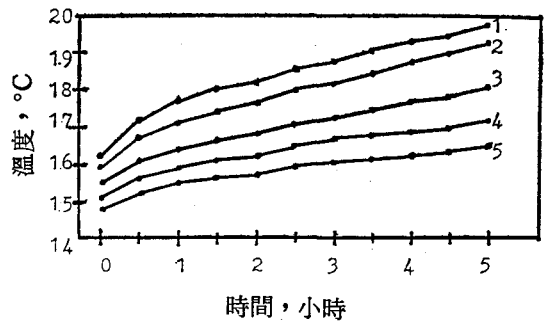


圖 9. 初溫 15°C，絕熱容器內蘆筍各層溫度上升之情形

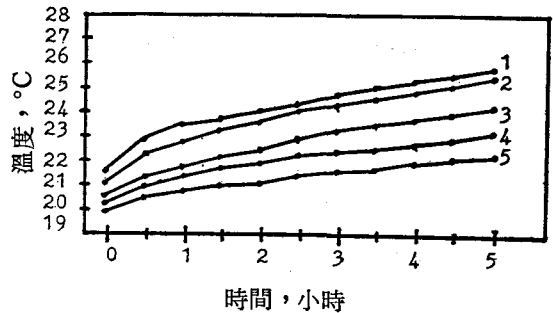


圖10. 初溫 20°C，絕熱容器內蘆筍各層溫度上升之情形

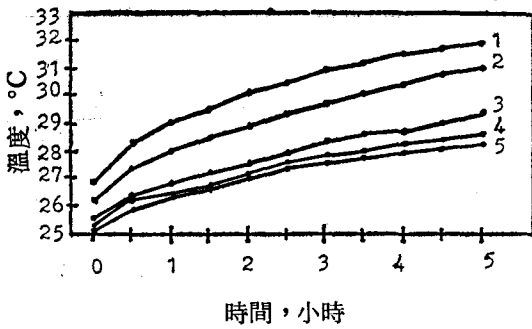


圖11. 初溫 25°C，絕熱容器內蘆筍各層溫度上升之情形

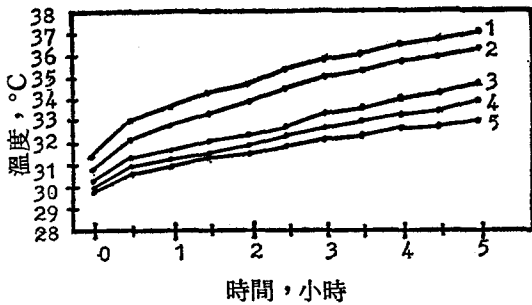


圖12. 初溫 30°C，絕熱容器內蘆筍各層溫度上升之情形

層之蘆筍在開始就有 1.4°C 之溫差，5 小時後溫差達 3.3°C。初溫 20°C 之蘆筍，筍尖部分和底層蘆筍一開始之溫差有 1.6°C，5 小時後溫差達 3.5°C。初溫 25°C 之蘆筍筍尖部分和底層蘆筍開始也有 1.5°C 之溫差，5 小時後溫差達 3.6°C。初溫 30°C 之蘆筍開始時筍尖部分和底層蘆筍溫差有 1.6°C，5 小時後溫差達 4°C。由此也可看出蘆筍筍尖部分之呼吸熱較其他部分為高。

5.4 蘆筍在絕熱容器內碎冰預冷溫度變化之情形

如圖13所示，在不同初溫 (15°C, 20°C, 25°C 和 30°C) 下，絕熱容器內頂層碎冰預冷之平均蘆筍溫度變化情形。由圖中可看出蘆筍之平均溫度在半小時之內其溫降最多，而兩小時之後降溫效果漸趨緩慢。而且溫度愈高預冷降溫效果愈好，初溫 15°C 之蘆筍經過 5 小時之碎冰預冷，降溫只有 6.5°C，20°C 之蘆筍則有 10.1°C，25°C 之蘆筍溫度降低了 14.3°C，30°C 之蘆筍溫度降低了 17.5°C。

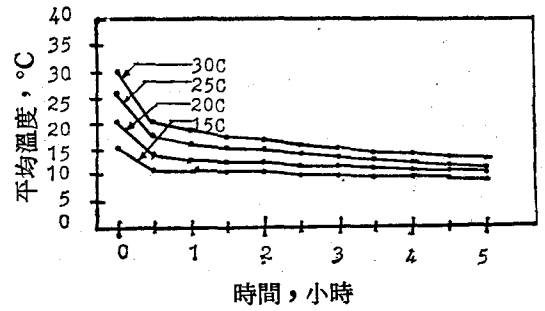


圖13. 在不同溫度下，絕熱容器內頂層碎冰預冷蘆筍之平均溫度變化情形

圖14, 15, 16和17分別是初溫 15, 20, 25 和 30°C 之蘆筍，頂層加碎冰預冷，蘆筍各層降溫曲線。由圖中可看出主要部分筍尖部分(1)靠近加碎冰處在 5 小時內均可降到預冷溫度 5°C 以下並且能維持在 5°C，距頂層加碎冰處愈遠，降溫也愈小。

經過 5 小時之預冷加碎冰處之筍尖〔層(1)〕與離筍尖 20 公分處〔層(5)〕可能導致降溫之差異從 11°C 到 17°C。

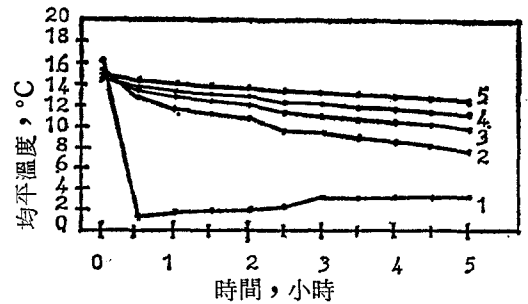


圖14. 初溫 15°C，頂層加碎冰預冷之蘆筍各層降溫情形

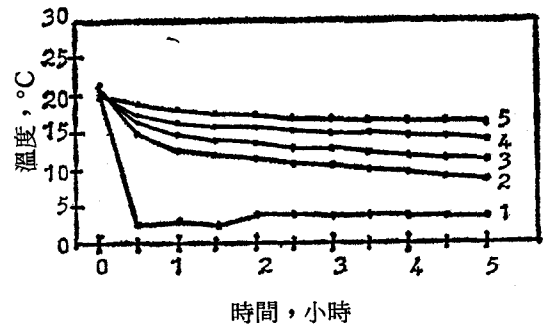


圖15. 初溫 20°C，頂層加碎冰預冷之蘆筍各層降溫情形

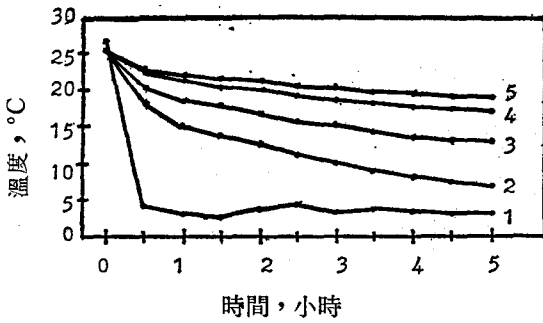


圖16. 初溫 25°C，頂層加碎冰預冷之蘆筍各層降溫情形

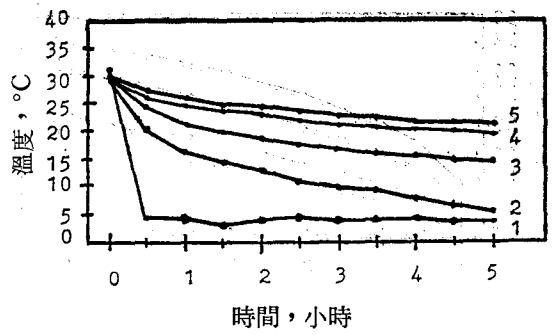


圖17. 初溫 30°C，頂層加碎冰預冷之蘆筍各層降溫情形

5.5 蘆筍含水率之測定結果

如表 3 所示，蘆筍頂層加碎冰預冷者，碎冰融解流經蘆筍為其所吸收，筍尖部分因有空隙故吸收水較多，含水率增加約0.8~1.0%，就整株蘆筍而言，含水率增加0.4~0.6%。有碎冰預冷之蘆筍終含水率較未碎冰預冷之蘆筍終含水率增加約0.5~0.6%。

表 3 蘆筍含水率 * 受到 5 小時加冰預冷之影響

| 溫度 蘆筍 | 含水率 | 初含水率 (%) | 加冰預冷之終含水率 (%) | 未加冰之終含水率 (%) | 加冰預冷或未加冰預冷含水率之差異 (%) |
|----------|-----|----------|---------------|--------------|----------------------|
| 15°C | 筍尖 | 89.4 | 90.2 | 89.7 | 0.5 |
| 15°C | 整株 | 93.0 | 93.6 | 93.3 | 0.6 |
| 20°C | 筍尖 | 89.2 | 90.0 | 89.4 | 0.6 |
| 20°C | 整株 | 93.2 | 93.6 | 93.1 | 0.5 |
| 25°C | 筍尖 | 89.2 | 90.2 | 89.3 | 0.9 |
| 25°C | 整株 | 93.5 | 94 | 93.4 | 0.6 |
| 30°C | 筍尖 | 89.1 | 90 | 89.7 | 0.3 |
| 30°C | 整株 | 93.2 | 93.8 | 93.2 | 0. |

*含水率以濕基表示之

5.6 預冷與未預冷之蘆筍之顏色差異

經色差計測試結果，無碎冰預冷之蘆筍，距筍尖 3 公分和 7 公分處，光亮度 (L 值) 減小，a 值增加 (即 - a 值減少) 表示蘆筍外觀綠色變淡，b 值減少表示黃色減少。

頂層加碎冰預冷之蘆筍距筍尖 3 公分處和距筍尖 7 公分處，光亮度 (L 值) 增加，- a 值增加表示綠色部分顏色加深，b 值增加，表示黃色加深。

根據陳凱倫(1986)統計之變異數分析，有無碎冰預冷對蘆筍之光亮度和綠色有非常明顯的變化，對於藍色部分則沒有明顯變化。測點不同對於蘆筍之光亮度和綠色在99%的信賴區間沒有明顯變化，對於黃色部分也沒有明顯變化。

六、結 論

1. 本製冰機製冰速率介於每小時 2.7 至 3.2kg

之間，視給水溫度不同而異。所製造之碎冰顆粒大小約為 1cm×1cm×2cm，碎冰貯量為 22kg，最大輸出冰量為每分鐘 4.5kg，耗電率為 2.3kw，性能係數 0.16。

2. 蘆筍的呼吸熱初期較大，隨著貯藏時間增加呼吸熱漸趨於穩定速率。蘆筍的呼吸熱以筍尖嫩莖部分為最大，初溫愈高，蘆筍溫度上升幅度也愈大。在恒溫之絕熱容器內，初溫 15°C 之蘆筍在 5 小時後，溫度平均上升了 2.7°C，初溫 30°C 之蘆筍在 5 小時後則上升了 4.6°C 蘆筍各層溫度有溫差情形，初溫 30°C 之蘆筍，5 小時後筍尖和底層蘆筍溫差可達 4°C。

3. 頂層碎冰預冷 15 到 30°C 之蘆筍 (13.5kg)，加冰量介於 2.05 到 5.63kg 之間，在最初 2 小時內蘆筍之平均降溫情形最好。接近加碎冰 5 公分之筍尖在 5 小時內均可冷至 5°C 以下，初溫 15°C 之蘆筍，經過 5 小時之碎冰預冷，平均溫度仍保持在 9°C 左右，而初溫 30°C 之蘆筍，經過 5 小時之碎冰預冷，平均溫度可降到 13°C。

4. 以碎冰預冷蘆筍，溫度愈高，預冷效率愈好，在 15°C 時，為估計之 59%，20°C 時為 63%，25°C 時為 68%，30°C 時為 68.4%。

5. 碎冰預冷所需之加冰量視蘆筍重量和溫度而定，若預冷到 5°C 在初溫 15°C 時，蘆筍所需加冰量約需本身重量之 15%，20°C 時約 24%，25°C 時約為 32%，初溫 30°C 時則加冰量達本身蘆筍重量的 42%。蘆筍碎冰預冷熱負荷中田間餘熱為最大的熱來源，約佔全部熱負荷的 70%。

6. 在 5 小時內以碎冰預冷之整株蘆筍的含水率增加 0.4 到 0.6%，筍尖部分增加 0.8 到 1.0%。有碎冰預冷之蘆筍的終含水率較沒有預冷者增加 0.5~0.6%。

7. 根據統計變異數分析，碎冰預冷對蘆筍之光亮度和綠色有顯著影響，有碎冰預冷者，綠色較深，光亮度也較大。不同測點對於蘆筍之光亮度 (L 值) 和綠色 (a 值) 沒有顯著影響。

參 考 文 獻

1. 方祖達、區少梅，1974。預冷與冷藏溫度對蘆筍嫩莖呼吸率、品質及保鮮之影響，中國園藝，第 20 卷，第 4 期。
2. 張基台，1984。冷凍空調工程，登文書局。
3. 陳貽倫，1986。真空預冷及其能源分析，農業工程學報，第 32 卷，第 1 期。
4. 陳凱倫，1986。小型碎冰機之研製及應用於綠蘆筍之預冷。國立臺灣大學農業工程與研究所碩士論文，臺大農機系。
5. 蕭介宗，1985。蔬菜碎冰噴灑冷卻系統設計及應用。七十四年農機研究發展與示範推廣報告，臺灣省農林廳。
6. 1976. Screw Conveyor Engineering, Catalogue No. 7700, Sullivan Strong Scott, Winnipeg, Canada.
7. 1982, Commodity Storage Requirements, chap. 41, ASHRAE Handbook of Applications., American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc.
8. 1983. Condensor, Chap. 16. ASHRAE Handbook of Equipment, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-conditioning Engineers, Inc. Atlanta, GA 30329, U. S. A.
9. 1984, Moisture Measurement-Forage ASAE Standard, S 358. 1., Agricultural Engineers Yearbook, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Mi 49085, U. S. A.
10. 1985, Design Heat Transmission Coefficients, chap. 23. ASHRAE Handbook of Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-conditioning Engineers, Inc. Atlanta, GA 30329, U. S. A.
11. Gortner, W. A., Dull, C. G., and Krauss, B. H., 1967. Fruit development, maturation, ripening, and senescence: a biochemical basis for horticultural terminology. Hort. Science. 2. U.S.A.
12. Henderson, S. M. and R. L. Perry, 1976. Agricultural Processing Engineering, 3rd edition, The AVI Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut, U. S. A.
13. Lipton, W. J., 1957. Physiological changes in harvested asparagus (*Asparagus officinalis*) as related to temperature. Ph. D. Thesis. University. of California, Davis. California. U.S.A.
14. Ryall, A. L. & W. J. Lipton, 1972. Handling, Transportation and storage of Fruit and Vegetables, Vol. I. AVI Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut U. S. A.