改進臺灣蘆筍品質及產量之研究
Ⅱ、影響蘆筍嫩莖水冷效果因子之研究

Studies on the Improvements of Quality and Yield of Asparagus of Taiwan
Ⅱ、Factors Affecting the Effect of Hydrocooling Asparagus Spears

林　昭　雄
by
Chao-hsiung Lin

摘　要

筍農使用之小型水冷容器質料宜選擇質輕，保溫性强之普利龍保溫箱，大小以 25×32×36 cm爲適。冰塊重，冰塊表面積與相對熱傳導有關係，水冷時冰塊愈小，增加之表面積愈大，熱交換亦愈速。用 8 塊 2.5 kg/8 及 16 塊 2.5 kg/16 大小之冰塊在 75 分鐘後將水溫降至 4°C，與蘆筍最適之貯運溫度 5°C相近，且可維持將近 5 小時之久。冰塊加水量對於水冷效果有影響，相當冰塊重二倍之水量，不僅水冷效果佳，且可維持 4～5°C達 6 小時之久。食鹽用量對於冰融解速率及溫度有影響但不實用。展着劑如Triton 1991 對熱之傳導有阻礙，對於提高水冷效果似無多大裨益。規模大之蘆筍檢收站宜設計一套噴洒式冷槽供嫩莖預冷處理之用，並宜製繪水冷圖標，供水冷作業人員實際操作之參考。

前　言

蘆筍嫩莖收穫後品質變劣（ deterioration ）甚速，尤其溫度與時間因子對其影響爲最大，倘若有適當之預冷（ precooling ）處理，可減緩其變劣速度而提高品質。預冷方法有水冷（ hydrocooling ），冰冷（ top-icing ），眞空冷却（ vacuum cooling ），空氣冷却（ forced air cooling ）等，但以水冷方法操作最簡便，效果較大，在臺灣實用之可能性較大，有加强試驗研究之必要。

材料與方法

本研究方法先就可能影響蘆筍嫩莖水冷效果之因子加以實驗研究，包括水冷時間，水冷溫度，冰塊大小，浸水時間，容器大小與質料，輸送或貯藏處理，殺菌劑或展着劑等對於水冷效果與嫩莖品質之影響。設計噴洒式水冷系統供大規模之蘆筍檢收站做蘆筍水冷處理之應用。

結果與討論

水冷容器之質料與大小：容器材料選用普利龍保溫箱（ 高雄億豐工業公司出品 ）與普力容器（ poly vessel，員林大經塑膠公司出品 ），前者係採取發泡聚苯乙烯製成，其特性爲質輕，價廉，保溫性特强，適應筍農水冷處理之用，後者係採取高密度聚乙烯樹脂製成，其特性爲質輕，堅靭，風吹日晒不變質，耐凍耐酸，在高溫或冷凍下不變型，不變脆，但價格較貴，適應筍農待運、貯藏以及工廠運輸或冷凍貯藏之用，有各種顏色，可作原料品質分級之區別。現有普利龍保溫箱之容積大小有三種規格，20×19×31cm 箱壁厚度2.8cm，每隻35元；20×32×36 cm. 厚度5.0 cm，每隻80元；28×26×26 cm，厚度

本文原載于中國園藝第十八卷第一期。

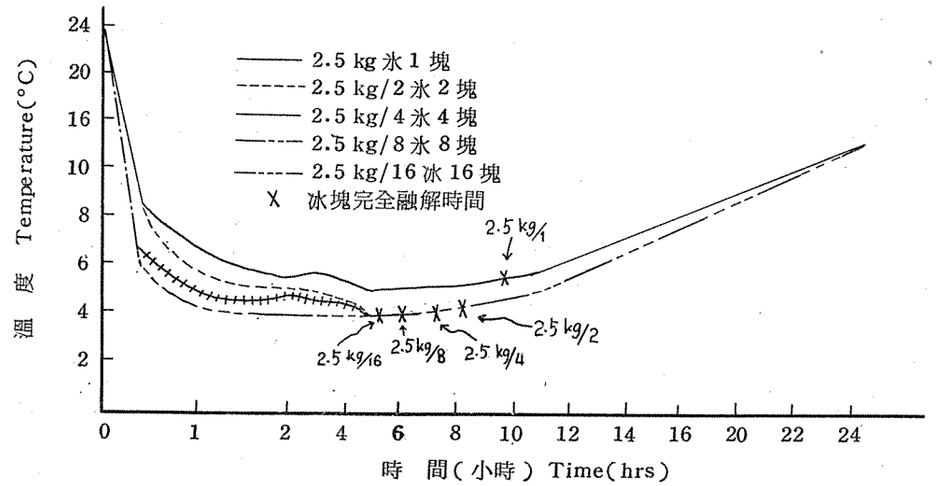
7.5 cm，每隻50元，箱壁厚度愈厚其保溫效果愈佳，根據本試驗觀察及測定結果，箱壁厚度 4—5 cm 即夠，惟前兩種容積高度均嫌低，如將第二種加高 5 cm製成 25×30×36 cm.之規格，更合乎筍農之需要。一般筍農每天每10公畝地可採收 12 kg 左右之蘆筍，恰可用 25×32×36 cm 之普利龍保溫箱裝運。惟外圍如有木板箱保護，則更牢固，更能延長保溫箱之使用壽命。

冰塊大小對水冷效果之影響：蘆筍嫩莖之初溫，每支嫩莖與水接觸面積大小及冷水流經之速度，都能影響水冷速率，又冰塊與冷水接觸面積之大小，影響冰與水之熱交換，接觸面積愈大，熱交換愈快(表一)。本試驗爲找出適當之表面積及保持較低之溫度，故將 2.5 kg（ 普通大塊批發冰塊之 32 分之一 ）之冰塊大小切成 1，½，¼，⅛，1/16之大小，每箱加水 5 公升，加蓋放置在 26°C 室溫再觀測溫度變化及融解快慢，其結果如圖一。

表一　冰塊重量接觸水全面積與相對熱傳導之關係

Table 1. The relationship between weight of ice pieces and total surface area exposed to coolant water, and the relative heat transfer of such areas.

冰塊重 Wt. of ice piece (kg)	135 kg 冰塊表面積 Surface area of 135 kg block (cm²)	大小 Size (kg)	增加之表面積 Increases surface area to this much (cm²)	表面積增加率 % Increase in surface area (%)	相對熱傳導 Relative heat transfer
135	2545.54	—	—	—	1.0
45	—	3 ×45	3233.03	25	1.5
22.5	—	6 ×22.5	4004.12	60	2.0
11.2	—	12 ×11.2	5537.02	120	3.0
5.6	—	24 ×5.6	7069.92	180	4.0



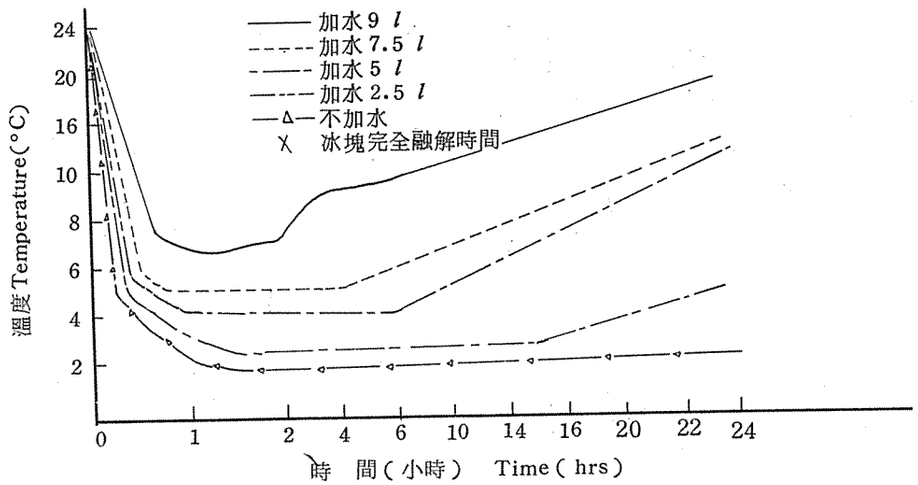
圖一　冰塊表面積大小對融解及溫度之影響

Fig. 1 Effect of total surface area of ice piece on melting and temperature.

註：2.5 kg×1 塊，冰塊表面積 920cm²；2.5 kg/2×2 塊，表面積 1200 cm²，表面積增加 30.43 %；2.5 kg/4×4 塊，表面積 1480 cm²，表面積增加 60.87 %；2.5 kg/8×8 塊，表面積 1650 cm²，表面積增加 79.35 %；2.5 kg/16×16 塊，表面積 1800 cm²，表面積增加 95.65 %。

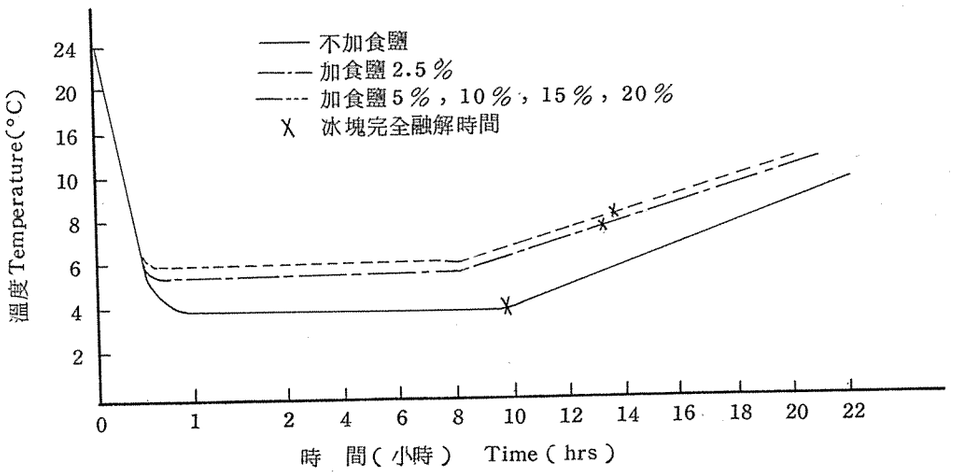
由圖一得知 2.5 kg ×⅛及 2.5 kg ×⅙在75 分鐘後可把水溫降至 4°C，與蘆筍最適之輸送溫度38°F（ 3.3°C ）最爲接近，且可維持將近 5 小時之久。因⅛與⅙大小之冰塊，重量及面積較易控制，故以2.5kg之⅛大小爲本試驗冰塊標準大小。

加水量對水冷效果之影響：爲充份使蘆筍嫩莖與冷水接觸，應儘量利用保溫箱內空間再加水以便有充份接觸之機會。本試驗加水量處理分 .0l, 2.5l , 5l , 7.5l , 9l 五種，分別加在 2.5/8 kg 大小之冰塊 8 小塊上，放置於 26°C 室溫下，測得結果如圖二。加水量如爲冰塊重量之 3 倍以上者；如7.5l, 9l 處理，箱內溫度太高，對水冷無效。加水量如與冰塊重量相同（ 2.5l），因水量不夠，水和蘆筍接觸面積也相對減少，使用不便，因此加水 5l，約爲冰塊之 2 倍水量，爲較合理實用之加水量。



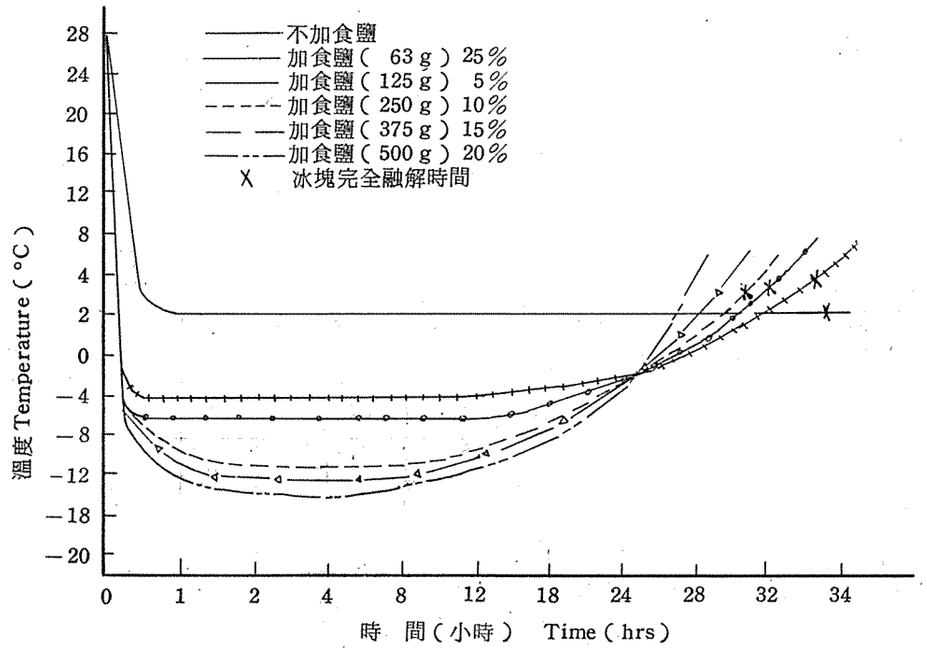
圖二 2.5kg 之⅛氷塊 8 塊加不同量水對溫度之變化

Fig. 2 The temperature change of coolant added with different amount of water.



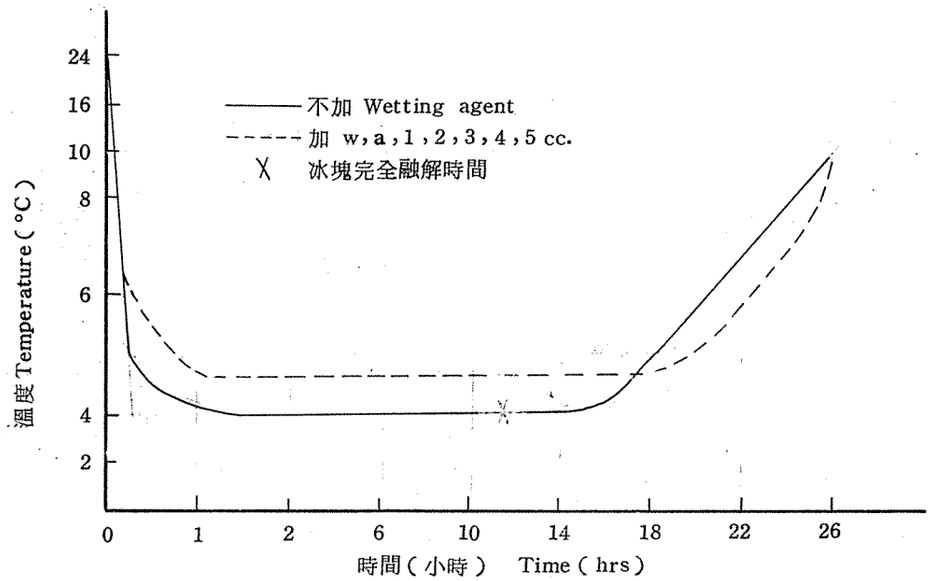
圖三 不同食鹽用量對加水時氷塊融解速率及溫度之影響

Fig 3. Effect of differential amount of salt on ice meltage and water temperature.



圖四 食鹽用量對不加水冰塊融解速率及溫度之影響

Fig. 4 Effect of salt added to ice on ice meltage and temperature.



圖五 添加展着劑對氷塊融解速率及溫度之變化

Fig. 5 Effect of wetting agent added to ice on ice meltage and temperature.

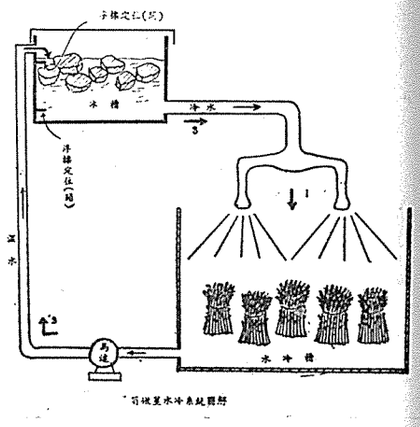
食鹽用量對冰融解速率及溫度之影響：本試驗將水 5 l 加入 8 塊 2.5/8 kg 之大小冰塊內，另添加不同量之食鹽，探究其對水冷效果之影響。本試驗食鹽用量處理分 0 %（不加食鹽），2.5 %（ 63 g 食鹽/

2.5 kg 冰量），5％（125 g），10％（250 g），15％（375 g），20（500 g）六種處理，在 26°C 室溫下，測得之結果如圖三，根據圖三表示，加食鹽後反比不加食鹽者水溫高約 2°C，冰塊至完全融解遲 3—4 小時，僅 2.5％處理箱略低 0.5°C，其餘 5％，10％，15％，20％處理間無甚差異。如保溫箱內不加水而將食鹽直接洒於冰塊之上，則因食鹽吸熱，助冰塊之融解，可將箱內溫度降至攝氏零度以下，食鹽用量愈多，溫度愈低，參閱圖四。如先將食鹽加在冰塊上，則經 3 小時後被融解之冰水可降至零下 4°C 至零下 13°C 之間（食鹽 2.5％～20％之間），然後分別加 23°C 之水 2.5 *l*，5 *l*，7.5 *l* 以探究不同水量對零下溫度之變化情形，結果加 2.5 *l* 水量者，60 分鐘內自－12°C 昇高至 3°C，以後 5 小時內之溫度無變化，也無法再降低。

蘆筍平均凍結點爲（－1.22°C），據 R. F. Kasmire 與 A. F. Von Maren（1959）[1] 認爲蘆筍適於冰槽法（bunker icing） 但不適冰冷法，冰塊加食鹽顯然利用做空氣冷却方法，筆者認爲冰水冷却方法比空氣冷却方法之冷却速度較迅速，預冷效果較大，費用較低，實用之可能性較大。

展着劑對水冷效果之影響：本試驗所用展着劑爲 Triton 1991，用量處理分 0，1，2，3，4，5 cc 六種處理，分別加在 2.5 kg/8×8 塊＋5 *l* 之冰水液上，在 27°C 室溫下探究展着劑是否可促進熱之傳導，其結果如圖五。Triton 1991 對固體微粒有懸浮作用，由本試驗獲知對熱之傳導有阻礙，雖其溫度僅 0.5°C 之差，但在蘆筍水冷過程中，算是很大熱量損失，似乎對提高水冷效果無大裨益。

噴洒式水冷槽之設計與應用：根據實驗噴洒式（spray 或 shower system）水冷比浸水式（immersion tank）水冷之效果一般較大，因此在規模大之蘆筍檢收站應設計一套噴洒式水冷槽。此種噴洒式水冷槽設計如圖六。圖中(1)部份爲水冷槽，可供浸浴蘆筍嫩莖之用，其裝設噴洒式噴頭可噴射冷水，冷却嫩莖，除去嫩莖之田間熱（field heat）且有沖洗之作用。(2)部份爲利用電動馬達及浮標自動控制裝置將水冷槽中之溫水通過冰槽內之冰塊，冰塊被融解而水溫再被冷却。(3)部份爲冰水管，在冰槽被冷却之水，通到冰水管經噴洒式噴頭到水冷槽，再冷却蘆筍嫩莖。此種水冷系統因採用循環式通路，故冰塊用量較經濟。



圖六　蘆筍嫩莖水冷系統圖解

Fig. 6　Digram of hydrocooling system for asparagus spears.

每天水冷蘆筍嫩莖所需冰塊用量可大略計算如下：

蘆筍嫩莖之比熱 SH 因一般嫩莖之水分含量爲 93 ％，其比熱可根據 Sichel 氏公式，SH＝（1－0.2）A＋0.2 求之，A 爲含水量，因此 $SH=(1-0.2)\times\frac{93}{100}+0.2=0.744+0.2=0.944$

水之比熱爲 1，冰之比熱爲 0.55，木箱之比熱爲 0.40

冰之融解熱爲 80 kcal / kg 或 144 BTU/lb

水冷槽之水量（kg）＝水冷槽之容積（長度×寬度×水高）（m^3）

檢收站每天需水冷蘆筍嫩莖重量 WT＝120 kg / 公頃×100 公頃＝12000 公斤＝12 公噸（估計）

測定嫩莖初溫（°C）＝T_1 ＝35°C（假定）

預定水冷終溫（°C）＝T_2 ＝5°C（預定）

溫度相差 TD＝T_1-T_2 ＝35－5＝30°C

嫩莖之田間熱 HS＝WT×SH×TD＝12000 kg × 0.944 kcal/kg × 30° C＝339840 kcal

除去嫩莖田間熱之冰塊需要量＝$\frac{339840\ \text{kcal}}{80\ \text{kcal/kg}}$ ＝4248 kg

實際上，水冷槽之容積有限，12 噸之嫩莖必須分批水冷，況且如用循環系統更可節省冰塊用量甚多。

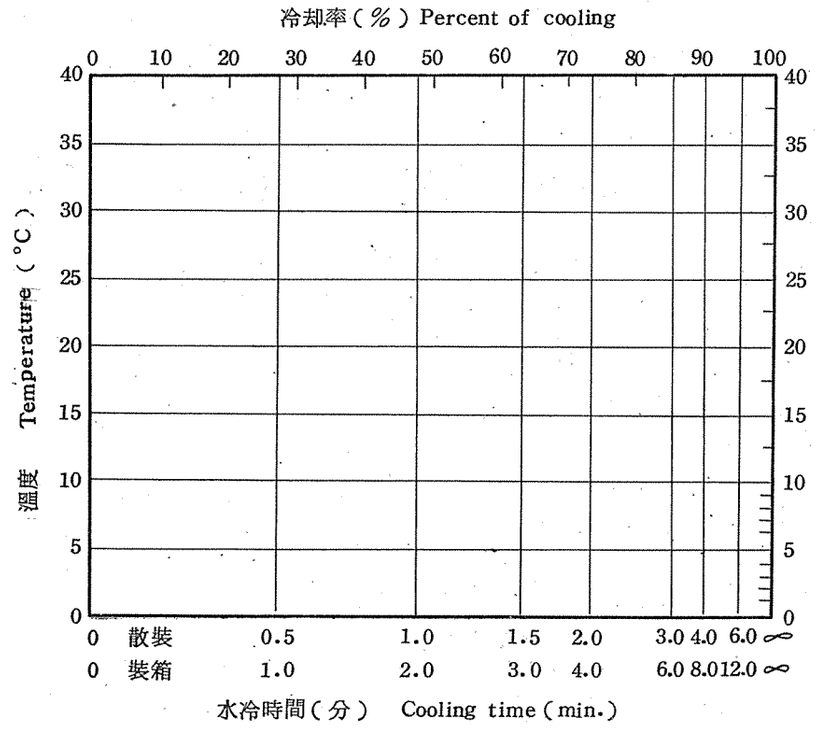
嫩莖之呼吸熱 H_{RP} ＝呼吸量×時間×重量，設水冷之平均溫度＝$\frac{35+5}{2}$＝20°C ，又設嫩莖在 20°C 之呼吸量＝378 kcal / 公噸 / 小時。

H_{RP}＝378（kcal / 公噸 / 小時）×$\frac{6}{60}$（小時）×12（公噸）＝453.6 kcal

故除去水冷時間嫩莖發生之呼吸熱所需冰量＝$\frac{453.6\ \text{kcal}}{80\ \text{kcal/kg}}$ ＝5.67 kg ，以上爲蘆筍嫩莖以散裝水冷之例，如蘆筍嫩莖用木箱，竹籠或塑膠籠裝者，應考慮計算除去其包裝容器之田間熱所需之冰重在內。

此外爲改進水冷效果，當注意採收後之嫩莖應立即水冷處理，水冷處理場所宜選在室內或陰處，勿在陽光下，免太陽熱影響水溫，盡量利用循環系統收回冷溫水，節省冰塊用量，如加入氯化合物殺菌劑或設計污物處理裝置，保持冰水清潔，嫩莖經水冷處理後，必須放置於低溫處，最好保持在 5°C 以下。

水冷圖標（hydrocooling nomograph） 之製繪與應用：根據蘆筍嫩莖體溫，水冷槽之水溫及水冷時間，可繪成標準之水冷曲線或水冷圖標如圖七。圖七對於蘆筍水冷從業人員有實用價值，如已知嫩莖初溫，水溫，以及在水冷槽之時間，則可由圖標上之時間與溫度刻度，迅速預測水冷嫩莖終溫。反之，如已知嫩莖初溫，水溫，以及預期之嫩莖終溫，則可由圖標上查出水冷需要時間。



圖七　蘆筍嫩莖水冷圖標

Fig. 7　Hydrocooling nomograph for asparagus spears.

圖標上之水冷時間垂直線位置，因水冷材料（嫩莖粗細，大小，數量包裝容器之質料大小及方法）之不同而稍有異。故應按實際水冷試驗資料，逐一繪製不同水冷條件或狀態之水冷圖標，以供水冷作業人員

實際操作之參考。

蘆筍檢收站爲防止蘆筍品質之變劣，提高蘆筍品質，需要預冷處理冷却蘆筍嫩莖，假設水冷前之嫩莖溫度爲 35°C，根據此圖標可解答幾項實用問題，如求用 2°C 之冷水預冷到 5°C 要多少時間？在該圖標左上角 35°C 與右下角 2°C 兩點連結一條直線，與 5°C 橫線交叉之點的時間，可知散裝暴露嫩莖者爲 4 分鐘，裝箱嫩莖者爲 8 分鐘。如求用 4°C 之冷水預冷要花多少時間達到 5°C ？在該圖標左上角 35°C 與右下角 4°C 兩點連結一條直線，與 5°C 橫線交叉的時間，可知散裝暴露嫩莖者爲 7 分鐘，裝箱嫩莖者爲 14分鐘。如求在 4°C 水溫內水冷 2 分鐘可達到幾度？可在該圖標上，左上角 35°C 與右下角 4°C 兩點連結一條直線，與時間 2 分鐘縱線交叉之點的溫度，可知散裝嫩莖者降到 11°C，裝箱者僅降到 18°C ， 因包裝容器之質料與方法均影響嫩莖周圍之水流而可能影響水冷時間，一般散裝嫩莖因冷却產品暴露於水中與冷水之接觸面積大，因此比裝箱之嫩莖，冷却速度快速甚多。

根據 Stewart 與 Covey (1963) 報告，蘆筍嫩莖裝箱水冷所需時間一般均比散裝者多一倍。但散裝搬運費時不便，而裝箱搬運較方便各有利弊。因此筆者認爲宜用束裝，即採收後之嫩莖經大小分級後分別每 40 支 (粗者) 或 40 支 (細者) 程度捆成一束水冷，則有散裝與裝箱兩者之優點而無兩者之缺點。

參考文獻

1. Kasmire, R. F., and A. F. Von Maren. 1959. Facts on hydrocooling of sweet corn. Univ. of Calif. Agr. Ext. Ser.
2. Stewart, J. K., and M. M. Covey. 1963. Hydrocooling vegetables. U. S. Dept. Agr. Mar. Ser. Mar. Res. Rept. No. 637.

Summary

Hydrocooling can be an economical and effective protection against loss of eating quality in asparagus after harvest. And the factors affecting the effects of hydrocooling and applicable measures were studied to promote the asparagus quality of Taiwan.

Asparagus growers should select $25 \times 32 \times 36\ cm^3$ sized polylon box for hydrocooling asparagus spears. Since the weight of ice pieces and total surface area exposed to coolant water have relation to the relative heat transfer of such areas. The smaller piece of ice used, the larger the increase in surface area and the faster heat transfer and exchange, during hydrocooling 8 pieces of 2.5 kg/8 and 16 pieces of 2.5 kg/16 sized ice chunks can cool the water coolant to 4°C in 75 minutes and keep at 3°C, the preferable temperature of asparagus for 5 hours. The amounts of water added to ice pieces affected the effectiveness and efficiency of hydrocooling. For example addition of water which was 2 times weight of ice pieces had good effect of hydrocooling and kept cold water at 4-5°C for 6 hours. The amounts of salt added to ice pieces showed the effect on the ice meltage and temperature. However the addition of wetting agent such as Triton 1991 in the cooling water didn't show any good effect of hydrocooling. Large scale asparagus packing house or lot should equip a set of shower type hydrocooler and recirculate the cold water as much as possible to save the cost of hydrocooling asparagus. And also construct appropriate hydrocooling nomographs to predict unknown temperature or time for general on-the-job use and particular commercial operation.