

果蔬水冷及其能源分析

Hydro-cooling of Agricultural Products and Its Energy Use Analysis

國立臺灣大學農業機械工程學系教授

陳 貽 倫

Yi-luen Chen

摘 要

本文為在兩處水冷設施所作9次桃、李冷實驗及測定能源消耗之結果。平均而言，桃 (Angelus種) 自 23.°C 降至 6.2°C 需時81分鐘，李 (Friar 種) 自 26°C 降至 8°C 需時79分鐘，兩座水冷設施之能源利用係數經計算約在 1.0~1.2 範圍。

能源利用效率之改進可經由下列措施：

1. 減少水冷系統之外表面積、加強絕熱、減少空氣滲透，防止輻射。
2. 配合採收作業，安排合宜之作業時間表，充分利用該等設施之最大作業能量。
3. 使用軸流式水邦浦以代替離心式邦浦，並且，其能量應減至10/ℓ/sec/m² 程度。
4. 縮小集水槽，使貯水減少至最低許可量。
5. 正確的設計和使用冷凍機械。

Abstracts

Hydrocooling performance and energy consumption experiments data of 9 runs for peaches and plums were obtained during two separate tests at two separate packing houses respectively. In average, 81 minutes were required to cool peaches from 23.2°C to 6.2°C, and 79 minutes were required to cool plums from 26°C to 8°C. Energy use coefficients of both hydro-coolers were found to be in the range of 1.0-1.2.

Energy conservation could be done by: 1) reducing the surface area of the coolers, applying more effective heat insulation means, reducing air infiltration and solar radiation to the coolers; 2) arranging a more efficient working time schedule to fully utilize the maximum cooling capacity of the facilities.; 3) using axial-flow instead of centrifugal circulating waterpump, and reducing its capacity to 7~10ℓ/sec/m² level; 4) reducing water reservoir size to minimize water mass; and, 5) properly designing and operating the refrigeration systems of the coolers.

一、導 言

水冷是果蔬預冷主要方式之一。它是用冷水將果蔬之田間餘熱迅速祛除，減低其新陳代謝功能及微生物、細菌活動能力，以維持果蔬新鮮品質、延長銷售壽命。水冷作業之同時，兼可洗去果蔬上殘留之泥土髒物，使其有清新之外觀。若在冷水中添加某些化學藥劑（如氯、碘溶劑），則水冷可兼具消毒殺菌效果。但是，若消毒不徹底、病菌也易藉水傳播。(1),(5)

水冷設備約可分三類：第一類設備使用高壓離心邦浦和噴嘴，將冷水噴洒在果蔬之上。此類水冷裝置漸少，因為離心邦浦較軸流邦浦更耗馬力，而高壓噴射並不較低壓水流更具冷卻效果。

第二類水冷設備是將農產品浸在冷水池中，在一定時間後將其撈起，或用輸送帶緩緩地將產品經過水池。本省產外銷荔枝採用此法。唯此類裝置也不普遍使用，因水流慢，冷水易在產品間滯留，熱傳大受影響，減少其冷卻速率。

常用之水冷設備屬第三類。它使用低壓軸流邦浦將冷水抽到冷卻室上方水池，水池底有許多小孔，產品在冷卻室空間緩慢移動，冷水澆淋在產品之上，完成冷卻工作。產品之下方，另有集水槽將冷水收集送至冷凍機之蒸發盤管，降低其溫度、反覆使用。冷水溫度視產品而定，一般為攝氏零度。最適宜之水流量為 $10\text{l}/\text{sec}/\text{m}^2$ 。若為連續式水冷系統，則產品之輸送速度通常為 $30\text{cm}/\text{min}$ (6)若屬批式系統，則產品放置冷卻室後，不再移動，待產品達相當溫度後再移出。

水冷速度視冷水溫度、流速、產品表面積與體積比率、產品表面組織構造等而定，表一為一些果蔬實際上可達到的溫度。

某些果蔬不該使用水冷，如：Lime 果、萵苣、甜苣等。結構組織脆弱之果蔬也不宜水冷。

Thompson 等氏調查 8 家預冷桃李果實的水冷設施，根據其每月電費帳單、每月處理產品量、處理前後之產品溫度紀錄，計算其能源使用效率，其能源利用係數 (Energy Coefficient) 值最高者約為 2.3、最低 0.7，平均 1.4(11)。能源利用係數 E. C. 之定義為：自農產品中祛除之熱量除以設

表一、果蔬水冷實際可達之溫度，°C

蘋 果	4.5	蘿 蔔	4.5
鱈 梨	10	大 頭 菜 (綠)	4.5
美洲甜瓜	7	蘆 筍	4.5
花 椰	4.5	包 心 菜	7
櫻 桃	4.5	紅 蘿 蔔	4.5
甜 玉 米	7	芹 菜	4.5
菊 苳	4.5	葡 萄 柚	5.5
葉 萵 苳	4.5	芥 菜 (綠)	4.5
柳 橙	4.5	荷 蘭 芹	4.5
桃	4.5	梨	4.5
鳳 梨	10	馬 鈴 薯	.54

施所耗之總電量。

早期之果蔬水冷試驗工作者也曾略有涉及水冷設施之能源使用。早在 1958 年 Guillou 氏指出：連續式水冷設施冷凍能量之 55% 用於產品之降溫。批式水冷設施，其百分比僅 23%。此種低效率的情形是由於絕熱不良、停工時能源之浪費等(7)。Perry 和 Perkins 在 1968 年建議：減少水冷設施之水量，以減少休工期冷水自外界吸收的熱量(9)。

在幾種預冷方式中，以風冷之能源利用效率最低。Bennett, Soule 諸氏計算風冷系統在冷卻柑桔、蘋果、葡萄柚等產品時之能源效率範圍在 0.17~0.58 之間(4)(6)(10)。彼等定義能源效率為：從產品祛除之熱量除以冷卻系統之冷凍能量。陳氏據實例算得：兩座冷藏庫在預冷作業期，整個冷藏預冷設施之能源利用係數約為 0.4(3)(12)。

本文之目的為：藉實驗瞭解水冷設施之實際性能、測定並計算其能源使用分配情形，分析研究其節約能源之可能性與方法。

二、實驗設備和步驟

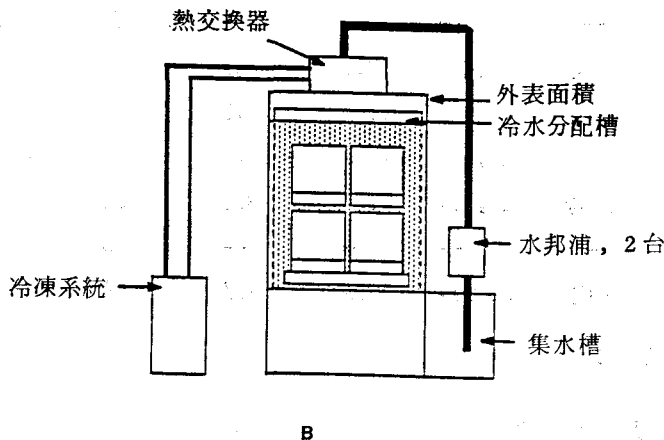
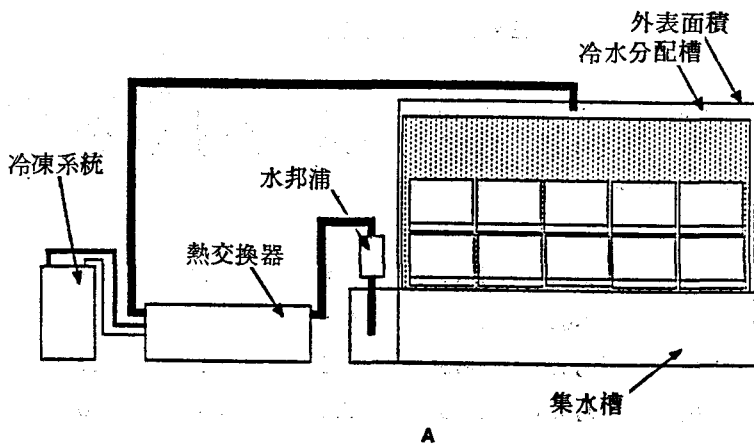
1. 實驗設備

選擇 Sunwest Packing 及 Western Fruit Sales 二公司所屬之兩臺水冷設施，作為試驗對象。表二為二台水冷設施之設計規格和特性，圖一為其構造概要。

表二、兩臺水冷設施之設計規格和特性

型式	Sunwest		Western	
	批	式	連	續
最大能量	30箱/批*		80箱/小時*	
冷媒壓縮機型式和能量	113kw × 1 臺，往復式		113kw × 2 臺，往復式	
外表面積	110m ²		110m ²	
集水槽容積	15,700 kg		33,900 kg	
冷媒種類	Ammonia		Ammonia	
冷凝器型式	蒸發式		蒸發式	
冷却室高 × 寬 × 長	2.49m × 2.74m × 7.32m		1.52 m × 2.54m × 10.97m	
水孔徑	—		1.27cm	
水孔間隔	—		5.72~7.62cm	
水邦浦能量	4,500GPM. 40HP		—	
冷水循環速率	14l/sec/m ²		50l/sec/m ²	
水槽與之絕熱材料	無		1.27cm. 厚之泡沫塑膠	

* 水冷時，產品裝在木條箱內，木條箱之長 × 寬 × 深 = 220cm × 120cm × 60cm，每箱約可裝桃 (Angelus品種) 445kg，李 (Friar品種) 569kg，空箱重74kg。



圖一、水冷系統設施概要圖 A. Sunwest 系統側視圖，B. Western 系統端視圖

2. 實驗步驟

① 水冷系統各組件和整個系統之能源消耗是藉測量冷媒壓縮機、水邦浦之用電量及整個系統設施之用電量而獲得。所用之電表為 Esterline Angus 公司製造之手提多用電表 Power Master III。每 5 分鐘測量冷媒壓縮機和整個設施之用電功率一次。水邦浦之用電量只在每次實驗開始時測定一次，因水邦浦之耗電率相當穩定。

② 果實冷卻之前後，每兩箱中任意取一二果實，測定其果溫，各取其平均數。二者之差為冷卻處理前後之溫差 (ΔT)。

每次試驗，任取 2~4 箱果實，稱其重量，以其平均重量乘以處理箱數作為該次試驗之總處理量 (M)。

降低品溫所需自產品除去之熱量 (Q) 可由下

列公式計算：

$$Q = M \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (1)$$

式中 C_p 為產品之比熱 3.8KJ/kg-C

③ 在作業期間，傳入水冷系統之外界熱量包括：因傳導、對流、軸射、凝結、空氣滲入、冷水漏失等項，其測量之方法是：先將水冷系統開動運轉，使冷水達於作業溫度，然後停止冷媒壓縮機，但水邦浦繼續運轉，無產品在系統內，在如此情況下測定其冷水溫度升高之速率。

三、結 果

以 Sunwest 批式水冷系統作 4 次試驗；Western 連續式系統作 5 次。表三所列為所得之初步數據：

表三、水冷桃李試驗之原始數據

試驗編號	產品	重量 (kg)	初溫 (C°)	末溫 (C°)	冷 却 時 間 (min)	水 邦 浦 電 耗 (kwh)	壓 縮 機 電 耗 (kwh)	總 耗 電 (kwh)
Sunwest 批式								
1	桃	10,600	16.6	5.6	91*	44	136	212
2	桃	10,600	21.7	6.6	63	30	91	142
3	桃	10,600	25.3	6.1	81	39	117	182
4	桃	11,600	29.2	6.4	89	43	128	200
Western 連續式								
降 溫 準 備	—	—	—	—	65	64	159	255
1	桃/李	20,400	22.2	8.1	83	59	107	195
2	李	25,600	25.4	8.1	87	86	268	396
3	李	25,600	26.0	7.8	71	70	179	284
4	桃/李	16,600	24.7	9.2	51	50	152	227
降 溫 準 備	—	—	—	—	10	6	42	53
5	桃/李	35,800	26.0	9.7	78	78	269	385

* 包括初期之降溫時間。

分析上列數據顯示：雖然水冷系統之設計稍有不同，但其每單位重量果實冷卻之需電量差不多。

如表四所示，Western系統之 E. C. 較高 14%。

表四、水冷系統用電量及其能源利用係數

	Sunwest	Western	平均
用電量(KJ/MT)	17.2	14.5	15.9
產品溫差 (C°)	17.2	16.5	16.9
E. C.	1.00	1.14	1.07

水冷系統各組件之能源消耗如表五。冷媒壓縮機約佔總耗電量之2%，水邦浦佔22%，其他風機、配水、輸送機馬達等佔13%。

表五、水冷系統各組件能源消耗分配

	佔總耗電量之百分比，%		
	Sunwest	Western	平均
冷媒壓縮機	64	67	65
水邦浦	21	23	22
其他	15	11	13

在冷却作業期間，外界藉各種管道傳入水冷系統之熱，經測量如圖二。

因在測定期間，外界溫度相當穩定，而水槽冷却水之溫昇僅2°C，故其溫度——時間約成直線關係。外界熱傳入水冷系統之速率可由下式表示。

外界傳入水冷系統之熱量 (KJ/hr) =

$$66.7 * A * C_p * M - 3060 * Kw_m \quad (2)$$

式中 A=圖二中水溫——時間關係直線之斜率，C°/min

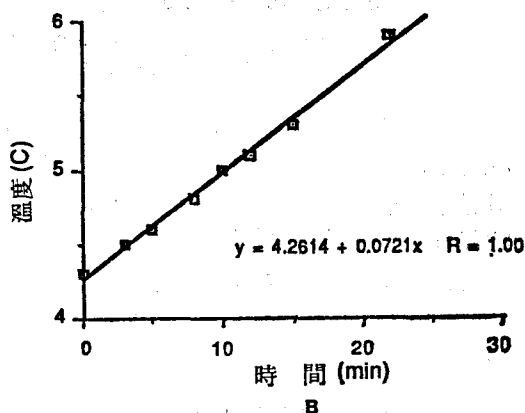
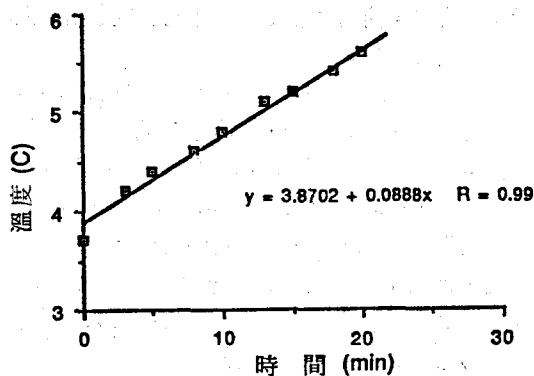
C_p=水之比熱，4.18 KJ/kg-C

66.7=60/.90，此式中，假設冷却水總重乘以水之比熱相等於該系統總重之90%
乘以該系統比熱

M=冷却水總重，kg

Kw_m=循環水邦浦之耗電率，且假設邦浦馬達組合之效率為85%。

根據(2)式，外界熱傳入水冷系統之計算結果如表六



圖二、因外界熱之傳入而引起冷却水之溫昇
A. Sunwest 系統 B. Western 系統

表六、水冷系統之外界熱傳入

	Sunwest	Western
熱傳入 (KJ/hr)	299,000	499,000
水冷系統實際處理能量 (箱/小時)	13	45
平均每箱熱傳入 (KJ/hr/箱)	23,000	11,100
室溫/水溫溫差 (C°)	25	27

加諸整個水冷系統之熱量 (Total Heat Input) 計有五項，即：(1)果實降溫時所放出之熱量；(2)外界藉傳導、對流、輻射、凝結、空氣滲透等傳入之熱；(3)水邦浦機械能轉成之熱量；(4)停工及換水後冷却水溫升高後所得之熱量；(5)作業時冷水

飛濺漏失後、補充水帶來的熱量。此五項熱量即成爲冷凍機之負荷。

第(1)項熱量可由公式①計算；第二項熱量由公式②計算；第(3)項由表三所列之水邦浦耗電量推算，並假定其能量轉換效率爲85%；當日休工至次日開工時期，水槽水溫約上昇 10°C。開機後，水溫需降至 1~2°C 才開始預冷作業；每隔兩三天換水一次。新鮮水之溫度約 24°C。根據此等資料以計算第(4)項熱量；根據補充水流量計算第(5)項熱量。表七爲這五項熱量分配之百分率。

表七、水冷系統各項熱源之分配百分率

	總熱量百分比，%		
	Sunwest	Western	平均
(1)果實降溫	49	59	54
(2)外界傳入之熱	28	24	26
(3)水邦浦	9	9	9
(4)休工及換水	12	6	9
(5)補充水	2	2	2

四、討論與結論

在農產品預冷方式中，水冷系統之能源利用效率約爲真空預冷者之半，後者之能源利用係數約在 2.1~2.8 範圍^{(2),(13)}，而本次實驗結果顯示：水冷系統之 E. C. 平均爲 1.1。其差別之主要原因爲水冷系統有外界熱之傳入、水邦浦之負荷、休工、換水熱量之輸入、及補充水帶來之熱量，而真空預冷系統無此等消耗。產品種類之影響也會很大。

Mitchell 等氏指出，水冷系統之循環水流速在 7 至 10 l/sec/m² 之間對農產品冷卻速率無甚影響⁽⁸⁾。Zahradnik 和 Reinhart 二氏證實：對蘋果而言，若水流速率自 5.3 l/sec/m² 增至 20 l/sec/m²，其有效熱傳係數只增 20%。他們認爲：當水流速率在 5.3 l/sec/m² 以上時，果實內部之熱傳阻力是冷卻速率之限制因素⁽¹⁴⁾。Western 連續式水冷系統之水流量遠超過設計標準甚多。如果，此系統之水流量減少%，則其冷凍負荷可望減少 10%。

所試驗之二水冷系統之集水槽深度皆約有 1 公尺。作業時，因水邦浦之抽取，水位僅下降 20 公分

。故其集水槽似可減少其深度，以減少整個系統之貯水量，因而減少休工、換水所帶進之熱量。同時也可減少整個系統之吸熱面積。

水冷系統之水槽、水管、冷却室之絕熱可以加強、表面宜加白色塗料以減少輻射熱之吸收。

Western 系統雖名爲連續式，但在實際營運時，因原料不繼，其作業斷斷續續，作業量僅及其最大能量之半。每箱分攤之無用負荷倍增。所以，如能適當配合果實採取作業，使水冷系統充分達到其設計作業能量，則估計其能源利用效率會增加 16%。Sunwest 系統之冷却室容量爲 30 箱，但在試驗時，每次僅放置 20 箱，顯然也未發揮其最大作業能量，因而增加每箱所耗能源。

本文未涉及水冷設施之冷凍機械系統之效率。當然，一個正確的系統設計和使用，無疑的將提升整個設施的能源利用效率。

五、誌謝

本文之實驗係在行政院國科會科學與技術人員研究及進修計畫下、與加州大學 Davis 分校農工系 James Thompson 氏共同所作，並承其供給有關資料，謹誌謝。

六、參考文獻

- ① 陳貽倫·1986. 蔬菜預冷，農工學報 Vol. 30, No.1, pp. 41—53
- ② 陳貽倫·1986. 真空預冷及其能源分析，Vol. 32, No. 1, pp. 43—50
- ③ 陳貽倫·1984. 農產品冷藏庫冷凍負荷實例研究，農工學報，Vol. 32, No. 3, pp. 1—11
- ④ Bennett, A.H., 1963, Thermal Characteristics of Peaches as Related to Hydrocooling, USDA AMS Technical Bulletin No. 1292.
- ⑤ Flowers, L. P.—The Hydrocooling and Preservation of Fresh Fruits and Vegetables. Published by Palm Beach Refrigeration, Inc. West Palm Beach, Fla.
- ⑥ Grierson, W., A.H. Bennett, and E.K. Bowman, 1970, Forced-air Precooling of Citrus Fruit on A Moving Conveyor, USDA ARS 52-40.
- ⑦ Guillou, R. 1958. Some Engineering Aspects of Cooling Fruits and Vegetables. Transactions of the ASAE 1 (1): 38, 39, 42.
- ⑧ Mitchell, F. G., R. Guillou, and R. A. Parsons. (文轉第10頁)