

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※

※

※ 省能源技術對果蔬汁綠色度之影響 ※

※ Effects of Energy Conservation technology ※

※ on Greenness of Fruit and Vegetable Juice Products ※

※

※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※

計畫類別：個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 89-2621-Z-002-077-

執行期間：89 年 08 月 01 日至 90 年 07 月 31 日

整合型計畫：總計劃主持人：吳瑞碧 教授

子計劃主持人：李允中 副教授

執行單位：國立台灣大學農學院生物產業機電工程學系

中華民國九十年十月三十日

省能源技術對果蔬汁綠色度之影響

執行單位：國立台灣大學生物產業機電工程學系 計畫編號：NSC89-2621-Z-002-007

計畫主持人：李允中

研究人員：

聯絡方式：台北市舟山路 136 號 台大生物產業機電工程學系

E-Mail: yclee@ccms.ntu.edu.tw

計畫摘要

食品工業一直被視為是高能源消耗的產業，標示某一加工食品產品為綠色產品時從生產到消費過程能源的消耗狀況一定要加入考量。本研究探討果汁產品在不同的加工包裝過程能源利用的效率。分析的果汁產品包括：柳橙汁、番石榴汁、楊桃汁與蕃茄汁等四種；加工包裝程序有原汁加工、熱充填包裝、冷藏包裝與無菌包裝。在研究中使用有效能分析法，以產品在製造程序中單位重量的不可逆能的產生量為果汁綠色度的指標。這種方法考慮製造程序中能源的使用效率，而不是單純的總使用量，使不同的生產程序或食品產品可以有一個共同的比較標準。研究中發現在加工果汁的程序上，熱充填包裝單位重量產品產生的不可逆能最少，而後無菌包裝、冷藏包裝依序增加。但是在分析產品差異時，所研究的四種果汁並沒有明顯的差異。研究中並考慮改善綠色度的方法，殺菌加工時利用高溫的殺菌果汁以熱交換器加熱低溫的進料是最有效的方法。提高熱交換的熱能交換效率，可以有效的降低不可逆能的產生，進而提高果汁產品的綠色度。

ABSTRACT

Food processes considered being energy intensive industry. To label a processed food product as a green product, the life cycle assessments of energy must be considered. In the study four fruit juice products mainly orange juice, guava juice, carambola juice, and tomato juice prepared from four different production processes were analyzed. Production processes studied include raw juice processing, refrigerated packing, aseptic processing, and hot filling. Exergy analysis was carried in the study. Energy efficiency instead of total amount of energy used in the production was considered in the study method, which gives a fair base when energy consumption of different processed products was compared. Hot filling process produces less amount of entropy is the most energy efficient production and followed by aseptic processing and hot filling. The difference among these four juice products was found insignificant. Thermal energy regeneration was found to be an effective mean to decrease irreversible energy, thus increase the greenness of fruit juice product.

成果應用與建議

本研究探討柳橙汁、番石榴汁、楊桃汁與蕃茄汁等四種在加工程序中能源利用的狀況。應用有效能分析法研究製程中的能源利用效率。建議以能源利用效率為果汁綠色度的一個參考指標，而不要僅考慮總能量的消耗。這種方法使不同的加工食品有共同的比較標準，可以更有效的訂立綠色食品指標。同時發現以熱交換器提高熱能的再生效率可以降低不可逆能的產生，進而提高果汁產品的綠色度，可以提供業者改善製造程序。

目 錄

計畫摘要	i
Abstract	ii
成果應用與建議	iii
目錄	iv
一、前言	1
二、方法	2
(一) 系統的界定	2
(二) 製造流程子系統	3
(三) 製冷系統	4
1. 冷卻水塔以系統	4
2. 冰水機子系統	5
3. 冷藏庫子系統	6
(四) 有效能與不可逆能	9
三、結果與討論	12
(一) 不可逆能的產生	12
(二) 影響不可逆能的因素	15
四、結論與建議	17
五、參考文獻	18

一、前言

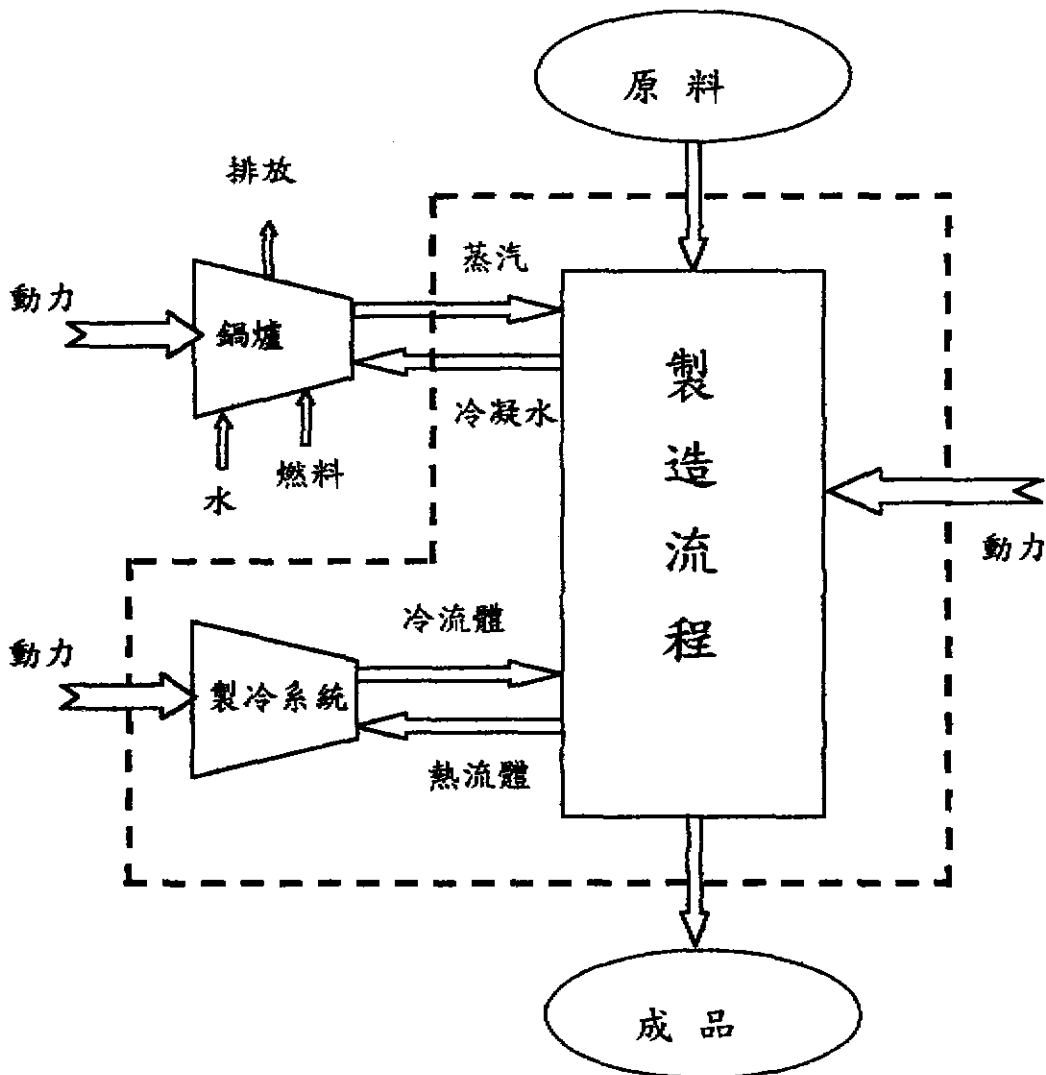
能源的有效利用是改進果汁產品的綠色度的方法之一，在加工過程中能源的使用是必需的，但是如何使用才是最有效是一個值得探討的問題。在本計畫的整體計畫於去年中完成果汁產品非生物性資源利用的調查，發現殺菌加熱耗費最大的能量，本研究將進而探討這些能量利用的效率，並討論改進能源利用效率，以減低對環境衝擊，提高果汁的綠色傳統上能源利用以熱力學第一定律作為分析的基礎去探討製造程序所需消耗的能量，但是這種分析往往不能看出所使用能量的效率。在 70 年代能源危機後，能源使用效率的分析大被重視。有效能(exergy)分析被廣泛的用在各種產業能源利用的研究之上。這種分析方法綜合熱力學第一與第二定律，訂定一個能量品質的指標，將能量分為可以使用的有效能與不可使用的不可逆能(irreversability)或稱無效能。由於能量是守恆的，在製造程序中能量只是進行交換與轉換，其總量並不減少，但是在這些不可逆的程序中，高有效能的優值能量因為製程的不可逆而產生熵，有效能變成不可逆能，因而使能量變為低有效能高不可逆能的劣值形態。有效能分析可以了解在製造程序中，不可逆能產生的單元，因而改善其能源使用效率；或是發覺廢熱排放內的有効能，進而再利用。

食品工業是一個高能量耗費的產業，在美國食品工業直接消耗的能源佔全國消耗能量的 12-20%(Stout et al., 1982)。80 年代以後也有學者開始使用有效能的分析來探討其能量的運用效率。瑞典學者 Tragardh(1981)開始以有效能分析該國乳清粉、加工澱粉與輕鬆蛋糕的製造程序。Rotstein(1983)利用 Sigh et al.(1980)蕃茄糊加工製程能源使用調查的實測數據，進行蕃茄糊製造過程的有效能收支分析。隨後 Forciniti et al.(1985) 提出適當的利用高溫流體加熱進料，可以降低無效能的產生，提高能源效率。Fang et al.,(1983) 多目標最佳化技術，探討奶粉製程中蒸發器面積與有效能產生間的最佳關係。Fan et al.(1983) 將結果整理發表，指出以整體系統分析，以代替以往只用熱力學第一定律分析各類單一元件，有效能分析可以更有效率的利用能源。

二、方法

(一) 系統的界定

本研究使用上一年度總體計畫能源使用調查結果，分析不同果汁製程單位重量不可逆能的產生量，以提供建立綠色果汁的指標。果汁的種類包括柳橙汁、番石榴汁、楊桃汁與蕃茄汁等四種。以製造程序分為原料果汁、冷藏果汁、無菌包裝果汁與熱充填果汁四種。以整個製程為系統（如圖一）其中主要包括全部製造流程（含包裝與貯藏）、



圖一本研究所界定的果汁生產系統示意圖

製冷系統等子系統。蒸汽產生系統不在討論的系統裡面，僅以蒸汽流與凝結水流進出系統邊界。將蒸汽產生系統摒除有下列幾個原因，在調查資料中因所調查工廠大都採用總廠制，幾個不同產品的生產線共用一套蒸汽產生系統，缺乏比較確定的蒸汽產生之料資料；本研究目的主要探討蒸汽的利用，直接以蒸汽流量表示，比以燃料油表示更為明確；蒸汽產生與利用還有很大的探討空間如汽電共生等，這些項目尚未包括在本研究中。

(二) 製造流程子系統

製造流程子系統包括整個製造、包裝與貯藏過程，其系的入口邊界為原料，出口邊界為產品。系統邊界上有蒸汽流流入與冷凝水流出，以及電力的流入提供製造程序種使用電動機的能量，這些電能在應用上是不可逆的，因此全數轉變為不可逆能。

蔬果原汁製造作業流程包括：選別與分級、原料清洗、破碎、榨汁、過濾、磨細、離心、殺菌及冷卻、充填包裝。加熱殺菌後的蔬果原汁經冷卻至室溫，以塑膠桶的大包裝容器裝填，移入冷藏庫凍結，並於-18°C冷凍貯藏，貯藏時間平均為120天。酸楊桃汁因其酸度高，可以做常溫貯藏。殺菌溫度除蕃茄汁為118°C，柳橙汁為85°C，番石榴汁與楊桃汁殺菌溫度隨工廠而異，但多介於95-100°C。

冷藏與無菌包裝果汁殺菌前的處理大都相似主要包括：解凍、調配、過濾、脫氣、均質，殺菌及冷卻兩種程序就不相同了。冷藏果汁有柳橙汁與番石榴汁兩種，前者的殺菌溫度介於85-98°C，冷藏番石榴汁資料中只有兩家殺菌溫度分別為95°C與105°C。冷藏果汁殺菌後必須迅速降溫至4-7°C，並在該溫度貯藏，但在工廠貯藏時間很短，可以忽略。無菌包裝果汁殺菌溫度與冷藏果汁相似但有些工廠使用100-110°C高溫殺菌，以縮短保溫時間。無菌包裝果汁殺菌後冷卻至25-30°C包裝，且包裝後不需冷藏。雖然無菌包裝果汁可貯藏9-12個月，不論其在工廠內貯藏或在通路上貯藏，所耗費的能量都有限。

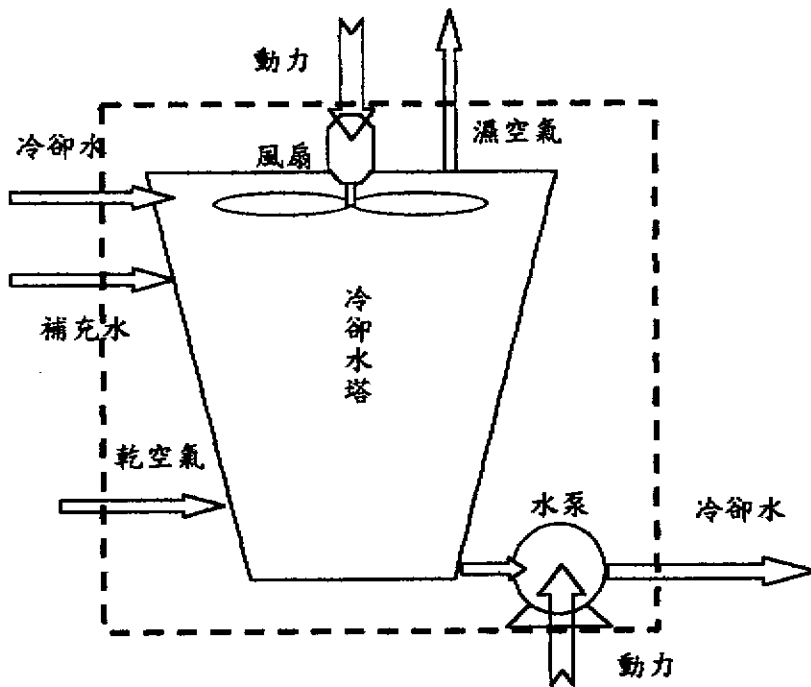
熱充填果汁主要製造程序包括解凍、調配、過濾、脫氣、均質、加熱殺菌、充填包裝、冷卻、檢查、裝箱堆棧。熱充填果汁的殺菌溫度較高，約在95-110°C之間，蕃茄汁則高達118°C，殺菌後冷卻至35-40°C裝填，裝填後的包裝可以在常溫系貯藏。

(三) 製冷系統

製冷系統包括三個子系統，分別為冷卻水塔、冰水機與冷藏庫或冷凍庫。這些子系統分別提供果汁製程中不同產品與製程所需的冷卻。原料果汁殺菌後通常以冰水機的冰水冷卻至室溫。除酸楊桃汁與有一工廠用大型無菌包裝貯藏番石榴汁，冷卻後的果汁以 -20°C 的冷凍庫凍結貯藏。冷藏果汁與無菌包裝果汁則以冰水機的冰水或冰滷水分別冷卻至 $4-7^{\circ}\text{C}$ 與室溫。後者大多以約 7°C 的冰水冷卻，前者則採用約 0°C 的滷水冷卻。熱充填果汁，在殺菌之後通常使用約 7°C 的冰水冷卻。冷凍循環的冷卻在本研究中都採用水冷，冷卻水來源為冷卻水塔。

1. 冷卻水塔子系統

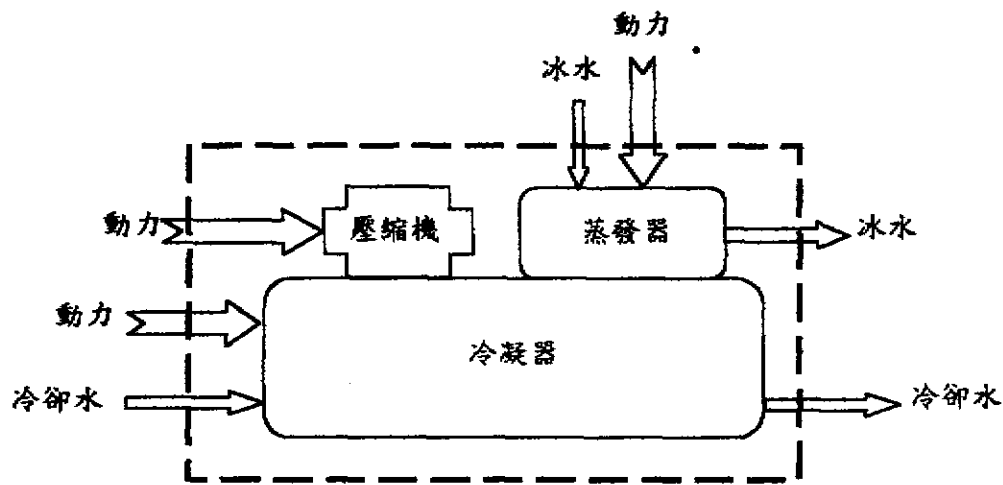
冷卻水塔子系統如圖二所示。冷卻水塔利用蒸發冷卻，將冷凍系統冷凝器所使用的冷卻水冷卻，以便再利用。理想的蒸發冷卻是一個絕熱過程，乾空氣進入冷卻水塔吸濕成為濕空氣，高溫水因蒸發移出蒸發潛熱而降溫。因此系統邊界上有高溫水流入，低溫水流出；乾空氣流入，濕空氣流出；以及補充水的流入。冷卻水塔以風扇吸入乾空氣，並以水泵輸送冷卻水，因而有兩個動力輸入。水泵提供冷卻水塔內冷卻水的噴灑，同時有擔負冷卻水在冷凝器與水塔間的輸送。若以有效能分析冷卻水塔的效率，效率定義為輸出有效能除以輸入有效能，其效率約為30-40% (Bejan, 1988)。但是這種分析不包括冷卻水塔所使用的動力，事實上冷卻水塔最大的能量為風扇與水泵動力，以目前國內製造的冷卻水塔規格計算，在單位水量為 1kg/s 時，冷卻風扇消耗 0.5kW 動力，而水泵消耗約 25kW 動力。在能量收支上，空氣與冷卻水所佔的能量進出遠小餘動力輸入，而且濕空氣所帶有有效能因溫度過低，幾乎沒有利用價值。因此在本研究分析上，只考慮產生每單位冷卻效果所需付出的能量，而且這些能量在生產冷卻水之後全部變為不可逆能。從國內廠商規格計算，冷卻水以 37°C 輸入 32°C 輸出，外界空氣為 25°C ，75%相對濕度時，輸入 1kW 能量，可以平均可以產生 65kW (標準差為 9kW)的冷卻效果。 37°C 是製冷系統規格最常使用的冷凝溫度。



圖二 冷卻水塔子系統示意圖

2. 冰水機子系統

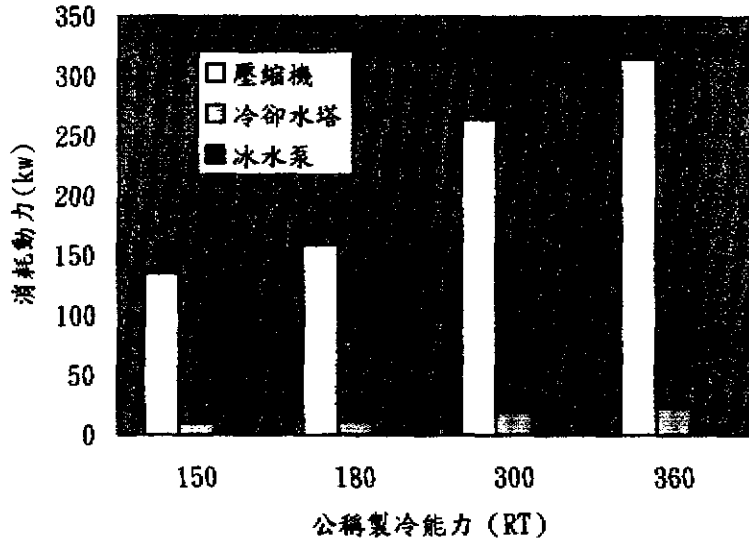
冰水機子系統的示意圖如圖三，此系統由冷媒壓縮機、水冷式冷凝器、蒸發器等元件所構成。壓縮機使用電力為動力，水冷式冷凝器的冷卻水來至冷卻水塔，蒸發器用以製造冷卻的冰水或滷水。冰水機供給果汁製程中使用的冷卻冰水或冷卻滷水，在蔬果原汁、無菌包裝果汁與熱充填果汁製程中，產品品殺菌後冷卻溫度較高，可以使用冰水冷卻，果汁工場常使用的冷卻冰水溫度約在 5-10°C 之間。所使用冰水的溫度愈低，冷卻時所使用的熱交換器愈小；但是冰水機產生冰水的溫度愈低，其能源效率愈低。冷藏果汁製造時其冷卻溫度必需低到 4-7°C，因此必需使用約 0°C 的冷卻冰水，冰水機作業時冷媒膨脹溫度會有波動，而會產生結冰的狀況。因此在此溫度範圍必需使用加有乙二醇等的溶液為冷卻滷水。



圖三冰水機子系統示意圖

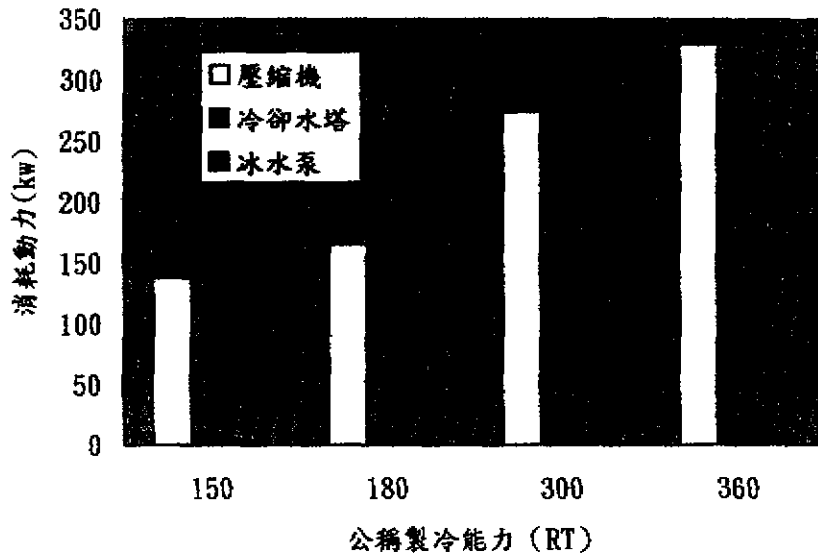
冰水機子系統所使用的動力有三個部分，分別為冷媒壓縮機、冷卻水泵與冰水泵。在本研究中，冰水機子系統與冷卻水塔子系統連結成一個新的子系統，因此在系統的介面上只有冰水的進出，與壓縮機動力、冰水泵動力與冷卻水塔動力（包括冷卻水塔風扇與冷卻水泵）。常見的冰水機組有螺旋式與往復式兩類，依據國內 K 廠商所生產的冰水機規格資料計算，可以得到不同規格所需的動力消耗如圖四、五所示。冰水機的主要能源消耗為壓縮機，冷凍能力愈高時螺旋式壓縮機的動力消耗會低於往復式壓縮機，但是相同公稱製冷能力的冰水機使用往復式壓縮機者售價較低，在果汁加工廠內兩種機型都被採用。冰水機組的能源使用效率常用 EER 表示，其意義為使用一單位電能所能產生的製冷能力。依據廠商規格壓縮機大小、37°C 冷卻水需求，以及 5°C 時製冷能力，可以計算出該作業條件下的 EER 值，若需要其他不同蒸發溫度或凝結溫度下的 EER 值，可以用不同條件 COP 值比概估。表一為依據 K 廠商資料所計算得到螺旋式冰水機與往復式冰水機在冷媒蒸發溫度分別為 5°C 與 0°C 的 EER 值。

螺旋式冰水機能源消耗



圖四 螺旋式冰水機的動力消耗

往復式冰水機能源消耗



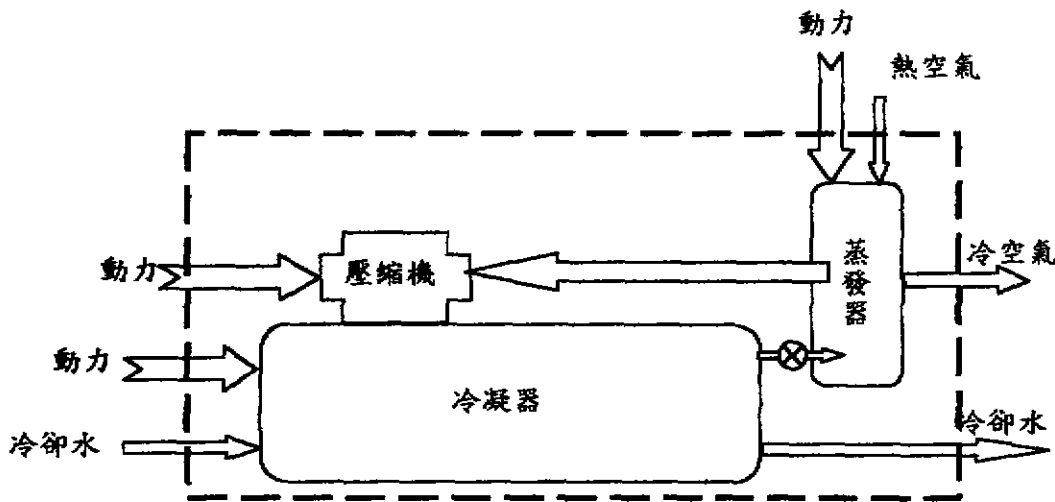
圖五 往復式冰水機的動力消耗

表一 冰水機的能源效率

公稱製冷能力 蒸發溫度℃	螺旋式		往復式	
	5.00	0.00	5.00	0.00
150	3.52	2.99	3.45	2.93
180	3.62	3.07	3.45	2.93
300	3.59	3.05	3.47	2.95
360	3.65	3.10	3.46	2.94

3. 冷藏庫子系統

冷藏庫子系統的示意圖如圖六，此系統由冷媒壓縮機、水冷式冷凝器、蒸發器等元件所構成。壓縮機使用電力為動力，水冷式冷凝器的冷卻水來自冷卻水塔，蒸發器用以冷卻冷藏庫的空氣，進而移除冷藏庫的各種熱負荷。在蔬果原汁的製程中，產品殺菌後冷卻到室溫後即移入冷藏庫內，在-18℃溫度結凍貯藏。所使用貯藏溫度愈低，貯藏後的品質愈高；但是冷凍庫的使用成本愈高。主要原因是其冷藏庫機組的蒸發溫度愈低能源效率愈低；而且低溫冷藏庫的侵入熱因庫內與室溫溫度差大而侵入量增加。



圖六 冷藏庫子系統示意圖

冷藏庫子系統所使用的動力有三個部分，分別為冷媒壓縮機、冷卻水泵與蒸發器風扇。在本研究中，冰水機子系統與冷卻水塔子系統連結成一個新的子系統，因此在系統的介面上只有冷卻空氣的進出，與壓縮機動力、蒸發器風扇動力與冷卻水塔動力（包括冷卻水塔風扇與冷卻水泵）。冷藏庫機組的能源使用效率常用 EER 表示，其意義為使用一單位電能所能產生的製冷能力。依據美國 B 廠商規格半密閉壓縮機、冷凝溫度與冷卻水需求量，以及各種蒸發溫度下的時製冷能力，可以計算出該作業條件下的 EER 值。在冷凝溫度為 37°C 蒸發溫度介於 -10 至 -40°C，的製冷能力介於 10-50kw 之間，冷藏庫的 EER 值可以用下列公式表示：

$$EER = (8.27 + 0.17 \cdot T_{ev}) \cdot \dot{Q}^{-0.26} \quad (1)$$

其中 EER 為能量效率比無因次； T_{ev} 為蒸發溫度以°C 為單位； \dot{Q} 為冷凍能力 20 單位為 kw。表二為在上述作業條件下蒸發溫度介於 -10 至 -30°C 時的 EER。由表中可以半密閉壓縮機組在 30kw EER 值最佳，這點與一般冷凍庫機組常用 25 或 30kw 單機組合而成相吻合。蔬果原汁使用 -18°C 的貯藏溫度，因此冷凍庫設定在 -20°C。使用 30kw 的冷凍機組 EER 值為 1.54。

表二冷藏庫的能源效率

製冷能力 kw	蒸發溫度°C			
	-15	-20	-25	-30
10	1.37	1.27	1.15	1.01
20	1.68	1.51	1.31	1.09
30	1.74	1.54	1.32	1.08
40	1.74	1.52	1.29	1.04
50	1.71	1.49	1.25	1.01

(四) 有效能與不可逆能

如圖一的一個完整的果汁製造流程系統其邊界包括產品的進出、蒸汽的進出、製冷動力的輸入以及製程機械動力的輸入。產品與蒸汽質量的進出因而有能量的進出。產品的有效能隨環境溫度而改變，其計算公式的推導過程詳列於 Rotstein(1983)。在沒有相變化時計算公式如下：

$$W_{e_{out}} - W_{e_{in}} = \tilde{c}_p (T_{out} - T_{in}) \left[1 - \frac{T_o}{(T_{out} - T_{in})_{lm}} \right] \quad (2)$$

公式符號定義如下：

$W_{e_{out}}, W_{e_{in}}$ 分別表示流出與流入的有效能單位為 kJ/kg ； \tilde{c}_p 為物質的平均比熱單位為 $kJ/kg \cdot K$ ； T_{out}, T_{in} 分別表示流出物與流入物的溫度 K 。 T_o 為環境溫度 K ，在本研究中以 $25^\circ C$ 為環境溫度。 $(T_{out} - T_{in})_{lm}$ 為對數平均溫度差單位為 K ，其定義如下：

$$(T_{out} - T_{in})_{lm} = (T_{out} - T_{in}) / \ln(T_{out} / T_{in}) \quad (3)$$

在相變化過程中有效能的變化如下(Bejan, 1988)：

$$\Delta W_e = \Delta H - T_o \Delta S \quad (4)$$

其中 ΔW_e 、 ΔH 、 ΔS 分別表示相變化過程的有效能差、潛熱差以及熵差，前兩者單位為 kJ/kg ，熵的單位為 $kJ/kg \cdot K$ 。在相變化中若相變化點溫度為 T_p 則，熵變化值如下：

$$\Delta S = \Delta H / T_p \quad (5)$$

在本研究中，蒸汽進入系統時為飽和蒸汽，在相同壓力以飽和冷凝水離開系統，因此其有效能變化只考慮加熱溫度（即凝結溫度）所產生的差異。若果汁在冷卻過程由液態凝結為固態，則其有效能的變化必需分為三段計算：

$$W_{e_{out}} - W_{e_{in}} = \tilde{c}_p (T_{out} - T_p) \left[1 - \frac{T_o}{(T_{out} - T_p)_{lm}} \right] + (\Delta H_f - T_o \Delta S_f) + c_{p_i} (T_p - T_{in}) \left[1 - \frac{T_o}{(T_p - T_{in})_{lm}} \right] \quad (6)$$

符號定義同前，足碼 l 、 s 分別代表液相與固相 ΔH_f 、 ΔS_f 分別為凝固時的焓差與熵差。

在本研究中果汁為 12% 清淡果汁其液態平均比熱為 $3.8 kJ/kg \cdot K$ ，固態平均比熱為 $1.9 kJ/kg \cdot K$ ，假設凍結溫度為 $-1^\circ C$ ，其溶解潛熱為 $333.1 kJ/kg$ 。(Geankoplis, 1993)

如此所定義的果汁加工系統不可逆能的產生可以定義如下：

$$T_o R_s = (W_{e_{in}} - W_{e_{out}})_S - (W_{e_{in}} - W_{e_{out}})_P + W \quad (7)$$

公式左端不可逆能，其數值為過程中熵的生成量與環境溫度的乘積，右端依序為蒸汽的有效能差、產品的有效能差與輸入的機械能（電能）。

三、結果與討論

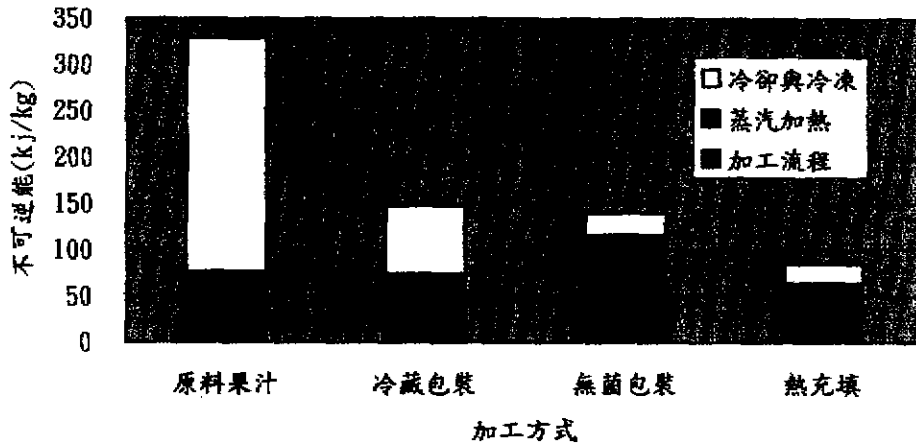
(一) 不可逆能的產生

果汁的加工程序中不可逆能的產生可分成三類：加工流程中加工機械消耗電力產生的不可逆能；加熱過程產生的不可逆能；冷卻或凍結所產生的不可逆能。圖七是以番石榴汁加工流程為例，所顯示單位重量產品在加工過程所產生的不可逆能。在計算過程中，假設加熱與冷卻的熱交換效率為 70%。在本節的討論都採用這個假設，但在下節中將討論改進熱交換率對不可逆能生成的影響。

果汁原料的生產產生最多的不可逆能，其中以冷卻冷凍佔最高，因為原料果汁以 -18°C 冷藏，凍結過程消耗大量電能，而且冷藏時間長達 120-180 天，也增加了能源負擔。加工流程機械動力所產生的不可逆能佔第二位。加熱在加功能源中佔最大量，但是利用熱交換器回收殺菌後的廢熱，因此在不可逆能的生成上反而不多。下遊加工方式以熱充填產生最少不可逆能，其次為無菌包裝。冷藏包裝也因冷卻負荷，而成產生最多不可逆能的加工形式。值得注意的是無菌包裝在加熱與冷卻產生的不可逆能與熱充填包裝相似，但加工機械卻產生約熱充填機械系統兩倍的不可逆能。兩流程中最大差異為無菌包裝機，因此此機械能源效率的改進值得更仔細的探討。

表三是冷藏包裝柳橙汁與番石榴汁的不可逆能生成量，機械加工所產生的不可逆能約為殺菌與冷卻產生量的一半。但是表四的無菌包裝果汁就與冷藏果汁不盡相同，無菌包裝加熱殺菌與冷卻所產生的不可逆能為冷藏包裝的一半，但是生產機械的不可逆能生成量卻是冷藏包裝的兩倍。事實上在加熱階段不可逆能的產生因各製造程序使用的殺菌溫度相近，冷卻過程反而是一個關鍵，冷藏包裝必需冷卻到 $4-7^{\circ}\text{C}$ ，冷卻系統產生的不可逆能也相當可觀。表五是四種熱充填果汁生產過程的不可逆能生成量，熱充填包裝不論在熱加工或機械操作中，不可逆能的生成都是最小。熱充填包裝的冷卻負荷較小，包裝機械也較簡單是主要的原因。但是其中的蕃茄汁在熱殺菌過程產生最多的不可逆能，其原因是蕃茄汁的殺菌溫度最高達 118°C ，所需熱能最多，雖然在高熱交換效率下，但是無法有效回收利用的能量仍然是相當的浩大。從這三個表中，可以感覺到同樣加工方式下各產品所產生的不可逆能差異並不是很大。

不可逆能產生量



圖七 果汁加工方式與不可逆能的產生

表三 冷藏包裝果汁產品加工過程不可逆能的生成量

產品	柳橙汁	番石榴汁
調查家數	5	2
熱加工平均不可逆能(kj/kg)	93	98
標準差(kj/kg)	4	-
機械加工平均不可逆能(kj/kg)	40	49
標準差(kj/kg)	34	-

表四 無菌包裝果汁產品加工過程不可逆能的生成量

產品	柳橙汁	番石榴汁	甜楊桃汁
調查家數	5	4	4
熱加工平均不可逆能(kj/kg)	51	51	52
標準差(kj/kg)	7	7	7
機械加工平均不可逆能(kj/kg)	85	106	89
標準差(kj/kg)	23	33	27

表五熱充填包裝果汁產品加工過程不可逆能的生成量

產品	柳橙汁	番石榴汁	楊桃汁	蕃茄汁
調查家數	3	3	1	1
熱加工平均不可逆能(kj/kg)	46	46	44	61
標準差(kj/kg)	6	6	-	-
機械加工平均不可逆能(kj/kg)	39	39	89	33
標準差(kj/kg)	43	43	-	-

表六是以數據較完整的柳橙汁與番石榴汁比較分析影響加工程序不可逆能產生量的因數，從表上可以看出加工方式非常顯著的影響到不可逆能的生成，而果汁種類的影響卻很不明顯，且兩者並無交互作用。以不可逆能的生成量最少以示為綠色度最高，則熱充填包裝綠色度最佳，依序為無菌包裝、冷藏包裝。

表六果汁加工程序不可逆能產生量變異數分析

	SS	df	MS	F
加工方式	10381.83	2	5190.92	146.67
果汁種類	18.37	1	18.37	0.52
交互作用	28.76	2	14.38	0.41
誤差	566.27	16	35.39	
總和	10995.23	21		

在原料果汁方面國內生產少量的柳橙汁，但番石榴汁與楊桃汁的原料果汁大都在國內生產。表七為原料果汁產品加工過程不可逆能的生成量，表中可以發現熱殺菌過程所產生的不可逆能最多，而且數量非常龐大，其原因在本章之前已經說明。表中的酸楊桃汁在熱加工時不可逆能的生成量為最小。只是甜楊桃汁的五分之一。酸楊桃汁的酸鹼值很低，不必靠冷凍貯藏，因此節省了凍結潛熱與貯藏的熱負荷。因此改進原料果汁的貯藏技術是提高果汁產品綠色度的途徑之一。大型無均包裝袋，應該是一個可以思考的方式。有一番石榴原料果汁的工場已經使用此技術，在表中並沒有列出，其熱加工所產生的不可逆能，約僅傳統方式的七分之一。

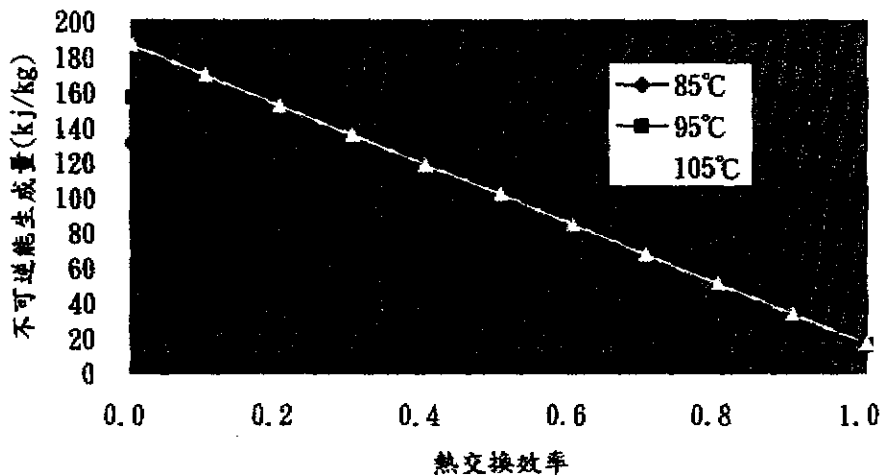
表七原料果汁產品加工過程不可逆能的生成量

產品	柳橙汁	番石榴汁	甜楊桃汁	酸楊桃汁
調查家數	1	2	3	3
熱加工平均不可逆能(kj/kg)	260	272	274	56
標準差(kj/kg)	-	-	3	8
機械加工平均不可逆能(kj/kg)	24	56	74	29
標準差(kj/kg)	-	-	44	17

(二) 影響不可逆能的生成的因素

利用熱交換器將殺菌後高溫果汁的熱量用來加熱低溫的果汁進料，充分使用高溫的有效能，以避免轉變為不可逆能。同時也可以減少冷卻系統的負擔。但是冷熱流體間必需保持 10°C 的溫度差以維持足夠的熱貫流量通過熱交換器表面，因此並不是所有能量都可以傳遞給低溫的進料。圖八是高低溫流體維持至少有 10°C 的溫度差，在不同熱交換效率與殺菌溫度下的不可逆能生成量。在果汁加工殺菌溫度範圍有限大概介於 85-105°C，在高效率的熱交換下，殺菌溫度高低對於不可逆能的生成影響不大；但是在低熱交換效率時，殺菌溫度愈高所產生的不可逆能愈多。因此，增熱交換面積，以提高熱交換效率，可以有效的減少不可逆能的生成。這點對於使用高溫殺菌的業者更為重要。

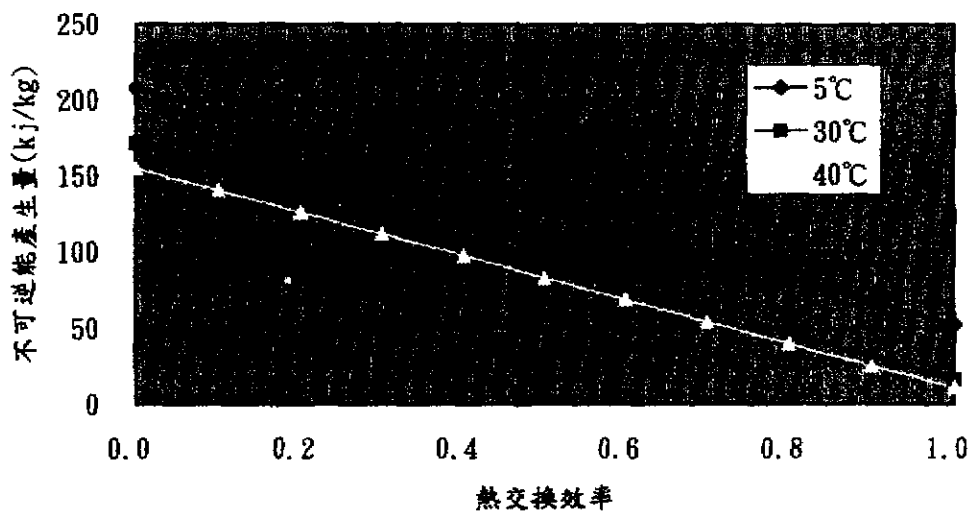
殺菌溫度的影響



圖八不同殺菌溫度下熱交換效率對於不可逆能生成的影響

冷卻溫度對於不可逆能生成的影響更為顯著，不同的包裝方法使用不一樣的冷卻溫度，圖九分別以 5、30、40°C 代表冷凍包裝、無菌包裝與熱充填包裝的冷卻溫度，在相同的殺菌溫度 100°C 時，不可逆能的生成隨熱交換效率的變小，而成線性的上升。而且三種冷卻溫度的三條線平行，不隨着熱交換效率的改變使冷卻溫度的影響變小。

冷卻溫度的影響



圖九 不同冷卻溫度下熱交換效率對於不可逆能生成的影響

四、結論與建議

利用不可逆能的生成來探討能量使用的效率，並且也可以作為果汁綠色度的指標。依據此方法訂立的指標柳橙汁、番石榴汁以及蕃茄、楊桃等果汁在相同製造包裝程序下其綠色度差異不大。但是不同的加工包裝方式，其不可逆能的產生量差異很大，對於綠色度的影響明顯。改善熱交換器的熱交換效率，提高製冷系統的能源效率是提高果汁綠色度的很好的方法。在本研究尚未將蒸汽生成部分考慮入分析的系統內，應用有效能分析進行食品工廠整體，將可更完整的探討能源的利用效率。

五、參考文獻

1. 吳瑞碧、蔣丙煌、葉安義，2000，果蔬汁產品生命週期非生物性資源之利用現況調查。行政院國家科學委員會專題計畫成果報告。
2. Bejan, A., 1988, *Advanced Engineering Thermodynamics.*, John Wiley and Sons, N. Y.
3. Fan, Z., G. Fleischman, and D. L. Larson, 1990, Exergy analysis of a milk processing system., ASAE paper no.906540., American Society of Agricultural Engineers., St. Joseph, MI.
4. Fan, Z, D. L. Larson, and G. Fleuschmen, 1995, Exergy analysis of a milk processing system., *Trans. A.S.A.E.*, 38:1825-1832.
5. Forciniti, D., E. Rotstein and M. J. Urbicain. 1985. Heat recovery and exergy balance in a tomato paste plant. *J. Food Sci.* 50:934-939.
6. Geankoplis, C. J., 1993, *Transport Processes and Unit Operations.*, Prentice-Hall, London.
7. Rotstein, E., 1983, The exergy balance: a diagnostic tool for energy optimization., *J. of Food Sci.* 48:945-950.
8. Singh, R. P., P. A. Carroad, M. S. Chhinnan, W. W. Rose and N. L. Jacob. 1980. Energy accounting in canning tomato products. *J. Food Sci.*, 45:735-739.
9. Stout, B. A., C. Myers, G. Schwab and z. Helsel. 1982. Energy management in U.S. production agriculture. In *Energy Management and Agriculture*, eds. D. W. Robinson et al., 67. Dublin, Ireland: Royal Dublin Society.
10. Tragardh, C., 1981, Energy and exergy analysis in some food processing industries., *Lebensm. Wiss. Technol.*, 14:213-217