

中華民國第42屆中小學科學展覽會

::: 作品說明書 :::

高職組-電子

科 別：電子、電機及資訊科

組 別：高 職 組

作品名稱：冷凍式低溫乾燥設備

關 鍵 詞：市場價格、熱能、冷媒管

編 號：091014

學校名稱：

國立崇實高級工業職業學校

作者姓名：

蘇明弘、賴雪貞、黃炯斌、張家彰

指導老師：

陳晉榮



冷凍式低溫乾燥設備

一、研究動機

我們是一群農家子弟，家裏世代務農，家裡生計所依靠的，都就是家裏的那一片田地，從我有記憶開始，家中那一塊農田，就掌管了我家生計大權，家中一切開銷舉凡家中婚喪喜慶生老病死甚至一日三餐及我們的學費，全靠這塊農地的收成支付。父母親每天天色未亮即起身下田，往往忙到伸手不見五指才回家休息，平常假日我們也都必須幫忙農作，日復一日，似乎家裏的經濟情形一直未見改善。

每次農作物收成時，似乎都少了那一份豐收的喜悅，因為當天候良好，農作物成長快速導致生產過剩，市場價格低落，收入不夠成本，父母親捨不得辛苦耕作收成因賣不出去壞掉，不是醃起來就是曬乾作成菜乾貯藏起來食用或是販賣來貼補家用。

而每當颱風來襲，受傷害最大的往往是我們，雖然市場上農產品價格馬上反應飆漲，家庭主婦為了顧及家人飲食營養均衡，忍痛購買高價蔬菜，但因為農作物受損我們反而無法收成，家裏經濟來源斷絕，父親總是跟親戚朋友們借錢，來作災後復健工作及應付家裏生活開支。每次有颱風來襲，就必須全家總動員，到田裏做防颱準備，以免辛苦耕作成果受到颱風摧殘而血本無歸。

身為農家子弟，所以我非常能夠了解農民的辛勞，豐收時沒有喜悅，每當天災蟲害時農民總要拾起那受傷流血的心重新來過，父母親深怕我們也受這種苦因此堅持我要讀工業類科習得一技之長，早日脫離務農生涯。

在學校學到冷氣機可以冷卻及除濕這時使我有了一個念頭，我為何不把所學的學以致用，利用冷氣機的冷卻及除濕原理來吸收農產品中水分，在使被乾燥物色澤及質量變化最少情況下達到乾燥效果，於是跟老師和同學研究了許久，終於想到了可以用冷凍乾燥法，來吸收乾燥物中的水份，既不會破壞蔬菜的口味和口感，也能保存它的營養成分。於是我們進行了此次研究。

二、研究目的

(一) 由實際的操作過程中瞭解被乾燥物於乾燥進行中的各種變化現象，並找出其特性。

(二) 利用冷凍設備採密閉式的設計，乾燥操作進行時以冷凍機之冷凝熱做為乾燥熱源，由乾燥物析出之水分則在蒸發器凝結排出，以節省能源更將廢熱的排放降至最低。

(三) 找出最不破壞被乾燥物成份、色澤、外觀之佳乾燥方式，可供業界參考使用。

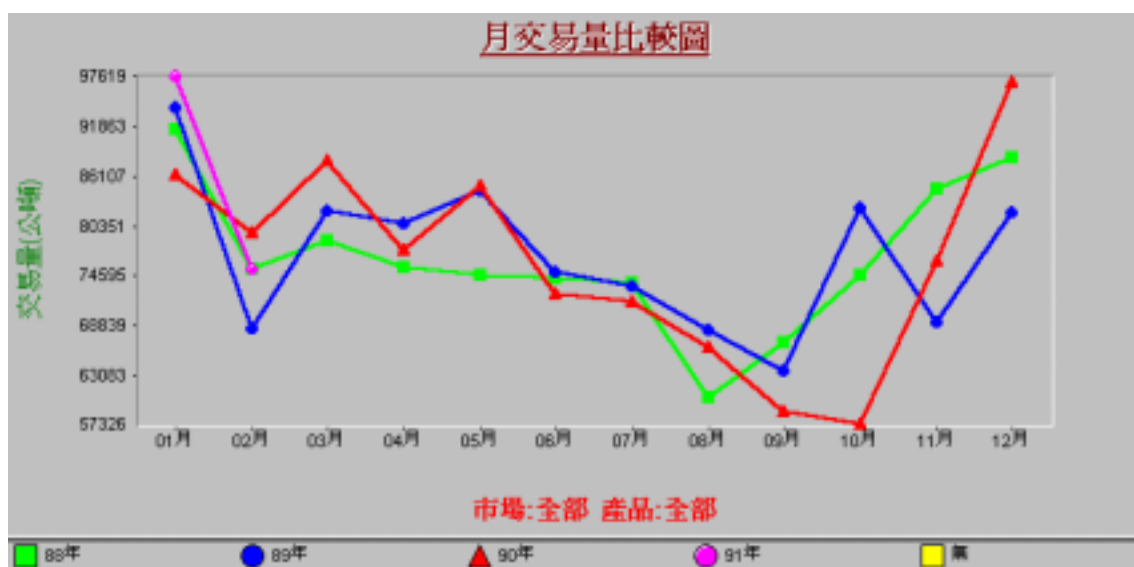
三、研究設備及器材

名稱	規格	數量	名稱	規格	數量
冷凍機	220V 1HP	1 組	相對濕度計		2 組
乾衣機	110V 1350W	1 台	自然對流管排		1 組
焙茶機	110V 2KW	1 台	電子秤	3KG	1 部
溫濕度記錄器		2 組	各式蔬果		若干

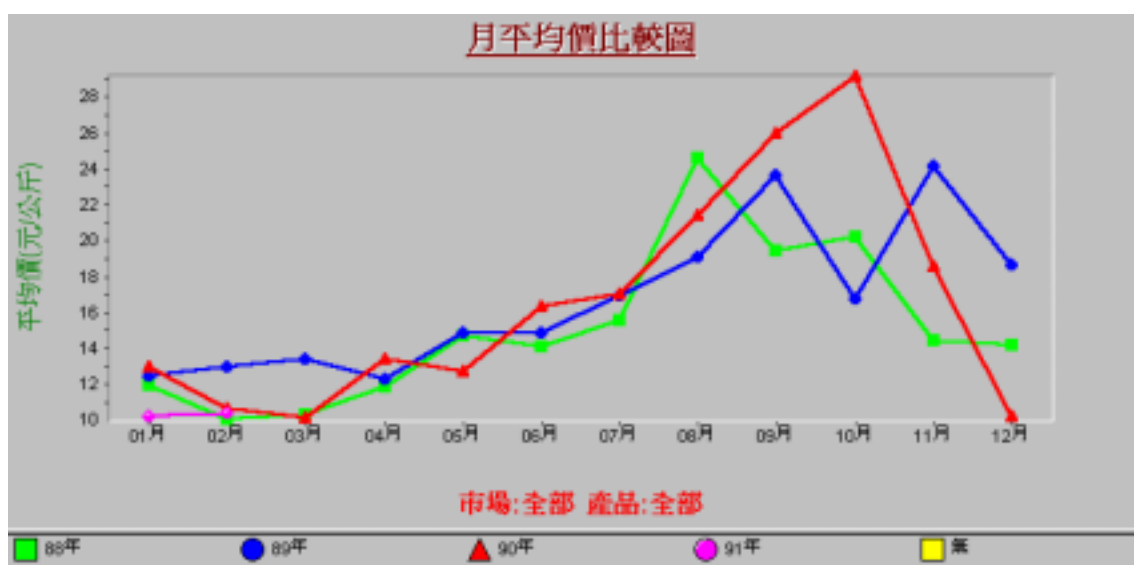
四、研究過程或方法

蔬菜是我們日常生活中是每餐均不可缺少的食物；蔬菜即凡植物通常柔軟、脆嫩、多肉、多汁或具有特殊的氣味等，不論其為根、莖、葉、花、果實、種子或菌體，可供各人佐餐、副食或調味者稱之。各類蔬菜所含的營養成分不盡相同，包括豐富的碳水化合物、蛋白質、維生素、礦物質、纖維質等，因而有"健康食品"、"長壽食品"、"美容食品"的美譽，是我們維持正常健康生活的必需品。因此，蔬菜在我們現代的生活裡扮演著非常重要的角色。

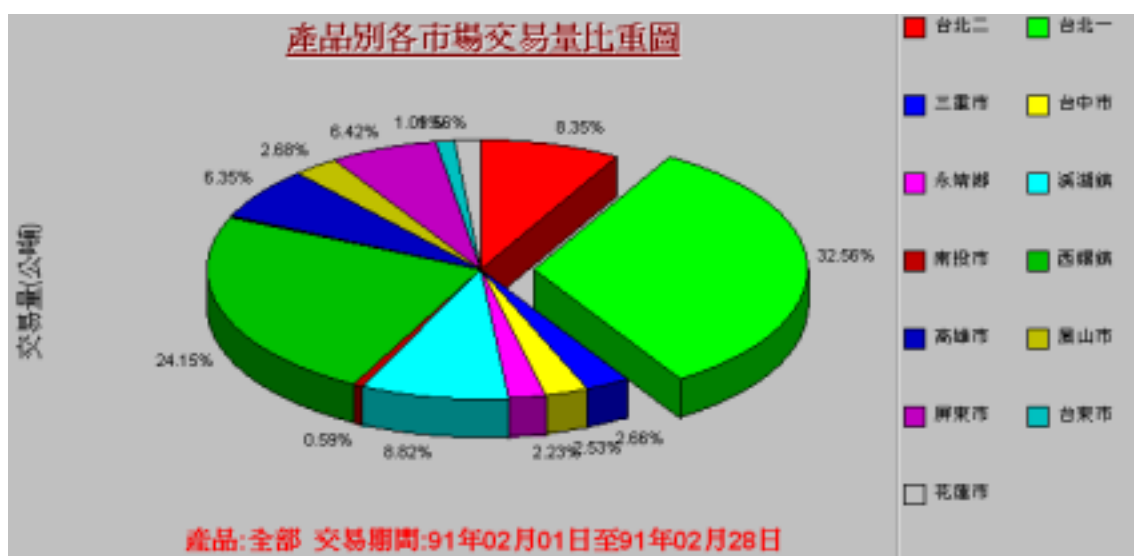
我國每年蔬菜交易量及交易價格關係由 - 圖 (一) (二) (三) (行政院農委會農產品交易網站 <http://163.29.73.197>) 所示，交易量之多與寡相差甚多，除了與農政單位輔導政策有關外，季節及災害因素 - 如圖 (四) 以及農民種植意願也有相當大的關係。



圖（一）蔬菜月交易量比較圖



圖（二）蔬菜月平均價比較圖



圖（三）各果菜市場蔬菜交易量比重圖



心血泡湯 納莉颱風造成多處積水，大水過後，灘地垃圾，最慘的是被淹過的稻田，也是垃圾成堆，而且把稻禾都壓垮了，農民眼見心血泡湯，真是欲哭無淚。（圖文／洪璧珍）



農田不敵，淹是鹽鹼地，鹽鹼地的蔬菜難在「水中」。（圖／劉國雄）

蔬菜產區泡湯

農委會要求緊急進口 菜價10月初應可回穩

【記者王淑娟、報導】納莉颱風造成多處積水，大水過後，灘地垃圾，最慘的是被淹過的稻田，也是垃圾成堆，而且把稻禾都壓垮了，農民眼見心血泡湯，真是欲哭無淚。（圖文／洪璧珍）

午膳，最慘的是，蔬菜受淹後以3000噸急凍蔬菜，農委會要求緊急進口，預計10月初，菜價可以回穩。

高麗菜、白菜、甘藍、小白菜等蔬菜，價格都漲了一倍以上，高麗菜漲到每斤五元，白菜漲到每斤四元，甘藍漲到每斤三元，小白菜漲到每斤二元。

農委會為穩定菜價，已要求進口商，緊急進口高麗菜、白菜、甘藍、小白菜等蔬菜，預計10月初，菜價可以回穩。

納莉颱風，造成多處積水，大水過後，灘地垃圾，最慘的是被淹過的稻田，也是垃圾成堆，而且把稻禾都壓垮了，農民眼見心血泡湯，真是欲哭無淚。（圖文／洪璧珍）

高麗菜、白菜、甘藍、小白菜等蔬菜，價格都漲了一倍以上，高麗菜漲到每斤五元，白菜漲到每斤四元，甘藍漲到每斤三元，小白菜漲到每斤二元。

農委會為穩定菜價，已要求進口商，緊急進口高麗菜、白菜、甘藍、小白菜等蔬菜，預計10月初，菜價可以回穩。

納莉颱風，造成多處積水，大水過後，灘地垃圾，最慘的是被淹過的稻田，也是垃圾成堆，而且把稻禾都壓垮了，農民眼見心血泡湯，真是欲哭無淚。（圖文／洪璧珍）

高麗菜、白菜、甘藍、小白菜等蔬菜，價格都漲了一倍以上，高麗菜漲到每斤五元，白菜漲到每斤四元，甘藍漲到每斤三元，小白菜漲到每斤二元。

農委會為穩定菜價，已要求進口商，緊急進口高麗菜、白菜、甘藍、小白菜等蔬菜，預計10月初，菜價可以回穩。

納莉颱風，造成多處積水，大水過後，灘地垃圾，最慘的是被淹過的稻田，也是垃圾成堆，而且把稻禾都壓垮了，農民眼見心血泡湯，真是欲哭無淚。（圖文／洪璧珍）

高麗菜、白菜、甘藍、小白菜等蔬菜，價格都漲了一倍以上，高麗菜漲到每斤五元，白菜漲到每斤四元，甘藍漲到每斤三元，小白菜漲到每斤二元。

農委會為穩定菜價，已要求進口商，緊急進口高麗菜、白菜、甘藍、小白菜等蔬菜，預計10月初，菜價可以回穩。

納莉颱風，造成多處積水，大水過後，灘地垃圾，最慘的是被淹過的稻田，也是垃圾成堆，而且把稻禾都壓垮了，農民眼見心血泡湯，真是欲哭無淚。（圖文／洪璧珍）

高麗菜、白菜、甘藍、小白菜等蔬菜，價格都漲了一倍以上，高麗菜漲到每斤五元，白菜漲到每斤四元，甘藍漲到每斤三元，小白菜漲到每斤二元。

農委會為穩定菜價，已要求進口商，緊急進口高麗菜、白菜、甘藍、小白菜等蔬菜，預計10月初，菜價可以回穩。

計估難損農 鹽埔湖溪

免俸一無稻水菜蔬 沒淹田農

納莉颱風，造成多處積水，大水過後，灘地垃圾，最慘的是被淹過的稻田，也是垃圾成堆，而且把稻禾都壓垮了，農民眼見心血泡湯，真是欲哭無淚。（圖文／洪璧珍）

圖（四）風災對蔬菜交易量及價格影響

每當菜源短缺，菜價飆漲，主婦們總是為了張羅三餐傷透腦筋，除了尋求替代性食品外，無不忍痛掏腰包購買高價蔬菜。然而，這種現象又對農民造成鼓勵，又紛紛搶種，期望能撈到一些利潤，對農政單位呼籲置之不理，到後來往往造成生產過剩、價格慘跌、血本無歸 - 如圖（五）。每當菜價低落農民收入受影響時，政府之輔導措施有補貼收購貯藏、耕除、或是鼓勵業界收購加工。但收購貯藏數量總是有限而且貯藏時間也無法長久，耕除措施對於天性勤儉的國人來說是在萬不得已的情況下才可施行，農民也才肯配合。

因此，農產品加工是最好的辦法，不論是由加工業者收購處理或者由農民自行曬乾貯藏，都達到補貼家用之目的，而且農民也可以在蔬菜短收時食用。

圖（六）



圖（五）氣溫升高蔬菜生長快速影響價格下跌



圖（六）農民對菜價下跌之對策

我們在決定研究方向以後，即著手收集與乾燥有關資料，利用科現有之1RT 冷氣機重新組裝、測試、修改等，達到符合我們所需要的功能。以本縣種植面積較寬，收穫數量較多之甘藍（高麗菜）及花椰菜為主要乾燥試驗用品，其他市面常見之根莖類、葉菜類、調味用蔬菜等都是我們的試驗對象。

（一）食品乾燥起源

食品乾製法創始甚古，可說與人類文化同久，自古埃及墓中發現有裝在瓶中的乾製食品，馬可波羅亦曾報導達達族人食用乾牛奶，最初乾製食品利用太陽熱進行乾燥，1795 年才利用人工乾燥法將蔬菜先浸熱水再乾燥，此後乾燥食品逐漸增加，尤以戰爭時消耗更大，對成品的要求亦應品質良，質量輕。

所謂乾燥食品係在不破壞食品組織細胞及改變熱卡值的情形下減少食品之水分量所得者。食品中水分的存在將造成(1)細菌、黴菌之生長，(2)食品變色及變味，(3)酵素作用，(4)結塊及其他物理變化。因之除去水分至極限值以下並經過適宜包裝及小心存放之乾燥食品，有可能保存一段時間而不壞。

（二）食品乾燥分類

1.依操作壓力分類

(1) 常壓乾燥：在一般大氣壓下的乾燥方式。乾燥時間長，容易變質的原料，應增加乾燥表面積，在高溫下短時間內完成乾燥。

(2) 真空乾燥：在減壓下的乾燥方式。對熱有敏感性，在低溫下不易乾燥或在常壓下不易乾燥的食品，適合使用真空乾燥。

(3) 加壓乾燥：利用加壓加熱條件，使水分瞬間蒸發的乾燥又稱膨發乾燥。

2.依熱源的傳達方式分類

(1) 熱空氣乾燥：空氣以燃燒氣體或蒸汽加熱，然後將其利用於食品的乾燥。乾燥速度受空氣的濕度、溫度、風速及風向等因素的影響。

(2) 低溫低熱空氣乾燥：製作低溫又低濕空氣，將此低溫低濕空氣用於食品的乾燥。適合於忌升溫的食品。

(3) 燒氣體乾燥：使燃燒氣體直接與食品接觸，或燃燒氣體與空氣混合後，用於食品的乾燥。適用於耐高溫的食品。

(4) 傳熱乾燥：盛食品材料的容器，置於金屬板，以電熱或蒸汽加熱金屬板的乾燥法。為間接加熱乾燥法之一種。

(5) 高周波乾燥：固體食品置於高周波電場，使材料的內部和外部同時發熱的乾燥法。適合於厚材料或內部需要均勻急速乾燥的食品。

(6) 紅外線乾燥：利用紅外線的加熱乾燥法。適合於表面需要強烈加熱的材料。

(三) 食品乾燥目的

1.提高貯藏性：減少食品中過多的水分，可抑制微生物及酵素的作用，而延長食品的貯藏期。

2.增加運輸性：由於重量和容積的減少，方便食品的運輸。

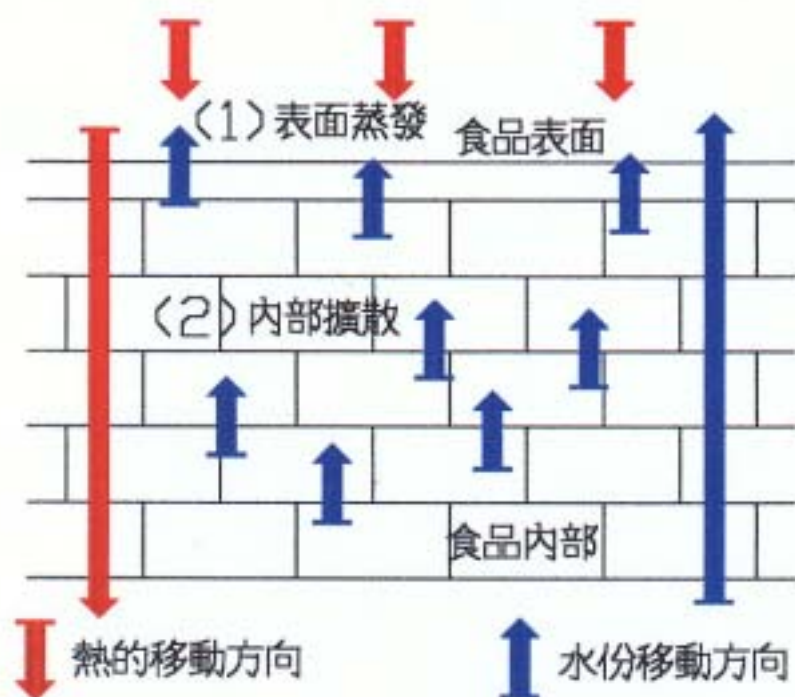
3.賦予簡便性：增加食用、飲用及加工上的簡便性，隨身攜帶符合生活的便利。

4.製造與原來食品不同的獨特風味或價值。

5.新食品材料及新食品的創造開發。

（四）乾燥原理

食品受熱時，表面的水分先蒸發，而形成食品表面與內部水含量的不平衡，食品內的水分遂經組織滲透到食品表面，再蒸發並擴散於空氣中。食品組織內水分移動的現象，稱為內部擴散，而食品表面水分蒸發的現象，稱表面蒸發，此兩種作用同時進行，使食品的水分繼續蒸發，直到乾燥食品的水分含量與周圍空氣中水分含量達到平衡為止。如圖（七）



圖（七）乾燥進行時水份移動方式

（五）乾燥食品原料中的水分

食品中所含的水分，主要可分為游離水，又稱自由水（free water），結合水（bound water）。

游離水：是附著於食品中，用離心、過濾，和一般乾燥溫度容易乾燥和除去者，可被微生物利用，造成乾燥食品腐敗的因素之一。

結合水：是在食品中以氫鍵結合在食品的成分如蛋白質或碳水化合物上

的水分，因其與食品緊密結合，所以很難以一般方法和操作加以分離，亦不被微生物利用。

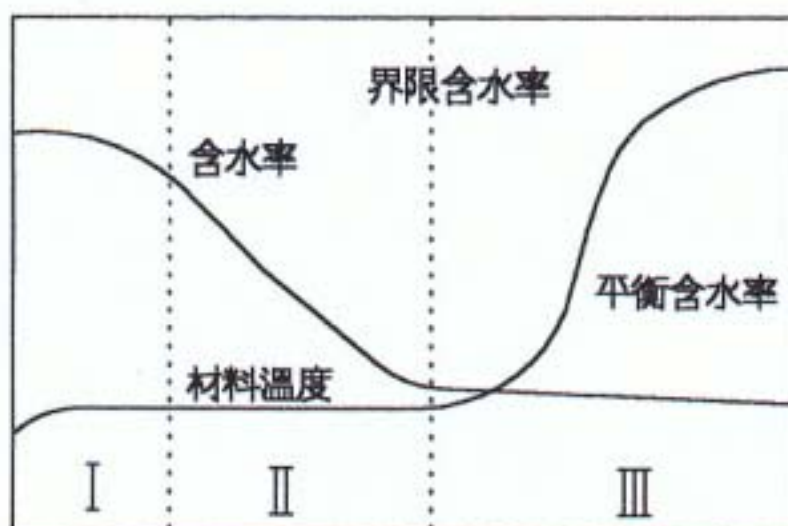
（六）乾燥的意義：

運用各種方法使熱被傳遞至含有水份的物體上，以這些熱作為潛熱使水份被蒸發分離的操做作。乾燥的操作包含了熱的傳導輸送，與物質水份的操作。因此乾燥進行的兩項要素：

1.熱能。

2.水蒸氣分子壓力差。

（七）乾燥特性曲線：圖（八）



圖（八）乾燥特性曲線表

係屬於材料的預熱期：在充分濕潤過的材料上有液狀水進行存於表面上。現在當放置存在於任意的溫度下的材料於定常的乾燥條件下時，則其有關的溫度方面係依近似的方式變成其有關的熱風的濕球溫度。進行達到這種溫度為止的期間係稱為 的期間。

為等速率乾燥期：在 的期間內限於有液狀水進行存在於表面內，材料溫度方面在恰好濕球溫度一定的狀況下，流入熱量係全部被使用於水分的蒸發上。如同圖上所表示的情形一樣地在 的期間內平均含水率方面係與

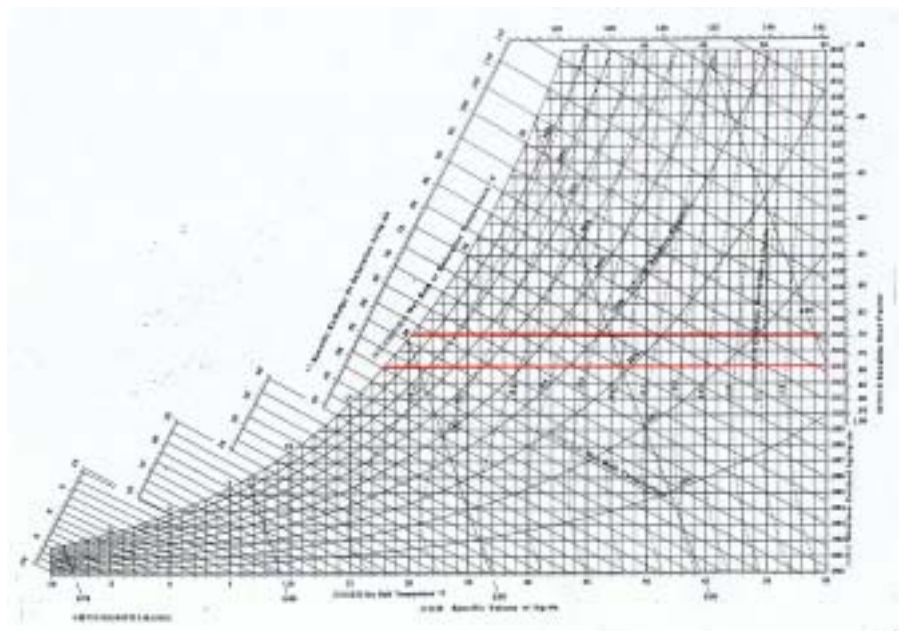
時間成比例地進行減。因此在乾燥速度方面係為一定值，亦即變成等速率乾燥速度。

係屬於減速率乾燥期：在 的期間上液狀水係變得不再存在於材料表面上，亦即當源自內部的液狀水的移動變得不能趕得上源自材料表面的蒸發時，則材料表面有關的物質方面會變成乾燥的狀態，材料的溫度方面則開始上昇。因此伴隨著流入的熱量之進行減少，這種熱量方面由於被消耗於水份的蒸發與材料的加熱上的緣故，因而乾燥速度方面會逐漸地進行減少。

（八）乾燥作用及排濕

乾燥作用是因為被乾燥物之蒸氣張力與空氣中水蒸氣之分壓形成的壓力降差，如圖（九）空氣線圖所示，而使水蒸氣由固體表面通過周圍的空氣膜擴散至空氣中而進行。逐漸蒸發的水蒸氣會增加空氣中的水蒸氣壓，而降低壓力降差，減低乾燥速度。當二者的壓力達於平衡時，乾燥就停止。為能持續進行乾燥作用，必須經常維持壓力降差，一般可行之方法有二：

- 1.加熱空氣、提高溫度、提高被乾燥物水份的蒸發張力。
- 2.排除已蒸發的水蒸氣而降低空氣的水蒸氣壓。



圖（九）空氣水蒸氣壓

（九）乾燥方法

- 1.天然陽光乾燥：置放乾燥場曝曬至乾燥完成，此法速度慢。
- 2.噴霧乾燥：將液體自噴霧器噴入熱空氣中，水分蒸發，固體粒子即懸浮熱空氣中收集後即為成品，因為食品水分蒸發甚快，粒子表面溫度不致過高，所以食品不會受害。
- 3.熱風乾燥法：原料切片後舖在板條狀或金屬盤上，熱風自盤上，下吹過以完成乾燥。
- 4.泡沫層乾燥：將液體攪動產生泡沫，使附有孔皮帶上的薄板以熱風吹過完成乾燥，熱風溫度較噴霧乾燥法為低而時間延長。
- 5.轉鼓乾燥：欲乾燥原料利用一給料裝置進入大型轉鼓，此鼓以蒸汽加熱並能轉動，則食品乾燥並利用刮泥器分離移出。
- 6.真空乾燥：於真空狀態下，乾燥速度可以加快，且真空度愈高，加熱溫度可以愈低，所以適用於怕長時間高溫加熱的食品，但真空乾燥之資本較一般為高，由於氧之缺乏可以避免食品變質，所以成品品質亦佳。
- 7.脫水冷藏法：係兼用脫水及冷藏的加工法，先以加熱脫除食品中部份水分然後凍結之，此較之凍結食品具有優點，且體積已縮小因之貯存空間可以減少。
- 8.凍結乾燥：食品先凍結，再於高真空下移去水分，此時所加的熱可使乾燥加快但成品不會分解，冰結晶直接昇華成蒸汽逸出，成品可保持原形及多孔性，復水性質良好，而重量僅為原物之 10 15%。

由於乾燥方式很多，以目前我們所學及器具準備範圍為考量，遂使用家庭用乾衣機和焙茶機，以模擬一般傳統方式之熱風乾燥，及用自行組裝之熱回收方式之低溫乾燥機，分別乾燥蔬菜等，於乾燥期間觀察乾燥物之變化及記錄其溫濕度、耗用時間和能源用以作為比較。

為考慮蔬菜中特有酵素的存在與數量上有差別之氧化酵素、過氧化酵素的的存在，在乾燥之前的調整階段，如切片、破碎、過濾等過程中，這些酵素都會發生作用，且在乾燥過程中此等作用更是進行旺盛，而使色、香、味、

食感與營養價值下降。因此先經處理（殺菁）以防止酵素作用。殺菁：利用加熱使酵素失去活性，可將被乾燥物浸漬熱水中，或以常壓蒸氣處理，殺菁除可使酵素失去活性外，並且有柔軟組織，除去澀味、蠟質，完成洗淨效果。本實驗係用熱水浸漬法殺菁。

（十）日曬乾燥法：高麗菜切成條狀，用金屬框盛裝置於水泥地上曝曬，紀錄溫度及溼度變化。



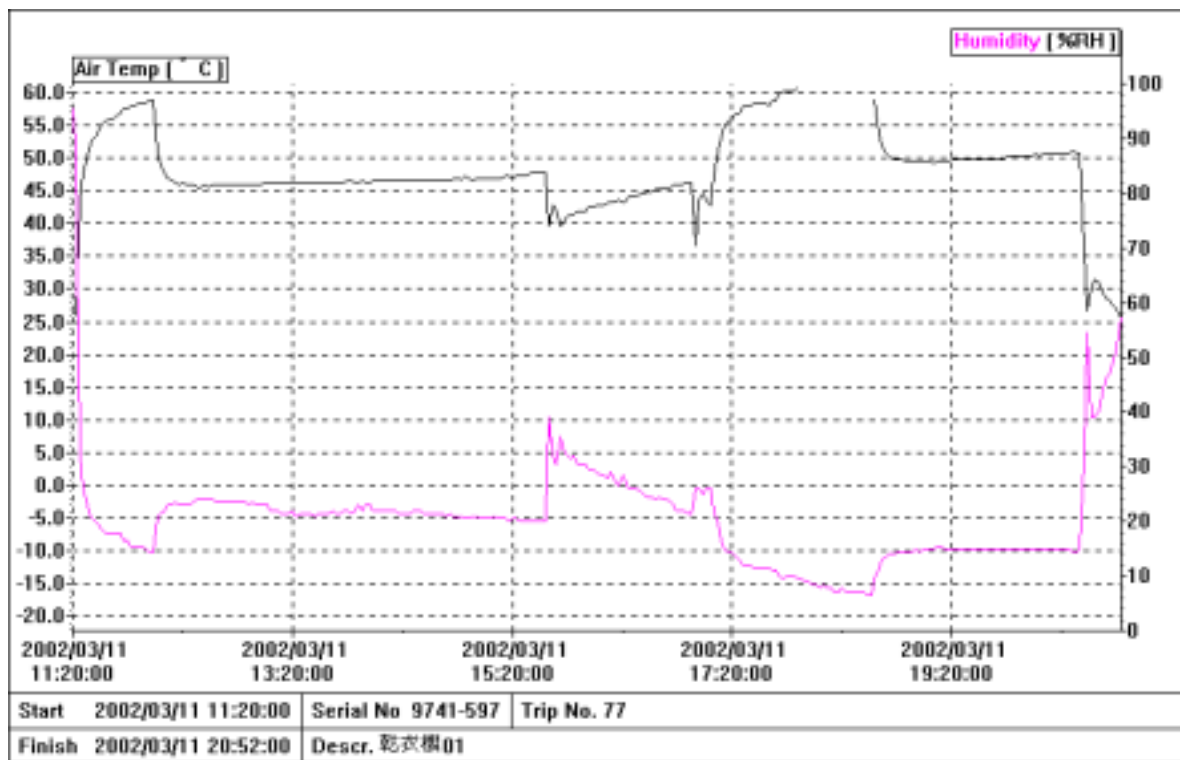
（圖十）日曬高麗菜

（十一）家用乾衣機乾燥法：以學校實習用單相 110V1350W 乾衣機一部，接受瓦特表及瓦時計備用，高麗菜經切絲、稱重、熱水浸漬殺菁後開始乾燥行程，乾燥過程中記錄溫濕度及耗用電量等。機具電源及電錶接線如圖（十一）。



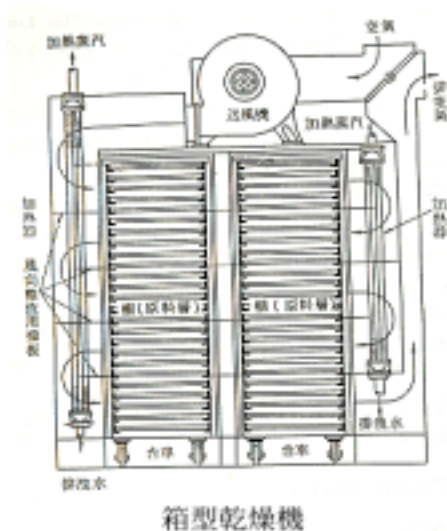
圖（十一）乾衣機乾燥圖

第一次用乾衣機乾燥時只記錄乾衣機內部之溫濕度變化，又因蔬菜經熱水浸漬殺菁，於乾燥過程中會釋放出果膠成份，乾燥物會呈現出黏性，乾燥桶滾動時乾燥物黏附在桶壁，時而開門整理，因此，溫濕度呈現出忽高忽低不穩定狀態，如圖（十二）。再次實驗增加排風口之溫濕度、排風量記錄。



（圖十二）乾衣機乾燥高麗菜溫濕度變化圖

（十一）焙茶機乾燥法：一般靜置型熱風乾燥機如圖（十三），是以發展裝置產生熱源，經鼓風機吹送至乾燥室，再回加熱裝置加熱之循環方式，有一排風口用來排放濕熱空氣及空氣吸入口補充低溫空氣，所以借用同學家裏單相 110V2000W 焙茶機一部，接受瓦特表及瓦時計備用，高麗菜經切絲、稱重、熱水浸漬殺菁後開始乾燥行程，乾燥過程中記錄溫濕度及耗用電量等。機具電源及電錶接線如圖（十四）。



箱型乾燥機

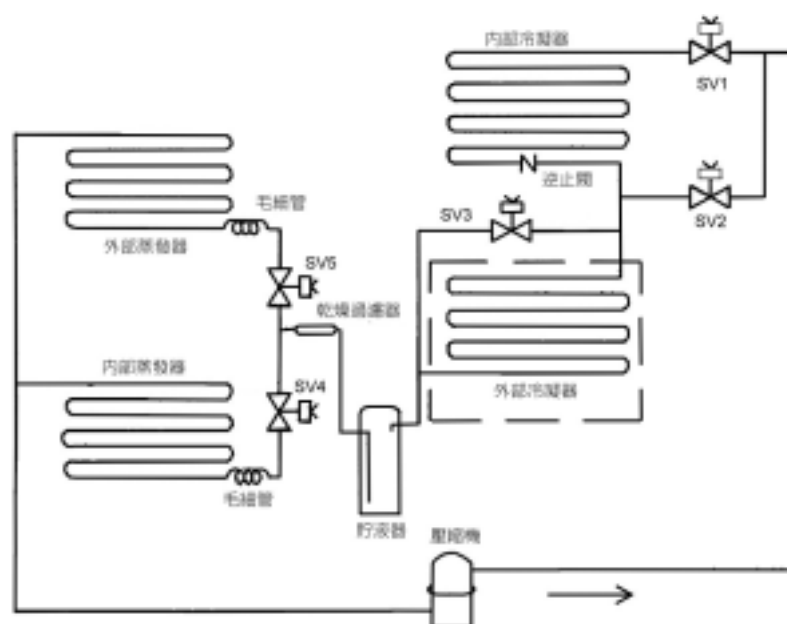


圖(十四) 焙茶機乾燥圖

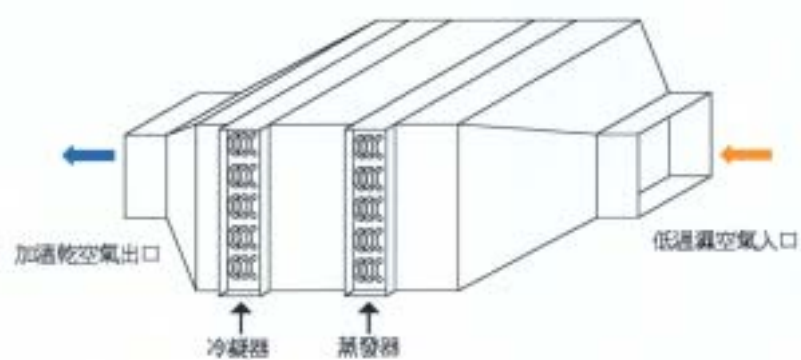
圖(十三) 靜置型熱風乾燥機結構

(十二) 低溫乾燥機乾燥法：以學校實習用單相 220V2500W 冷氣機一部，重新組裝接受瓦特表及瓦時計備用，高麗菜經切絲、稱重、熱水浸漬殺菁後開始乾燥行程，乾燥過程中記錄溫濕度及耗用電量等。

低溫乾燥機乾燥機以學校實習用單相 220V2500W 冷氣機一部，重新組裝系統如圖(十五)、蒸發管排及冷凝管排排列方式如圖(十六)、控制流程如圖(十七)方式經測試運轉，發現除濕效果不理想，乾燥溫度不易控制，再次改良加裝冷媒管如圖(十八)成如圖(十九)，運轉測試除濕效果有明顯改善。



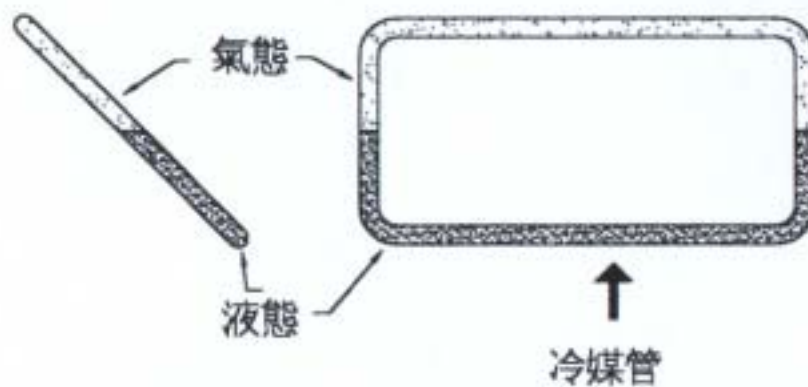
圖(十五) 低溫乾燥機系統圖



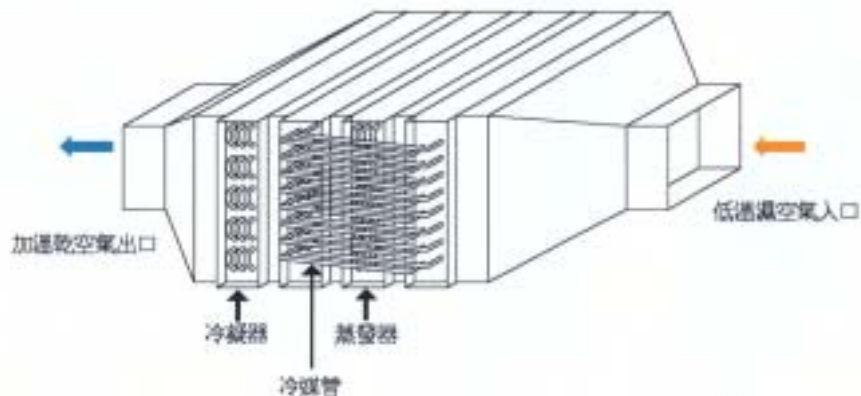
圖（十六）低溫乾燥機管排排列圖



圖（十七）低溫乾燥機控制流程圖



圖（十八）冷媒管結構圖



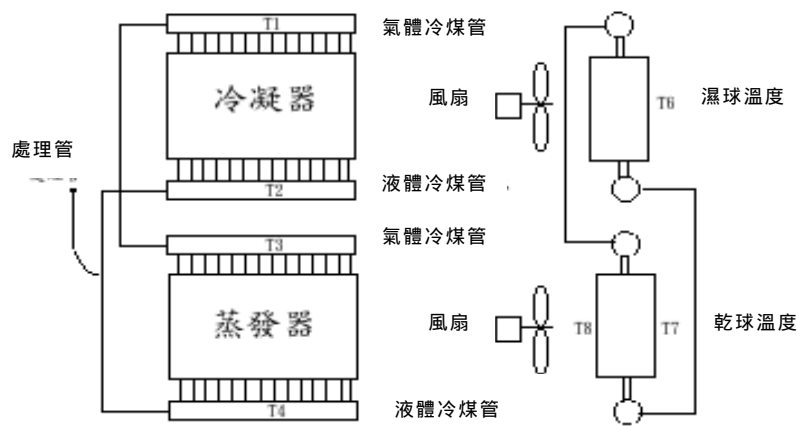
圖（十九）管排加裝冷媒管結構圖

冷媒管內裝冷媒-12 一半為液態狀，另一半為飽和狀氣態，且管路承傾斜置於蒸發器及冷凝器前端，其用意為，當低溫濕空氣由乾燥室吸回時先經過冷媒管液態部份，吸收空氣中之潛熱再經蒸發器降溫至露點溫度使濕空氣中水份凝結排出，成為低溫之乾空氣再經冷媒管氣態部份提高空氣溫度再到加熱冷凝器再次將溫度升高至所須溫度成為之中溫乾空氣，送到乾燥室進行下一波除濕行程排除水份。

冷媒管之冷媒吸收蒸發潛熱研究，冷媒可吸收空氣中所含水分的潛熱，如果利用此作為(蒸發器入口空氣的前處理裝置，亦將大量降低壓縮機的負載，節省電力。

研究方法：作一無動力冷媒循環系統，利用冷媒吸熱及排熱作用使冷媒循環達到環境溫度改變。系統如圖（二十），藉改變溫度及濕度觀察冷媒在系

統中之形態變化及溫度變化，探討冷媒在沒有壓縮機作用下，利用乾、濕球溫度差所造成的吸排熱情形，及是否可因濕球溫度造成凝結器中的冷媒液化，使得系統中的蒸氣壓力降低，此時蒸發器中的冷媒因壓力降低，產生蒸發現象，而加以利用的可能性。研究過程中記錄之結果如表（一）



圖(一)

圖（二十）

操作方式

- 1.將溫度計組所有感溫頭浸入同一桶液體中，靜待 5 分鐘使溫度穩定，調整各溫度顯示值不超過 0.2 的誤差值。放置各感溫頭於測量處。
- 2.啟動蒸發器與冷凝器的風扇，10 分鐘後記錄各點溫度，觀察可視管中冷媒狀態。
- 3.以噴霧器將冷凝器噴溼，使冷凝器溫度為濕球溫度，(T6 感溫頭亦噴溼，故顯示溫度為濕球溫度，T7 感溫頭顯示乾球溫度)。記錄各點冷媒溫度，並觀察冷媒蒸發狀態。
- 4.將系統放置於不同的乾球溫度下(25 ~30)，記錄並觀察各測量值。
- 5.外界溫度如果不符合第(4)點的範圍，則將系統放置於保溫箱中並以電熱器作輔助控制溫、溼度。
- 6.調整兩只風扇速度，重作以上步驟，觀察不同風扇速度所造成的影響。統計各記錄值作分析。

表(一)各點測量所得溫度記錄表

各點溫度 \ 環境溫度		25	28	30	36
T1(冷媒凝結前溫度)	9 月	24.9	28.2	30.1	35.9
	10 月	25.2	27.9	29.6	36
	11 月	25.2	27.6	29.2	36.5
T2(冷媒凝結後溫度)	9 月	23.8	28.3	27.8	33.6
	10 月	23.7	28.1	27.3	32.4
	11 月	24.7	27	27.3	34.6
T3(冷媒蒸發後溫度)	9 月	24.6	27.4	29.6	36.1
	10 月	24.8	27.2	29.8	35.5
	11 月	24.8	28.1	28.8	35.4
T6 (冷凝器入口空氣溫度 WBT)	9 月	23.1	24.3	26.1	31.3
	10 月	23.5	24.5	26.5	31.5
	11 月	22.9	23.5	25.7	32.5
T7 (蒸發器入口空氣溫度 DBT)	9 月	24.9	27.5	29.2	35.6
	10 月	24.8	27.3	29.8	35.8
	11 月	24.6	27.9	30.2	35.8
T8(蒸發器入口空氣溫度)	9 月	24.7	27.5	29.1	35.5
	10 月	24.5	27.2	29.5	35.2
	11 月	24.2	26.8	29.7	35.1

研究結果：

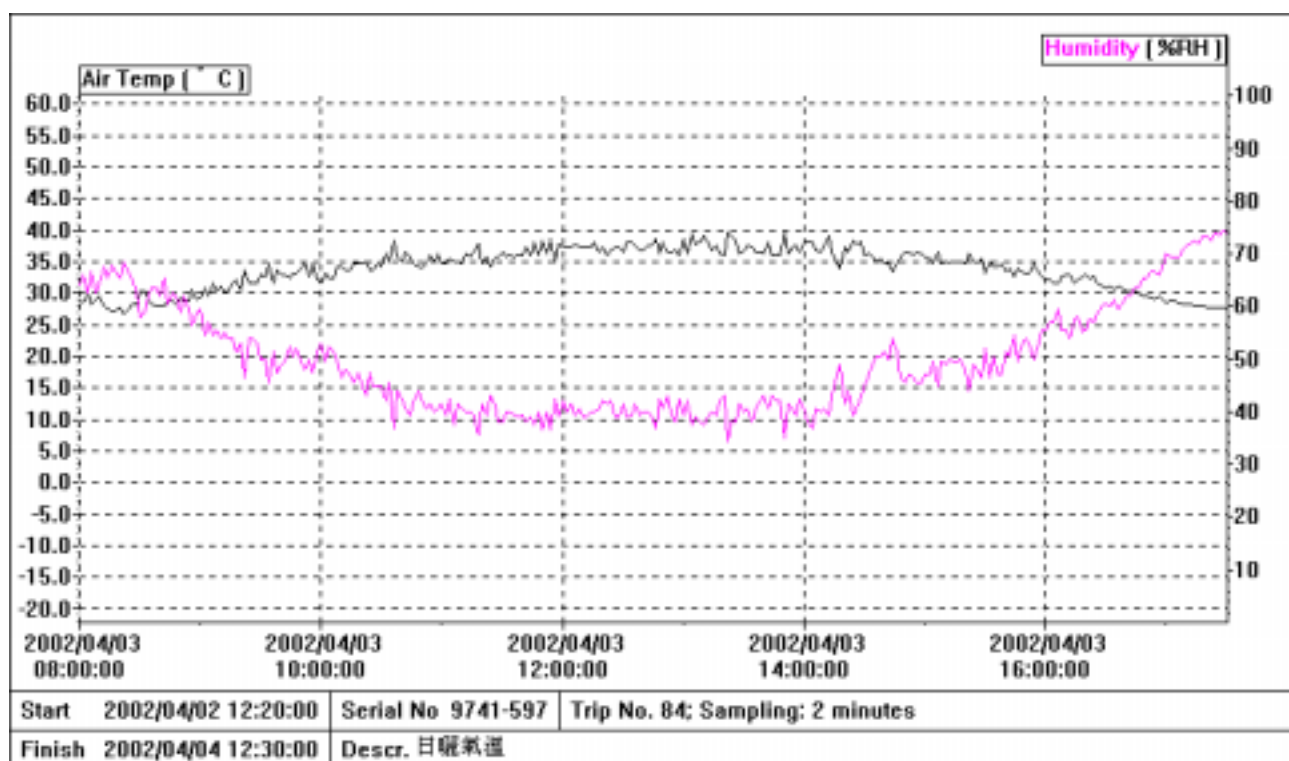
實驗數據與冷媒蒸發狀態觀察顯示：

- 1.冷媒確實處於蒸發(吸熱)狀態。
- 2.但進出蒸發器的空氣溫度改變並不明顯。

其中冷媒所吸收的熱量即為空氣中所含水分的潛熱，如果要利用乾、濕球溫度差形成可利用的冷氣系統，則增加蒸發器的容量，以及空氣與吸熱鰭片的接觸面積即可。

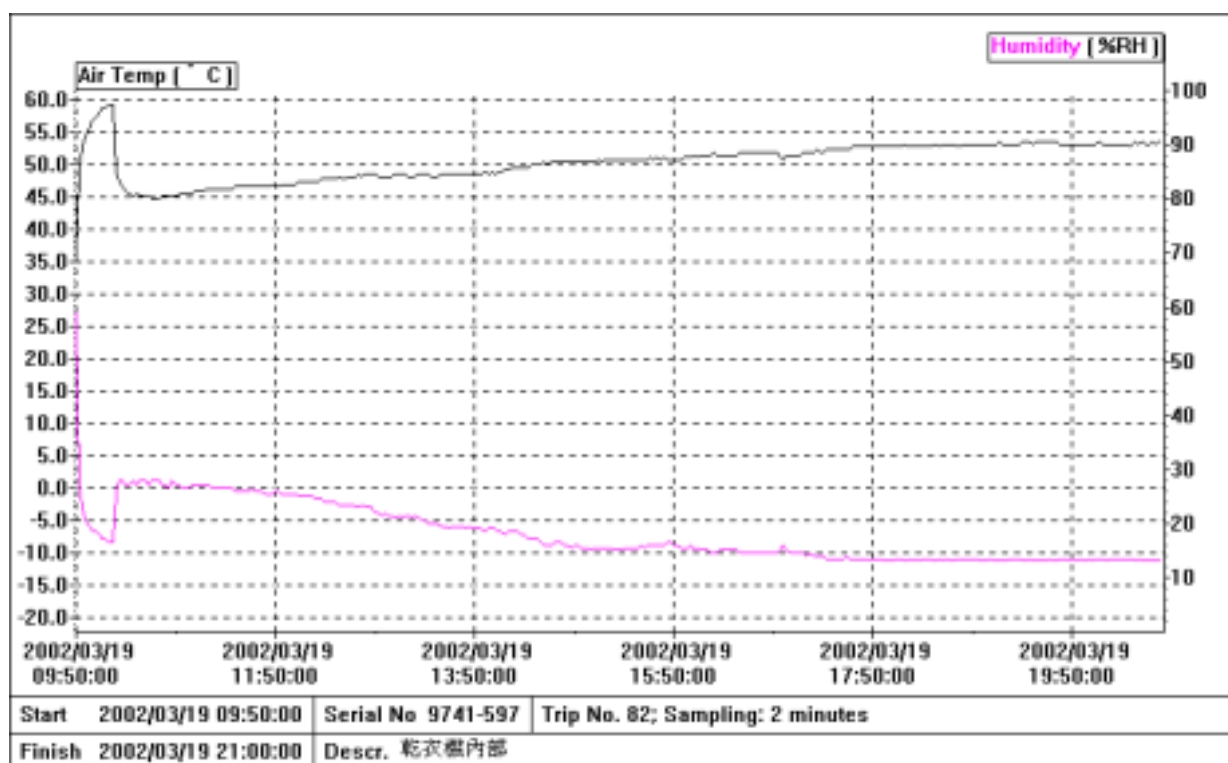
五、研究結果

(一) 日曬法：高麗菜切成條狀，用金屬框盛裝置於水泥地上曝曬，紀錄一天之溫溼度變化如圖(二十一)，曝曬三天後含水率 18.5 %。因含水率無法降低，收藏後高麗菜乾每天都持續變化中。

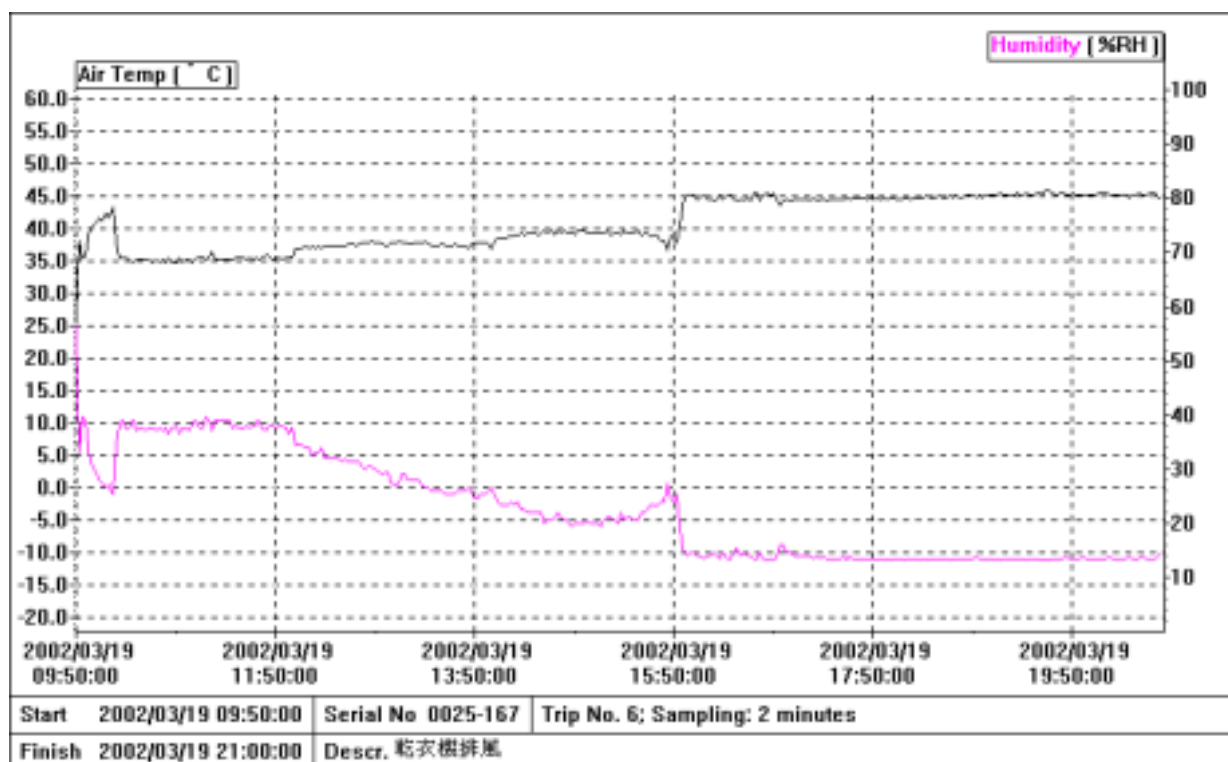


圖（二一）日曬法一天之氣溫及相對濕度變化圖

（二）乾衣機乾燥法：高麗菜切成條狀，用家庭用乾衣機乾燥，紀錄乾衣機內部溫溼度變化如圖（二二）及其排風口之溫濕度如圖（二三），呈現三階段之變化，計算其各階段之除濕能力及排除熱量如圖（二四、二五、二六）及表（二、三、四）。



圖（二二）乾衣機乾燥高麗菜機器內部溫濕度變化圖



圖（二三）乾衣機乾燥高麗菜機器排氣口溫濕度變化圖

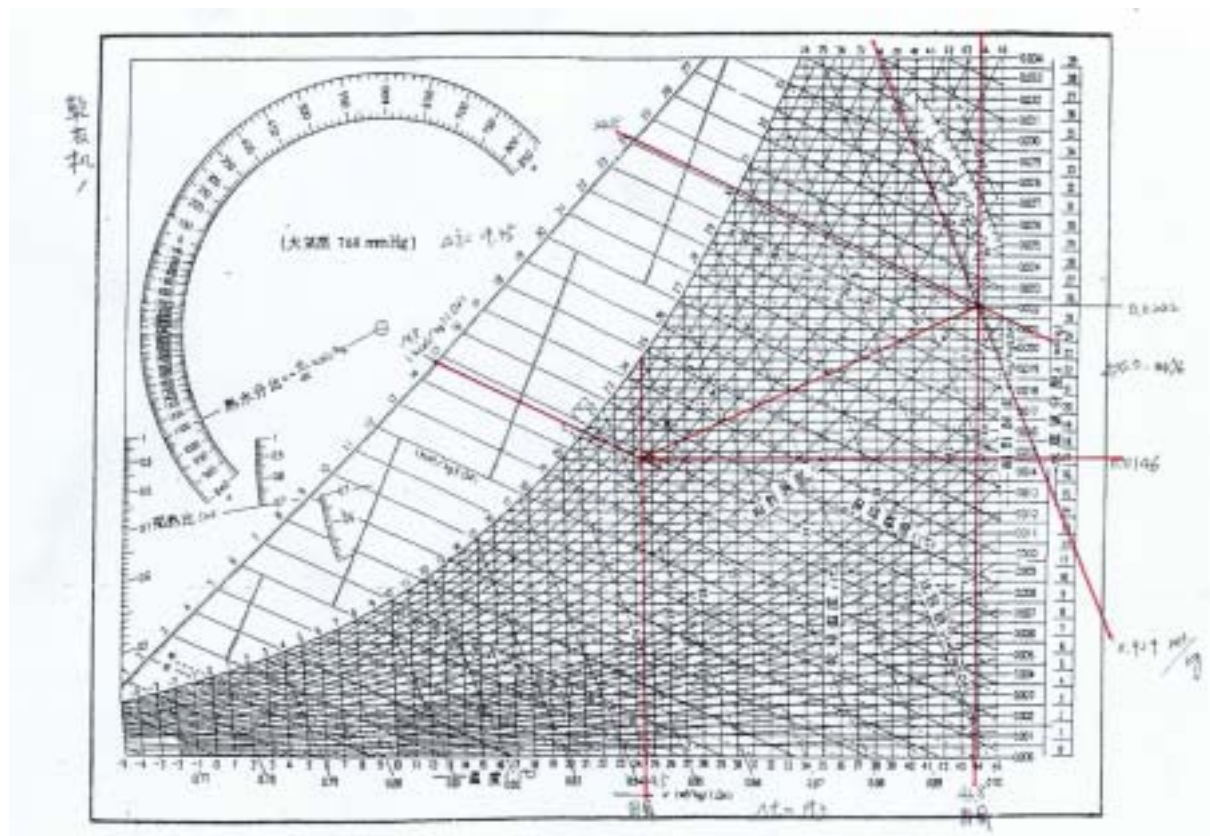
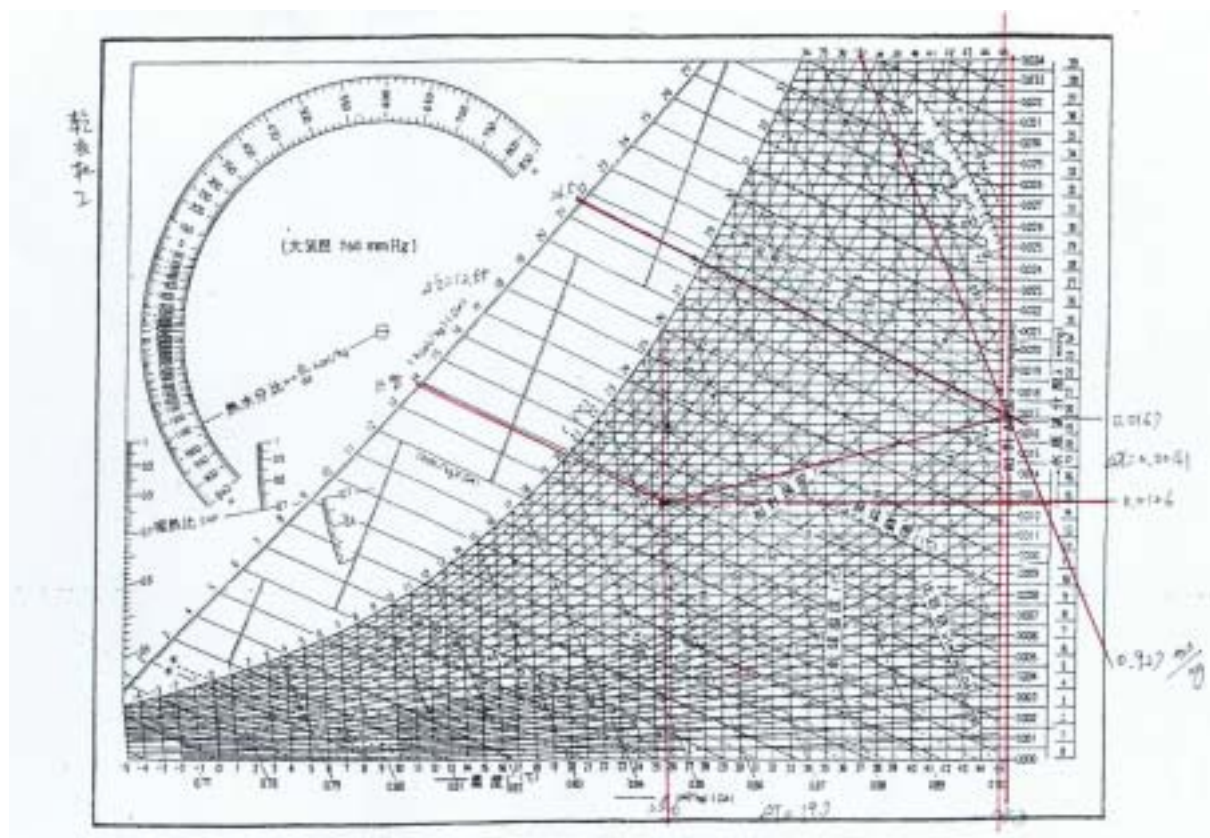


圖 (二四) 乾衣機乾燥第一階段空氣線圖

表 (二) 乾衣機乾燥第一階段除濕量及排熱量

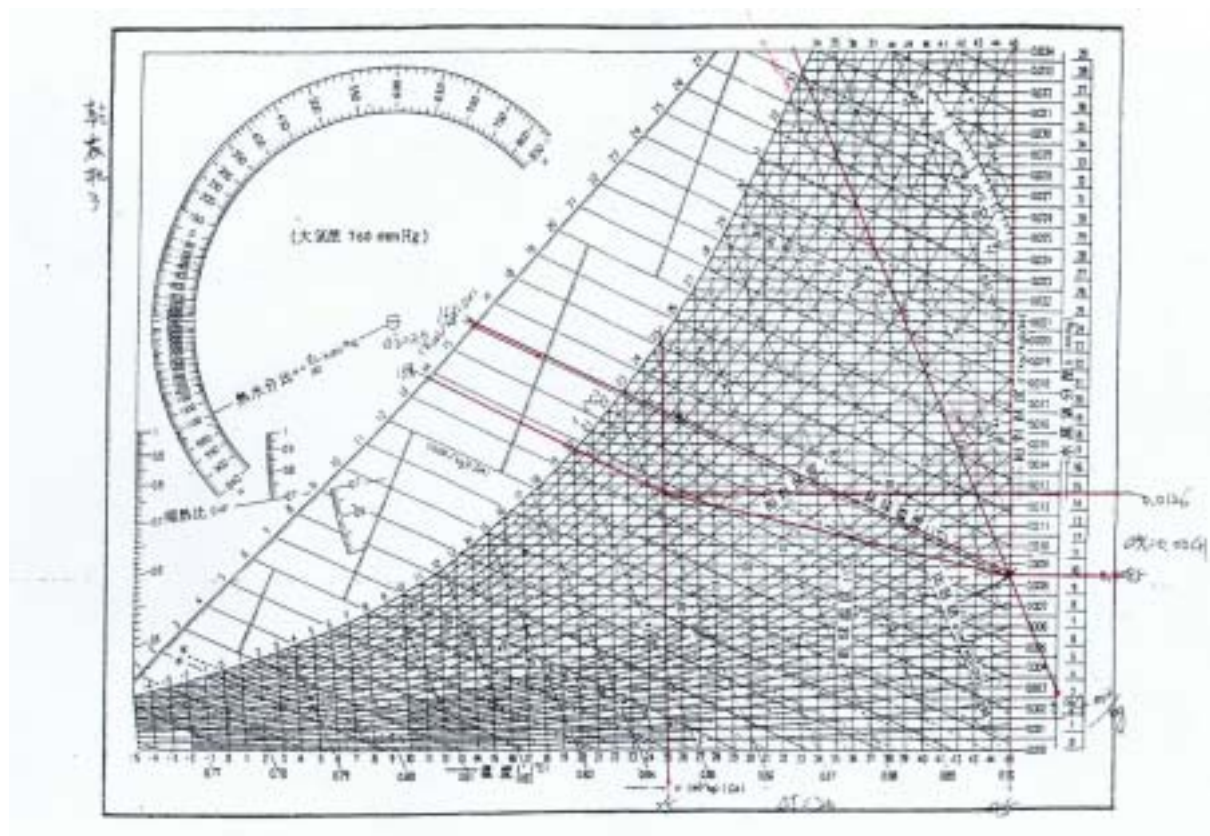
面	積：	$A = \pi r^2 = \pi \times (0.04)^2 = 0.005024\text{m}^2$
風	速：	$S = 6.7\text{m/s}$
風	量：	$V = S \times A = 0.005024 \times 6.7 \times 3600 = 121.17\text{m}^3/\text{hr}$
比	容：	$v = 0.929\text{m}^3/\text{kg}$
空氣循環量：	$G = \frac{V}{v} = \frac{121.17}{0.929} = 130.43\text{kg/hr}$	
出風口：	DB = 43.8	WB = 30.1
回風口：	DB = 24.5	WB = 21.3
$Q_s = G \times M \times T = 130.43 \times 0.24 \times (43.8 - 24.5) = 604.15\text{kcal/hr}$		
$W = Q \times X = 130.43 \times (0.0222 - 0.0146) = 0.9912\text{kg/hr} = 991.2\text{g/hr}$		
$Q_l = W \times 597 = 0.9912 \times 597 = 591.74\text{kcal/hr}$		
$Q_t = G \times i = 130.43 \times (24.15 - 14.8) = 1219.5\text{kcal/hr}$		



圖（二五）乾衣機乾燥第二階段空氣線圖

表（三）乾衣機乾燥第二階段除濕量及排熱量

表（三）乾衣機乾燥第二階段除濕量及排熱量		
面	積：	$A = \pi r^2 = \pi \times (0.04)^2 = 0.005024\text{m}^2$
風	速：	$S = 6.7\text{m/s}$
風	量：	$V = S \times A = 0.005024 \times 6.7 \times 3600 = 121.17\text{m}^3/\text{hr}$
比	容：	$v = 0.927\text{m}^3/\text{kg}$
空氣循環量：	$G = \frac{V}{v} = \frac{121.17}{0.927} = 130.43\text{kg/hr}$	
出風口：	DB = 45.3 WB = 28.1	
回風口：	DB = 25.6 WB = 20.2	
$Q_s = G \times M \times T = 130.43 \times 0.24 \times (45.3 - 25.6) = 616.6\text{kcal/hr}$		
$W = Q \times X = 130.43 \times (0.0167 - 0.0126) = 0.5347\text{kg/hr} = 534.7\text{g/hr}$		
$Q_l = W \times 597 = 0.5347 \times 597 = 319.2\text{kcal/hr}$		
$Q_t = G \times i = 130.43 \times (26.5 - 13.95) = 1636.8\text{kcal/hr}$		

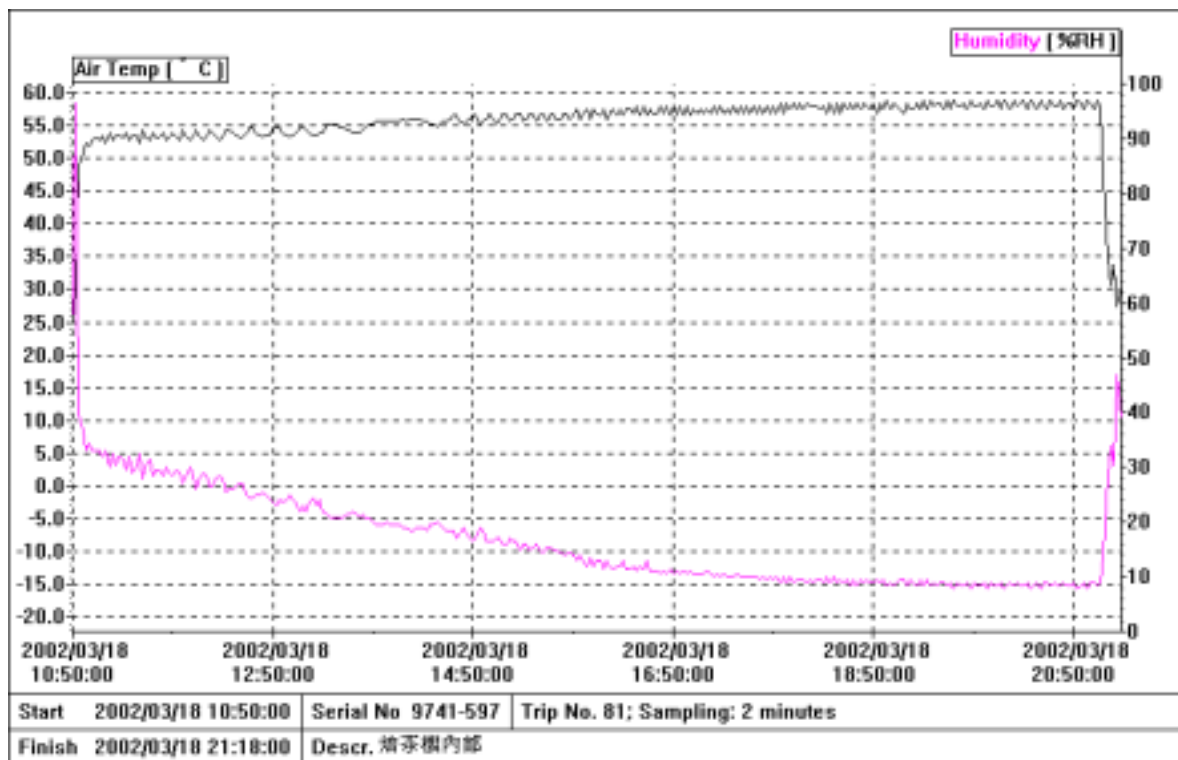


圖（二六）乾衣機乾燥第三階段空氣線圖

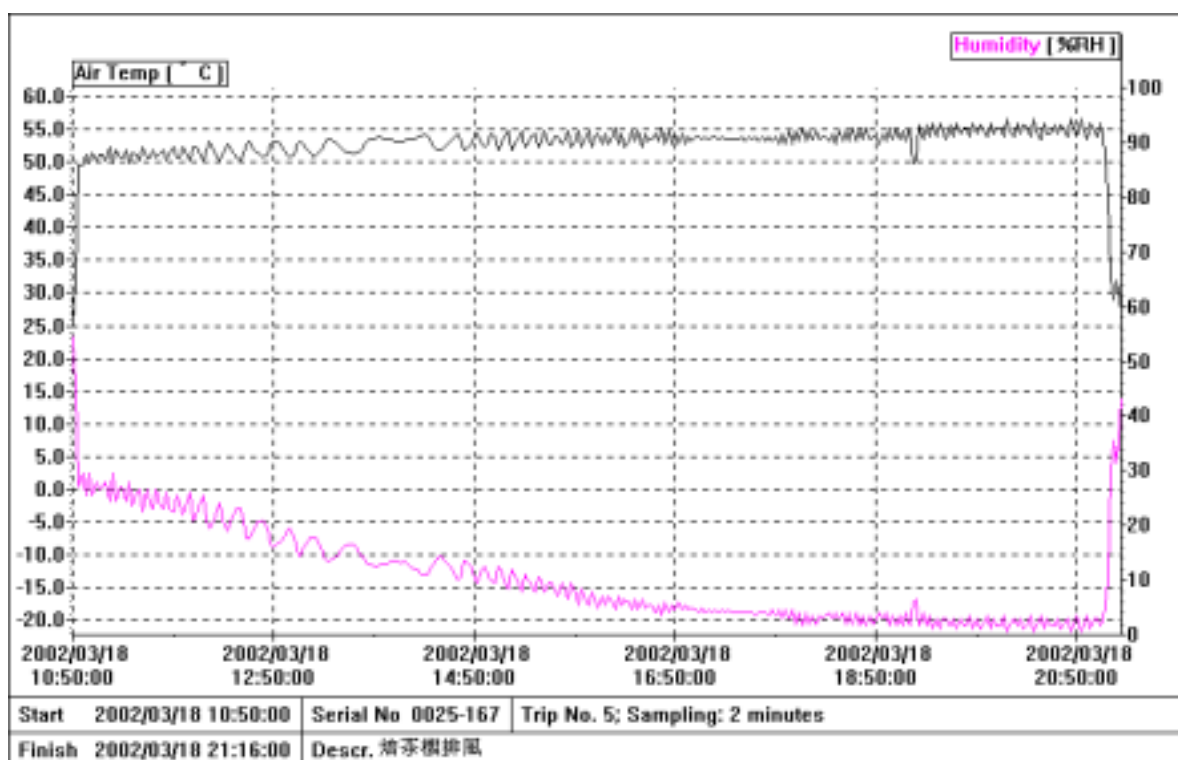
表（四）乾衣機乾燥第三階段除濕量及排熱量

表（四）乾衣機乾燥第三階段除濕量及排熱量		
面	積：	$A = \pi r^2 = \pi \times (0.04) = 0.005024\text{m}^2$
風	速：	$S = 6.7\text{m/s}$
風	量：	$V = S \times A = 0.005024 \times 6.7 \times 3600 = 121.17\text{m}^3/\text{hr}$
比	容：	$v = 0.94\text{m}^3/\text{kg}$
空氣循環量：	$G = \frac{V}{v} = \frac{121.17}{0.94} = 128.9\text{kg/hr}$	
出風口：	DB = 45 RH = 14 %	
回風口：	DB = 25 WB = 20	
$Q_s = G \times M \times T = 128.9 \times 0.24 \times (45 - 25) = 618.72\text{kcal/hr}$		
$W = Q \times X = 128.9 \times (0.0126 - 0.085) = 0.5284\text{kg/hr} = 528.4\text{g/hr}$		
$Q_l = W \times 597 = 0.5284 \times 597 = 315.4\text{kcal/hr}$		
$Q_t = G \times i = 128.9 \times (16.1 - 13.8) = 296.47\text{kcal/hr}$		

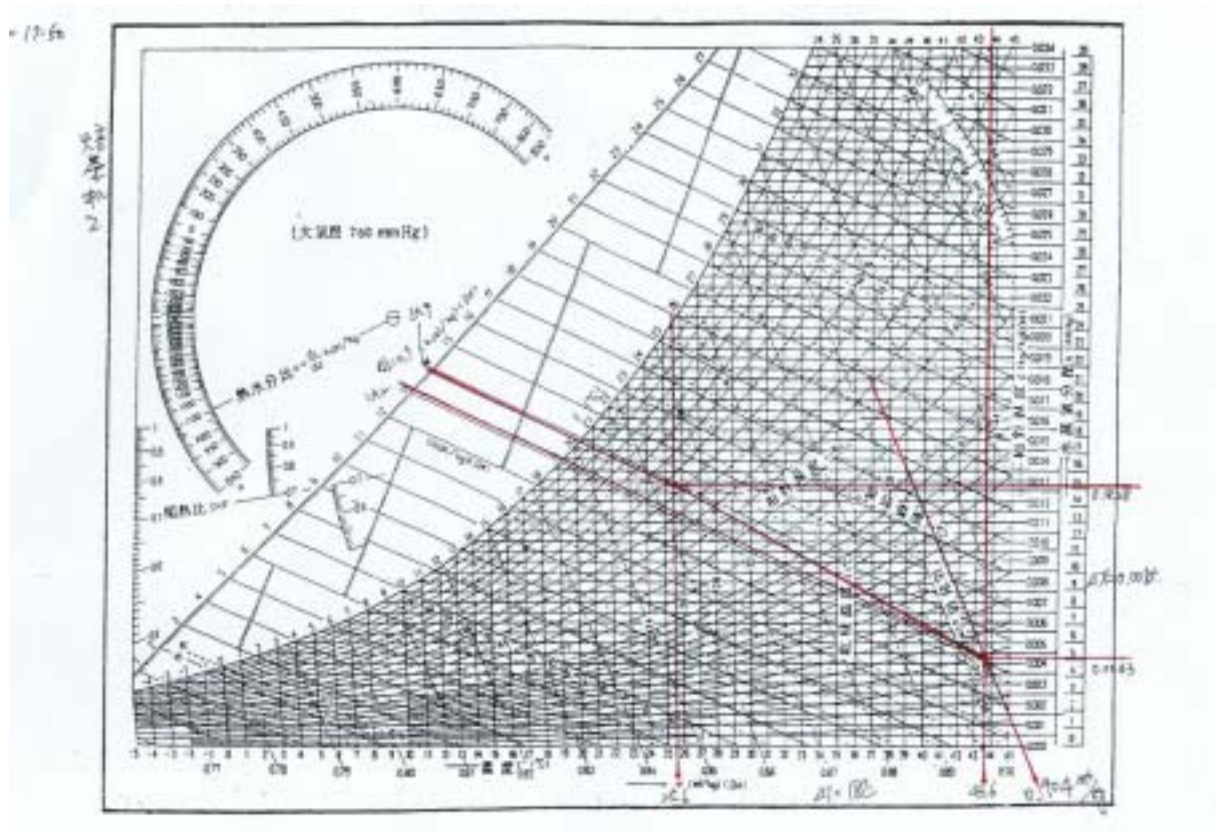
(三) 焙茶機乾燥法：高麗菜切成條狀，用商用焙茶機乾燥，紀錄焙茶機內部溫溼度變化如圖（二七）及其排風口之溫濕度如圖（二八），皆呈現梯形之變化，分成兩部分計算其各階段之除濕能力及排除熱量如圖（二九、三十）及表（五、六）。



圖（二七）焙茶機乾燥高麗菜機器內部溫濕度變化圖



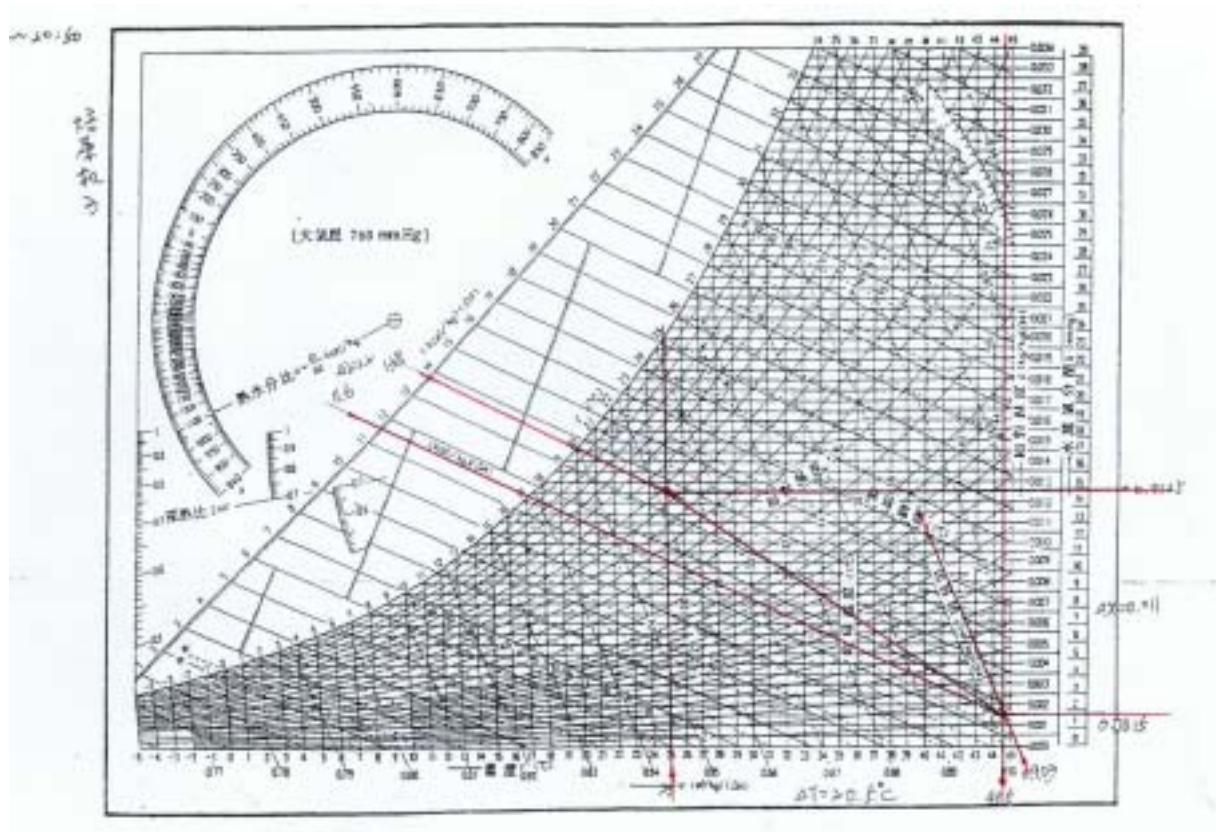
圖（二八）焙茶機乾燥高麗菜機器排風口溫濕度變化圖



圖（三十）焙茶機乾燥第二階段空氣線圖

表（六）焙茶機乾燥第二階段除濕量及排熱量

面	積：	$A = \pi r^2 = \pi \times (0.037)^2 = 0.00429\text{m}^2$
風	速：	$S = 3.36\text{m/s}$
風	量：	$V = S \times A = 0.00429 \times 3.36 = 0.0144\text{m}^3/\text{s} = 51.89 \text{ m}^3/\text{hr}$
比	容：	$v = 0.904\text{m}^3/\text{kg}$
空氣循環量：	$G = \frac{V}{v} = \frac{51.89}{0.904} = 57.4\text{kg/hr}$	
出風口：	DB = 53.6	RH = 7.89 %
回風口：	DB = 25.6	WB = 20.2
$Q_s = G \times M \times T = 57.4 \times 0.24 \times (43.6 - 25.6) = 247.96\text{kcal/hr}$		
$W = Q \times X = 57.4 \times (0.0128 - 0.0043) = 0.487\text{kg/hr} = 487\text{g/hr}$		
$Q_l = W \times 597 = 0.487 \times 597 = 290.73\text{kcal/hr}$		
$Q_t = G \times i = 57.4 \times (13.9 - 13.2) = 40.18\text{kcal/hr}$		



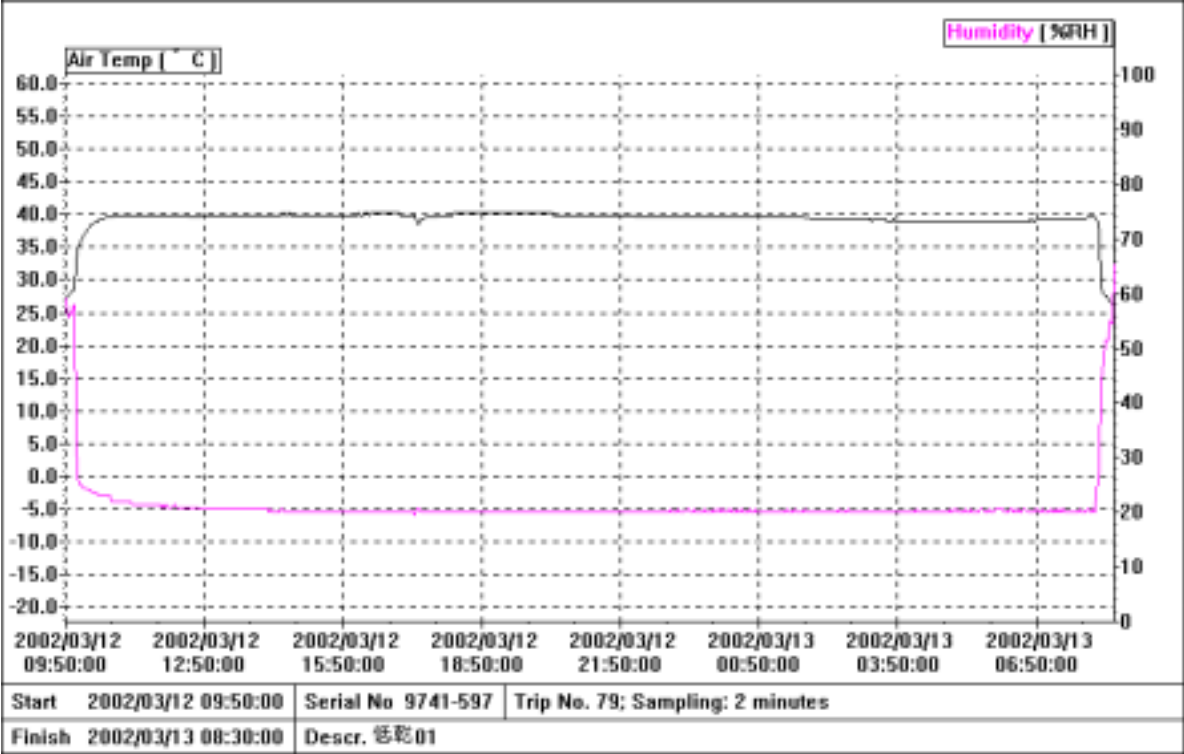
圖（三一）焙茶機乾燥第三階段空氣線圖

表（七）焙茶機乾燥第三階段除濕量及排熱量

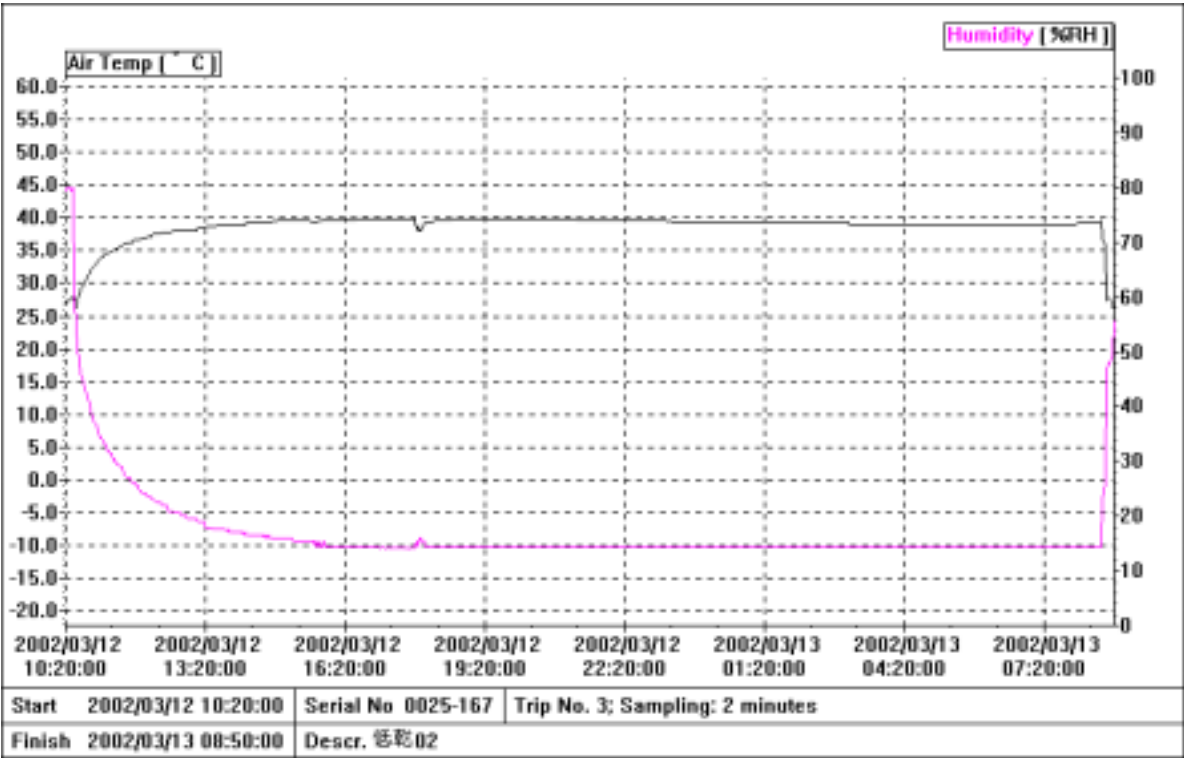
面	積：	$A = \pi r^2 = \pi \times (0.037)^2 = 0.00429 \text{m}^2$
風	速：	$S = 3.36 \text{m/s}$
風	量：	$V = S \times A = 0.00429 \times 3.36 = 0.0144 \text{m}^3/\text{s} = 51.89 \text{m}^3/\text{hr}$
比	容：	$v = 0.903 \text{m}^3/\text{kg}$
空氣循環量：	$G = \frac{V}{v} = \frac{51.89}{0.903} = 57.4 \text{kg/hr}$	
出風口：	DB = 54.5	RH = 2.54 %
回風口：	DB = 25	WB = 20
$Q_s = G \times M \times T = 57.4 \times 0.24 \times (45.5 - 25) = 282.4 \text{kcal/hr}$		
$W = Q \times X = 57.4 \times (0.0125 - 0.0015) = 0.631 \text{kg/hr} = 631 \text{g/hr}$		
$Q_l = W \times 597 = 0.631 \times 597 = 376.7 \text{kcal/hr}$		
$Q_t = G \times i = 57.4 \times (13.8 - 11.6) = 126.28 \text{kcal/hr}$		

（四）自製乾燥機乾燥法：以自行組裝之乾燥機分別進行高麗菜及生薑之乾燥，各呈現不同之乾燥曲線。如圖（三二、三三）為乾燥高麗菜時之乾燥空氣供給端和濕空氣回收端之紀錄圖，圖（三四、三五）為乾燥生薑時之乾燥空氣供給端和濕空氣回收端之紀錄圖。以乾燥高麗菜製程計算其除濕量及排熱量如圖（三六、三七、三八）及表（八、九、十）。由圖中可看出

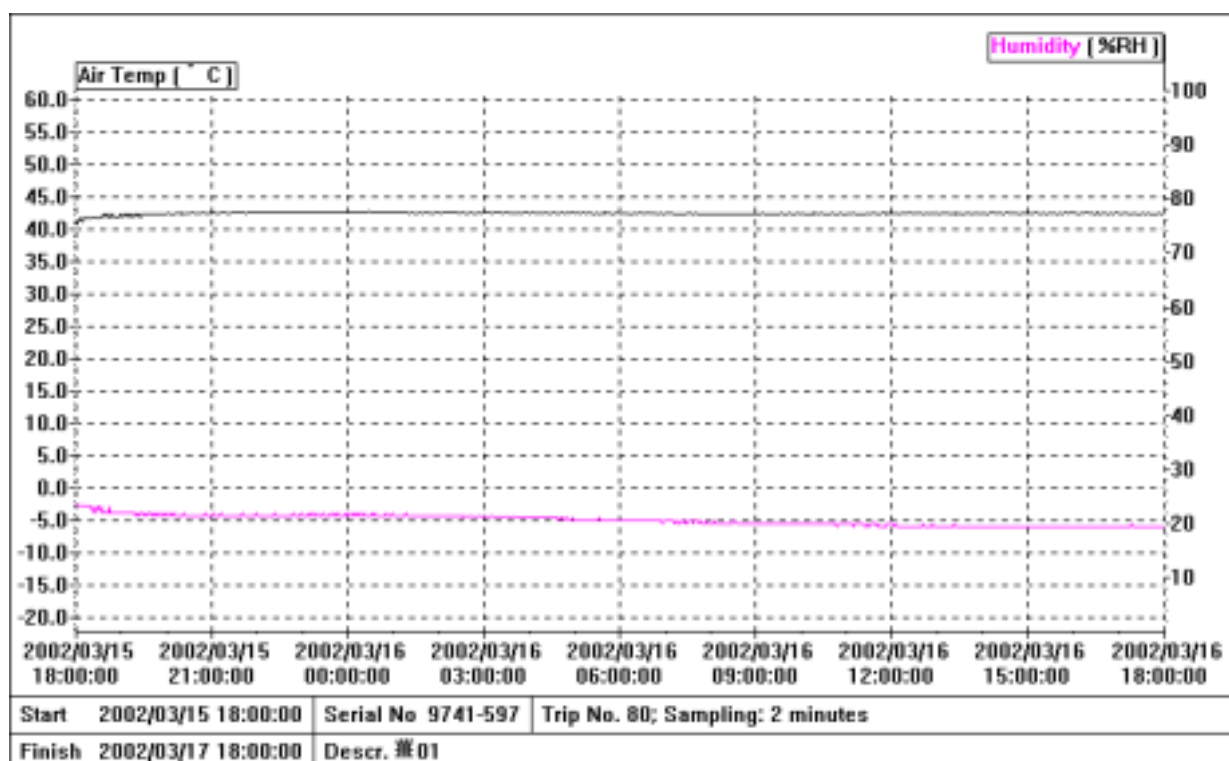
本乾燥裝置不論被乾燥物之含水量如何，濕空氣經除濕機構及加熱裝置後，所供應之乾空氣其溫度及相對溼度均能維持所設定之數值，乾燥過程中無虞溫度過高破壞被乾燥物品質，除濕能力也能維持一定效率。



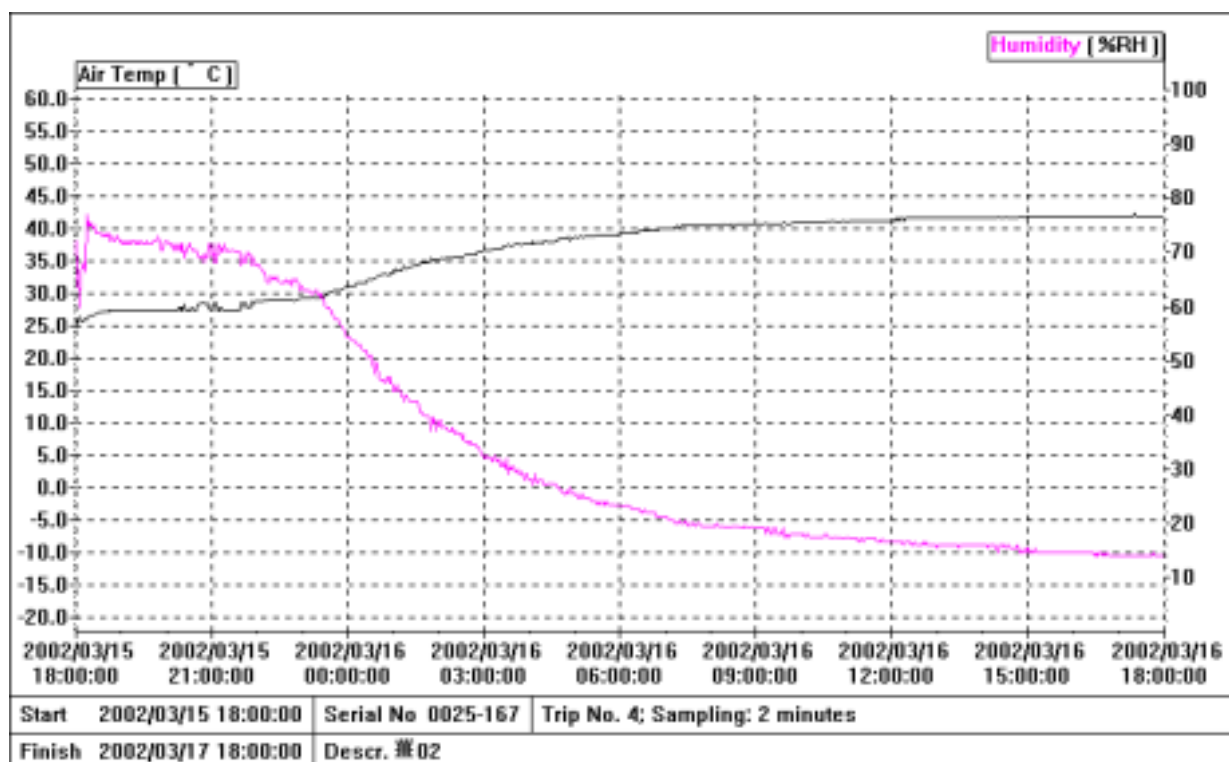
圖（三二）自製乾燥機乾燥高麗菜乾空氣供給端溫濕度變化圖



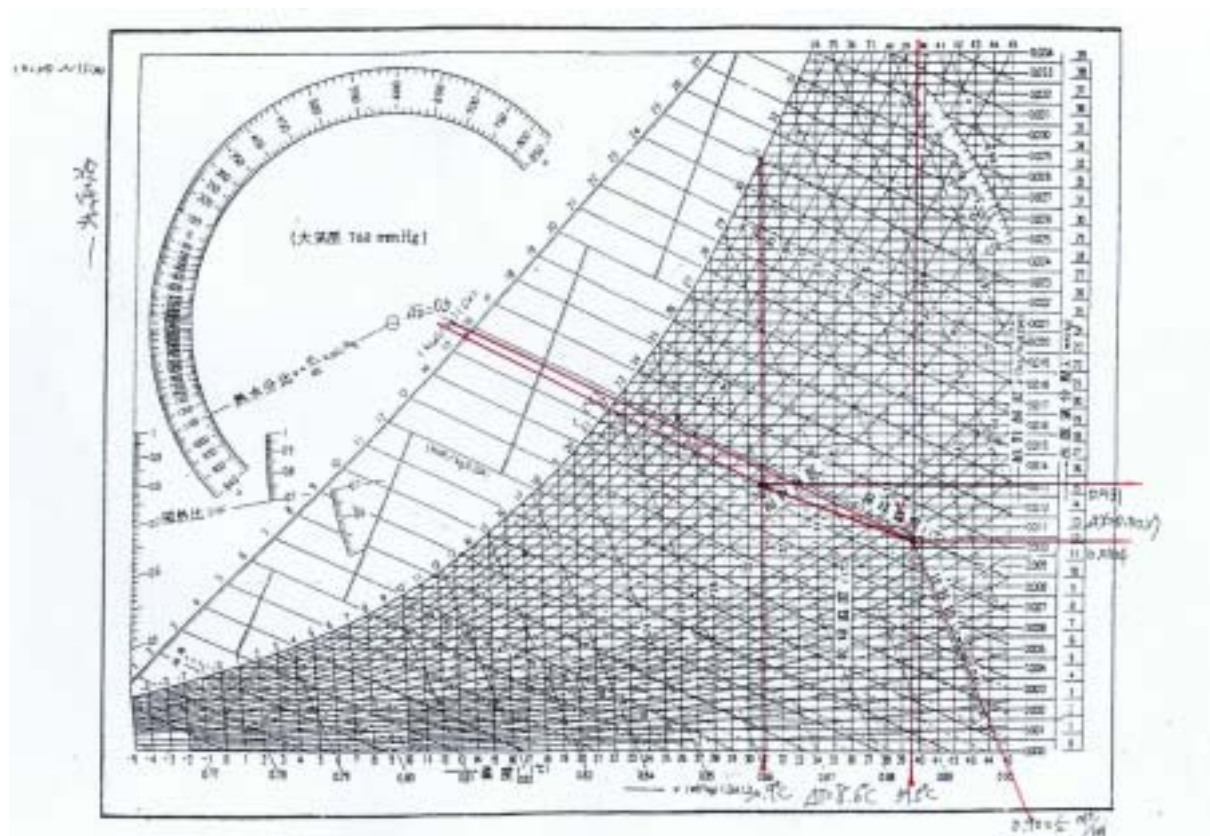
圖（三三）自製乾燥機乾燥高麗菜濕空氣入口端溫濕度變化圖



圖（三四）自製乾燥機乾燥生薑乾空氣供給端溫濕度變化圖



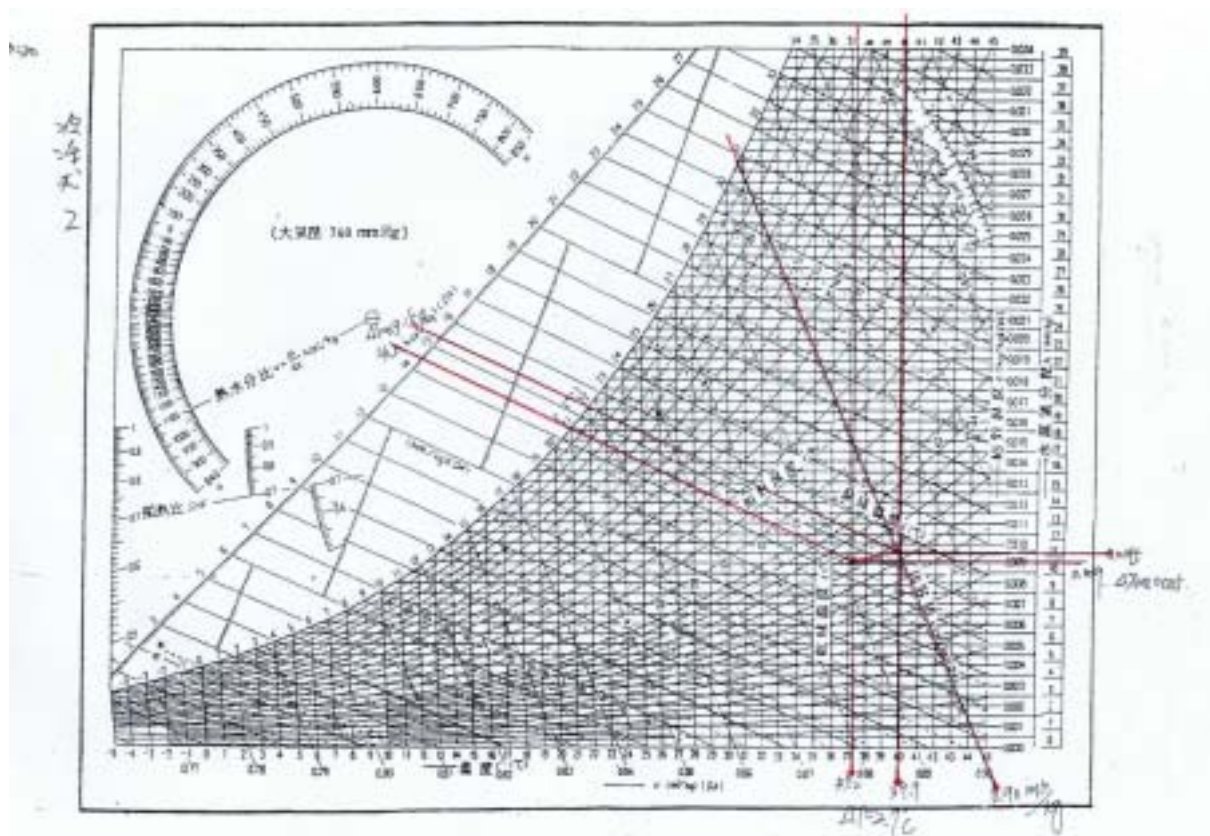
圖（三五）自製乾燥機乾燥生薑濕空氣入口端溫濕度變化圖



圖（三六）自製乾燥機乾燥第一階段空氣線圖

表（八）自製乾燥機乾燥第一階段除濕量及排熱量

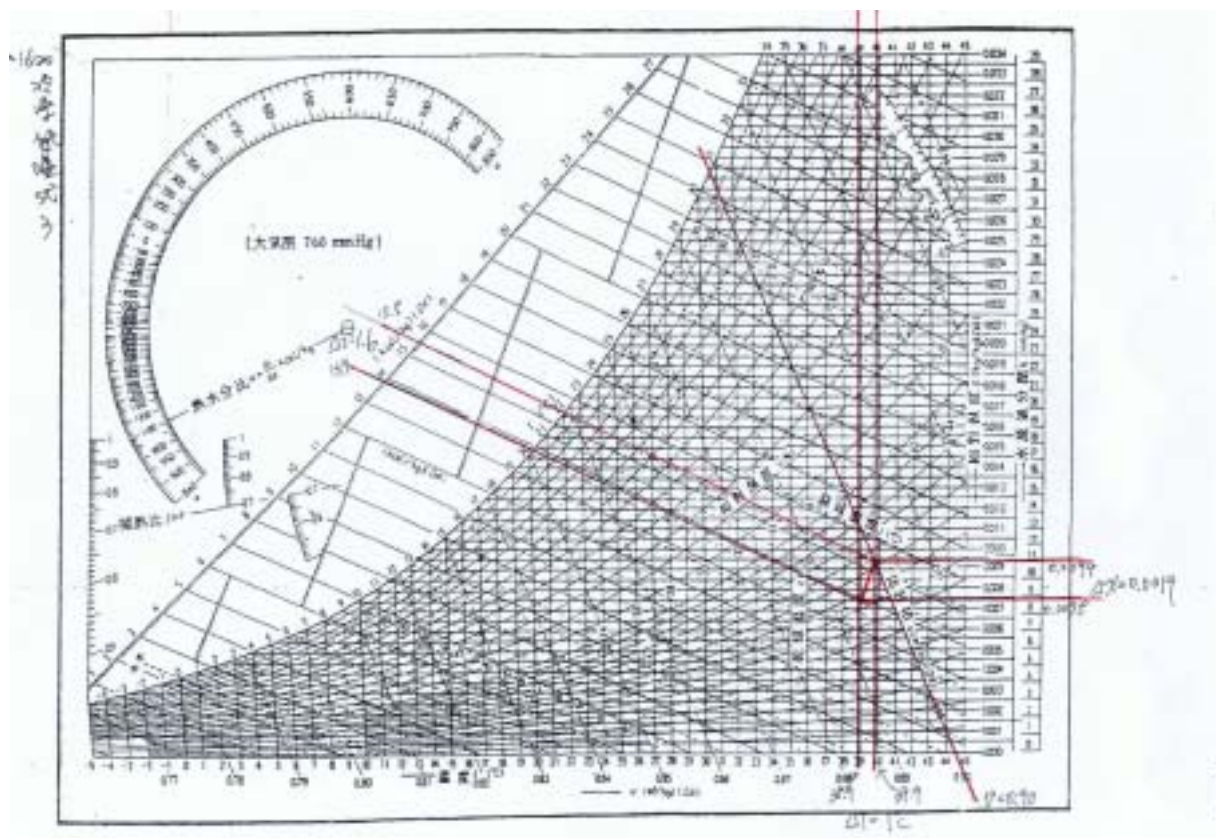
面	積：	$A = 0.256 \times 0.12 = 0.0307 \text{m}^2$
風	速：	$S = 9.7 \text{m/s}$
風	量：	$V = S \times A = 0.0307 \times 9.7 = 0.297 \text{m}^3/\text{s} = 1072 \text{m}^3/\text{hr}$
比	容：	$v = 0.9005 \text{m}^3/\text{kg}$
空氣循環量：	$G = \frac{V}{v} = \frac{1072}{0.9005} = 1190.4 \text{kg/hr}$	
出風口：	DB = 39.5	RH = 23.9 %
回風口：	DB = 30.9	WB = 47.4
$Q_s = G \times M \times T = 1190.4 \times 0.24 \times (39.5 - 30.9) = 2456.9 \text{kcal/hr}$		
$W = Q \times X = 1190.4 \times (0.0131 - 0.0104) = 3.2 \text{kg/hr}$		
$Q_l = W \times 597 = 3.2 \times 597 = 1910.4 \text{kcal/hr}$		
$Q_t = G \times i = 1190.4 \times (15.9 - 15.6) = 357.12 \text{kcal/hr}$		



圖（三七）自製乾燥機乾燥第二階段空氣線圖

（表九）自製乾燥機乾燥第二階段除濕量及排熱量

面積：	$A = 0.256 \times 0.12 = 0.0307 \text{m}^2$
風速：	$S = 9.7 \text{m/s}$
風量：	$V = S \times A = 0.0307 \times 9.7 = 0.297 \text{m}^3/\text{s} = 1072 \text{m}^3/\text{hr}$
比容：	$v = 0.90 \text{m}^3/\text{kg}$
空氣循環量：	$G = \frac{V}{v} = \frac{1072}{0.90} = 1191.11 \text{kg/hr}$
出風口：	DB = 39.9 RH = 21 %
回風口：	DB = 37.2 WB = 23.1
$Q_s = G \times M \times T = 1191.11 \times 0.24 \times (39.9 - 37.2) = 771.8 \text{kcal/hr}$	
$W = Q \times X = 1191.11 \times (0.0095 - 0.009) = 0.595 \text{kg/hr}$	
$Q_l = W \times 597 = 0.595 \times 597 = 355.2 \text{kcal/hr}$	
$Q_t = G \times i = 1191.11 \times (15.4 - 14.5) = 1071.9 \text{kcal/hr}$	



(表十) 自製乾燥乾燥第三階段除濕量及排熱量

(五) 各式乾燥法之比較：以相同被乾燥物高麗菜來看，乾燥後色澤、味道、口感較其他方法優良外，耗電量亦比其他方式省如表（十一）所示。

表（十一）各式乾燥法乾燥結果比較表

乾燥方式	乾燥物	乾燥前重量	乾燥後重量	乾燥時間	耗用電量
乾衣機	高麗菜	3.237kg	0.174kg	9 小時 30 分	9.41 度
焙茶機	高麗菜	2.925kg	0.130kg	9 小時 20 分	7.43 度
低溫乾燥機	高麗菜	3.098kg	0.154kg	7 小時 20 分	6.02 度
低溫乾燥機	生薑	30kg	2.015kg	24 小時 0 分	19.7 度

六、討論

（一）促進乾燥條件：在防止食品的表面硬化（case hardening）及保持品質的前提下，還要促進乾燥速度，必需考慮下列的條件。

1.蒸發溫度：提高溫度可促進蒸發速度，但必需注意表面蒸發量與內部擴散量的平衡不致於破壞。

2.表面積：食品的水分係自食品表面蒸發。擴大表面積，則可促進乾燥速度。依擴大表面積來促進乾燥速度的乾燥法有噴霧乾燥、轉筒乾燥、泡沫層乾燥等。

3.周圍的濕度：食品周圍的濕度，妨礙水分的蒸發。增加通風速度，則可迅速去除食品表面的濕度。

4.空氣分壓：降低空氣壓，可促進蒸發速度。真空乾燥是利用降低空氣壓的乾燥。

（二）食品變質

1.微生物的變化

（1）食品在乾燥過程生存的微生物大部分為產芽孢微生物，其中食物中毒菌，能在乾燥食品中長期生存。

（2）Salmonella（沙門氏菌）在蛋粉、魚粉、肉粉、奶粉、可可粉中能生存。噴霧乾燥法製造蛋粉時需要殺菌，然後乾燥至低水分含量，可減少微生物數目。

(3) 水分含量少仍能生長的微生物為 Lactobacillus, Streptococcus (乳酸菌, 鏈鎖狀球菌) 和 Staphylococcus (葡萄球菌) 等。

2. 酵素的反應

(1) 食品中均含有酵素，在乾燥或貯藏時均會發生反應，尤其是乾燥前未經過殺菁者酵素反應明顯。

(2) 多孔性的食品容易發生酵素反應。在低水分含量下酵素會引起脂質的酸敗。

3. 化學反應

食品在乾燥過程中化學反應複雜。譬如非酵素的褐變反應、營養成分的破壞、脂質的氧化、蛋白質的變性等。

(三) 一般乾燥方式及優缺點：

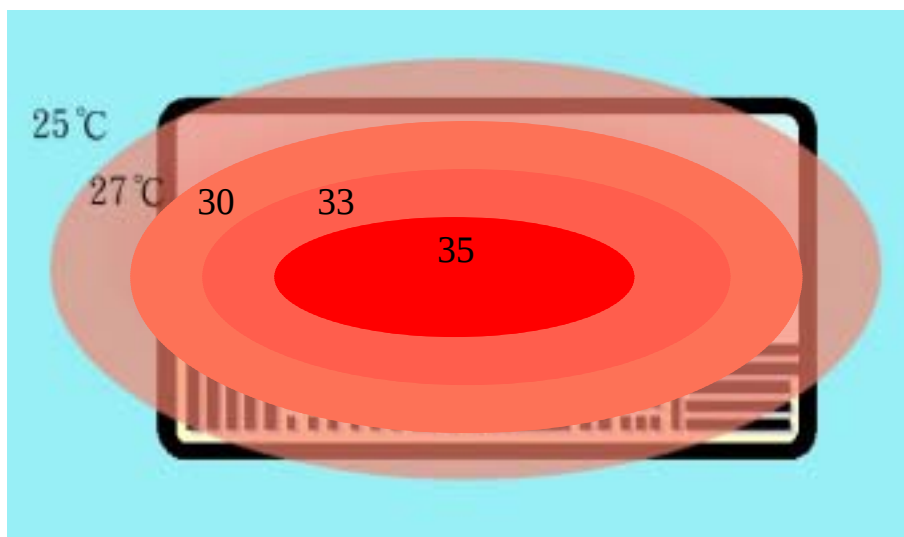
優點：乾燥速度快。

缺點：1. 耗費能量、2. 會產生熱破壞、3. 廢熱排放多。

(四) 廢熱排放與溫室效應的關係：

乾燥所需的熱為排除被乾燥物體內水份之潛熱。一般高溫的乾燥製程必需提供許多非用於潛熱供應的顯熱部份，此部份即造成廢熱的排放。

地球表面的溫度，是來自太陽日照的熱量和地球本身向宇宙放出的熱量兩者平衡的結果，地球表面由大氣層所包圍，這層大氣有如溫室的透明膠膜，在陽光照射地面時，可以發揮減少地面熱能散失以及地球向宇宙放出熱量的功能。另外由於廢熱的排放亦會造成造成區域性的溫室效應-如圖(三九)。溫室效應又可分為全球性圖兩種，由於廢熱大量排放的結果，使得熱量無法散發出去而造成區域的溫度節節升高，大量地把廢熱排放至大氣中，將使地區之外界溫度上升，而外界溫度每上升 1℃ 冷凍空調耗能即增加 5%，不但浪費能源而且會使整個地球的溫度上升、氣象變異、產生乾旱、豪雨、同時會使氣候帶移位。溫室效應對地球及人類的影響並不只限於氣溫而已，實在值得我們注意。



圖（三九）熱氣排放形成區域性溫室效應

（四）各式乾燥物之步留：被乾燥物因本身含水量不同，乾燥後之步留也不一樣，因受限於儀器設備不足，我們以觸感決定乾燥完成與否，各種被乾燥之步留與新鮮物比較如表（十二）所示。

表（十二）乾燥物步留與新鮮物比較表							
食品名稱	菠菜	蘿蔔	花椰菜	高麗菜	胡蘿蔔	芹菜	香菇
步留(%)	0.05	0.052	0.098	0.05	0.103	0.054	0.142

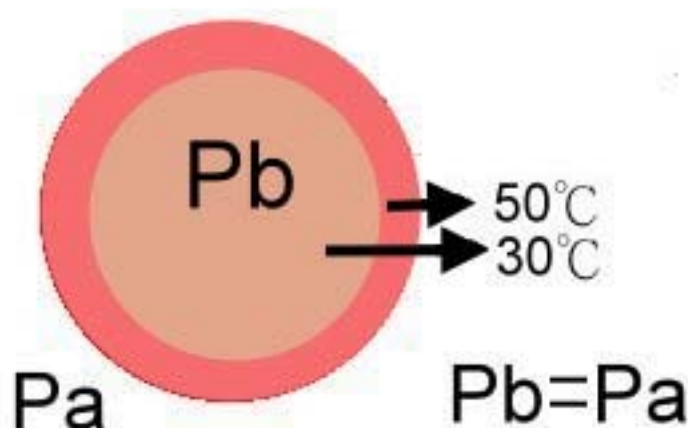
七、結論

乾燥作用是因為被乾燥物之蒸氣張力與空氣中水蒸氣之分壓形成的壓力降差，而使水蒸氣由固體表面通過周圍的空氣膜擴散至空氣中而進行。逐漸蒸發的水蒸氣會增加空氣中的水蒸氣壓，而降低壓力降差，減低乾燥速度。當二者的壓力達於平衡時，乾燥就停止，如圖（四十）。甚至於被乾燥物之蒸氣張力大於空氣中水蒸氣之分壓形成空氣膜擴張，被乾燥物內部水份滲透困難，被乾燥物表面溫度增高受損。因此，為能持續進行乾燥作用，維持經常性之壓力降差，如圖（四二）所示，所經常使用之方法有 1.加熱空氣、提高溫度、提高被乾燥物水份的蒸發張力。2.排除已蒸發的水蒸氣而降低空氣的水蒸氣壓。

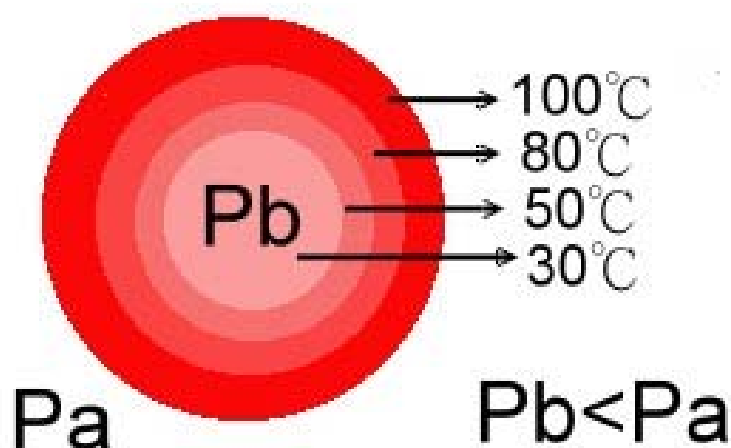
一般加熱式乾燥機具熱源固定，當被乾燥物之蒸氣張力與空氣中水蒸氣之分壓平衡，乾燥作用停止時，無法再加熱以維持壓力降差，而且溫度越高對於被乾燥物的傷害越大，因此，只能用排放濕熱空氣方法，以達到乾燥能

持續之目的，但濕熱空氣排放，不但是一種能源的浪費，而且對周遭環境的熱污染更是嚴重。在自然式乾燥法品質無法符合大眾需求及更好更經濟的乾燥方式出現之前，熱風式乾燥法是唯一的選擇。

以冷凝廢熱回收加熱之低溫熱風乾燥法，乾燥溫度可隨需要調節 20 ~65，乾燥效果都可以達到理想要求，乾燥過程中熱氣排放可降至最低，能源使用最符合經濟效益。



圖（四十）被乾燥物與外界之壓力達到平衡以後乾燥作用停止



圖（四一）被乾燥物水蒸氣壓力大於外界乾燥作用停止品溫上升



圖（四二）維持被乾燥物與外界之水蒸氣壓力降差

蔬菜是我們的民生必需品，亦是維持身體健康不可缺少的食物。「輕忽自身周遭」是一般人的惡習，雖然蔬菜在我們生活扮演著健康的捍衛者，而我們卻習以為常的忽略"它"的存在。隨著國內生活水準的提昇，對蔬菜的重視，從過去的量而進一步要求到今日的質，蔬菜種類與品種多樣化、新鮮、無農藥殘留，品質更佳。近年來，在農政單位，農民團體及農友本身三方面經年累月不斷的努力下，今日蔬菜的生產更具制度化，將蔬菜以鮮美、健康、永續性的提供消費者，是你、我共同的期望。

在享用健康、衛生、鮮美蔬菜的同時，我們更應該記得，地球只有一個，維護地球自然資源，是地球村每一位居民的責任。將空調廢熱回收使用，能將生產過剩食物加工處理、貯藏，又不會破壞食品之色、香、味及食感，營養價值流失較少，能使用最少能源，發揮最佳效率，廢熱排放降至最低之冷凍式低溫熱風乾燥裝置是乾燥方式之最佳選擇。

八、參考資料及其他

食品冷凍之原理與加工	鐘志勇、陳化治	食品工業發展研究所
乾燥裝製手冊	廖明隆	大行出版社
冷凍空調原理	王文博、胡興邦	承美科技圖書
熱管技術理論	依白光	復漢出版社
食品乾燥	邱健人	復文書局
食品加工與貯藏	劉英俊、汪金進	中央圖書出版社
食品加工（第一冊）	賴滋漢、邱義源、鄭 三郎、辜瑞金	精華出版社
行政院農委會農產品交易網站 http://163.29.73.197		
台灣大學生物產業機電工程學系網頁 http://nova.ame.ntu.edu.tw		

