

簡易太陽能穀物乾燥裝置之試驗研究

Research on Simple Drying Equipments with Solar Energy for Paddy Rice

臺大農工系講師

穆克剛

Muh, K. K.

臺大農工系研究生

徐開民

Hsu, K. M.

一、前言

臺灣省稻谷收穫面積約 72 餘萬公頃，糙米年收穫量約 250 萬公噸，如此龐大的數量，過去皆以傳統的日曬法加以乾燥。南部一期作收穫期每日午後常有陣雨，此時須把曬穀場或馬路邊之稻谷迅速集攏，並加以覆蓋以免淋濕，待陣雨過後，再行攤開曝曬。據調查統計此種曝曬方式每公頃約須 41 小時（合五工）的確相當費工費時。並且稻谷因置於地面，不易保持清潔。在此能源缺乏之際，本試驗之目的在尋求如何利用簡單的乾燥裝置，充分有效地利用太陽能來乾燥稻米，並解決傳統日曬法所遭遇的清潔問題。

臺灣一般農家缺乏 220 伏特的電源，本試驗為配合農家現有的 110 伏特電源，動力部分係採用 110 伏特的電源。

此種裝置係藉黑體對太陽輻射的吸收作用，以增加用以乾燥稻米的空氣溫度，然後再以風扇將已加熱之空氣，吹送至乾燥稻箱內以乾燥穀物。逢陣雨時，可將備用之遮雨蓬置於乾燥箱上，以防淋濕。

此種裝置一來因黑體吸收了輻射能增加了乾燥空氣的溫度，而提高了空氣的乾燥能力。二來，此種試驗方式係強迫通風式乾燥，不須時常攪拌穀層，因而節省了不少人工，因此這種簡易太陽能穀物乾燥裝置，要較傳統的日曬方式優越不少。

二、有關太陽能乾燥的理論知識

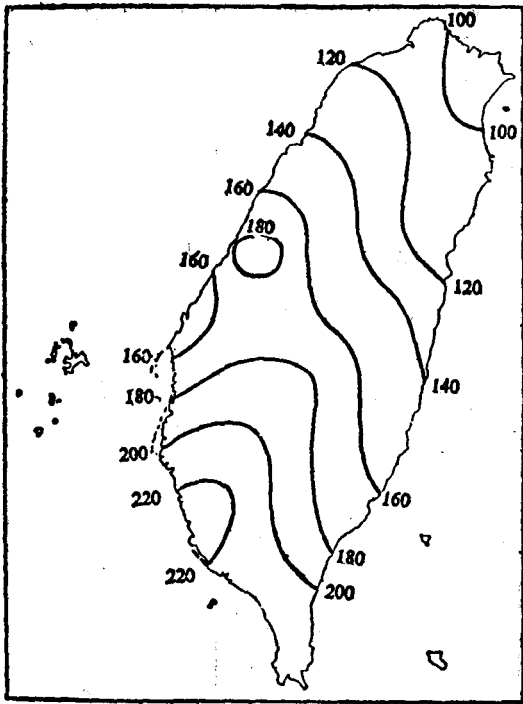
在考慮利用太陽能乾燥時，第一該考慮的是，當地氣候的型態，因太陽能利用價值的高低，端賴該地區的日光是否充足，就臺灣的氣候而言，並非每季都適宜用來乾燥穀物。

自太陽輻射出的電磁波，包括波長數 Å ($1\text{Å} = 10^{-8}\text{cm}$) 的 X 光至波長數百公尺的無線電波。絕大部份的輻射量來自 0.2~7.0 微米 ($1\text{微米} = 10^{-6}\text{cm}$) 的波長，其中可見光 (波長 0.35~0.78 μm) 所佔輻射能量最多，約一半。另一部份輻射能以紅外線 (波長約 0.78 μm) 佔大部份，紫外線僅佔小部。

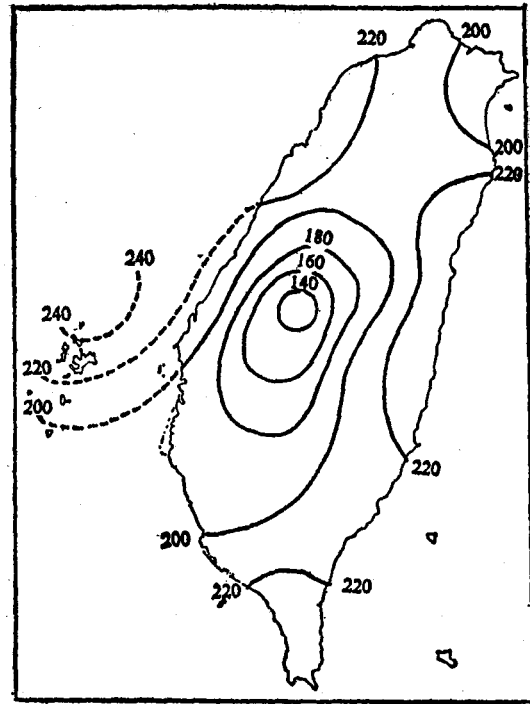
太陽輻射經過地球大氣層，一部分被水汽，二氧化碳及臭氣 (O_3) 吸收。(據 Rayleigh 氏之研究：空氣對太陽的散射係數與太陽光波長的四次成反比。大氣中的浮塵 散射係數與太陽光之波長略成反比，而雲層之散射係數則與波長無關) 由於上述原因，晴天地面觀測的日射量比大氣外層的輻射量要少。到達地面的太陽光譜一部份反射回大氣中，而被散射或吸收，其餘的則被吸收。

地球所能獲得之太陽輻射能僅佔太陽輻射量 (太陽射出的熱能約 3.86×10^{23} 瓩)⁽¹⁾ 的一小部份 (約二十億分之一)⁽²⁾。太陽光垂直照射於地球大氣層表面，其輻射強度約 $1.95 \text{ cal/cm}^2\text{-min}$ (相當於 1360.29 watt/m^2)，此一數值稱為太陽常數 (Solar constant)，然此並非固定不變之值。

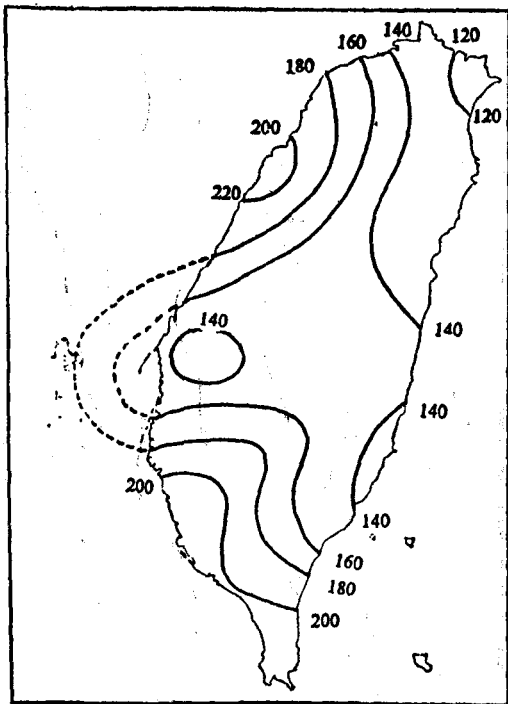
欲利用太陽能，首須計算到達地面的太陽輻射能 (即日射量)。要知道某地區，某時刻日射量最簡單的方法則是用儀器直接觀察。在應用氣象學上太陽輻射量有二種表示法，即直達日射量 (Direct Solar Radiation) 及水平日射量 (Solar Radiation Reaching a Horizontal Surfaces)⁽³⁾ 此二者比較起來後者較實用 (本實驗所測得之數據即為後者之數值)。當太陽無雲遮蔽時，垂直射於地表面的日射量稱為直達日射量，單位水平面上，單位時間內直接日射量及天空散射輻射量的總合稱為水平日



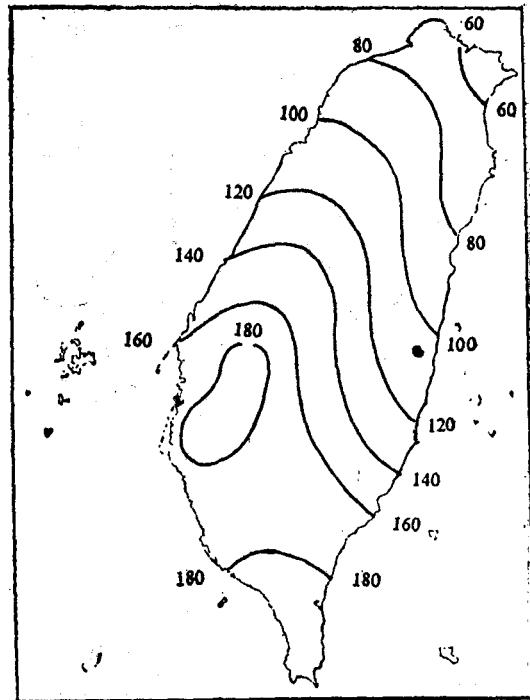
圖一A 臺灣地區春季的平均日照時數 (小時)



圖一B 臺灣地區夏季的平均日照時數 (小時)



圖一C 臺灣地區秋季的平均日照時數 (小時)



圖一D 臺灣地區冬季的平均日照時數 (小時)

射量，常用單位為 langley (ly)/min (1 langley (ly)=1 cal/cm²)。

三、臺灣之氣象與利用太陽乾燥之關係

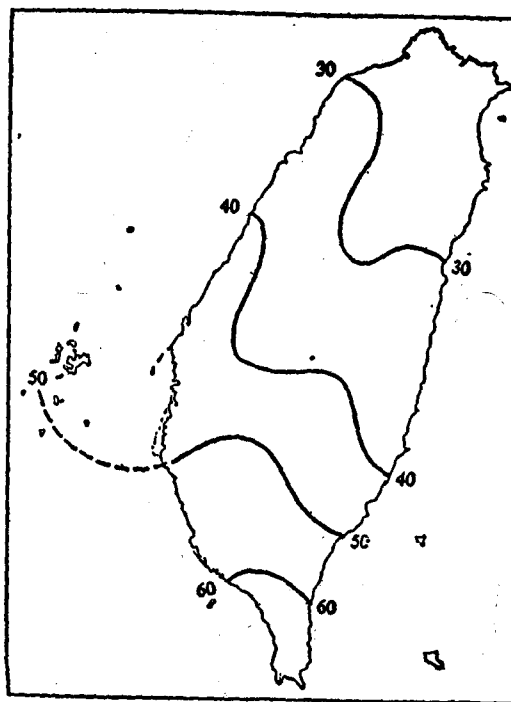
支配太陽輻射量的主要因子，為氣象條件，地理分佈及地表狀況。其中氣象條件為最重要之因素。一地之天晴日數多，日照時數長，日照率高，則其太陽輻射量一定高，故以上三者可稱之為一區是否可利太陽能之重要依據。

日照時數係指一個地方實際所受日光照射之時間（通常以小時為單位）。一地實際日照時數與天文日照時數之比，稱為當地的日照率⁽³⁾（如視地球為一光滑球面，則日出至日落之時間稱為天文日照時數）。圖一A 至一D 為臺灣地區各地的平均日照時數。圖二為臺灣地區全年日照總時數。

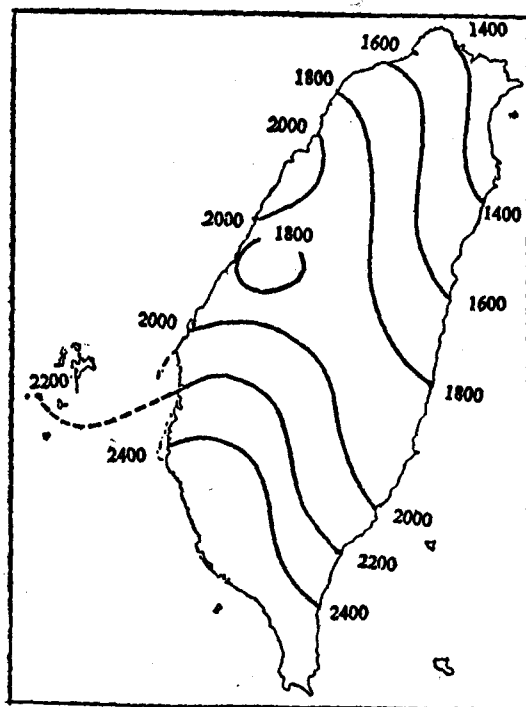
臺灣地區一年間日照時數最高地區為臺南（計2597.9小時），其次為恒春，最小者為基隆。（見表一）

一個地方的日照時數隨其總雲量之增加而遞減⁽⁴⁾。臺灣地區日照時數最多之地區，係在平均雨量最少的西南部地區。

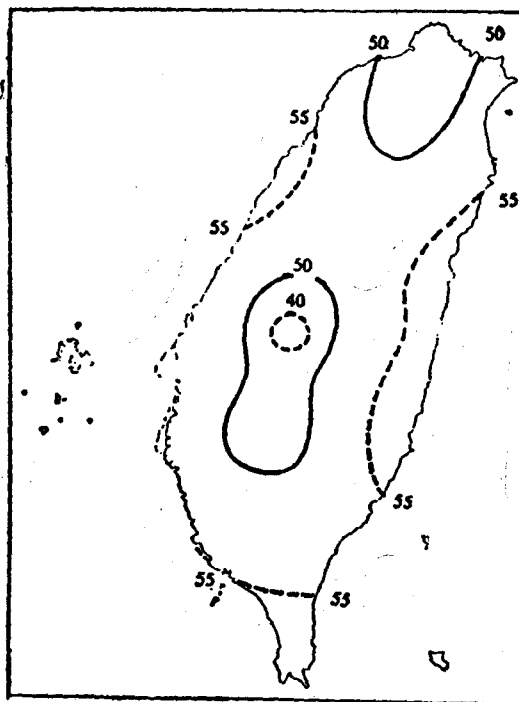
臺灣四季各地區的平均日照率見圖三A~三D。



圖三A 臺灣地區春季的平均日照率(%)



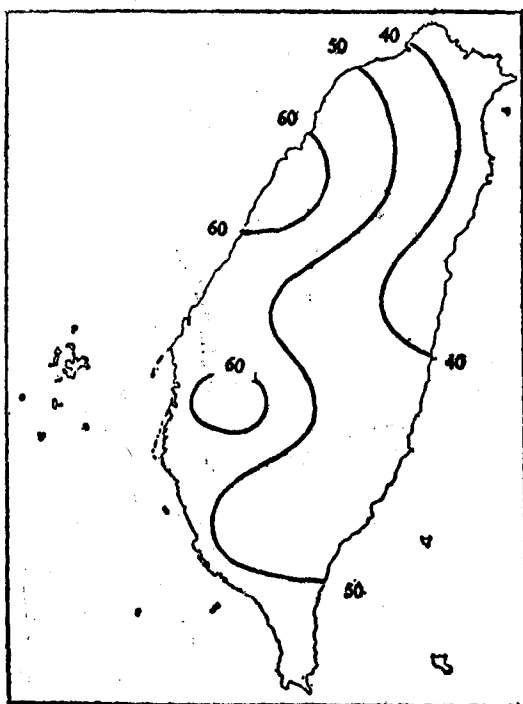
圖二 臺灣地區全年日照總時數(小時)



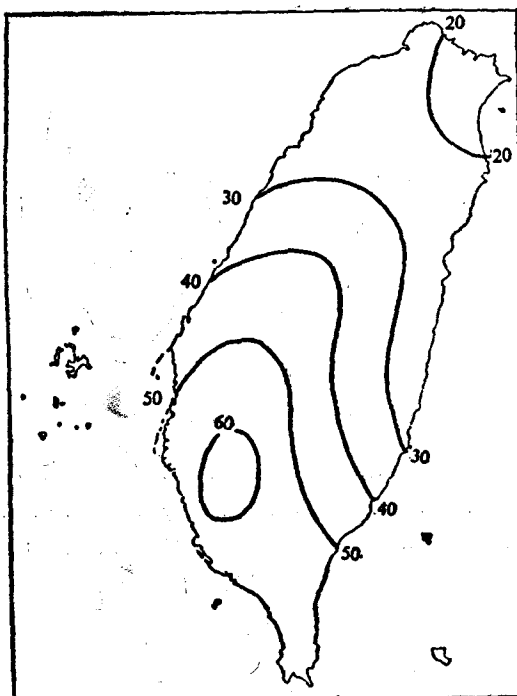
圖三B 臺灣地區夏季的平均日照率(%)

表一 臺北、花蓮、臺南及恆春日照時數 (hr) 之年變化 (1961-1970)

站名	月份	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二
臺北	北	97.1	84.2	97.6	125.0	145.0	139.2	211.8	230.5	178.5	143.9	113.8	93.5
	蓮	69.7	72.1	89.2	102.4	148.5	167.2	262.9	242.4	180.5	131.2	99.0	91.1
臺南	南	203.7	183.2	203.0	212.1	244.5	214.5	249.0	243.4	211.6	236.2	197.9	198.5
	恆	193.7	194.7	208.8	234.6	246.3	205.7	236.8	236.7	197.8	227.2	199.0	194.8



圖三C 臺灣地區秋季的平均日照率 (%)



圖三D 臺灣地區冬季的平均日照率 (%)

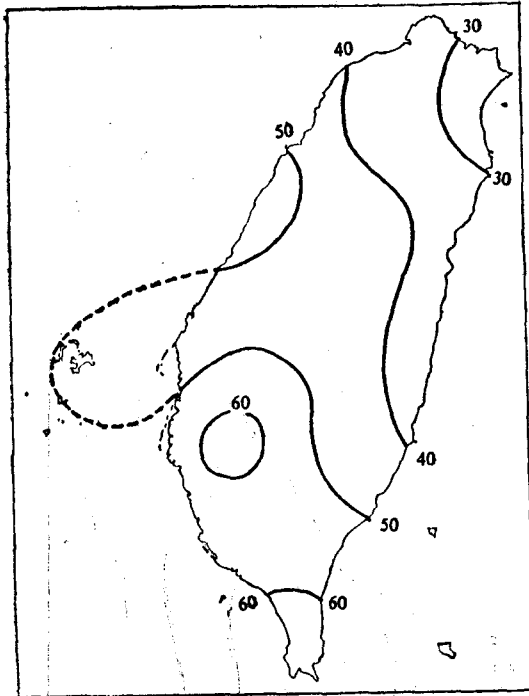
年平均日照率見圖四。

地面所獲之日射量與雲層厚薄亦有密切關係，據 Fritz 之研究：雲之透過率隨雲層厚度之增加而減少⁽⁵⁾。一地所截獲之太陽輻射量與該處至太陽距離的平

方成反比⁽⁶⁾，地面上的日射量約為 $1.4 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ 。此值隨地方之氣象條件不同而有所變異。表二為中央氣象局使用雙金屬片型普卑支全天輻射計所測得之平均水平日射量。

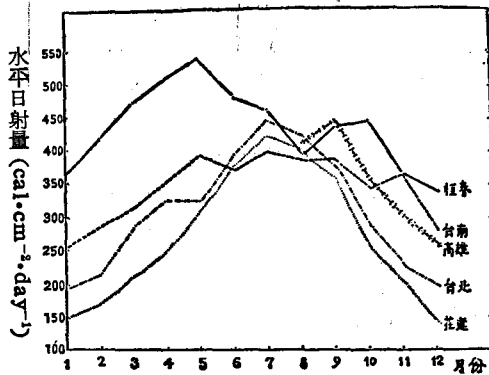
表二 臺灣各地水平日射量之年變化 ($\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$) (1970-1974)

站名	月份	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二	年平均	備註
臺北	北	196	216	284	327	323	396	444	422	376	284	223	194	307	1974年8月開始觀測 (阿里山、宜蘭及臺東的資料暫保留，本文不作分析)
	蓮	151	167	210	245	308	376	420	397	354	248	192	135	267	
臺南	南	256	284	310	353	395	370	397	384	383	341	363	275	343	
	恆	366	420	471	508	540	478	462	390	336	444	361	334	434	
阿里山		525	513	663	614	521	546	565	464	456	494	524	507	533	
宜蘭		274	321	408	475	516	592	717	703	576	353	256	252	455	
臺東		356	395	419	478	547	621	611	600	595	474	380	323	483	



圖四 臺灣地區年平均日照率(%)

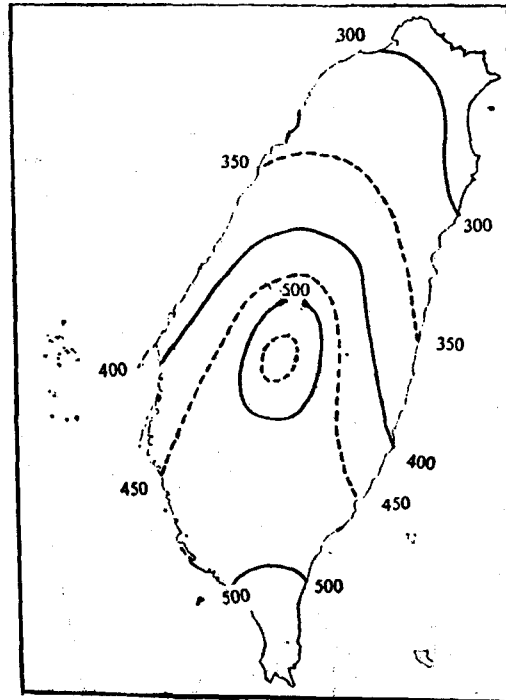
由此表可發現，恒春為日射量最顯著之地區，西南部次之，北部又次之，東部更次之。圖五為臺北、花蓮、臺南、高雄、恒春等地之水平日射量之年變化，係呈一正弦曲線型態。



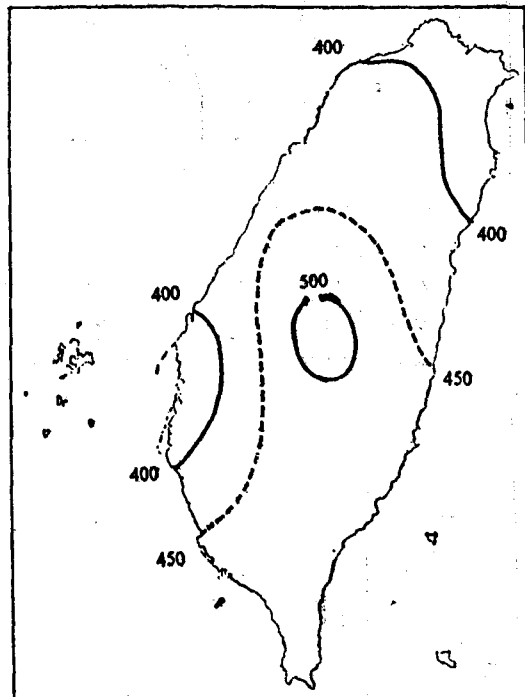
圖五 臺北花蓮臺南高雄及恒春水平日射量之年變化

圖六 A 至六 D 為臺灣地區四季平均日射量之地理上分佈圖，圖七為臺灣地區之年平均日射量。

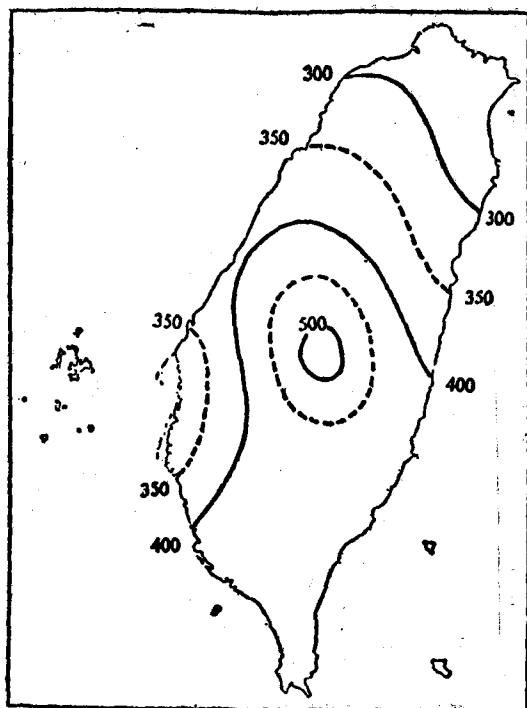
由圖可發現南部地區為臺灣日射量最多之地區，由此向東北方向漸減低，比較上圖春冬兩季，臺灣南北日射量之差距相當大，夏秋兩季，南北日射量差距較小，形成此種趨勢的原因係由氣候造成的。根據以上分析可得下列結論：



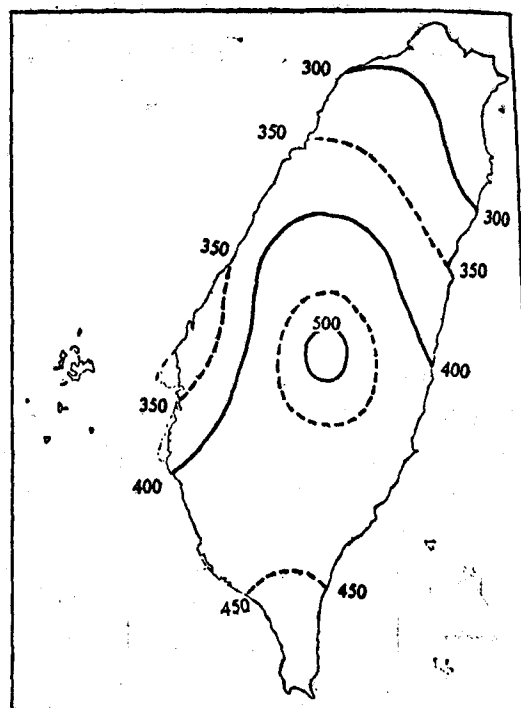
圖六A 臺灣地區春季的平均日射量 (cal·cm⁻²·day⁻¹)



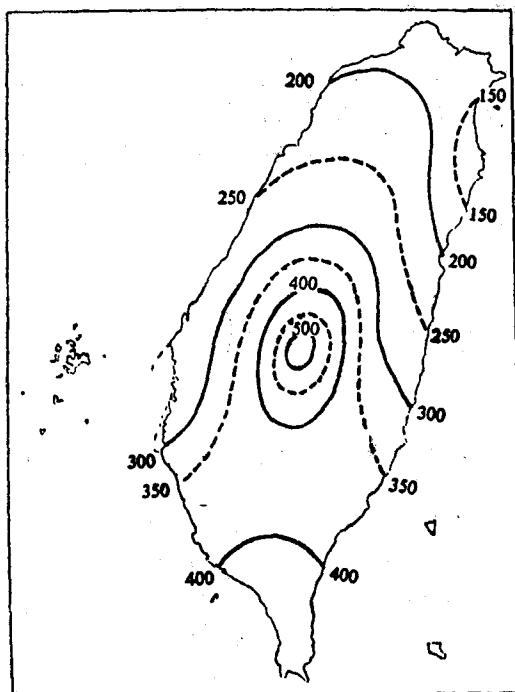
圖六B 臺灣地區夏季的平均日射量 (cal·cm⁻²·day⁻¹)



圖六C 臺灣地區秋季的平均日射量
($\text{cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$)



圖七 臺灣地區年平均日射量
($\text{cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$)



圖六D 臺灣地區冬季的平均日射量
($\text{cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$)

一、臺灣西南部如嘉南平原，高屏等地由於晴天日數多，日照時數長，日照率高且年變化少，因此所獲得日射量要較其他地區為高。

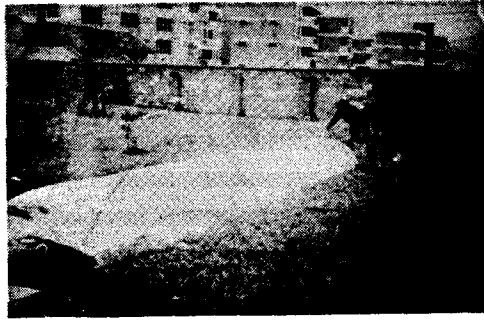
二、臺灣西南部所處地區為低緯度區，夏季太陽近乎直射，故為利用太陽能乾燥的最理想地區。

四、基本實驗

(一) 概 說

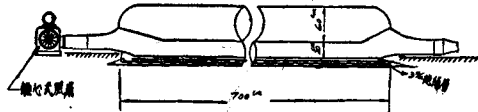
太陽能乾燥的基本原理係利用一透明板及一黑色輻射收集板。輻射線透過透明板即為收集板所吸收，收集板然後將所收集的熱傳送給在板面流動的空氣。收集板受熱後會發射紅外輻射線。此輻射線具有較長的波長，當其向外放射時，不易透過透明板（透明板僅容許波長較短的輻射線通過，太陽輻射線的波長大部份是在這個範圍之內⁽⁷⁾。），因此集熱板的溫度逐漸升高。集熱板所收集的熱量可藉風扇以強迫對流方式將其傳送至乾燥箱內，乾燥稻穀。

乾燥裝置所使使用的第一個型式（型式A），收集器是仿照美國商品 Solaron 型式製成如圖八。



圖八 簡易太陽能稻穀乾燥收集器 (A 式)

A 式收集器係使用透明及黑色兩種 PVC 軟質塑膠布以高週波縫合而成。全長 7 公尺，寬 1.2 公尺，有效受熱面積僅 8 平方公尺。(見圖九)與 Solaron (其受熱有效面積達 100 平方公尺) 相比，可謂十分袖珍。



圖九 簡易太陽能穀物乾燥收集器 (A 式)

1976 年 7 月 21 至 23 日進行實驗，使用順光

表三 收集器 (A 式) 出口，大氣及絕緣底層下方溫度隨時間之變化關係 (°C)

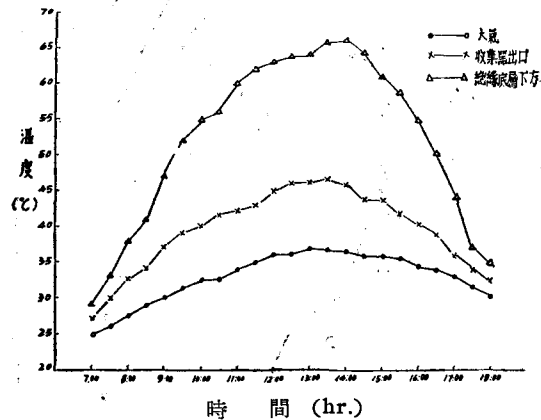
時間	07 00	07 30	08 00	08 30	09 00	09 30	10 00	10 30	11 00	11 30	12 00	12 30
收集器出口	27.0	29.8	32.5	34.0	37.0	39.0	40.0	41.5	42.0	43.0	45.0	46.0
大氣	25.0	26.0	27.5	29.0	30.0	31.5	32.0	32.5	34.0	35.0	36.0	36.0
絕緣底層下方	19.0	33.0	38.0	41.0	47.0	52.0	55.0	56.0	60.0	62.0	63.0	64.0

時間	13 00	13 30	14 00	14 30	15 00	15 30	16 00	16 30	17 00	17 30	18 00
收集器出口	46.0	46.5	46.0	44.0	44.0	42.0	40.5	39.0	36.0	34.0	32.5
大氣	37.0	36.5	36.5	36.0	36.0	35.5	34.5	34.0	33.0	31.5	30.5
絕緣底層下方	64.0	66.0	66.0	64.0	61.0	59.0	55.0	50.5	44.0	37.0	35.0

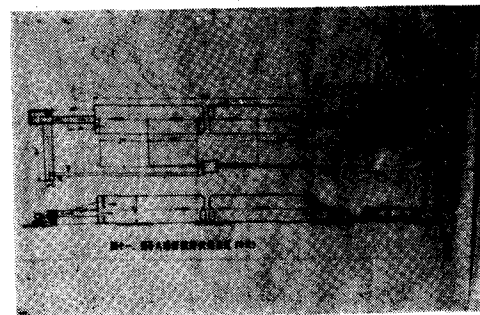
由於收集器底層的絕熱效果欠佳，大量的熱通過泡綿傳入地面，而使絕熱層下的溫度較熱風高出 10~15 °C。實驗結束後，收集器所覆蓋的草皮已被烘乾而呈現枯黃色。因此欲改進該型收集器有兩種方法可行：一、改用其它性能較佳的絕緣材料。二、設計另一型的收集器。第一種方法的困難在於不易覓得價格便宜且性能較佳的絕緣材料；同時此種絕緣材料又不易於 PVC 塑膠膠合在一起，使得在製作與操作上發生困難。因此決定採用第二種途徑來解決以上所遇到的困難。

SS-2 離心式風扇，風扇轉速為 1100 rpm，風量為 36 cm³，出口端無負載，接收器定置於地面，在黑色膠布與地面的接觸面上加覆一層 3mm 的泡沫塑膠 (俗稱泡綿) 以隔絕熱從黑體傳入地面。

從圖十及表三可以看出從上午 9 時以後至下午 3:30 左右，出口熱風溫度始終高過大氣溫度 7~10 °C，此種熱風可用於乾燥穀物。



圖十 收集器 (A 式) 出口絕緣底層下方及大氣溫度隨時間之變化關係



圖十一 簡易太陽能穀物乾燥裝置 (B 式)

第二種型式(型式B)的收集器為一筒狀物(如圖十一)。由透明及黑色兩種PVC塑膠布製成。筒狀物的外圍係由PVC透明塑膠布縫合而成,黑色塑膠布橫鋪於筒之內部,將此圓筒均分為上、下兩部。筒的長度為10.11公尺,直徑為1.17公尺,收集器有效的受熱面積為11.83平方公尺。此種型式的收集器因其與地面的接觸面積要較前者為小,因此熱經由底面的損失也大為減低;同時因收熱面位於收集器的中央部份,其所吸收的熱,可從上、下兩面同時經由風扇吹送至乾燥箱內加以利用,所以它的吸熱效率也



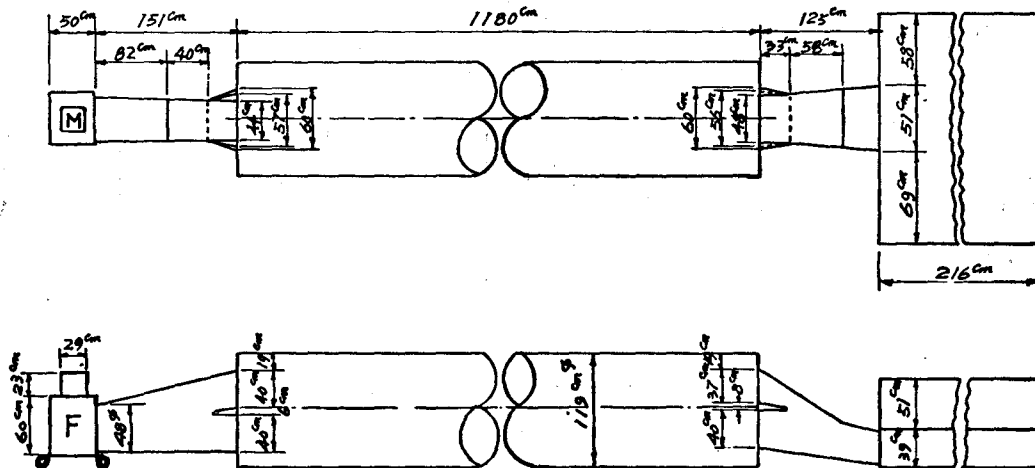
圖十二 太陽能穀物乾燥裝置(B式)所使用之乾燥箱

要較前者為優。B型式所採用的乾燥箱(如圖十二)係由玻璃纖維所製成,因此它在耐火,水及化學藥品侵蝕上要比一般材料製成的乾燥箱為優。

乾燥箱的底層部份係採用四塊經過加工的玻璃纖維浪板組合而成,使用浪板的目的是為增加熱空氣與溼穀的接觸面積,浪板上有小孔,可讓熱空氣通過,箱底因非平面,無法送到工廠以鑽床加工,只得以電鑽逐一加工鑽孔(此種工作非常耗工耗時),在實驗中,因孔率(小孔總面積與總面積之比)未到達乾燥要求的標準(因而增加了空氣通過的阻力),又因玻璃纖維板間的結合不夠緊密(熱空氣在未經過穀層前即由縫隙漏掉)因此乾燥的效果相當不理想。進一步改良乾燥裝置(型式C)的收集器型式沒有多大改變,只不過長度及直徑加大了些。乾燥箱則採用順光SKF 480型平面型乾燥箱。(實驗裝置及結果詳見以後諸節)

(二) 實驗裝置(型式C)

本實驗裝置分送風、集熱及乾燥三部分(如圖十三)。



圖十三 簡易太陽能稻穀乾燥裝置(型式C)

送風裝置為順光SKF480型的軸流式風扇,電源為110伏特輻射熱收集器係一圓筒型充氣體,塑膠製成,長11.80公尺,直徑為1.19公尺,中間有一平面型的黑體,用以吸收太陽輻射能,乾燥部份使用順光SKF 480型平面型乾燥箱,長2.82公尺,寬1.88公尺,高0.9公尺,乾燥箱分成上、下兩層,下層用以通風,上層為放置穀物部份(兩層高度相當,近約45公分)。吸熱裝置係一長十米的龐然大物,遇風時極

易左右搖曳而妨礙工作的進行,因此在此一圓柱體的兩側備有數個圓孔,可用以通過繩索而將其固定於地面。此實驗備有透明塑膠布作成的遮蓬,逢陣雨時,可置於乾燥箱上,以防止穀物被淋濕。收集器上方鑽有數個小孔,用以量取實驗所需的數據。

(三) 實驗方法

本實驗係於66年5月20、21日、兩日在高雄

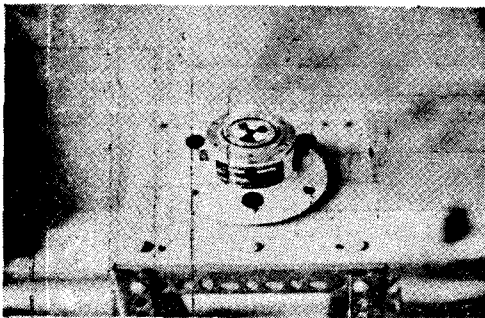
阿蓮鄉農會進行的。乾燥方式採用連續式通風乾燥。

使用的濕穀初重為 500 公斤 (約合 833 臺斤)，含水率為 26% (濕基)，穀層厚度為 20 cm。使用的風扇為順光 SKF 480 型軸流式風扇，電源為 110 伏物，馬力 1 Hp，轉速 1600 rpm，風量 66 cmm (約合 2444 CFM)。

四 實驗結果

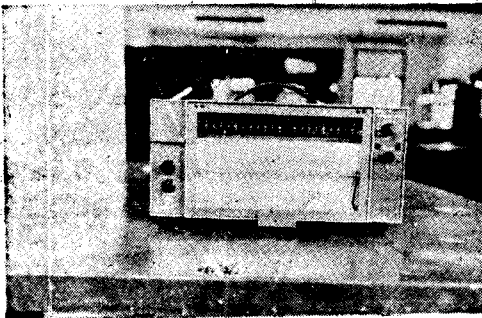
濕穀最初的含水率為 26%，乾至 13% 時所須的時間為 25.7 小時 (自 20 日下午 1 時 20 分至 21 日下午 3 時)。當含水率降至 13% 時，稻穀的重量已由 500 公斤降至 417 公斤 (損失的重量約 16.6%)，穀層的厚度則由 20 公分降至 14 公分。實驗所測得水平日射量，空氣溫度、穀物溫度，含水率等數據分別見於下列各圖表：

- 1、水平日射量：實驗中的水平日射量值係由 Eppley Model 8-48 Black and white pyrometer (如圖十四) 測定的，其靈敏度為 10.64 microvolts/watt-m²。

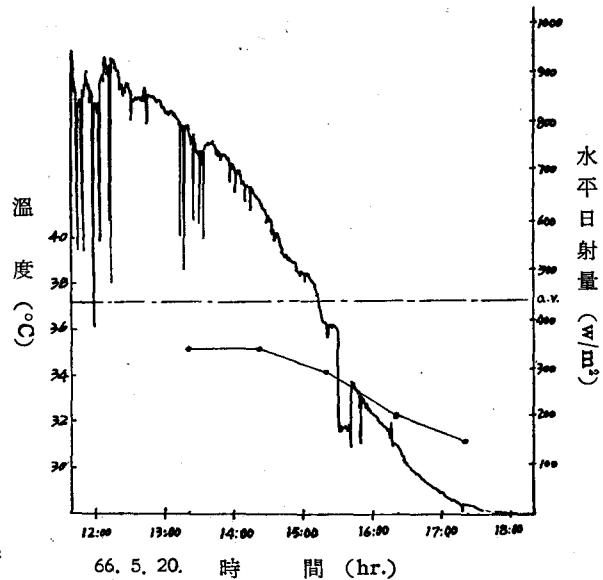


圖十四 Eppley Model 8-48 Black and White Pyrometer

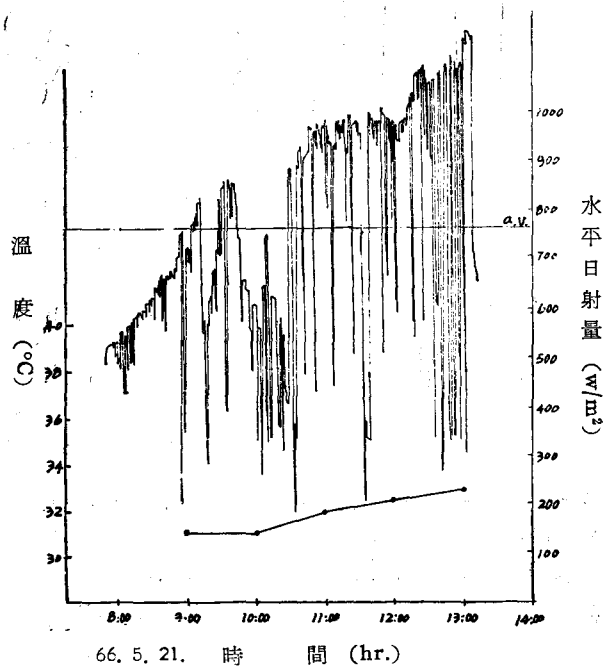
電壓指示記錄儀為 Watanabe SR651 Servocorder (如圖十五)。



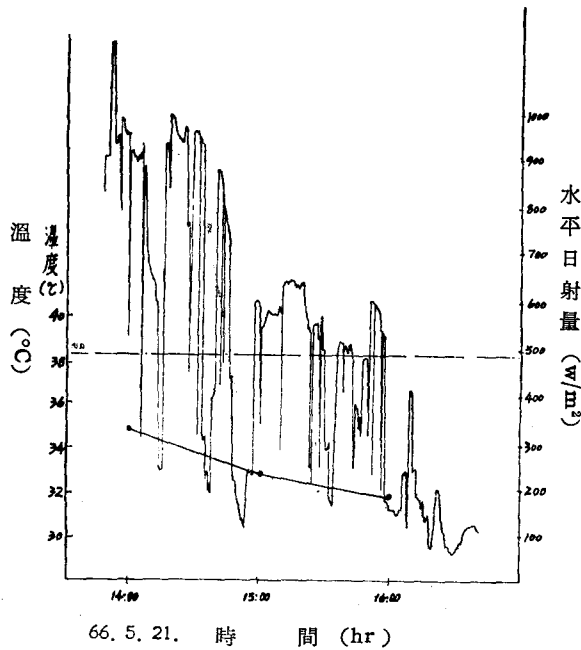
圖十五 水平日射量電壓指示記錄儀



圖十六A 阿蓮農會水平日射量之變化



圖十六B 阿蓮農會水平日射量之變化



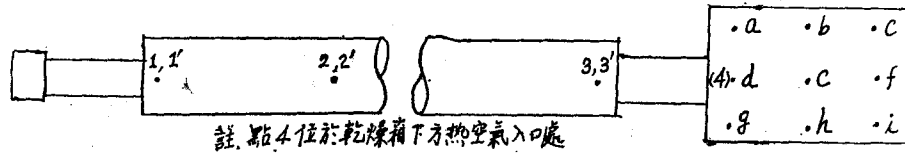
66. 5. 21. 時 間 (hr)
圖十六C 阿蓮農會水平日射量之變化

阿蓮農會兩天的水平日射量如圖十六 A 至十六 C。圖中並表示出了這兩日的平均水平日射量，及當天溫度變化的情形。

2、空氣溫度：自風扇入口吸入之空氣，當其經收集器所增加的溫度可決定此種簡易太陽能穀物乾燥裝置利用價值之高低。集熱器上所測得之溫度計有 1、2、3 及 1'、2'、3' 六點（見圖十七）

1、2、3 三點係在收集器上方，1'、2'、3' 三點係在收集器下方，1 及 1' 位於集熱器之入口處，2 及 2' 位於集熱器之中央，3 及 3' 位於集熱器出入口處。所測得溫度分別記錄於表四及圖十八及十九。

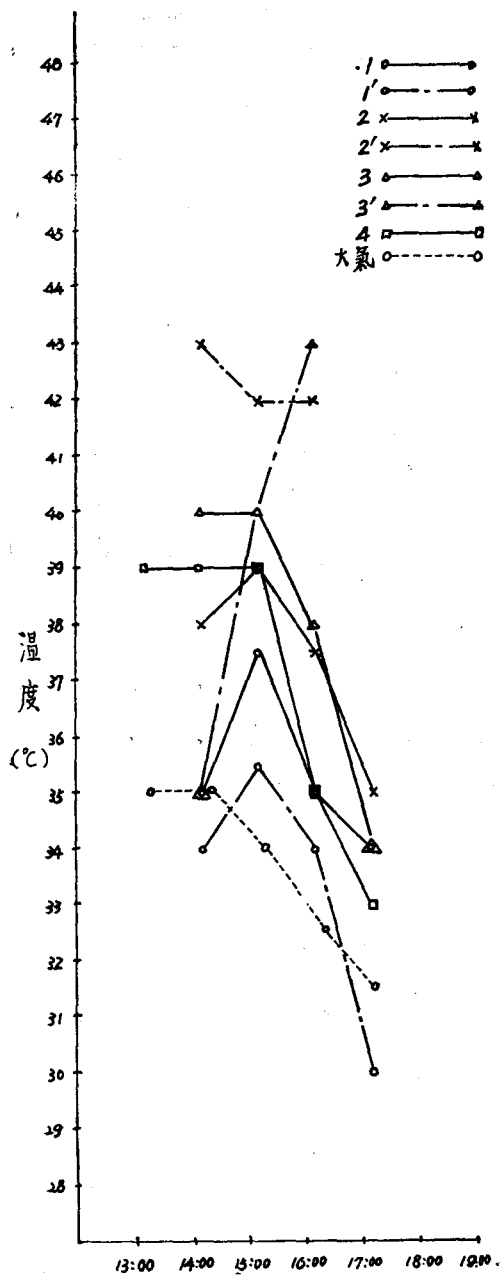
3、穀物溫度：表五及圖二十 A、B 為乾燥箱內 d、e、f、g、h 及 i 各點溫度隨時間之變化情形。



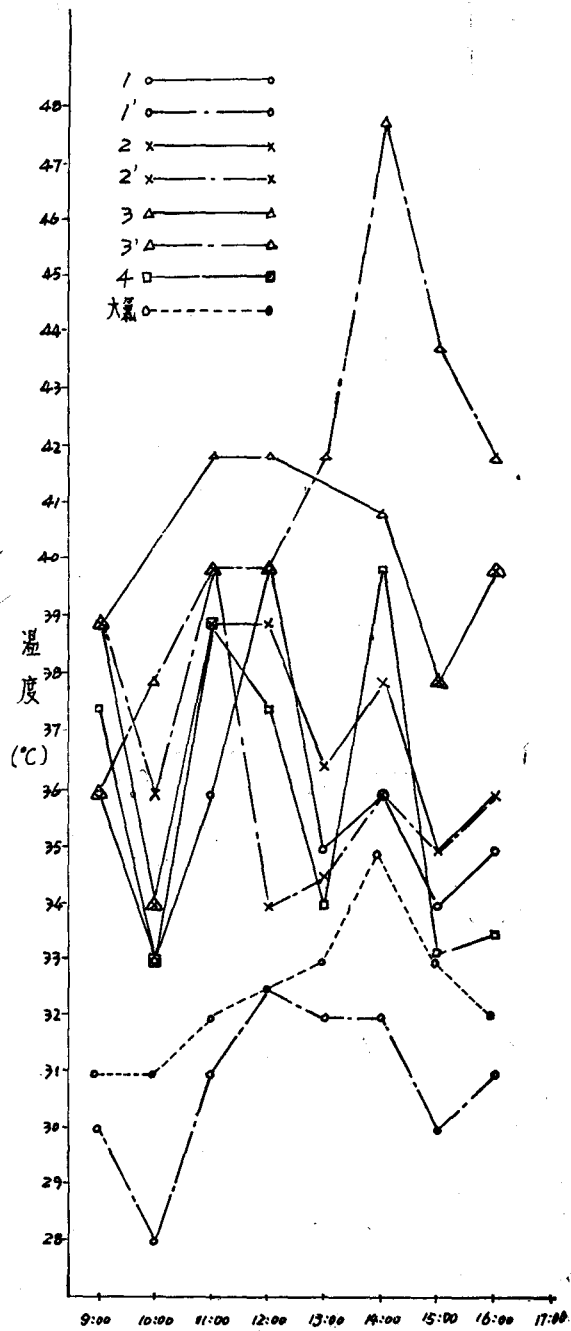
圖十七 穀物乾燥裝置之溫度及含水率測定位置

表四 集熱器內各不同位置及大氣之溫度 (°C)

日期	時間	位置						大氣
		1	2	3	1'	2'	3'	
五月二十日	14:18	35.0	38.0	40.0	34.0	43.0	35.0	35
	15:18	37.5	39.0	40.0	35.5	42.0	40.0	34
	16:18	35.0	37.5	38.0	34.0	42.0	43.0	32
	17:18	34.0	35.0	34.0	30.0			31
五月二十一日	9:00	36.0	39.0	39.0	30.0	39.0	36.0	31
	10:00	33.0	34.0	34.0	28.0	36.0	38.0	31
	11:00	36.0	39.0	42.0	31.0	40.0	40.0	32
	12:00	40.0	39.0	42.0	32.5	34.0	40.0	32.5
	13:00	35.0	36.5	36.0	32.0	34.5	42.0	33
	14:00	36.0	38.0	41.0	30.0	36.0	48.0	35
	15:00	34.0	35.0	38.0		39.0	44.0	33
16:00	35.0	36.0	40.0	31.0	40.0	42.1	32	



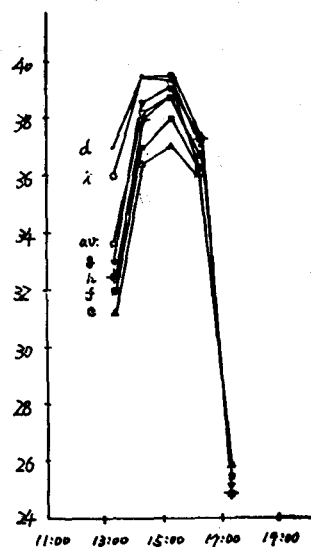
66. 5. 20. 時間 (hr.)
圖十八 收集器內各不同位置及大氣溫度



66. 5. 21. 時間 (hr.)
圖十九 收集器內各不同位置及大氣溫度

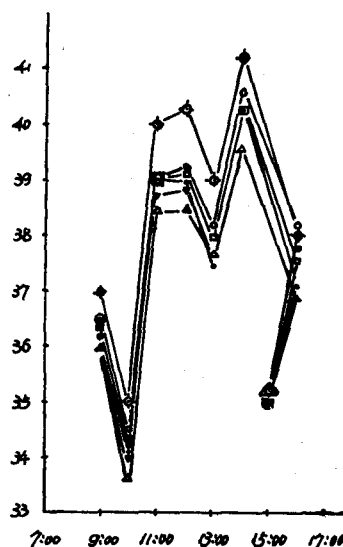
表五 各種乾燥時間之穀物溫度 (°C)

日期	位置	位置							平均
		d	e	f	g	h	i		
五月二十日	13:20	37.0	31.2	32.0	33.0	32.5	36.0	33.6	
	14:20	39.5	36.4	37.5	38.5	38.0	39.5	38.2	
	15:20	39.4	37.0	38.0	39.0	39.0	39.5	38.7	
	16:20	37.0	36.0	36.2	37.0	37.2	37.2	36.8	
	17:20	25.8	25.0	25.4	25.2	25.8	25.5	25.5	
五月二十一日	9:00	36.5	36.0	36.2	36.0	37.0	36.5	36.4	
	10:00	34.2	33.6	34.2	34.0	35.0	34.5	34.3	
	11:00	39.0	38.5	39.0	38.7	40.0	39.0	39.0	
	12:00	39.0	38.5	39.0	38.8	40.3	39.2	39.1	
五月二十一日	13:00	37.5	37.7	37.7	37.7	39.0	38.2	38.0	
	14:00	40.2	39.6	40.3	40.0	41.2	40.6	40.3	
	15:00	35.0	35.0	35.0	34.2	35.2	35.0	35.0	
	16:00	37.2	36.9	37.8	37.2	38.1	38.2	37.6	



66. 5. 28. 時間 (hr.)

圖二十A 乾燥期間之稻穀溫度



66. 5. 21. 時間 (hr.)

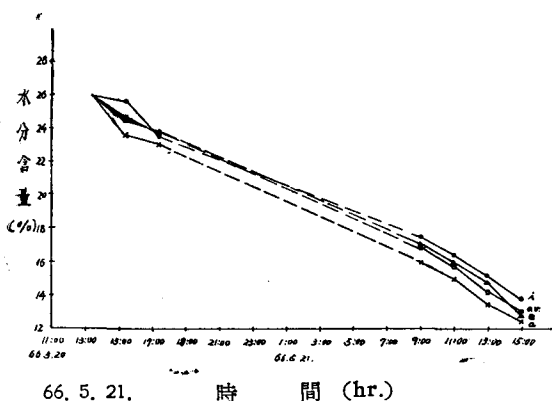
圖二十B 乾燥期間之稻穀溫度

4、含水率：穀物含水率係用 Burrows Model 6100型紅外線含水率測定器測定的。每二小時測定一次。所取樣品之位置係沿乾燥箱呈對角線分佈。圖二十一及表六所示為 a、

e、i 三點（見圖十七）之平均含水率隨時間變化之關係。夜間的穀物含水率未作測定，不知變化呈何趨勢，故在圖中以虛線表示之。

表六 穀物在各種乾燥時間之含水率 (%) (濕基)

位 置	日 時 間	5 月 20 日			5 月 21 日			
		13:20	15:20	17:20	9:00	11:00	13:00	15:00
		a	26	27.5	23	16	15	13.5
e	26	24.4	23.8	17.2	16	14.8	12.8	
i	26	25.6	23.6	17.5	16.5	14.2	13.8	
平 均		26	24.5	23.5	16.9	15.8	14.2	13.0



66. 5. 21. 時 間 (hr.)
圖廿一 乾燥期間稻穀含水量

(五) 穀物乾燥質能平衡的理論公式

空氣溫度在穀層間的變化，穀物溫度的變化，空氣濕度的變化，穀物含水率的變化在理論上可利用“靜置式穀物乾燥模式”⁽⁸⁾求得。

在建立“靜置式穀物乾燥模式”質能平衡的理論公式之前，須做下列假定：

1. 在乾燥期間穀物的體積沒有明顯的變化（收縮）。
2. 穀粒的溫度在任一時間不隨位置不同而變化。
3. 穀粒間的熱傳導 (heat conduction) 可忽略。
4. 乾燥空氣均勻地通過穀層底部。
5. 乾燥箱的絕緣效果良好，沒有熱量損失。
6. $\partial T/\partial t$ 和 $\partial H/\partial t$ 在與 $\partial T/\partial x$ 和 $\partial H/\partial x$ 比較時，可忽略不計。
7. 空氣和穀物的熱容量為常數。

理論公式係建立在穀層任一位置的微小體積 (Sdx) 上，在公式中有四個未知數：

M：穀物的含水率。

H：空氣的絕對濕度。

T：空氣的溫度。

θ ：穀物的溫度。

此模式根據質能的平衡關係，可產生下列四個公式：

1. 空氣溫度的變化：

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{-ha}{G_s G_a + G_s C_v H} (T - \theta)$$

2. 穀物溫度的變化：

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{ha}{\rho_p C_p + \rho_p C_w M} (T - \theta) + \frac{h_{fg} + C_v (T - \theta)}{\rho_p C_p + \rho_p C_w M} G_s \frac{\partial H}{\partial x}$$

3. 空氣的濕度：

$$\frac{\partial H}{\partial x} = -\frac{\rho_p}{G_s} \frac{\partial M}{\partial t}$$

4. 穀物的含水率：

$$\frac{M - M_e}{M_o - M_e} = e^{-kt}$$

M_o：初期含水率 (乾基)

M_e：平衡含水率 (乾基)

K：乾燥常數。

t：時間

a：specific product surface areas, ft²/ft³

c：specific heat, BTU/lb·F.

h：convective heat transfer coefficient BTU/hrft²F

h_{fg}：heat of vaporization, BTU/lb

x：bed-depth coordinate, ft.

G：dry weight flow rate, lb/hrft²

S：cross-sectional bed area, ft²

ρ ：dry weight density, lb/ft³

subscript :

a : air

p : product

v : vapor

w : water

五、討 論

- (一) 水平日射量自圖十六 A 至十六 C 可知太陽的水平日射量之值係隨大氣溫度而變化，此外天空雲量之多寡，對水平日射量亦有影響。雲量多則水平日射量低，雲量少則水平日射量高，其間之差異非常靈敏。20日空中的雲量較少，所以水平日射量曲線的起伏性不大。21日空中的雲量極多且變化大，所以水平日射量曲線的起伏性非常劇烈。自水平日射量的平均值及收集器的有效吸熱面積，可算出乾燥期間此收集器理論上所吸收的總熱量。

其公式如下：

收集器吸收總熱量 = 平均水平日射量 × 透明塑膠透過率 (τ) × 乾燥時間 × 收集器有效吸熱面積。

然而，由於收集器的絕緣效果不易達到理想，故一般無法到達此值。稻穀實際乾燥所須的熱量，可由乾燥期間所失去的水分與水的潛熱 (h) 的乘積求得。

- (二) 當空氣經過收集器時，溫度逐漸升高，上層之溫度平均要比外界大氣高出 7°C ，而下層之溫度則置均要比大氣高出 8°C (參考表四)。由於收集器出口至乾燥箱入口間的絕緣效果未達到理想，以至乾燥箱入口的溫度要比點 3 及 3' 的溫度低些。絕緣效果如能改善，則熱量之損失減少，到達乾燥箱的熱量更多，乾燥效果當更加良好。
- (三) 從圖二十二 A 及 B 及表五中，可知稻穀在乾燥箱中，隨位置的不同溫度的變化不大，其溫度隨大氣溫度的變化而升降。
- (四) 收集器出口的稻穀乾燥速率要比其他位置的稻穀快些，然其間的差異並不太大，這種關係可從表六看出。
- (五) 本裝置的收集器部份因塑膠布之間縫合不當，偶有裂縫，使熱風遭受部份損失，因此在塑膠布結合方式有進一步改進的必要。

六、成 本 分 析

一般成本可分為固定成本及變動成本兩項。固定成本包括折舊、利息、廠房設施，稅金和保險費 (後三者對本裝置而言可忽略)。變動成本包括電費及工資等項目。今以一臺乾燥裝置為例，分析其各項使用成本如下：

(一) 固定成本

乾燥裝置分風扇，收集器及乾燥箱三部分。風扇 (附帶 1 HP 馬達) 價格約 6000 元，乾燥箱價格為 7000 元。此二者使用年限均假定為 10 年。收集器 (包括高週波加工費用) 價格約 2000 元。使用年限假定為 3 年，每年使用兩季，每季使用 10 天。並假定其無剩餘價值。

1. 折舊 (採用直線法)

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{購進價格} - \text{剩餘價值}}{\text{使用年限}} \\ &= \frac{(6000 + 7000) \text{元} - (6000 + 7000) \text{元} \times 10\%}{10 \text{年}} \\ &+ 2000 \text{元} / 3 \text{年} = 1836 \text{元} / \text{年} \end{aligned}$$

2. 利息 = $\frac{\text{購進價格} + \text{剩餘價值}}{2} \times \text{年利率}$

$$\begin{aligned} &= \left(\frac{(6000 + 7000 + 2000) \text{元} + 1300 \text{元}}{2} \right) \\ &\times 10\% / \text{年} = 815 \text{元} / \text{年} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{固定成本} &= \text{折舊} + \text{利息} = 1836 \text{元} / \text{年} + 815 \text{元} / \text{年} \\ &= 2651 \text{元} / \text{年} \end{aligned}$$

(二) 變動成本

1. 電費：每乾燥 500 公斤的濕穀所須的電費可依下法加以計算：

$$\begin{aligned} &25.7 \text{ (hr)} \times 1 \text{ (hp)} \times 0.75 \text{ (kw/hp)} \\ &\times 1.15 \text{ dollar/kw-hr} = 22.17 \text{ dollars} \end{aligned}$$

(每公斤乾燥費用約 4 分 4 釐)

水稻每年收穫兩期。對小農戶而言，假定每期水稻收穫量為 5 公噸，每年則可收穫 10 公噸稻穀。所須電費為：

$$\begin{aligned} &22.17 \text{ dollars} \times 2 / \text{公噸} \times 10 \text{公噸} / \text{年} \\ &= 443.4 \text{元} / \text{年} \end{aligned}$$

2. 工資 (利用農村剩餘勞力此項可免計)

$$\begin{aligned} \text{年總成本} &= \text{固定成本} + \text{變動成本} \\ &= 2651 \text{元} / \text{年} + 443.4 \text{元} / \text{年} \\ &= 3094.4 \text{元} / \text{年} \end{aligned}$$

每公噸稻穀乾燥成本為：

$$3094.4 \text{元} / \text{年} \div 10 \text{公噸} / \text{年} = 309.4 \text{元} / \text{公噸}$$

七、結 論

- (一) 本乾燥裝置因不使用任何燃料，在此能源危機之際，可收節約能源之效。
- (二) 本省西南部地區如嘉南、高屏等地，由於日照時數長，日照率高及日射量多，為利用太陽能乾燥的最理想地區，故本裝置如在以上地區使用時，可獲得較佳之效果。
- (三) 本裝置使用 110 volt 電源，價格低廉、操作簡便、乾燥迅速（25.7 小時可乾燥濕稻穀 500 公斤），適於小型農家使用。
- (四) 此種裝置係將稻米置於箱內，可保持稻穀的清潔又因採用連續通風式之乾燥，不須時時攪拌穀層，可節省不少人工，此二者為優於傳統式

日曬法之處。

- (五) 乾燥裝置集熱器部份係採用 PVC 塑膠軟體製成，不用時，可加以折疊，在收藏上可節省不少空間。
- (六) 本裝置在未使用時，其風扇馬達及乾燥箱仍可作其他用途使用。

八、建 議

- (一) 改變塑膠布的結合方式，使收集器能承受較大壓力，可增加乾燥時所經的風量，因此能乾燥更多的稻穀。
- (二) 本太陽能乾燥裝置除能乾燥稻穀外，尚可用來乾燥其他農產品，如甘薯簽、花生等。今後應加強這一方面的實驗工作。

Summary

Traditional ways of drying of rice in Taiwan is displaying the harvested paddy rice in front of the farm house or along the road side. As soon as it rains, the displayed paddy rice must be quickly put in a heap, otherwise, the rice will become wet. As the sun appears, it will be displayed again. It is really time-and labor-consuming work.

The simple equipments of solar drying for paddy rice may be used to increase the temperature of heated air. Air picks up heat and increases temperatures up to 7 or 8 degrees of centigrade when it is forced through a plastic-made heat collector by fan. The clear surface of the collector keeps wind from stealing heat and helps trap sun's radiation. As soon as the sun's radiation reaches the interior of the collector, it is absorbed by a black plastic plate.

According to the data of experiments carried out at Farms Association of Ah Len, it took 25.7 hours when the harvested paddy rice was dried from 26% moisture content (wet basis) to 13%, and it costs approximately 300 dollars (NT) when one ton of wet paddy rice was dried.

The equipment of solar drying, when not used, may be folded up thus only smaller space of storage is required. Other crops, for example sweet potatoes chips and peanut may be also dried by using this equipment. This equipment is suitably used in south west part of Taiwan, such as Tainan, Kaohsiung and Pingtung, due to the higher temperature and solar radiation.

九、參 考 文 獻

1. 能源季刊，六卷二期。
2. 交通部交通研究所編印（1965）：交通名詞辭典。氣象類。
3. 中央氣象局（1972）：氣象測報手冊 p. 130-143
4. Y. Kawabata and M. Fujito (1955): Distribution of Total Horizontal Insolation in Japan and its Neighbourhood, Geophys. Mag. 22 p. 143-156.
5. 喬鳳倫譯，Fritz (1957) 作：碧空與陰天中太陽能之研究，氣象學報，三卷二期。p. 44-50.
6. John C. Johnson (1954): Radiation Process in the Earth's Atmosphere, Physical Meteorology, p. 120-124.
7. Holpman, J. P. (1976): Heat Transfer. p. 276.
8. F. W. Bakker-Arkemo. (1970): Proceedings of The Institute for Simulation of Cooling and Drying Beds of Agricultural Products. p. 9-2-3.