

圓筒式太陽能乾燥機之研究

Study on a Rotary-Drum Type Solar Crop Dryer

國立臺灣大學農工系教授

臺灣省農業試驗所農機系系主任

張 漢 聖

顏 欽 崇

H. S. Chang

C. C. Yen

Abstract

A prototype Rotary-Drum type solar crop dryer was constructed in 1980. Initial tests on solar energy utilization were conducted in November and December 1980.

The tests of drying rice with the solar dryer were successful. However, the average drying rate recorded was low, partially due to bad weather during tests.

The simulation model concerning heat and mass transfer of grain drying for the solar dryer is developed, and the method of analysis is being used to assist in further design optimization of the solar dryer.

摘 要

圓筒式太陽能乾燥機已完成製作並已取得初步試驗結果。

由試驗結果顯示，本機運轉情況良好，圓筒打滑及密封問題均能克服。惟乾燥速率及進穀方式仍有待進一步改善才能推廣使用。

有關圓筒式太陽能乾燥機的理論分析方法亦已建立，可望據以改進圓筒式太陽能乾燥機的熱效率。

一、前 言

由於石油價格節節上升，石油能源危機日趨嚴重，世界先進國家均紛紛努力開發新的能源。在可能的新能源中，太陽能被公認為最有希望的種類之一。美國與日本均競相投以巨資積極研究，希望能早日開發成功加以利用。

在農業方面，多種農產品收穫後的乾燥均不須在高熱空氣中進行。如本省主要農產品稻米，乾燥溫度約為 40°C 左右，其他如花生、玉米約在 45°C 左右，再如蔬菜、水果及魚產品等等大都不需要高溫乾燥。適度的熱空氣所以正能使農產品乾燥脫去水份以利保存，也能繼續維持品質及風味，同時也不致影響重作種子時的發芽率。

乾燥農產品利用太陽能作為替代能源以代替燃

油有諸多優點，非他種能源可以比擬，如清潔、不污染農產品及四周的環境，同時不受地區限制，處處可以使用無限供應。本省地處亞熱帶，太陽能豐富，亟應善加利用，以節省我國進口能源消耗。

三年前我旅美學人黃國彥博士所設計的溫室型太陽能乾燥機經與農復會、臺大農工系、省公賣局進行合作研究及承製廠商的努力改良，迄今已達到可供推廣使用的階段。該型太陽能乾燥機烤菸效果甚佳，節省燃油消耗三分之一至一半，甚為農民所歡迎，足證太陽能在本省農業上的利用是可行的。但該型太陽能乾燥機設計的主要對象是烤菸，烤菸需要長時間較高空氣溫度，同時溫度控制要求也較嚴格，因之，該型太陽能乾燥機構造也較複雜，如用來乾燥一般農產品則成本嫌高，難為農民所接受。

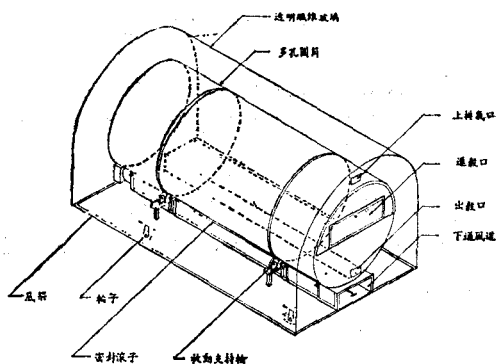
去年黃國彥博士再度應邀返國，擔任臺大農工系客座教授半年，黃博士在臺期間提供其新設計「圓筒式太陽能乾燥機」供作研究試驗。此屬新設計過去缺乏製作經驗故產生困難甚多，幸賴製造廠商慶豐公司盡力克服，研究得以初步完成，次一步驟將進行廣泛試驗以深入了解其可行性。希望此項研究工作終能為本省農民推出結構簡單、使用成本較低廉，多用途的太陽能乾燥機械，期以節省農產品乾燥燃油消耗，增加農民收益。

二、結構與製作

本研究基本上依據黃國彥博士設計之圖樣製作，惟在製作過程中為配合需要曾加以修改。本研究係試製最大容量三噸圓筒式太陽能乾燥機一台，茲將有關主要結構及製作過程簡要敘述如下：

(一) 多孔圓筒

多孔圓筒（圖一），為本機主要結構部份。功能為吸收太陽熱能及放置待乾燥的濕穀或其他農產品。多孔圓筒直徑 1.55 公尺，長 3.45 公尺。多孔圓筒的構成，必須先製做四個正圓大鋼圈為主幹，最為困難。次將多孔鋼板依曲度彎曲裝上。



圖一 圓筒式太陽能乾燥機前視示意圖

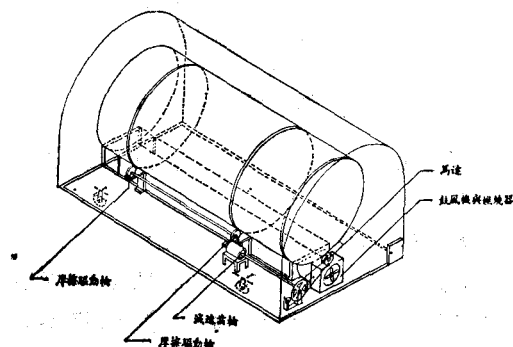
多孔圓筒外側表面漆成黑色吸收太陽能加熱流經其旁的空氣。一般常見的太陽能乾燥裝置，其太陽能收集器與農產品放置容器是分開的，如此熱損失必然較多，而本機合太陽能收集器與農產品放置容器為一體，既可減少熱損失至最少程度，同時又可簡化結構，一舉兩得。

多孔圓筒由磨擦輪帶動，徐徐旋轉，內部濕穀自動層層滑落，周而復始，即所謂翻倉效果，俾達到乾燥均勻要求度。此種自動翻倉作用，功能類似一般自動循環式乾燥機內部盛斗式機構的作用。

多孔圓筒的滾動是間歇性旋轉，由定時開關開啓或關閉，可以節省電力消耗。

(二) 鼓風機與燃燒器

鼓風機與燃燒器（圖二），為強制流動內部空氣及補助熱源。在乾燥過程中，鼓風機連續運轉強制熱空氣經過多孔圓筒亦即流經待乾的農產品，農產品得以乾燥。燃燒器為直接加熱式燃燒裝置，有溫度控制，以備陰雨天或夜晚，太陽能不足時提供補助熱源。



圖二 圓筒式太陽能乾燥機後視示意圖

鼓風機與燃燒器暫採用順光 SKF-480 型汽化式燃燒爐及軸流式風扇，由 2 馬力馬達帶動，電源 110 伏特，轉速 1600 rpm，風量 2440 CFM。

(三) 動力及傳動機構

動力及傳動機構由馬達、軸、減速齒輪及磨擦輪組成（圖二）。

多孔圓筒旋轉由磨擦輪經由馬達傳來的動力帶動。黃博士原設計之磨擦輪為鋼輪表面平滑，多孔圓筒內不放置任何穀物時，磨擦輪與多孔圓筒間不會打滑，旋轉平穩，情形良好。惟當多孔圓筒內放置穀物超過半噸以上時即有打滑現象發生，是故改用「尤麗生 Urethane」強力橡皮加於磨擦輪外緣，雖圓筒內穀物有三噸之多，仍無打滑現象發生。

(四) 透明外罩及底架

透明外罩為太陽能乾燥機的外壳，由纖維玻璃板及支架組成（圖一）。纖維玻璃板透光率約為 85%。纖維玻璃板表面有「杜邦」公司「Tedlar」處理，經久耐用，不易老化。

底架（圖一）位於底部承受上述機構的負荷，長 4.50 公尺、寬 2.56 公尺。下面有四個小輪子，故可以隨意作小距離的位置變動，使乾燥機隨時處於最佳太陽能利用方位。

(四) 通風道及排氣門

下通風道位於多孔圓筒正下方。在晝間利用太陽能情況，熱空氣由上往下，經農產品流入通風道而排出機外。在夜晚如需利用補助熱源，則補助燃燒器所產生的熱風經由通風道由下往上經農產品，經上排氣門而排出於機外。

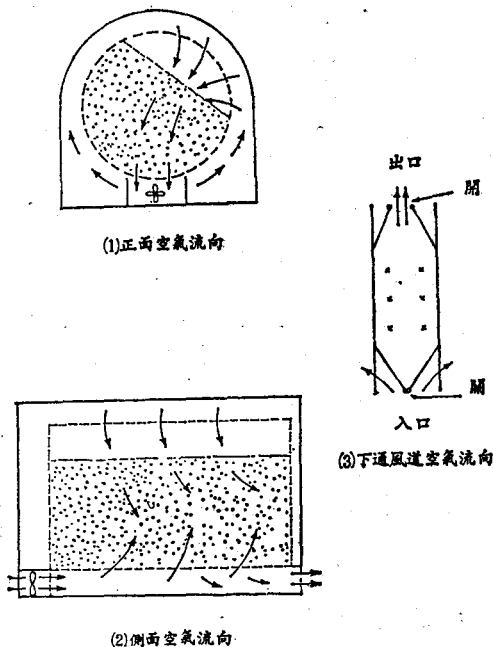
通風道與多孔圓筒間的運轉密閉方式，黃博士原設計採用固定橡皮帶子，加於通風道與圓筒接觸之處，經試驗效果不佳，現改用滾子式。此方法是否耐久，尚待多次試驗才能確知。

三、操作方法

圓筒式太陽能乾燥機的操作方法，因有無利用太陽能而有所不同：

一、晝間利用太陽能情況：(圖三)

在晝間使下通風道呈圖三(3)之狀態。外界空氣由風扇強制流入乾燥機內〔圖三(1)〕，空氣與圓筒黑色表面接觸因而加熱昇高了溫度，成為熱空氣，而後熱空氣經穀層帶去水份經下通風道排出機外〔圖三(2)〕。

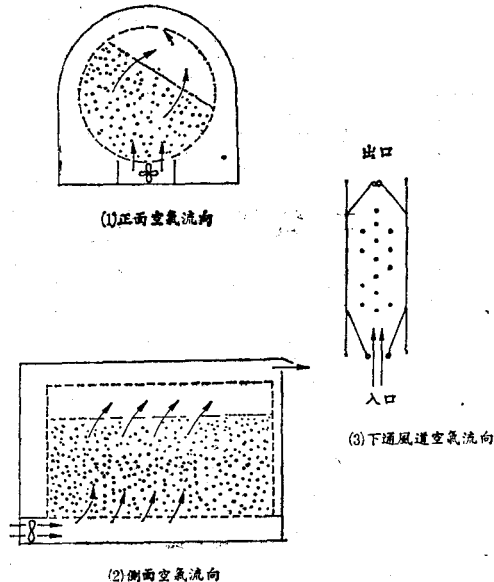


圖三 圓筒式太陽能乾燥機利用太陽能狀況

二、夜晚或陰天利用補助燃燒器情況：(圖四)

夜晚或陰天如乃欲進行乾操作業，則使下通風

道呈圖四(3)之狀態。此時外界空氣經燃燒器加熱後流入下通風道，經由穀層上升，帶走水分，由上排氣口排出機外〔圖四(1)與(2)〕。



圖四 圓筒式太陽能乾燥機利用補助熱源狀況

四、分析方法

圓筒式太陽能乾燥機除進行乾燥穀物試驗以觀成效外，並將紀錄有關數據以供進一步分析其性能，以謀改良設計。有關性能分析擬分成下述二個方面：(1)分析外界空氣進入乾燥機加熱後所能提升的溫度。(2)分析穀物乾燥過程中乾燥速率與進入流出空氣溫度關係。

(1) 內部空氣溫度之分析

此項分析仍是估計外界空氣進入太陽能乾燥機內所能提升的溫度。外界空氣溫度，太陽能輻射量，外界風的流速，及機內空氣流量均為已知。

鑑於用傳統式分析方法即應用熱傳微分公式來分析太陽能乾燥機內部空氣溫度，費時耗工。因為太陽能乾燥機受不斷變化的日光照射及周遭氣溫，風流動影響，這些不斷變化的影響因素均使得太陽能乾燥機成為一複雜的熱傳遞系統。為求簡化分析方法，縮短分析時間。本研究將採用熱電模擬法。

熱與電有許多相似之處，因之熱系統可以被模擬成電系統(4, 6, 7)。茲將熱與電兩者所包含的現象要素互相對等模擬列如表一。

表一 熱系統與電系統的對應相似關係

熱系統 (thermal system)	電系統 (Electrical system)
溫度 (temperature)	電壓 (voltage)
熱流量 (heat flow)	電流量 (current)
熱容量 (thermal capacitance)	電容量 (capacitance)
熱傳導係數 (thermal conductivity)	導電率 (conductance)
熱阻 (thermal resistance)	電阻 (resistance)

將熱系統轉變成電系統，我們必須從達成熱傳遞的三個方式，傳導 (Conduction) 對流 (Convection) 與輻射 (Radiation)，逐步着手。

(一) 傳 導

物體內的熱傳遞可由下式表之。

$$Q = -KA \frac{dT}{dX} \dots\dots\dots (1)$$

上式中

Q = 熱傳遞率 (KJ/hr)
 K = 熱導度 (KJ/hr m°C)
 A = 垂直於熱流之截面積 (m²)

$$\frac{dT}{dX} = \text{熱流動方向的溫度梯度 (°C/m)}$$

式(1)若屬於一度空間之穩定態熱傳遞，熱流流經厚度 L 及截面積 A 之導體，又 K 為常數，則式(1)可寫成

$$Q = KA \frac{T_1 - T_2}{L} \dots\dots\dots (2)$$

由式(2)，求得傳導熱阻為

$$R = \frac{L}{KA} \left(\frac{°C}{KJ/hr} \right) \dots\dots\dots (3)$$

熱容量 (thermal capacity)，為將一物體之溫度提升 1°C 所需的熱量。其公式為

$$C = \frac{Q}{T_f - T_i} = \frac{\int_{T_i}^{T_f} C_p r V dT}{T_f - T_i} \dots\dots\dots (4)$$

上式中

Q = 將某一物體之溫度自 T_i 提升至 T_f 所需要的熱量 (KJ)
 C_p = 比熱 (KJ/kg°C)
 r = 密度 (kg/m³)
 T_i = 物體加熱前的溫度 (°C)
 T_f = 物體加熱後的溫度 (°C)
 V = 物體體積 (m³)

若 C_p 與 r 為常數，則式(4)可寫成

$$C = C_p r V (KJ/°C) \dots\dots\dots (5)$$

(二) 對 流

壁面與空氣之間的熱傳遞由下式表之。

$$Q_c = h_c A (T_s - T_a) \dots\dots\dots (6)$$

上式中

Q_c = 熱傳遞率 (KJ/hr)
 h_c = 對流熱傳遞係數 (KJ/hr m² °C)
 A = 垂直於熱流之截面積 (m²)
 T_s = 壁表面溫度 (°C)
 T_a = 空氣溫度 (°C)

由式(6)，求得對流熱阻為

$$R_c = \frac{1}{h_c A} \left(\frac{°C}{KJ/hr} \right) \dots\dots\dots (7)$$

(三) 輻 射

輻射為不經任何媒介物質在溫度不同的表面間所產生的熱傳遞。二任意表面間的輻射熱傳遞可由下式表之(8)。

$$Q_1 = -Q_2 = \frac{\sigma(T_2^4 - T_1^4)}{(1-\epsilon_1)/\epsilon_1 A_1 + 1/A_1 F_{12} + (1-\epsilon_2)/\epsilon_2 A_2} \dots\dots\dots (8)$$

上式中

Q_1, Q_2 = 淨交換能量 (KJ/hr)
 A_1, A_2 = 表面積 (m²)
 T_2, T_1 = 表面溫度 (°K)
 ϵ_1, ϵ_2 = 放射率
 σ = stefan-Boltzmann 常數
 F_{12} = 輻射形狀因素或離開 1 面到達 2 面之能量比率

如線性化公式(8)，假設 h_r (KJ/hr m² °C) 為輻射熱傳遞係數，則

$$Q_1 = A_1 h_r (T_2 - T_1) \dots\dots\dots (9)$$

於是

$$h_r = \frac{\sigma(T_2^2 + T_1^2)(T_2 + T_1)}{(1-\epsilon_1)/\epsilon_1 + 1/F_{12} + (1-\epsilon_2)A_1/\epsilon_2 A_2} \dots\dots\dots (10)$$

假設二表面溫度的差異不大，則公式(10)可簡化成

$$h_r = \frac{4\sigma T_a^3}{(1-\epsilon_1)/\epsilon_1 + 1/F_{12} + (1-\epsilon_2)A_1/\epsilon_2 A_2} \dots (11)$$

由式(9)，求得輻射熱阻為

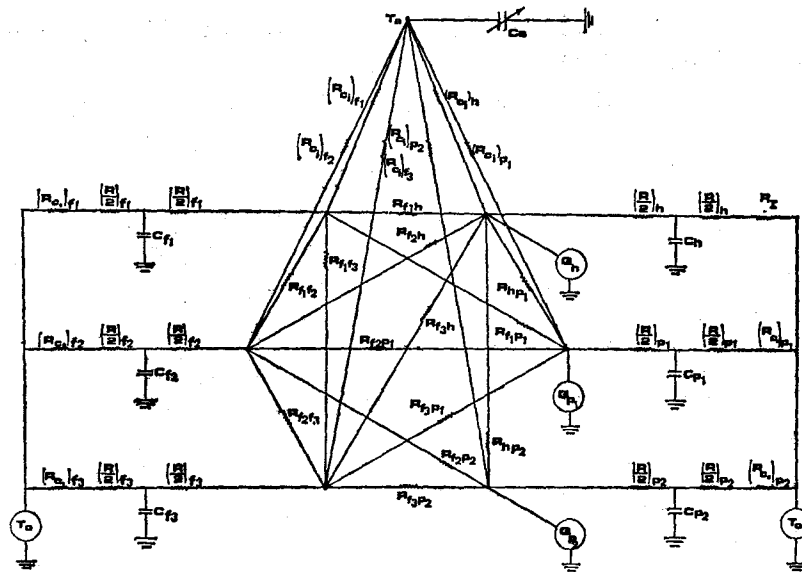
$$R_r = \frac{1}{h_r A} \left(\frac{^\circ\text{C}}{\text{KJ/hr}} \right) \dots (12)$$

至此，達成熱傳遞的三個方式傳導、對流及輻射均可以適當網路來取代。為方便構成太陽能乾燥機的模擬熱電網路，下列之假設為必須：

1. 熱為單方向之傳遞，其方向垂直於接觸之面。

2. 在任何時刻，空間各處之溫度範圍內，所有圓塊質量的熱性質 (lumped thermal property) 不變。

由以上的假設及前述推導，並假設太陽能乾燥機的外罩透明纖維玻璃板與四周物體長波輻射能量交換甚小，可納入其外表面對流熱傳遞之內，則太陽能乾燥機的模擬熱電網路構成如圖五。



圖五 圓筒式太陽能乾燥機熱電模擬網路

圖五符號說明如下：

符 號

- R = 傳導熱阻
- $R_{e.o.}$ = 外表面對流熱阻
- $R_{e.i.}$ = 內表面對流熱阻
- R_{xy} = 輻射熱阻
- R_i = 相當絕緣熱阻
- T_a = 內空氣溫度
- T_o = 外界空氣溫度
- Q = 被吸收的太陽能量

附註符號

- f_1 = 弧形纖維玻璃
- f_2 = 前垂直纖維玻璃
- f_3 = 後垂直纖維玻璃
- h = 集熱多孔圓筒
- p_1 = 右地板
- p_2 = 左地板

圖五所示的熱電網路將由電腦電路分析程式 (Electrical Circuit Analysis Program) 分析之。

(2) 穀物水分逸失及流出空氣溫度之分析

此項分析乃是估計穀物在乾燥過程中水分逸失率及熱空氣流出穀物後的溫度。流入穀物的風量及溫度均為已知。

在乾燥過程中，穀物水分平衡方程式為(12)，

$$-m_s \frac{dM(t)}{dt} = m_a (W_o - W_e) \dots (13)$$

上式中

- t : 時間
- m_a = 空氣流量, kg/hr
- m_s = 在多孔圓筒中的穀物重量, kg
- $M(t)$ = 穀物在 t 時的平均含水率, 乾基, %
- W_o, W_e = 進入穀物前與流出穀物後之空氣濕度, kg/kg

又穀物中之水分由於擴散作用逸失至周圍空氣中，可由下式表之(12)

$$\frac{M(t) - M_{eq}}{M_0 - M_{eq}} = A e^{-Kt} \dots\dots\dots(14)$$

上式中

- M_{eq} = 穀物平衡含水率，乾基，%
 M_0 = 乾燥前穀物含水率，乾基，%
 A = 穀物形狀係數
 K = 穀物乾燥常數

假設乾燥過程是在絕熱性況下進行，則流入空氣的熱焓值 (H_0) 與流出空氣的熱焓值 (H_e) 不變，則

$$H_0 = H_e \dots\dots\dots(15)$$

同時，空氣的熱焓值可由下式表之

$$H = C_{pa}T + W(C_{pw}T + L_w) \dots\dots(10)$$

上式中

- C_{pa} = 空氣比熱，KJ/kg °C
 C_{pw} = 水蒸汽比熱，KJ/kg °C
 L_w = 水分蒸發熱，KJ/kg
 T = 溫度，°C
 W = 空氣濕度，kg/kg

則根據式(15)及(16)，得

$$C_{pa}T_0 + W_0(C_{pw}T_0 + L_w) = C_{pa}T_e + W_e(C_{pw}T_e + L_w) \dots\dots\dots(17)$$

上式中

T_0 與 T_e 為流入與流出空氣之溫度
 由式(13)，(14)與(17)即可求得 T_e ， $M(t)$ 與 W_e 。

五、試驗結果與討論

圓筒式太陽能乾燥機製作完成後，首途運往位於屏東市的高雄區農業改良場進行試驗。時間是六十九年十月五日，進穀重量 2570 公斤，初期含水率 22 %，完全使用太陽能進行乾燥，日落後停機。歷 38 小時，未能使稻穀含水率減至安全範圍 (13%)。究其原因可能為稻穀量多，圓筒內稻穀厚度最大達 80 公分，超過一般箱式乾燥機容許的穀層厚度 45 公分甚多，排濕困難。同時試驗期間恰值颱風過後，日照較弱，下午多陰。本擬在同一場地重複試驗，而當時高屏地區稻穀收割已畢，已無濕穀，仍將乾燥機運往臺中臺灣省農業試驗所，安置於該所實驗農場旁之大道上，以利取穀。該處四周均無遮蔽，是利用太陽能優良場所，惟美中不足，農試所在霧峯鄉，多霧，日光照射較屏東為弱。

在農試所，進行了二次試驗，完全使用太陽能進行乾燥作業，日落後停止，結果摘要列於表二。十一月六日開始的試驗，進穀量為 1050 公斤，初含水率 18.7%，歷 21 小時，迄末含水率為 11.7%。在試驗期間時陰時晴，四周大氣溫度約在 22°C~30°C 之間，乾燥機內熱風溫度約在 26°C~35°C 之間，熱風溫度顯然較一般箱式乾燥機設定之 40°C 為低，所以是次試驗乾燥速率僅為 0.33 % hr。乾燥均勻度及胴裂率情況均良好。

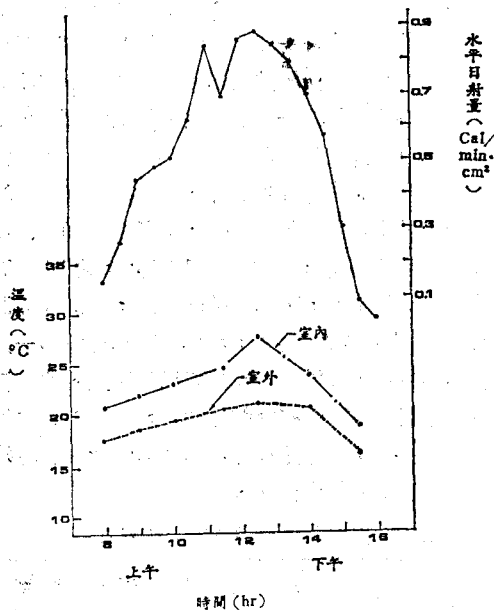
十二月十八日開始的試驗，進穀量 1756 公斤，初含水率 27.5%，末含水率 12.3%，共歷時 55 小時。在試驗期間，天氣亦時晴時陰，四周大氣溫度約在 9°C~29°C 之間，最低外界氣溫較前一次試驗為低甚多，因為曾有飄細雨現象發生。乾燥機內熱風溫度為 17°C~30°C 之間，亦較前一次為低，故此次試驗乾燥速率僅得 0.28 % hr。乾燥均勻度及胴裂率情況均良好。

表二 圓筒式太陽能乾燥機試驗紀錄

試驗地點	臺中霧峯 (省農試所)	臺中霧峯 (省農試所)
試驗日期	69.11.6~11.10	69.12.18~12.27
水稻品種	台農67號	台農67號
乾燥方式	太陽能	太陽能
稻穀重量 { 開始 (kg) 結束	1050.0 943.0	1756.3 1456.1
胴裂率 { 開始 (%) 結束	6.3 8.3	5.3 6.3
	增加	1.0
含水率 { 開始 (%) 結束	18.7 11.7	27.5 12.3
	減少	15.2
乾燥時間 (hr)	21	55
耗電量 (kwh)	58.39	155.28
大氣溫度 { 最高 (°C) 最低	30 22	29 9
熱風溫度 { 最高 (°C) 最低	35 26	30 17
乾燥速率 (%/hr)	0.33	0.28
乾燥均勻度 (%)	0.58	0.46
乾燥後顏色	正常清潔	正常清潔
稻穀品質 { 氣味	無異味	無異味

茲選取十二月十九日所紀錄之水平太陽能輻射量及太陽能乾燥機內外氣溫數據為例，如圖六，可

知以是日太陽熱能使乾燥機內外氣溫差 $3^{\circ}\sim 6^{\circ}\text{C}$ 。此相差之溫度亦即為太陽能加熱之效果。冬天，太陽輻射能較弱，能提高空氣溫度能力較低。



圖六 六十九年十二月十九日 水平日射量及圓筒式太陽能乾燥機室內外空氣溫度

由以上初步試驗及觀察，筆者認為：

(一)本機運轉情況良好，多孔圓筒滿載時無打滑現象發生。多孔圓筒與下通風道間之密封採用滾子式構想甚佳，惟是否耐久有待證明。

(二)在冬季，本省日照較弱，天氣亦較差。本機以目前之設計如完全利用太陽能乾燥稻穀，則乾燥速率偏低，將需要開啓輔助燃燒器以提高乾燥速率。

到了夏季，第一期水稻收穫期間，本省各地日照漸趨強烈，本機完全利用太陽能乾燥，其乾燥速率可望達到一般乾燥機之乾燥速率，此仍待日後試驗證明。

(三)本機進穀口高過人肩，離地約 1.8 公尺，進穀困難，必須設法解決。但又因出穀口高，離地約 1.1 公尺，穀粒可以自然下落順利裝袋，允為本機設計上之一優點。

六、建 議

一種簇新設計初次製作完成的機械，其初試驗結果，必然是難以令人滿意者居多。一方面固然由於試驗方法上經驗不足，使本機優點未充分發揮，

另一方面結構設計上亦有缺點，影響效果。圓筒式太陽能乾燥機經前述初步試驗及觀察，需改進之處可歸納為下列幾項：

(一)結構設計方面

本機需要進一步改良提高太陽能的利用效果，俾使冬季良好天氣時，有較高的乾燥速率。

同時，圓筒太陽能乾燥機進穀口位置偏高，進穀不易。如用電動輸送帶，問題即可迎刃而解。但一般輸送帶價格頗高，難以採用。

初步構想值得一試的解決方式有下列二種：

1. 在前門最上方頂端安裝一懸肩鐵樑，再配以簡單滑輪及吊索以槓桿原理將每袋重約 80 公斤的稻穀一袋袋由下往上送入進穀口。

2. 降低進穀口位置，亦即設法降低圓筒位置。此有賴下通風的扁形化及底座支持輪輪子在非使用期間能予以取下或降低。

(二)試驗方法方面

完全利用太陽能乾燥試驗應再多進行幾次，並應當進行完全利用輔助燃燒器的乾燥試驗以了解燃油使用效率，以及在太陽能供應微弱時配合使用燃油的乾燥試驗。由不同試驗方式結果比較，尋找此新型太陽能乾燥機的最佳利用方法（包括進穀量的多少及操作方法）。

(三)理論分析方面

有關圓筒式太陽能乾燥機的熱傳及乾燥模式已初步規劃出來，以後當利用這些模式指出其結構設計在提高熱效率方面需要作的種種改良。希望圓筒式太陽能乾燥機與太陽能應用理論密切配合，以使其熱效果達到最佳境界。

七、謝 啓

本研究承行政院農業重點研究計劃經費補助，又承高雄區農業改良場李明堆股長，臺大農工系李庭槐、研究助理陳晁峯、吳枝榮及省農業試驗所技士鄭榮瑞諸位先生協助試驗及資料整理，在此敬申謝忱。

八、參 考 文 獻

1. 張漢聖：太陽能烤菸（稻）系統之研究試驗。農業工程學報，Vol. 23, No. 2, 1977.
2. 張漢聖，李庭槐：溫室型太陽能乾燥系統室內空氣之預估。農業工程學報，Vol. 24 No. 4, 1978.
3. 張漢聖，林金猷，吳啓安，徐開民：太陽能乾燥室之試驗研究。臺大農工系，民國六十七年九月。

4. Huang, B. K. and H. S. Chang. 1976. Circuit simulation analysis of heat transfer effect in solar drying. ASAE paper No. 76-3019.
5. Chang, H. S. 1978. Solar energy utilization in a greenhouse solar drying system. Agricultural Mechanization in Asia (AMA), Vol. IX, No. 1. 1978.
6. Jordan, K. A., B. K. Huang, and C. Magee, 1975. ECAP in agricultural engineering teaching and research. Trans. ASAE Vol. 18, No. 3, p. 569-599.
7. Huang, B. K. 1972. Digital simulation analysis of biophysical system. Trans. IEEE, BME-19(2):128-139
8. Duffil, J. A. and W. A. Beckman. 1974. Solar energy thermal processes. Wiley Interscience, N. Y.
9. Holman, J. P. 1976. Heat transfer. 4th edition. McGraw-Hill Book Co. N. Y.
10. Ozisik, M. N. 1973. Radiative transfer and interactions with conduction and convection. John Wiley and sons, Inc. N. Y.
11. Siegel, R. and J. R. Howell. 1972. Thermal radiation heat transfer. McGraw-Hill Book Co. N. Y.
12. Henderson, M. S. and R. L. Perry. 1976. Agricultural process engineering. The AVI Publishing Co., Westport, Conn. U. S. A.

專營土木、水利、建築等工程

惠基營造有限公司

負責人：蔡 榮 達

地址：臺中縣霧峰鄉甲寅村草湖路90巷19號