

太陽能烤菸(稻)系統之研究試驗

Solar Energy Utilization in A Bulk Curing and Drying System

臺灣大學農業工程系副教授

張 漢 聖

H. S. Chang

一、引 言

菸草是本省最重要的經濟作物之一。本省每年所生產的菸葉，除了供應公賣局製香煙外，乾菸葉尚有部份外銷。香煙公賣為國庫主要來源之一，外銷為國家爭取了鉅額的外匯。

菸葉收割後需經烤乾才能儲藏加工。本省多年來菸農所沿習使用的烤菸法是把菸葉一片片穿聯於竹竿上，然後吊掛在烤菸室內，費工既多，同時在烤菸室內是以自然空氣上升式乾燥菸葉，空氣流動慢，烤菸時間長，因之費時又久，菸農相當辛苦，有時連舊曆過年期間尚不得休息，這種情況如不經實地調查了解，幾令人不敢相信。

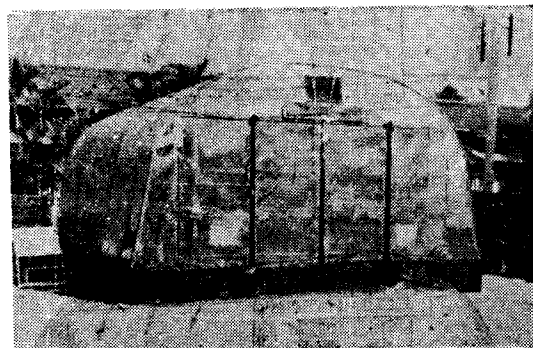
晚近在屏東地區自日本引進了新式堆積烤菸室，較舊式烤菸法省工多了。鑒於近年來國際石油價格節上漲，新式堆積烤菸室所消耗的燃油數量已是值得注視的問題。如何改良新式烤菸室，以節省燃油消耗，降低烤菸成本，亟待研究。

太陽能取之不盡用之不竭，利用太陽能於加熱水，或發電，或淡化海水等等研究已在世界先進國家積極地展開，迄今已有許多成功的例子。至於利用太陽能烤菸却是我國旅美學人現在北卡羅林那州立大學任教的黃國彥博士所首創。據他最近的研究報告指出，利用太陽能烤菸要比一般新式烤菸室節省近百分之四十的燃油消耗，這是一個相當可觀的成果。本省地處亞熱帶，終年太陽猛曬，太陽能極為豐富，尤其是在高屏主要產菸地區為甚，如此豐富太陽能不善加利用，誠屬暴殄天物。

本試驗目的在引進黃國彥教授研究發展成功的太陽能烤菸室，探討適合本省農業環境的合理設計型式，並擴大其用途兼用以烘乾稻谷及乾燥其他農作物。希望此項試驗研究有助於將來節省能源，降低農業生產成本，增加農民收入。

二、太陽能烤菸室的設計與結構

太陽能烤菸室的外觀為半圓筒形(圖一)，其縱軸方向係南北向，如此設計則太陽能的吸收率可達到



圖一 太陽能烤菸室之外觀

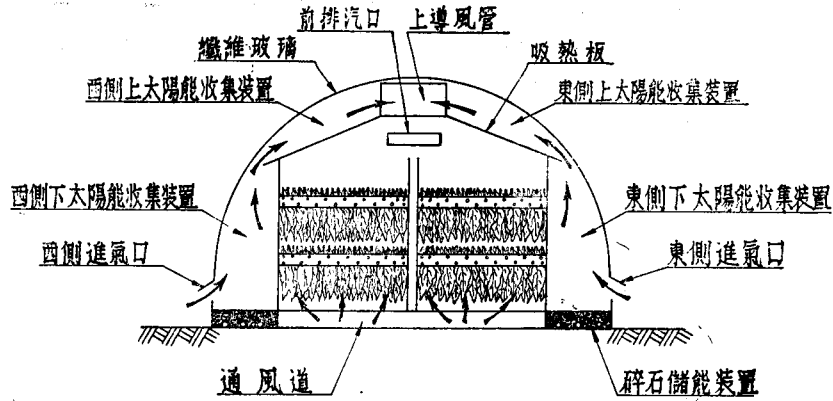
其最大量。太陽能烤菸室的剖面示意圖參見圖二，室內熱空氣流動示意圖參見圖三。

太陽能烤菸室的基本結構係由下列幾部份組成。

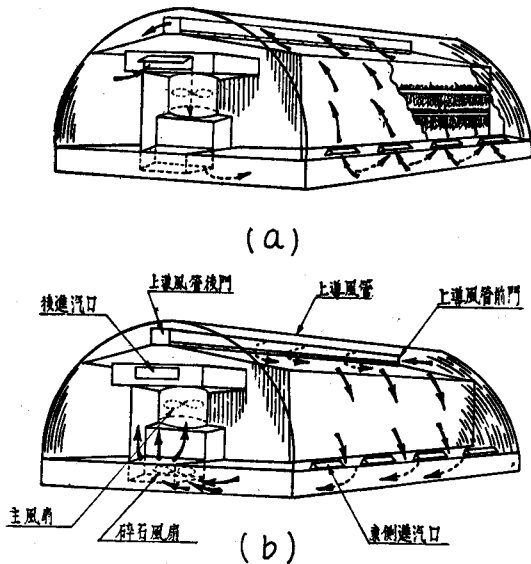
- 一、太陽能收集裝置
- 二、太陽能儲存裝置
- 三、烤菸室
- 四、熱爐及熱風循環裝置

太陽能收集裝置：

太陽能收集裝置係由透明纖維玻璃(transparent fiberglass)及吸熱板(heat absorber)二者所組成(圖二)。透明纖維玻璃厚 0.05 公分，屬平板型，本擬採用浪板型，以增大其透光效果，限於政府規定建築高度不能超過三公尺，是故烤菸室頂部結構曲度加大以降低其高度，浪板型纖維玻璃板彎曲度極小，過大即破裂，故無法採用。吸熱板有二種型式，面向上者(圖二)，由薄鋁板夾絕熱泡綿板而成，其向上表面塗以黑色不反光油漆，使吸熱板表面有最大幅射能吸收率。側面之吸熱板(圖二)則是 1.5 公分厚



圖二 太陽能烤菸室橫切面示意圖



圖三 太陽能烤菸室內部空氣流動途徑在
(a) 直接利用太陽能狀況
(b) 儲存太陽能狀況

之三夾板表面塗以黑色不反光油漆。太陽光屬短波當其穿透過纖維玻璃之後即被吸熱板吸收，吸熱板表面溫度隨之升高，於是向外大量散發輻射熱，這時吸熱板散發的輻射熱已是長波，恰好纖維玻璃對長波具不透明 (Opaque) 之特性，換言之，長波不能穿透過玻璃外流，因之長波輻射熱被困留在纖維玻璃與吸熱板組成的空間內。吸熱板表面自是保有高溫度，這時如有空氣流經此一空間，即會被加熱而成為熱空氣。

每一吸熱板所能吸收之太陽能 (Q_s)，可由下列公式估計之：

$$Q_s = (q) (\text{coeff. of transparency of the fiberglass wall}) (\text{absorptivity of the surface}) (\text{area of the surface}) \dots (1)$$

$$q = \frac{\cos \theta}{\sin \beta} (H_t - H_d) + \frac{1}{2} (1 + \cos \phi) H_d + \frac{1}{2} (1 - \cos \phi) \rho H_t \dots (2)$$

其中

q = total radiation incident upon tilted surface per unit time per unit area (w/m^2)

H_t = total radiation incident upon a horizontal surface per unit area (w/m^2)

H_d = diffuse radiation incident upon a horizontal surface per unit time per unit area (w/m^2)

θ = incidence angle of solar energy upon the tilted surface

β = altitude angle of the sun

ϕ = tilt angle of the surface from the horizontal

ρ = ground surface reflectance

上列 θ 及 β 則由下面公式求得

$$\cos \theta = \cos \beta \psi \sin \phi + \sin \beta \cos \phi \dots (3)$$

$$\sin \beta = \cos L \cos H \cos D + \sin L \sin D \dots (4)$$

其中

ψ = wall solar azimuth angle and is the angle in a horizontal plane between the surface's azimuth and the sun's azimuth

L = latitude

H = hour angle

D = sun's declination

太陽能儲存裝置：

太陽能儲存裝置由碎石（卵石）及包圍其四周之空心磚短牆及水泥地面而組成（圖二）。晝間太陽光曝曬碎石表面，熱能藉傳導慢慢深入累積其中，如強制使空氣由太陽能收集裝置流入碎石中則儲熱作用更快更強。所儲存之熱能，於晚間太陽下山之後即可加以利用。

太陽能儲存裝置所能儲存之熱能，可由下述公式估計之（6）。

$$EC_{h_s}(t_1, \Delta t, \tau_f) = \dot{m} c_{t_f}(t_1) \int_{\tau_0}^{\tau_0 + \tau_f} \delta t(\tau) d\tau - L \tau_f [t_1 + \frac{\Delta t}{2} - t_a] \dots \dots \dots (5)$$

其中

EC_{h_s} = effective heat storage capacity (J)
 t_1 = initial temperature of storage system ($^{\circ}C$)

Δt = change in temperature ($^{\circ}C$). Considered a step by Kelly and Hill (6)

τ_f = fill time of storage system (s) and defined as time required to bring energy storage state of system at t_1 to state at $t_1 + \Delta t$ with constant flow rate \dot{m}

\dot{m} = flow rate of transfer fluid (kg/s)

$c_{t_f}(t_1)$ = specific heat of transfer fluid at t_1 (J/kg $^{\circ}C$)

τ = time

L = heat loss rate of storage system (W/ $^{\circ}C$)

t_a = average ambient air temperature ($^{\circ}C$)

τ_0 = initial time

$\delta t(\tau)$ = inlet temperature $t_{in}(\tau)$ minus outlet temperature $t_{out}(\tau)$ of transfer fluid ($^{\circ}C$)

烤菸室：

烤菸室用以堆積待烤之菸葉。本座試驗用烤菸室分成左右二個相等隔間（圖二），每一隔間之三夾板隔牆上均裝有 L 型之鐵軌二條作為「裝菸架（Rack）」放置之用。即每一隔間各有二層裝菸架，每一層放置九個裝菸架，每一裝菸架所裝葉約在六十公斤，故烤菸室全荷量約在二一六〇公斤左右。

熱爐與熱風循環裝置：

熱爐及熱風循環裝置位於烤菸室後面（圖三）。熱爐功用在於加熱流經其中之空氣，提高空氣溫度至指定需要度數。因此，熱爐配有燃燒機及自動點火裝置以及溫度控制儀。由於在烤菸期中之葉片及中骨乾燥期均需要每小時升溫若干，故溫度控制儀必須包含自動升溫器。溫度控制儀上定好所需要的溫度後，如乾燥空氣溫度低於所定溫度則控制儀即通知燃燒機自動點火注入燃油燃燒以提高乾燥空氣氣溫。

熱風循環裝置由一臺主風扇及一臺副風扇組成（圖三（b）），主風扇由一 3 馬力馬達帶動，副風扇則由一 1 馬力馬達帶動。主風扇之功能為強制循環熱風於菸葉中，使菸葉黃變或乾燥。副風扇又可稱為碎石風扇其功用為儲存太陽能於碎石中及晚間由碎石中釋出儲存熱能（圖三（b））。

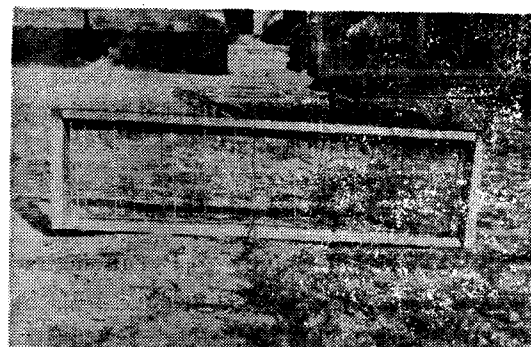
晝間室外空氣由東西兩側進氣口（圖三（a））進入纖維玻璃與吸熱板組成之空間，由下而上流，流入上導風管中，往後流經主風扇、熱爐、再吹至下通風道（Plenum），再往上流經多孔板，流入菸葉中。東西兩側之進氣口可藉開關之大小以節制流入之空氣量。

三、太陽能烤菸室的操作方法

太陽能烤菸室的操作方法依前後順序分成三個階段：

(一) 進菸：

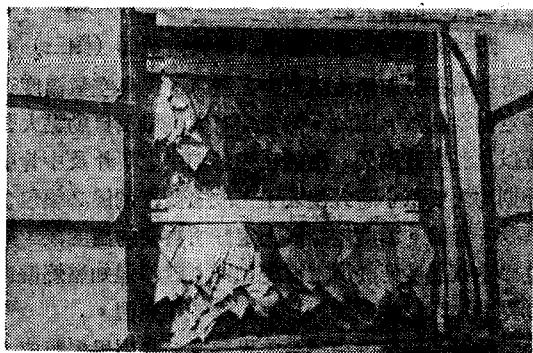
菸葉過磅由「裝菸架」（圖四）夾住，依順序放置在烤菸室之 L 形軌道上。（圖四）



圖四 裝 菸 架

(二) 烤菸：

烤菸分成三個時期即，黃化期（Yellowing），葉片乾燥期（Leaf drying）及中骨乾燥期（Stem



圖五 烤菸室已裝滿菸葉待烤

drying)。黃化期之時間約為 50 至 60 小時，溫度初期為 38°C 末期 43°C，相對濕度初期 85% 以上，末期為 75%。葉片乾燥期之時間約為 60 小時，溫度 43°C 至 55°C。中骨乾燥期之時間約為 17 至 24 小時，溫度 55°C 至 70°C，以上所列溫度及小時數依實際情況略有更變。黃化期烤菸室內不需高溫，故晝間太陽能往往過剩，需要儲能以便夜晚利用，其儲能過程（圖三 (b)）為啓動碎石風扇，使室外空氣經由上導風管吸入，由上而下，流經吸熱板表面，再流入碎石中。葉片及中骨乾燥期，白天直接利用太陽能，其利用方法（圖三 (a)）是，室外空氣由東西兩側進氣口進入太陽能收集裝置，由下而上，流入上導風管中，再往後流入熱爐中，至下通風道，往上進入菸葉中。黃化期及葉片乾燥期中夜晚如需脫水，其脫水過程則為使熱空氣由烤菸室上部流出，進入纖維玻璃與吸熱板組成之空間，此時室外氣溫低，熱空氣與纖維玻璃一經接觸其中水份立即凝成水珠附於纖維玻璃之上，漸漸積重順流而下排於室外。

(三) 出菸：

已烤乾之菸葉在未出菸前應予回濕至葉片稍軟握在手中不致破碎，即可出菸。

四、試驗用儀器

本試驗原擬採用 Eppley 之 Pyranometer 以記錄每日太陽能之輻射量及 Digitec 之多點式溫度測定打字記錄儀，以打字記錄試驗有關各點溫度。這些儀器直接向美國採購均未能於試驗進行前運抵臺灣，故就已有儀器進行測定，太陽輻射能記錄儀無由借得從缺。溫度記錄，採用日製神港多點電阻式自動溫度記錄儀（型式 MR-6R）以記錄太陽能烤菸室在烤菸作業中之有關溫度。

五、結果與討論

太陽能烤菸室於去年十二月十九日趕工完成，之後迄今年二月十日共進行了三次烤菸試驗。其中第一次試驗，為配合黃國彥教授回國現場指導，匆促裝菸進行試驗，鮮菸葉量不足所需，烤菸室未能發揮其正常功能，故第一次試驗可視作是試車。

三次試驗有關試驗期間，烤菸時數，耗油率等等均列於表一。室外氣溫，在太陽能收集裝置中空氣之溫度，以及空氣在菸葉層中之溫度比較參見圖六。

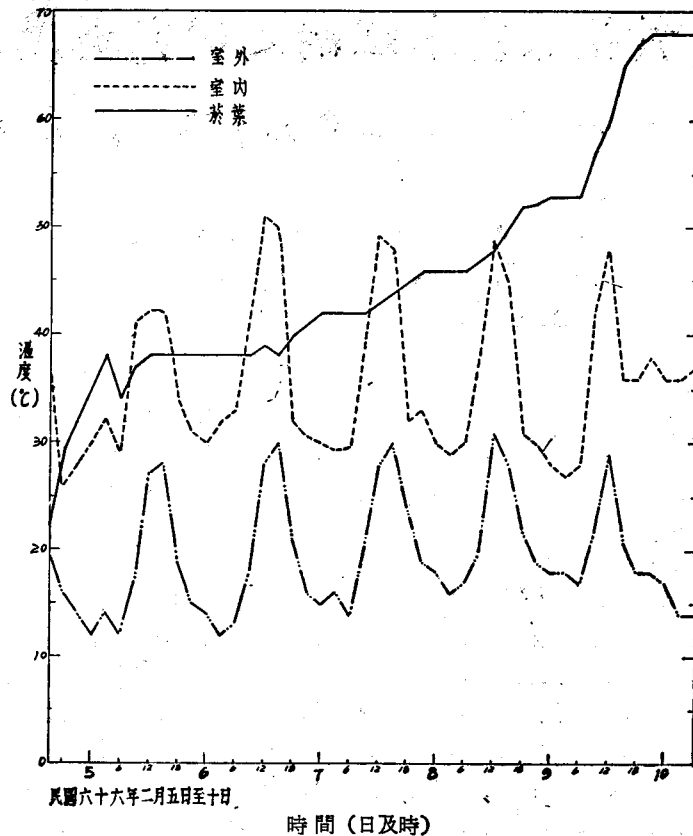
表一 烤菸試驗之統計資料

次 別	第 二 次	第 三 次
起 訖 時 間	1 月 15 日 下午 3:30 至 1 月 21 日 下午 6:30	2 月 4 日 下午 3:00 至 2 月 10 日 上午 9:00
共 需 小 時 數	147	138
鮮 菸 葉 重 量 (公 斤)	2160	1996
乾 菸 葉 重 量 (公 斤)	328	345
耗 油 量 (公 斤)	92	136
耗 油 率 (公 斤 柴 油 / 一 公 斤 乾 菸 葉)	0.3	0.4

※註 第一次試驗為試驗為試車性質

太陽能烤菸室將來是否有推廣價值，其能節省燃油量的多寡是最重要考慮因素，再者為太陽能烤菸室之多角用途。由表一，可知第二次試驗耗油率為每公斤乾菸葉需 0.3 公斤之柴油，第三次試驗成績略差即每公斤乾菸葉需要 0.4 公斤之柴油，第二次試驗期中，每日天氣均晴朗偶陰。第三次試驗在黃變期及葉片乾燥天氣均佳，惟在末期即中骨乾燥時，時值室內需高溫進行中骨乾燥，而室外天氣轉壞，寒冷且下雨，以致耗油量驟升，如無此現象則第三次試驗耗油率可望降低至 0.3 左右。據查一般日製新式烤菸室耗油率約在 0.4 至 0.7 之間，如以 0.5 計算則太陽能烤菸室較新式烤菸室粗略保守估計約可節省近百分之四十的燃油消耗。

太陽能烤菸室之所以能節省燃油消耗參看圖六。由圖六，可知太陽能收集裝置可提高進入其中空氣溫度約攝氏二十度左右，能提高溫度之多少視每日太陽能量的多少而定。在黃變期，烤菸需要的溫度為 34~38°C 之間，此種空氣溫度在晝間利用太陽能加熱可輕易到達不需消耗燃油。在葉片乾燥期中期以後至烤菸完畢，太陽能所能提高之乾燥空氣溫度已不足所需，但由圖六，可知已經太陽能收集裝置預熱後再由



圖六 烤菸期中空氣溫度之變化

熱爐加熱使空氣再升溫所需之燃油自然比直接由室外空氣加熱使其達到所需溫度要節省許多。

本試驗用太陽能烤菸室座落於屏東菸葉改良場內自開始繪圖迄興建完成，時間匆促，以致完工後發現頗多缺點，直接影響其熱效能，即烤菸及乾燥效果。待所有缺點更正後，烤菸所關的耗油率等當可望有更佳成績，並將略加修改以進行烘乾稻谷及乾燥其他農作物試驗，期能成爲一實用多用途之太陽能乾燥系統。

六、謝 啓

本計劃爲我國旅美學人黃國彥教授於民國四十三年間回國參加國建會議之便與農復會共同建議公賣局資助而擬定。由黃教授提供設計參考圖樣，臺大農工系講師劉昆揚負責執行，公賣局菸葉試驗所吳啓安先生協助。及至試驗裝置甫行完工，劉講師即出國進修，乃改由著者負責試驗吳啓安先生協助烤菸溫度之調整，並作成此一報告。

本計劃執行期間，承農復會彭技正添松，公賣局徐組長瑞北，林技正煊輝，張科長文增，熊鈞亭先

生，菸試所陳主任盛炎，以及臺大農工系系主任嘉昌，李教授廣武等先生積極參與並指導，始克有成。又屏東菸葉改良場買主任靖卿暨全體員工鼎力協助，得以圓滿達成試驗，在此敬致謝忱。

七、參 考 文 獻

1. Bailey, P. H. and W. F. Williamson. 1965. Some experiments on drying grain by solar radiation. *Journal of Agricultural Engineering*, (103):191-196.
2. Hill, J. E. and T. Kusuda. 1974. Method of testing for rating solar collectors based on thermal performance. *National Bureau of Standards. Report No. NBSIR-74-639.*
3. Hottel, H. C. and B. B. Woertz. 1942. The performance of flat-plate solar heat collectors. *ASME Trans.* 64:91-104.
4. Huang, B. K. 1975. Greenhouse-bulk curing and drying system. *United States Patent*

(下接第24頁)