

溫室系統設計試驗研究

The Study on the Design of Greenhouse System

臺灣大學農業工程學系講師

劉 昆 揚

K. Y. Liou

一、前 言

際此全球性能源危機，方興未艾，石油價格步步高昇，如何研究利用取之不盡，用之不竭的太陽能，實乃屬全人類當急之務。而「民以食為天」，如何將太陽能應用於農業方面，更有其迫切重要性。

在北卡羅萊納州立大學，黃國彥博士曾完成一座舉世無雙而具有商業價值之溫室烤菸系統，根據黃博士對稻作乾燥、育苗作業完成之溫室乾燥、育苗系統構想，農復會於民國六十四年補助臺灣大學農業工程系，由作者設計、監造溫室乾燥、育苗系統，其間曾蒙黃博士作兩次構想，結構之修正，將分別加以說明。

二、溫室乾燥、育苗系統之構想與原理

黃國彥博士之溫室乾燥、育苗系統構想中，包括乙座可隔成上下兩半，透明外殼的溫室，一自動攪拌，緩慢轉動的圓筒，一套熱傳遞用的送風系統，一套儲能設備，一部輔助能源用的燃燒器。此系統可作穀類之乾燥、倉儲、亦可作稻作、蔬菜、花卉之育苗；其構想圖如圖一所示。其原理分別說明如下：

A. 穀類之乾燥：

溫室乾燥原理之利用方法有三。其一為白天直接利用太陽能高溫乾燥穀物，其二，夜間利用低溫低濕乾燥穀物，其三，陰雨天利用凝聚脫水方式乾燥穀類。分別說明如下：

1. 太陽能穀物乾燥法

太陽能穀物乾燥法與一般穀物乾燥法無異，利用太陽能加熱新鮮空氣，由壓力風扇強迫熱風穿越穀層，此時有兩項方式同時進行，在滾筒兩邊進行薄層乾燥 (Thin layer drying)，其適用公式如下

$$\frac{M - M_E}{M_0 - M_E} = e^{-kt} \dots \dots \dots (1)$$

式中：

M = 時間 t 穀物水分含量。

M_E = 乾燥空氣條件下，穀物平衡水分含量，乾重基準。

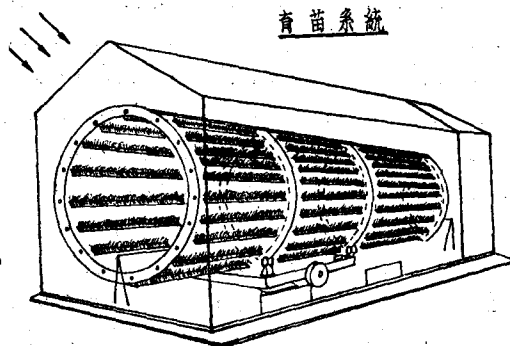
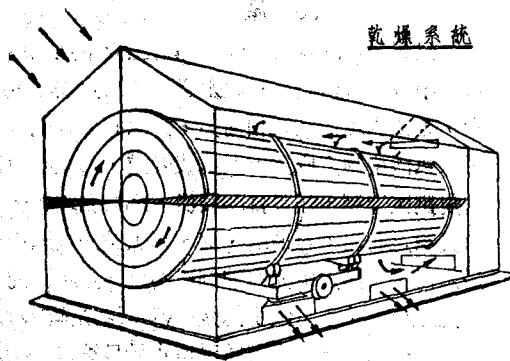
M₀ = 時間 t = 0，穀物水分含量 (乾重基準)。

K = 常數。

t = 時間。

而在滾筒中間部份進行深層乾燥 (Deep layer Drying)，其適用公式則是

$$\frac{dq}{dt} C_p (T_0 - T_E) = (M_0 - M_E) \frac{dw}{dt} L \dots \dots (2)$$



圖一 溫室乾燥育苗系統構想圖

式中：

$\frac{dq}{dt}$ = 乾燥空氣質量流率, lb/hr

C_p = 空氣比熱, Btu/lb-°F

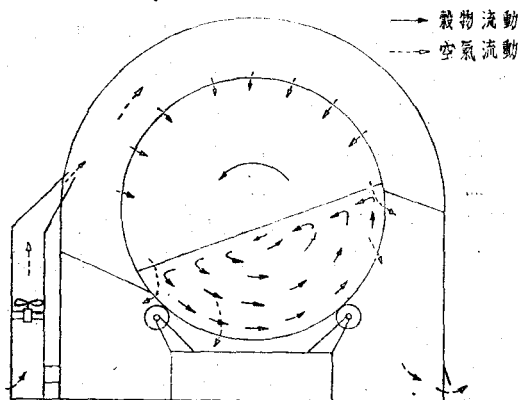
T_o = 乾燥空氣原始溫度, °F

T_s = 乾燥空氣與穀物水分含量平衡時排出空氣之溫度, °F

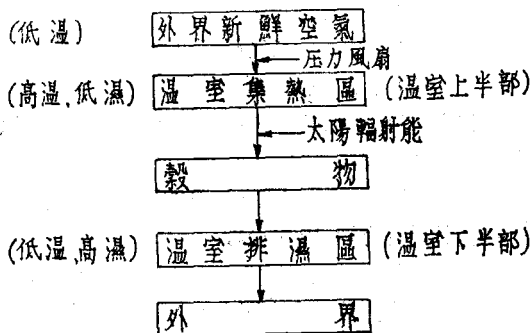
$\frac{dw}{dt}$ = 空氣供給達到平衡狀態, 穀物乾燥率, lb/hr (乾重)

L = 穀物中水分蒸發濕熱 Btu/lb

當滾筒轉動時, 上述兩項乾燥法交替進行, 如圖二。其空氣循環情形如下：

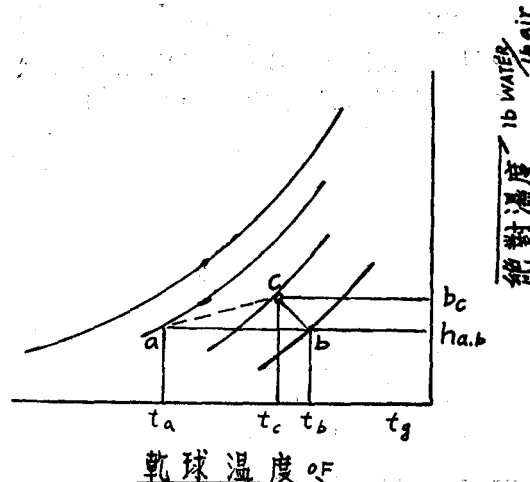


圖二 滾筒轉動時, 空氣流動圖



2. 低溫低濕乾燥法：

在晴天, 夜間大氣空氣溫濕度均低, 此時將外界低溫低濕空氣, 由壓力風扇送入滾筒中, 如上述程序, 此時穀物溫度高於輸入空氣之溫度, 以至發生兩種現象; 其一, 先加熱空氣, 再沿斷熱過程, 帶走穀物表面之水分, 如圖三所示。其二, 由於穀溫高於外界空氣溫度, 在穀物外殼表面形成凝聚, 而被流動空氣帶走, 而具有均質與乾燥效果。



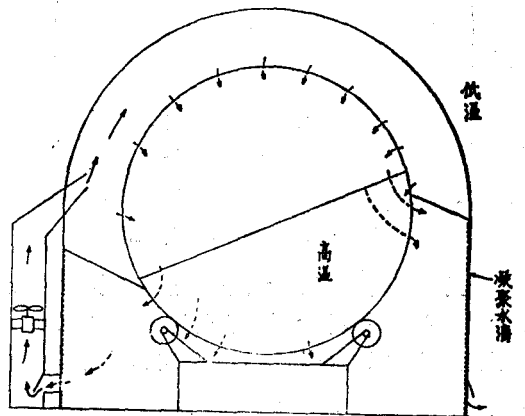
圖三、低溫低濕空氣乾燥過程

t_a 空氣受 t_s 穀物之潛熱, 加熱至 t_b , 再沿斷熱過程至 C 點。

低溫低濕乾燥法, 就如同食品放置冰箱中, 久置, 食品將被乾燥一樣, 利用此法於穀物乾燥中, 可以保持穀物之品質與味道, 但是此法在穀物高溫高濕時有效, 一旦穀物變成低溫, 則只能維持平衡含水率, 或可能變成回潮現象, 非常幸運的, 在低溫低濕乾燥穀物過程中, 平衡含水率都低於實際穀物含水率, 而不至於回潮。此法在穀物乾燥前半期有效。

3. 低溫凝聚脫水乾燥法

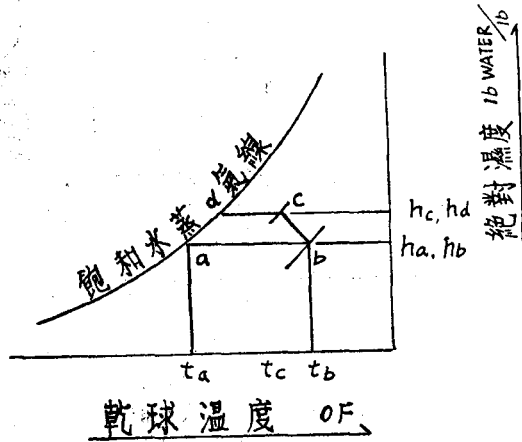
當在雨天, 溫室外溫度低, 濕度高, 如引進此時之空氣, 不但無乾燥效果, 反而導致回潮; 此時關閉溫室與外界通風口, 而在溫室內空氣循環, 如圖四, 由於穀物溫度, 冷空氣經過穀物, 變成高



室外溫低濕度高時

圖四 密閉溫室系統空氣循環於溫室內於溫室外殼凝聚而排出溫室外

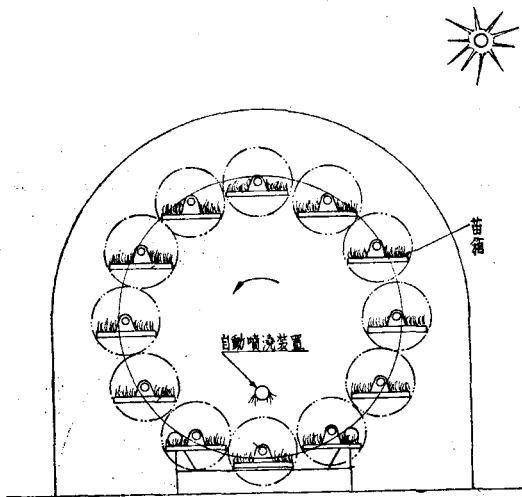
溫高濕空氣，流經溫室外殼時，由於遭遇低溫之外殼，以致產生凝聚，經過凝聚後之空氣再送入穀物中，進行平衡水分過程再次循環，如圖五所示。



圖五、低溫凝脫水乾燥過程
低溫飽和水汽 a. 由高溫之穀物加熱至 b, 再沿斷熱線至 c. 經外殼冷卻至 d. 再凝聚至 a. 再循環

B. 作物、蔬菜之育苗：

折下溫室內之上下隔半用之隔板，滾筒兩邊之筒蓋，將可獨立轉動的多孔盤平放，如圖六。



圖六 溫室育苗系統

再於滾筒中央部份，設一自動噴澆裝置。此時，由於滾筒之旋轉，達到自動均勻澆水之目的，加上溫室濕度之控制，可求達到最佳育苗之效果。

三、溫室乾燥、育苗系統之設計

溫室乾燥、育苗系統之設計因子如下：

- A. 穀物乾燥量
- B. 水稻育苗秧盤量
- C. 滾筒轉動速率
- D. 溫室太陽能有效收集量
- E. 空氣流動速率

欲乾燥穀物量與水稻育苗秧盤量為溫室乾燥、育苗系統之決定因子，當兩者有所衝突時，採取其較大之容量；滾筒之轉動速率，影響傳動馬力之大小，穀物乾燥之時間與均勻度；溫室太陽能有效收集量提供可能供給之太陽能源，輔助能源之需要與否，乾燥時間，是否需要能源之儲存；空氣流動速率直接影響乾燥速率，與均勻度。

分別說明如下：

A. B. 本計劃第一座溫室系統，係以三公頃農田之需求為基本單位，每一秧盤大小以 30公分×60公分規格，每一秧盤係以黃國彥博士設計之重力式插秧機規格為基準，每天插秧量 0.5 公頃，全部需要秧盤約 400 個，再根市面現有鐵板規格 4 尺×8 尺設計滾筒為三節式，每節 8 尺長，具有 144 個苗箱，分置於 16 個秧盤架上，以此結構轉變為乾燥之滾筒，其半徑為 163 公分。其計算方式如下：

$$\theta = 360^\circ \div 32k = 11.25^\circ/k \quad \text{每盤架圓心角}$$

$$h = 30\text{cm} / \tan\theta = 150.83\text{cm} \quad \text{秧盤至圓心垂直距離}$$

$$\therefore R = 150.82 + 2^{(A)} + 5^{(B)} + 1^{(C)} = 163\text{cm}$$

上式中：A：秧盤厚度 cm

B：秧盤至中心轉軸距離 cm

C：中心轉軸到圓周距離

以上直徑計算滾筒體積為 59.3 立方公尺以此容積利用於倉儲可容

$$59.3 \times 100^3 \times 0.528 \times 1000^{-1} \times 1000^{-1} = 25 \text{ 公噸}$$

如作乾燥可容納 12.5 公噸

C. 溫室太陽能有效收集能量，由溫室面積，溫室外殼材料，集熱裝置效率而定，其設計原則如下：

1. 溫室外之熱傳遞

$$*q_g = h_{o,v}(t)(\theta_{o,v}(t) - \theta_{o,g}(t)) + \{ \alpha_g [\lambda(t) (1 + n_{r,s} \cdot r_{o,s}) \times R_{r,s}(t) + R_{r,s}(t)] f_s(t) - \{ n_g R_{l,g}(t) \} \dots \dots \dots (A)*$$

[溫室外殼外之總熱傳 = 對流熱傳 + 短波熱傳 - 長波反射損失]

2. 溫室外殼之熱傳遞

假設無熱能儲存於玻璃纖維中。

$$*q_g = \frac{K}{l_g} (\theta_{o,g}(t) - \theta_{i,g}(t)) \dots \dots \dots (B)*$$

3. 溫室內之熱傳遞

$$q_g = \{h_{i_n}(\theta_{i_g}(t) - \theta_{i_n}(t)) - \{\alpha_g(\tau_d(t)(\delta(t) + n_{i_s}r_{i_s}) \times R_{s_d}(t)f_s(t)\} + \Sigma \text{地面、穀物} \Sigma_g \Sigma_j n_{g_j} \sigma_c(\theta_{i_g}(t) - \theta_j(t))\} - \{\mu k_m \xi_{i_g}(W_{i_n}(t) - W_s(\theta_{i_g}))\} \dots \dots \dots (C)*$$

[溫室內之總熱傳=對流熱傳-短波輻射+輻射熱傳-傳導熱傳]

* q_g : 單位面積中單位時間之熱傳量 kcal·m⁻²·hr⁻¹

$h_{o_n}(t)$: 溫室外殼對流熱傳係數 kcal·m⁻²·hr⁻¹·degC⁻¹

$\theta_{o_n}(t)$: 溫室外溫度 °C

$\theta_{o_g}(t)$: 溫室外殼溫度

α_g : 溫室外殼輻射能吸收係數

$\lambda(t)$: 太陽能直接照射量比例

n_{s_s} : 溫室外土地對溫室輻射能量係數

r_{o_s} : 溫室外土地對陽光之反射係數

$R_{s_d}(t)$: 直接輻射量 kcal·m⁻²·hr⁻¹

$R_{s_s}(t)$: 陽光漫射量 kcal·m⁻²·hr⁻¹

$f_s(t)$: 溫室窗戶熱傳損失係數

n_g : 玻璃纖維牆數

$R_{i_g}(t)$: 長波於溫室外殼之剩餘輻射能 kcal·m⁻²·hr⁻¹

K : 玻璃纖維熱導係數

lg : 玻璃纖維厚度

$\theta_{i_g}(t)$: 溫室外殼內側溫度 °C

h_{i_n} : 溫室內對流熱傳係數 kcal·m⁻²·hr⁻¹·°C⁻¹

θ_{i_n} : 溫室內溫度 °C

$\tau_d(t)$: 玻璃纖維平均輻射穿透率

σ : Stefan-Boltzmann 係數 kcal·m⁻²·hr⁻¹·°K⁻⁴

n_{i_s} : 溫室內地板對輻射熱之反射係數

r_{i_s} : 溫室內穀物, 地板全部綜合反射係數

Σ_g : 玻璃纖維折射係數

n_{g_j} : 玻璃纖維板內側對其他表面之輻射係數

$\delta(t)$: 玻璃纖維板內側對陽光輻射能吸收係數

C_j : 物質之潛能 kcal·m⁻³·°C⁻¹

μ : ○ (Enthalpy) kcal·Kg⁻¹

K_m : 質傳係數 Kg·m⁻²·hr⁻¹

ξ_{i_g} : 溫室內 i 物品之蒸發係數

$W_{i_n}(t)$: 溫室內絕對濕度 Kg·moist·Kg dry air⁻¹

$W_s(\theta_{i_g})$: 飽和水蒸氣 Kg·moist air/Kg dry air

根據上述公式, Dr. Takakura (2) 以電腦程式, 推衍出溫室模式, 本計劃利用其模式, 假定在日光能充足時, 則可得到 1.2kcal·min⁻¹·cm⁻² 之能量。

C. 滾筒轉動速率, 影響傳動馬力之大小及穀物乾燥時間與均勻度, 於滾筒轉動速率之設計, 必須考慮下列因子

1. 穀物於滾筒內之靜置角

2. 穀物重心位置

3. 傳動系統轉速與負荷。

當穀物盛置於滾筒中時, 由於滾筒之滾動及濕穀之影響, 其靜置角必大於平面之靜置角, 本設計假設其為 46° 而穀物之重心位置, 根據其幾何圖形, 當穀物置滿 1/4, 3/5, 2/5, 1/5, 半徑時之重心位置分別為 0.42, 0.56, 0.68, 0.79, 0.88 半徑處。當滾筒轉動時, 其傾斜角假設為 46 度則其扭力大小之計算為

$$T = a \times \cos\theta \times W \dots \dots \dots (D)$$

上式中 T: 扭力 Kg·m

a: 穀物重心至滾筒中心距離 n

θ : 靜置角

W: 穀物重 Kg

依此公式, 當穀物裝置半圓倉, 4/5 半圓倉, 3/5 半圓倉, 2/5 半圓倉, 1/5 半圓倉所需之扭力分別為

$$W \times 0.42 \times \cos 45^\circ \times 1.6 \dots \dots \dots \text{半倉}$$

$$W \left[\frac{2\cos^{-1}\frac{1}{5}}{2\pi} - \left(\frac{1}{5}\right)^2 \tan \cos^{-1}\frac{1}{5} \right]$$

$$\times 0.5 \times \cos 45^\circ \times 1.4 \dots \dots \dots \text{4/5 半倉}$$

$$W \left[\frac{\cos^{-1}\frac{2}{5}}{\pi} - \left(\frac{2}{5}\right)^2 \tan \cos^{-1}\frac{2}{5} \right]$$

$$\times 0.68 \times \cos 45^\circ \times 1.6 \dots \dots \dots \text{3/5 半倉}$$

$$W \left[\frac{\cos^{-1}\frac{3}{5}}{\pi} - \left(\frac{3}{5}\right)^2 \tan \cos^{-1}\frac{3}{5} \right]$$

$$\times 0.76 \times \cos 45^\circ \times 1.6 \dots \dots \dots \text{2/5 半倉}$$

$$W \left[\frac{\cos^{-1}\frac{4}{5}}{\pi} - \left(\frac{4}{5}\right)^2 \tan \cos^{-1}\frac{4}{5} \right]$$

$$\times 0.89 \times \cos 45^\circ \times 1.6 \dots \dots \dots \text{1/5 半倉}$$

公式 (D) 中 a 及 W 為變數, 依此公式求得本系統之滾筒最大扭力為 5,600Kg·m。

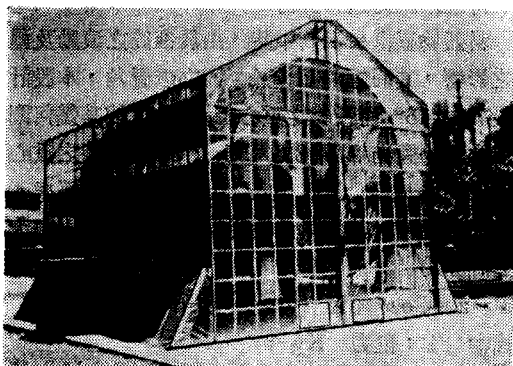
假設滾筒之轉速為 1/30 rpm, (半小時一轉), 則其可能最大功率為 190 Kg·m/min 亦即需約 0.04PS。在傳動系統中, 假定馬達轉速固定為 1800

rpm 則其傳動齒輪系之選擇與馬達的馬力大小即可求得，本系統設計以三匹馬力馬達為動力，以兩組正齒輪組為傳動系來帶動。

E. 空氣流動速率直接影響乾燥速率，由於本系統係深層乾燥及薄層乾燥交替進行，空氣壓力並非絕對因子，本設計採用 3500 CFM 風量，2.54 cm 水柱風壓之風扇。

四、溫室乾燥、育苗系統實驗

1975 年 6 月，臺大完成溫室系統乙座如照片 1，於 7 月 6 日開始進行試車及試驗。

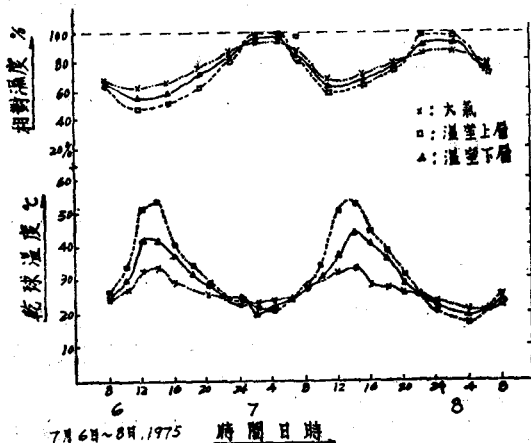


照片 1. 溫室系統全貌長 8 公尺 寬 5 公尺 3.5 公尺

本系統之性能試驗包括三項：A) 溫室集熱性能。B) 溫室育苗效果。C) 溫室乾燥水稻效果。其實驗方法及結果如下：

A) 溫室集熱性能：

以三匹馬力、3500CFM 風量、2.54cm 水柱風壓之振興牌離心式風扇吹送溫室外大氣空氣進入



圖七 滾筒內無穀物時，晴天溫室內上下層，大氣溫濕度與時間之關係

溫室頂層，再穿越多孔板進入滾筒，再至溫室下層，排出溫室外。實驗氣候分別於晴天、陰天、雨天各進行兩天。其結果及說明如下：

圖 7. 為晴天，滾筒內無穀物時，溫室內外溫度變化、相對濕度變化與時間之關係，由圖 7. 可知在晴天時，白天溫室上層溫度高於下層及室外溫度，於晚間溫室上層溫度低於下層溫度及室外溫度。

B) 溫室育苗效果實驗

將育苗盤架固定板放開，使各育苗盤架呈水平位置，將水稻種子依平常育苗程序（選種、消毒、浸種、催芽），放入育苗箱中，再放入育苗盤架，如照片 1. 另以一鑽有一列小孔之 1"φ 塑膠管作自動噴澆用。實驗材料先以 32 箱蓬萊水稻作實驗。

實驗期間 7 月 15 日~21 日，實驗初期，種子發芽均勻，但是由於此時大氣溫室溫度甚高，兩側門必須打開散熱，以致在第三天傍晚，由於無人看守，招致鳥害，秧苗被啄而告失敗。

C) 溫室乾燥水稻效果

由於溫室系統完成時，北部水稻業已收割完成，僅由臺大農場提供 3,625 公斤之 15 % W. B. 蓬萊水稻作實驗，實驗方法係將育苗盤架以固定板固定，以橡膠板堵住苗盤與圓環間隙，加上兩邊滾筒蓋，並以隔板分隔溫室成兩半，如圖 1. 以風扇強迫新鮮空氣進入溫室上層集熱，再透入滾筒穀層進入溫室下層，由窗口排出溫室外。

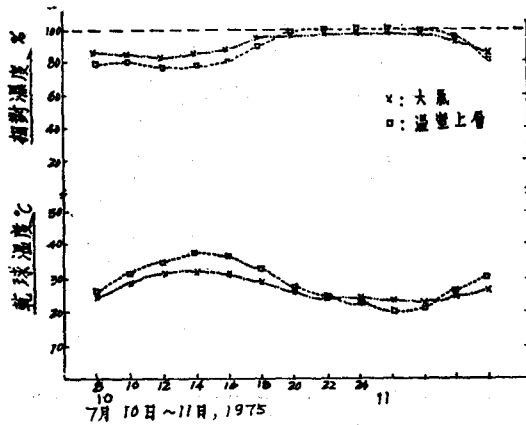
實驗結果

由於溫室隔板與滾筒之間之密封無法完全，先後以橡皮、海綿嘗試密封均告失敗，以致稻穀之乾燥只能以自然水分平衡乾燥方式進行，乾燥速率因而相當緩慢，由 15 % → 13 % W. B. 需時三天。取樣測定胴裂率結果輕胴裂 13 %，重胴裂 2 %，對照曬穀場曬穀輕胴裂 12 %，重胴裂 2 %，其胴裂率較曬穀場稻穀胴裂率為多，其原因為溫室內溫度過高導致胴裂率增加。

五、初次溫室乾燥、育苗系統實驗之檢討

1. 溫室集熱效果良好，可提高大氣溫度於白天平均約 10°C (由圖 7)，而於晚上如直接導室外溫度低之空氣，來利用於脫水乾燥亦將有效果。

2. 陰雨天氣，溫室外溫度低於溫室內溫度，而且外界濕度大 (如圖 8.) 此時如以凝聚方式乾燥穀物亦有效果。



圖八 滾筒內無穀物時，陰天溫室內上層與大氣濕度與時間之關係

3. 溫室育苗方式，有助秧苗之培育，但是需加人工或網保護秧苗；另則此項育苗育苗效益不大，旋轉設計複雜，封閉性不易完成。

4. 溫室內隔板之分隔溫室與轉筒不易封密，機械方式不易完成，原先之滾動摩擦變成滑動摩擦，增加傳動系統之負荷。

5. 晴天，溫室內溫度過高，以此溫度來做乾燥，將導致稻穀胴裂率之增加。

六、溫室系統之修正改良及試驗

基於初次試驗之缺失，黃博士於 1975 年 7 月提出構想之修正，廢除乾燥、育苗兼顧之構想，僅以乾燥、倉儲目標為主。其構想要點如下：

1. 於溫室下方兩側設儲能區，儲存白天多餘之太陽能，減少稻米乾燥時之胴裂率。

2. 設計單目標之溫室系統，使滾筒設計減化，降低成本。

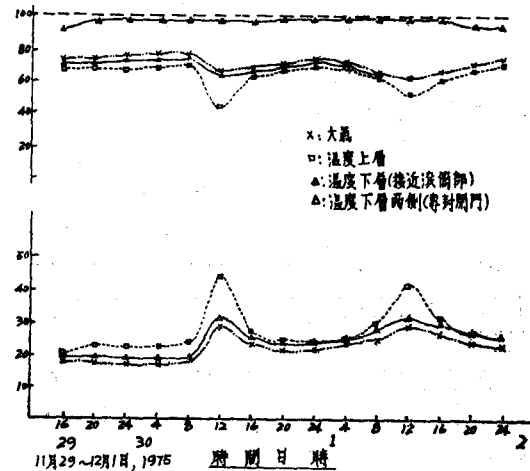
3. 滾筒傳動系統，由摩擦輪傳動方式改為鏈輪傳動。

4. 溫室結構由塑膠活動式改為玻璃纖維浪板拱

式方式。增加溫室壽命。

基於上述要點，臺大設計另一座溫室系統於安坑農場，由建成公司承製，於 1975 年 9 月完成，於 1975 年 11 月 29 日正式試驗乾燥稻穀。安坑農場溫室系統之乾燥試驗從十一月廿九日開始，斷斷續續至元月九日止，其間作兩次乾燥，第一次乾燥濕穀 3020.5 公斤，於廿九日下午開始，濕穀含水率 25 %，W. B. 實驗經過及結果分別說明如下：

廿九日天氣晴朗，夜間晴朗，氣溫在 17°C 至 18.3°C 之間，相對濕度 85 %，如圖 9 所示。



圖九 滾筒內盛穀，溫室內，外溫溫度變化關係夜間燃油

於圖 9 中，由於夜間燃燒燈油以輔助能源，溫室上層溫度均大於室外溫度，經過兩天之乾燥，稻穀水分含量由 25 % W. B. 降至 15.5 % W. B. 燃油 15 公升，至 1 日下午，由於傳動齒輪故障，試驗停止，至 12 月 3 日繼續乾燥至 5 日完全均勻乾燥至 13 % W. B. 以下。

12 月 18 日另作一次完整試驗，濕穀 2934 公斤平均含水率 23 % W. B. 不燃油試驗，其試驗結果如表一

表一 稻穀含水率變化與溫差時間三關係

時間	日 18 時 16	19 16	20 16	21 16	22 16	23 16	24 16	25 16	26 16
期稻穀含水率 %W. B.	23	19.2	18	17	16.5	15	14.6	14.2	13.2
白天溫差 (平均%) °C	+ 9.5	+ 9.2	+ 9.2	+ 8.4	+ 8.2	+10.1	+ 9.0	+ 9.2	+10.2
晚上溫差 (平均%) °C	-0.05	- 0.1	+ 0.2	- 0.5	- 0.1	+1.02	- 0.3	- 0.4	+1.10
儲能區溫度變化 °C	±5°C	± 4.3	± 4.3	± 4.0	± 4.0	± 4.7	± 4.2	± 4.0	± 5.1

由表一中，得知由於白天乾燥效率大於晚間脫水效果，(白天溫差遠大於晚間溫差)，稻穀乾燥率以初期較為有效。

另作胴裂率試驗。當稻穀含水率降到 13.2 % W. B. 時，取三處樣品，其平均胴裂率（百粒稻穀），輕胴裂 5 %，重胴裂為 0 %，比照晒穀場稻穀輕胴裂 11 %，重胴裂 2 %，其原因為儲能區發揮效用，降低熱空氣溫度，以致減少胴裂。

七、溫室系統修正改良試驗之檢討

經過兩次試驗其結果乃難令人滿意，其缺點如下：

1. 溫室隔板與滾筒之間之密封問題仍舊未能解決，前述乾燥法，均未能有效利用。
2. 滾筒本身散熱快，溫室上層之熱室氣多由滾筒本身熱傳到溫室下層而排出，效率降低。
3. 溫室上層之溫度極高，由於形成死空氣，此能源並未能送入穀層加以利用。

八、溫室系統之再修正

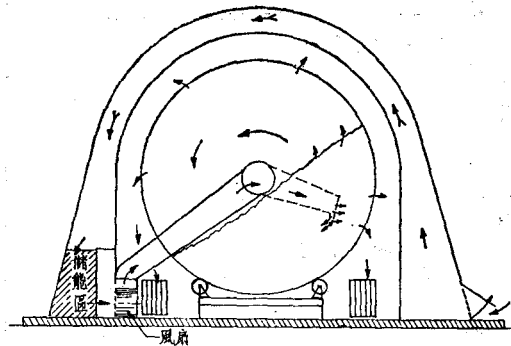
1976 年 10 月黃博士再度返國，對本系統做結構上之再修正案，黃博士建議以空氣隔板方式解決隔板問題，其他導熱系統照舊。如屏東改良場溫室系統者。

此系統尚未經實驗，然而以筆者之經驗，此系統依然未能解決 1. 溫室上層熱空氣死角之問題，2. 滾筒之熱傳損失問題。

九、結論及建議

由溫室乾燥育苗系統之構想，試作實驗，得到如下之結論：

1. 溫室系統為一極為有效之太陽能收集與乾燥脫水裝置，如何有效利用太陽能之收集量來作乾燥將是未來的主要課題。
2. 滾筒式乾燥系統係有效的一自動攪拌之乾燥系統，可減少非乾燥作業所使用之動力。
3. 溫室添加儲能系統可提高乾燥效率，減少胴裂率。
4. 以筆者之構想，改變溫室系統結構，如圖 10 直接導溫室上層集熱區之熱空氣由兩邊中心進入滾筒稻穀中進行乾燥，必可提高乾燥速率。乾燥之基本原理乃在將乾熱空氣導入稻穀中必有效果。



圖十 溫室系統熱風不穿越滾筒直接加熱穀物之構想

十、誌謝

本計劃承農復會 74(ARDP) 資助，並承臺大安康農場協助合作，謹誌謝意。

本計劃承蒙黃國彥博士提供構想，黃弘哲工程師、鄭文欽工程師、王運圖先生、林華火先生、曾瑞雄先生協助製作試驗本溫室系統，並蒙農復會彭添松教授悉心斧正，獲益良多，謹此一併誌謝。

參考資料

1. 沈國文 1976. 「穀物貯藏與乾燥」，農業工程學報 Vol. 21, No. 2. p. 1-p. 27.
2. Takakura T. and L. L. Boyd. 1969. "Dynamic Simulation of Plantgrowth and environment in the greenhouse" ASAE paper No. 69-942.
3. Huang B. K. and C. F. Abrans. Jr. and L. L. Coats and C. G. Bower. Jr. 1975. "Development of greenhouse bulk Drying systems for solar energy utilization and plantbed mechanization" ASAE PAPER No. 75-1018.
4. Leva, M. 1959. "Fluidization", McGraw-Hill, Inc., New York, New York.
5. Shedd, C. K. 1953. "Resistance of grain and Seeds to air flow". Agr. Engr. 34 (5) 616.
6. Calderwood, D.L., 1977. "Rice Drying with solar heat". ASAE paper No. "77-3003"
7. Crane, A. B. and H. F. Zornig and L. C. Golbey 1977. "Dynamic thermal Analysis of a solar Residence/Greenhouse Design" ASAE paper No. 77-4019.
8. Cloud H. A. 1977. "Distribution Duct performance for through Ventilation of stored potatoes" ASAE Paper No. 77-4063.

Summary

1. Greenhouse system is very efficient in solar collection also in condensation during the night.
2. Its automatic agitation homogenizes the moisture content of grain (± 0.5 % W. B.) and reduces unnecessary labor and power in drying operation.
3. To add energy storage in greenhouse system can minimize kernel crack.
4. Heat transfer problem in original idea was serious. Improved system was mentioned in this report.