

水稻保溫育苗室蒸汽加熱器之設計研究

(初步報告)

Study of Selecting the Optimum-Sized Steam Heater for Rice Cooperative Nursery (Preliminary Report)

張 漢 聖

臺大農工系講師

黃 根 財

臺大農工系研究助理

Abstract

Steam boiler has been proved as an economical and efficient heating device for rice cooperative nursery. A model steam-heated nursery was constructed for the study on selecting optimum-sized steam boiler for currently adopted nursery. It was found that when the temperature difference between room and outside of the nursery is

maintained at any level from 20°C–30°C the equation, $W = \frac{A\Delta t}{\frac{x}{k} + \frac{1}{h_{out}}}$ (648.5 - t_{out} - Δt) can be used to estimate the flow rate of steam needed for the nursery without introducing any significant error.

一、引 言

本省水稻育苗傳統均採用秧田個別育苗，然後人工插秧。秧田育苗的最大缺點為易受氣候影響，周遭氣溫未必適宜秧苗發芽生長，尤其是在本省北部地區第一季水稻育苗期間，時值多季往往寒流頻頻，秧苗暴露於外非凍死即凍傷，常需重播，耽誤農時。又缺乏適當管理，秧田易遭蟲害、鳥害以致健全秧苗甚難育成進而影響產量，其次個別育苗浪費人力甚多，又不能配合高效率機械插秧要求。近年來由於本省工商業發達，農村青年紛紛到都市工廠謀生，在農村勞力日趨嚴重缺乏情況下，節省勞力推行水稻機械耕作以降低生產成本提高農民收入已是一致要求，而育苗插秧又是水稻生產過程中最消耗人力作業之一，其機械化更是有迫切需要。鄰國日本，早已從事此方面研究發展，已有完整系統的育苗插秧方式，建立大型電熱保溫育苗室將秧苗集中共同育成，予以科學管理配合高效率機械插秧。本省在此方面的試用研究則開始

於民國五十九年，在農復會經費補助下，由臺大農工系與臺北區農業改良場合作計劃在宜蘭三星鄉建立大型電熱保溫育苗室乙座，此是本省第一座水稻保溫育苗室，試行共同集中育苗配合機械插秧，並分析將來推廣之可能性，結果尚令人滿意。於是次年（民國六十年）省農林廳與農復會在合作計劃下，共推廣建立十七座電熱保溫室育苗，遍佈全省各地，期能擴大示範效果，使農民了解共同育苗機械插秧好處，藉以推動本省水稻全面插秧機械化。正巧，是年冬季育苗期間天氣較為寒冷，保溫室內電熱裝置產生之熱不足以將室溫提高至秧苗適宜發芽生長溫度，秧苗生長不良，再加以病害發生，農民交相指責，幾使示範計劃功虧一簣，在情急之下挪用栽培洋菇殺菌用的蒸汽鍋爐以其發生蒸汽加熱育苗室，秧苗得以順利育成。此方法可說是無意中發現而效果優於電加熱方式。李祿豐先生⁽¹⁾指出其優點為：溫室內溫度上升快達平衡時間短；可免為秧苗澆水，節省人工；燃料為煤炭其價格遠較電為廉；並估計育苗室採用蒸汽加熱方法總費用

— 圈內號碼為參考文獻目錄

較電熱方式可節省三分之一乃至一半，又即使偏遠地區無電力設備亦可建立應用誠是又一大優點。因此，筆者認為蒸汽加熱方法用於育苗室亟需加以研究俾使物美價廉善加利用。本研究旨在探討蒸汽加熱器之大小與育苗室之合理配合，期能找出一簡單應用公式。本文係初步結果，以模型試驗分析通入育苗室蒸汽量與能維持室內外溫差之關係，可作為育苗室蒸汽加熱器大小基本設計之依據。

二、育苗室熱傳遞的理論分析

一座保溫育苗室，可視為一獨立之系統 (System)，其界限 (Boundary) 為四周及屋頂之覆蓋用 P.E. 塑膠布，和包含於溫室內之水泥地。如要使此溫室內與外界保持一定之溫度差，依一般熱傳遞 (Heat Transfer) 之公式， $Q = A U (t_{in} - t_{out})$ [Q 為每小時進入此系統的熱量，A 為總傳熱面積，U 為總熱傳遞係數 (Over-all heat transfer coefficient)，此中 A 為常數，U 假設亦為常數。] 則 Q 和 $\Delta t = t_{in} - t_{out}$ 是成正比關係。此公式顯示若進入此溫室內的熱量一定，則必能與外界保持一定的溫度差。若是溫室內有任何物質，如土壤、秧苗等，也不會影響以上的結論，因為這些物質都在此系統內，而與外界發生熱傳遞現象只在界限上而已。任何物質的比熱皆是有限值，今將這些物質放置於溫室內，在不斷加熱量於溫室內的狀況下，依 $Q = WC \Delta t$ 的公式 (Q 為物質吸收的總熱量，W 為其重量，C 為其比熱 Δt 為上升的溫度差。) 在吸收 Q 熱量而升高 t 的溫度後，即應達到飽和而不再吸收熱量，則達到此狀況後，設若進入溫室內的熱量相同，放有土壤的溫室和沒有放土壤的溫室，會對外界保持同樣的溫度差。

為求易於控制參與影響因素，此研究製成模型蒸汽加熱保溫育苗室乙座在室內進行試驗，模型之長度為原來之五分之一，散熱面積 (A) 為原來之二十五分之一 (圖一)，由公式 $Q = A U \Delta t$ ，顯見如 U 與 Δt 與原來一樣，則模型育苗室之散熱量 Q 應為原來的二十五分之一。茲將模型育苗室熱傳遞量分析如下：

由模型育苗室簡圖 (圖一) 可知通入育苗室之熱量主要係經由二處傳出室外，其一為覆蓋及側面之 P. E. 塑膠布，其二為室內之水泥地。

(一) 經由塑膠布傳出之熱量：(7)

由熱傳遞基本公式

$$Q = \frac{A(t_{in} - t_{out})}{\frac{1}{h_{in}} + \frac{x}{k} + \frac{1}{h_{out}}} \dots\dots\dots (1)$$

以上公式 (1) 中之符號為：

t_{in} 及 t_{out} ：分別為室內外溫度

A：溫室總表面積分別室內溫度，即塑膠布之總面積，分垂直面積 A_v 和水平面積 A_h (假設屋頂為近乎水平)

$$A_v = 192 \times 44 \times 2 + 91 \times 44 \times 2 + \sqrt{48^2 - 45.5^2} \times 45.5 \times 1/2 \times 2 = 2.56 \times 10^4 \text{ cm}^2$$

$$A_h = 48 \times 192 \times 2 = 1.84 \times 10^4 \text{ cm}^2$$

x：P. E. 塑膠布的厚度 0.05cm

k：P. E. 塑膠布的熱導係數 (Conductivity) 為 1.08-1.44 cal/hr cm^2 °C，取其平均值 1.26 cal/hr cm^2 °C 計算。

h_{out} ：塑膠布與外界間的熱傳遞係數。

若塑膠布為垂直，則 (4)

$$h_v = \left\{ 0.27 (t - t_a)^{1.25} + 0.173 e \left[\left(\frac{T}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_s}{100} \right)^4 \right] \right\} / (t - t_a)$$

若塑膠布為水平，則

$$h_h = \left\{ 0.38 (t - t_a)^{1.25} + 0.173 e \left[\left(\frac{T}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_s}{100} \right)^4 \right] \right\} / (t - t_a)$$

(e 為輻射係數，非金屬類通常為 0.9，T 表塑膠布之絕對溫度， T_s 表空氣之絕對溫度。)

以上皆為假設外界的空氣不流動，只有自然對流產生，若是空氣有流動，則 h_v ， h_h 的第一項皆為 $(0.8 + 0.22 v) (t - t_a)$ 當風速小於 15 fps，為 $(0.56 v^{0.75}) (t - t_a)$ 當風速大於 15 fps。(註：若 $t - t_a$ 很大，且 v 甚小時，經由自然對流算出 h 的可能會比由後面公式算出的大，若是如此，則 h 值取大者。)

h_{in} ：為溫室內流體與塑膠布間的熱傳遞係數。因為溫室內相對濕度在 100% 以上，大部分進入育苗室的水蒸汽皆凝結於 P. E. 塑膠上，並立即放出汽化熱，傳出室外，因此熱傳遞速率加快，使得 h_{in} 之值比起 h_{out} 來，顯得很大，又因其甚難估計，故 $\frac{1}{h_{in}}$ 比起 $\frac{1}{h_{out}}$ 來予以

忽略不計。

由以上敘述，則公式 (1) 簡化如下：

$$Q = \frac{A(t_{in} - t_{out})}{\frac{x}{k} + \frac{1}{h_{out}}} \dots\dots\dots (2)$$

$$Q = \frac{A_v \Delta t}{\frac{x}{k} + \frac{1}{h_v}} + \frac{A_b \Delta t}{\frac{x}{k} + \frac{1}{h_b}}$$

$$= \frac{2.56 \times 10^4 \times \Delta t}{\frac{0.05}{1.26} + \frac{1}{h_v}} + \frac{1.84 \times 10^4 \times \Delta t}{\frac{0.05}{1.26} + \frac{1}{h_b}}$$

$$= \left(\frac{h_v \times 2.56 \times 10^4}{1 + 0.04 h_v} + \frac{h_b \times 1.84 \times 10^4}{1 + 0.04 h_b} \right) \Delta t \quad (3)$$

(二)經由室內水泥地傳出之熱，可分為二項

1. 水泥地中央的熱傳遞(3)：

$$Q_1' = U A (t'_{in} - t'_{out}) = 0.05$$

$$\times \frac{192 \times 91}{(2.54 \times 12)^2} \times \Delta t' \text{ B/hr} = 131 \Delta t \text{ cal/hr}$$

2. 周圍的熱傳遞(3)：

$$2. Q_2' = L_p q (t'_{in} - t'_{out}) = \frac{(91+192) \times 2}{2.54 \times 12}$$

$$\times 0.60 \times \Delta t' \text{ B/hr} = 1560 \Delta t \text{ cal/hr}$$

則經由水泥地傳出之總熱為：

$$Q' = (131 + 1560) \Delta t = 0.169 \times 10^4 \Delta t \text{ cal/hr}$$

則(一)與(二)項和即為整棟模型育苗室的散熱量：

$$Q_t = Q + Q' = 10^4 \times \Delta t \times \left(\frac{h_v \times 2.56}{1 + 0.04 h_v} \right.$$

$$\left. + \frac{h_b \times 1.84}{1 + 0.04 h_b} + 0.169 \right) \dots \dots \dots (4)$$

用蒸汽加熱，水蒸氣為攜帶熱量的媒介，既已知整棟模型育苗室的散熱量，即可求需通入的蒸汽量 W 。 W ：每小時進入溫室水蒸汽之總重量(g/hr)。 $t_v = 246^\circ\text{F} = 119^\circ\text{C}$ (2 kg/cm² 時飽和蒸汽之溫度)

$$t_{in} = \text{溫室內之最後溫度} = t_{out} + \Delta t$$

$$Q_{in} = [(119 - 100) \times 0.5 + 539 + (100 - t_{out} - \Delta t) \times 1] W = (648.5 - t_{out} - \Delta t) W$$

因為 $Q_{in} = Q_t$ ，得

$$W = \Delta t \times 10^4 \left(\frac{(2.56 h_v)}{1 + 0.04 h_v} + \frac{1.84 h_b}{1 + 0.04 h_b} + 0.169 \right) / (648.5 - t_{out} - \Delta t) \dots \dots \dots (5)$$

又鍋爐與溫室間管路的散熱量為：

Q' ：單位長度管路的散熱量 cal/hr-m

t'_1 ：管內蒸汽的平均溫度大約為 100°C

$$= 212^\circ\text{F}$$

t_2 ：外界空氣之溫度 $27^\circ\text{C} = 80.6^\circ\text{F}$

k_{23} ：鐵管的熱導係數，約為 $27 \text{ Btu/hr ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}$

$$h_{34} : 0.848 d_2^{0.75} (t - t_a)^{1.25} + 0.543 d_3 e$$

$$\left[\left(\frac{T}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_a}{100} \right)^4 \right] / (t - t_a) \div 3 \text{ Btu/hr-ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} (4)$$

h_{12} ： $300 - 500 \text{ B/hr-ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} (5)$

r_3 ：外半徑 $1/2''$

r_2 ：內半徑 $3/8''$

$$Q' = t_1 - t_2 / \frac{1}{2\pi r_2 h_{12}} + \frac{\ln r_3/r_2}{2\pi \cdot k_{23}}$$

$$+ \frac{1}{2r_3 h_{34}} (7)$$

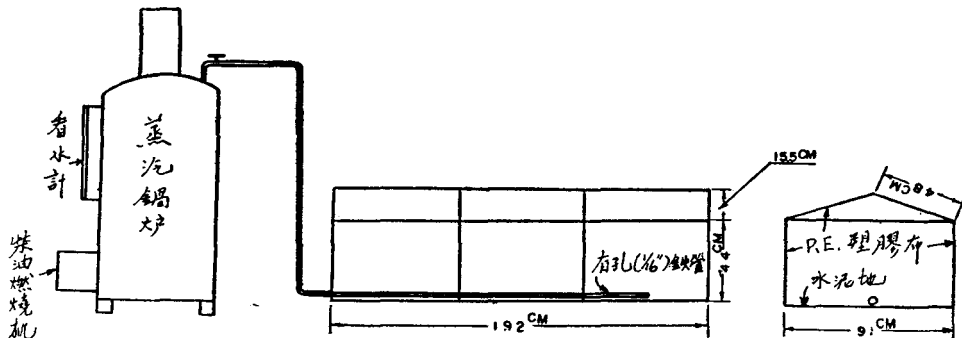
$$= 8.14 \times 10^4 \text{ cal/hr-m}$$

單位鐵管的散熱量為 $8.14 \times 10^4 \text{ cal/hr-m}$ ，此數值在模型試驗誠為不可忽略的損失，但在實際大型育苗室，每小時進入的熱量總在 10^7 cal/hr 以上的狀況下，鐵管的長度在 10m 以下時，鐵管路的熱量損失是可以忽略的。

三、試驗設備與進行方法

(一)試驗設備：

1. 模型保溫育苗室一座，其長度為實際育苗室的五分之一，散熱面積 $1/25$ ，如圖 1。



圖一 模型蒸汽加熱育苗室

2. 苗箱30個 (長 17'', 寬 10'', 厚 1.18'') 及苗架 6 個。及苗土 100kg, 苗箱之厚度與實際育苗室用者同。
3. 酒精溫度計。
4. 蒸汽鍋爐一座, 配有柴油燃燒機, 最大相當蒸發量 20 kg/hr, 設計壓力 3kg/cm², 操作壓力 2kg/cm²。

(二)進行方法:

1. 溫室內不放置苗箱

(1)將鍋爐內之水加熱成蒸汽, 至壓力計上指示 2kg/cm² 時, 打開蒸汽開關, 再將柴油燃燒機火勢關小, 讓壓力計維持 2kg/cm², 如此可知出來的蒸汽量為不變。

(2)先不使蒸汽通入溫室, 讓蒸汽散入空氣中, 用燒杯收集由鍋爐至溫室間管路內凝結的水, 30 分鐘後記取其重量。

(3)再將蒸汽接入溫室, 同時記取看水計上水的高度。

(4)每隔 5-10 分記取溫室內各處之溫度, 直至不再上升為止。

(5)一小時後記錄看水計上水之高度, 由水位的落差及鍋爐尺寸決定鍋爐每小時的蒸發量, 以此減去在管路內凝結水的重量, 即為進入溫室之蒸汽重量。

2. 溫室內放有苗箱:

(1)依空溫室之程序將溫室加熱至最後溫度記錄之。

(2)次將溫室打開放入盛有土壤之苗箱, 並使其冷卻至常溫。

(3)通入蒸汽, 記錄看水計水位。

(4)每隔 10-20 分記錄溫室內及土壤之溫度。

(5)一小時後記錄看水計之水位。

(6)直至溫室不再升高溫度為止。

如此重覆多次試驗求其平均值, 並使進入之蒸汽量變動 (可由蒸汽開關控制之), 可求得溫度上升量與進入溫室蒸汽量之關係。

四、結果及討論

通入模型育苗室不同大小蒸汽量與提高室溫之實驗結果見於表一及圖二。通入未放育苗土壤及放有育苗土壤之溫室之不同大小蒸汽量與室內外溫度達平衡時間結果分別繪於圖三及圖四。

表一 通入育苗室蒸汽量與升高溫度表

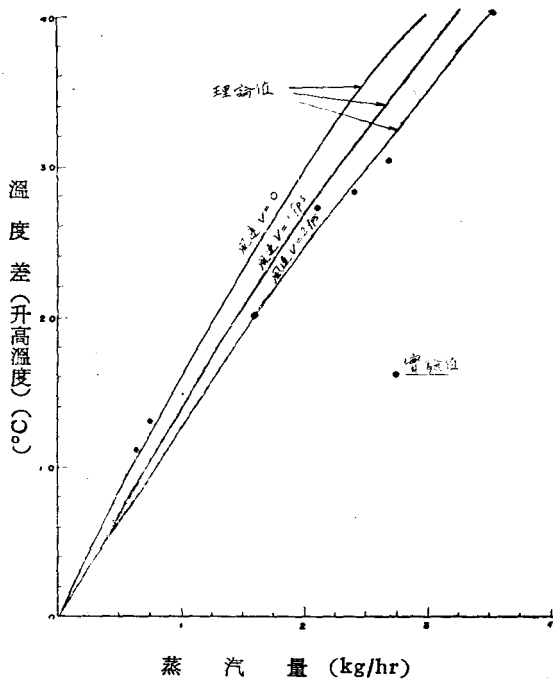
Δt °C	計算需熱量 cal/hr	計算進汽量 風速=0fps kg/hr	計算進汽量 kg/hr 風速=1 fps	計算進汽量 kg/hr 風速= 2 fps	試驗進汽量 kg/hr
40	1.802×10^6	3,097	3,287	3,54	3.6
28	1.143×10^6	1,996	2,17	2,37	2.4
20	0.804×10^6	1,335	1,50	1,64	1.64
13	0.491×10^6	0,806	0,95	1,04	0,77
11.5	0.410×10^6	0,699	0,83	0,91	0,67

茲就以上結果討論如下:

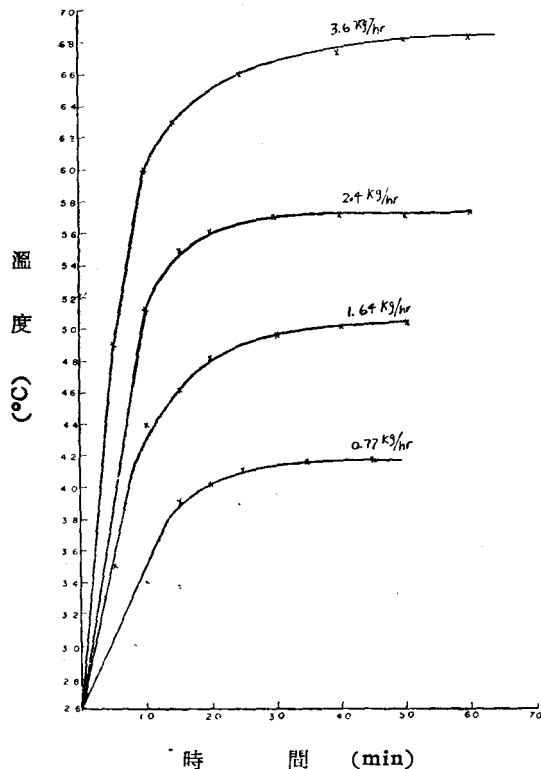
(一)在使室溫升高 20°C-40°C 的狀況, 試驗所得之進汽量總大於計算進汽量 (風速為 0 之曲線) 其主要原因為: 雖在室內進行試驗以避免風之流動, 但門窗仍有部分打開, 更因有柴油燃燒機於其附近運轉, 使得室內空氣有少量流動, 故 h_{ou} 並非屬於完全的自然對流, 而是多少有些 Forced Convection, 使得實際上 h_{ou} 比自然對流的狀況大些。圖二中顯示若空氣有微量之流動 (1fps 左右的風速已很小), 試驗所得已近於由公式 (5) 算出之值。其餘的小誤差是由於模型

溫室並非完全的密閉, 通入的蒸汽少量由漏縫直接流出室外所致。故當 Δt 在 20°C-40°C 之間, 計算值與實際結果相吻合, 推知公式 (2) 可以正確估計大型育苗室的需熱量然後換算成通入蒸汽量假如室外風速已知。

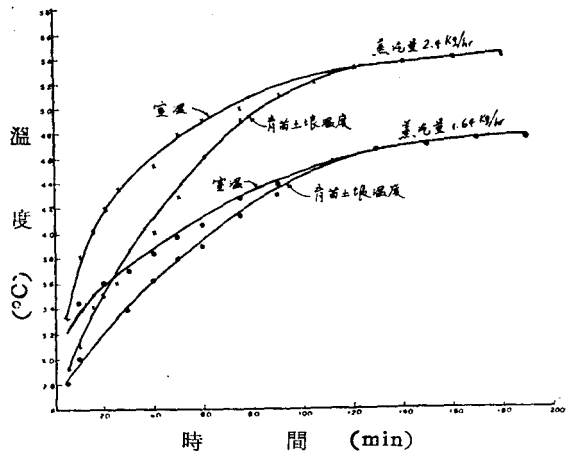
(二)在使室溫升高 20°C 以下的狀況, 由公式算出之值漸大於試驗值, 尤其在 Δt 小於 10°C 以下的狀況, 雖因設備上之困難無法精確做出, 但推想其實際所需的熱量應遠小於由公式 (2) 算出之值, 因為我們假設可以 $\frac{1}{h_{in}}$ 忽略不計, 但在溫室內蒸汽很



圖二 通入育苗室蒸汽量與升高溫度之關係



圖三 不同蒸汽量對未放育苗土壤育苗室室溫升高與時間之關係



圖四 通入不同蒸汽量育苗室溫度與育苗土壤溫度之變化

少時是不成立的。因此時蒸汽必須經由一層較厚的空氣膜擴散至塑膠布而凝結於其上，故其凝結量愈來愈小，其 h_{1n} 就應照 Mass transfer 的理論計算，而不應視其為 Condensation 現象

，如此，則 h_{1n} 較小， $\frac{1}{h_{1n}}$ 形成不可忽略的熱阻，而與 $\frac{1}{h_{0u}}$ 的熱阻串聯，大大地減少熱傳遞的

速率。

設計鍋爐的蒸發量，應以育苗室外可能遭遇到最低的溫度為依據。本省第一季水稻育苗期間夜晚，溫度常可能降到 6°C ，若要育苗室內提高至 32°C 左右，則 Δt 非大於 20°C 以上不可，故公式 (2) 雖在計算 Δt 小於 20°C 以下時有所偏差，幸 20°C 以下非我們所需要，故不擬進一步探討。

(三) 溫室內放有大量育苗土壤 (苗箱)，並不會對最後應提高的溫度有影響，只是造成溫室內溫度不平均，及延長溫度上升的時間 (圖三及四)。空育苗室內外達平衡僅需 30 分鐘，而溫室內放入土壤 (苗箱) 後則需 2-3 小時，顯然時間延長了很多，但 2-3 小時對育苗時間長達 2-3 天而言不會有影響。

模型試驗的蒸汽量很小，水蒸汽由小孔噴出的速率很小，溫室內的空氣幾乎不流動，則有土壤的溫室所造成的溫度不平均較為嚴重，甚至有發現部分土壤溫度高於室溫的現象，但在大型育苗室，通入蒸汽量多，蒸汽由孔中噴出的速率很大，為推動室內空氣循環的原動力，故溫度不平

(下接64頁)