

水簾式豬舍內熱環境之探討與評估

黃裕益⁽¹⁾ 謝廣文⁽¹⁾ 鄭俊哲⁽²⁾

收件日期：89 年 10 月 23 日；接受日期：89 年 11 月 20 日

摘 要

本研究利用空調負荷計算的方法，建立台灣地區氣候下，水簾式豬舍之熱環境模式，用以估算舍內熱量值，及評估降溫之成效。並於現場豬舍內進行各項熱環境因子的量測，以驗證熱環境模式的可行性。藉由熱環境模式，對影響水簾式豬舍環境之通氣率（V）、蒸發率（E）、溫度（T）、濕度（H），建立其相互關係之 VETH 線圖，可據以規劃不同控制目標所需之通風量。

由本研究之試驗結果顯示，在台灣夏季高溫氣候下，外氣溫度於 32 ~ 34 °C，相對濕度於 60 ~ 70% 的範圍，利用水簾式豬舍可有效的將舍內溫度降至少於外氣溫 5 ~ 6 °C。而水簾式豬舍內最主要的熱量來源為受陽光照射之屋頂及壁面，因此選擇隔熱效果良好的屋頂材料，可以較少風量達到所要控制之溫度目標，對於營運成本之降低將有所助益。

關鍵詞：豬舍、水簾、熱環境。

緒 言

目前國內的飼養豬舍以開放式結構為主要型態，在此類設施內部熱環境的調節上，仍依賴自然通風為首要之方法，而處於本省夏季的暑熱氣候條件下，常常形成豬舍內溫度或輻射過高的情況(王，1990)，超過豬隻的生長適溫，並造成熱緊迫問題。為改善開放式豬舍內的熱環境，在自然通風無法滿足須求的情況，可進一步藉助強制通風或蒸發冷卻的方式，前者利用裝置通風設備強制空氣流動來避免舍內形成過度高溫的現象，後者則是使用造霧系統等方式以達到降低室內溫度之目的(方，1994)。或可使用強制通風配合噴霧降溫來調節畜舍內的溫度，如仇與林(1997)利用推導霧粒在完全蒸發前移動距離與熱環境條件的方程式，來計算不同熱環境條件下，不同大小霧粒的蒸發比率，以評估噴霧降溫的效率。並利用質能平衡原理建立畜舍內噴霧降溫的熱環境模式，以計算及預測畜舍內受外界氣候影響所產生的溫濕度變化。

開放式豬舍內之熱環境雖可利用噴霧冷卻方式加以緩和，但因其仍受到外界氣候及通風狀況左右，具有控制偏差大，室內熱環境難以穩定控制的缺點。豬舍內的熱環境關係到整個豬隻的生長狀況，適當的熱環境讓豬隻不易生病且飲水、餵食量也較正常及規律，換肉率也比較容易掌

(1) 國立中興大學農業機械工程學系。

(2) 行政院農業委員會畜產試驗所畜牧場。

握。近幾年來為提供飼養上適宜的熱環境，並提高防疫功能，密閉的水簾式畜舍已逐漸運用在養雞、養鴨上，而在豬隻的飼養上，也有許多農民利用傳統開放式的畜舍加裝帆布、水簾及風扇改裝成密閉式豬舍，並利用控制器及相關的感測儀器，進行豬舍的自動化環境管理作業。在國內密閉式畜舍熱環境的研究方面，陳等（1997）曾利用數值模擬的方法，對水簾式雞舍的降溫性能加以探討，分析影響降溫性能之因子。而構造相異於雞舍的水簾式豬舍，業者改建或新建的事例雖呈現逐漸增加的趨勢，但對其內部熱環境之評估則尚欠缺具體的資料。為對畜舍內外熱量來源進行縝密精確的評估計算，以建立合適的畜舍熱環境模式，藉此熱環境模式計算出的熱量值，來選擇合適的環境控制策略，以啟動所需的降溫設備，達到降溫目的。本研究利用空調負荷計算的方法，推導水簾式豬舍內之熱環境模式，並實際量測畜舍內外之氣象因子以驗證模式之符合性，並以此模式探討不同太陽光日照量下畜舍內熱量變化情形，以規劃適當的通風量以移除畜舍內的熱量，在畜舍環境管理作業上，提供通風量的控制策略規劃依據。

材料與方法

I. 水簾式豬舍熱環境模式之建立

密閉式豬舍內主要的熱量來源有：牆壁的熱負荷、屋頂的熱負荷、間隙風之滲透量、豬隻產生的顯熱量、器具的發熱量及作業人員的發熱量等，利用空調負荷計算的方法(井上，1996)，可歸納豬舍內的熱損失與熱取得如下：

(i) 由陽光照射之屋頂與牆壁傳入的熱量，以 $q_s(W)$ 表示，其計算公式如下：

$$q_s = K_s * A_s * (T_s - T_i) \quad (1)$$

其中

K_s ：受陽光照射之屋頂與牆壁的熱傳遞係數 ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)；

其中

$$K = \frac{1}{\frac{1}{a_i} + \frac{1}{c} + \frac{d_a}{\lambda_a} + \frac{x_1}{\lambda_1} + \frac{x_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{x_i}{\lambda_i} + \frac{1}{a_o}} \quad (2)$$

a_i ：材料之內表面的表面熱傳達係數 ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)；

c ：空心磚、柏油紙等有特殊形狀和厚度但為非均質的熱傳導係數 ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)；

d_a ：空氣層厚度 (m)；

λ_a ：空氣層熱傳達係數 ($W/m \cdot ^\circ C$)；

x_i ：材料之厚度 (m)；

λ_i ：材料之熱傳導係數 ($W/m \cdot ^\circ C$)；

a_o ：材料外表面的表面熱傳達係數 ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)；

A_s ：受陽光照射之屋頂與牆壁的面積 (m^2)；

T_s ：受陽光照射下之屋頂與牆壁的表面溫度 ($^\circ C$)；

$$T_s = T_o + \alpha \frac{I}{a_o} \quad (3)$$

其中

T_o ：室外溫度 ($^\circ C$)；

α ：屋頂或牆壁表面的日射吸收率；

I ：室外日射量 (W/m^2)。

T_i : 室內溫度 ($^{\circ}\text{C}$)。

(ii) 由無陽光照射之牆壁傳入的熱量，以 $q_A(W)$ 表示，其計算公式如下：

$$q_A = K_A * A_A * (T_o - T_i) \quad (4)$$

K_A : 無陽光照射之牆壁的熱傳遞係數 ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$)

A_A : 無陽光照射之牆壁的面積 (m^2)

(iii) 由牆壁滲透之熱量，以 $q_i(W)$ 表示，其計算公式如下：

$$\begin{aligned} q_i &= C_p * g_i * (T_o - T_i) + E_o * g_i * (X_o - X_i) \\ &= \rho * C_p * q_i (T_o - T_i) + \rho * E_o * q_i (X_o - X_i) \end{aligned} \quad (5)$$

其中

C_p : 空氣熱比容 ($\text{kJ}/\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$) ;

g_i : 間隙重量風量 (kg/hr) ;

q_i : 間隙風量 (m^3/hr) ;

X_o : 室外空氣絕對濕度 ($\text{kg}/\text{kg DA}$);

X_i : 室內空氣絕對濕度 ($\text{kg}/\text{kg DA}$);

ρ : 空氣密度 (kg/m^3);

E_o : 水蒸發潛熱 = 2,501 (kJ/kg)。

(iv) 室內豬隻所散發的熱量，以 $q_p(W)$ 表示，其計算公式如下：

$$q_p = n_p * (P_s + P_L) \quad (6)$$

其中

P_s : 每頭豬之顯熱量 (W);

P_L : 每頭豬之潛熱量 (W);

n_p : 豬隻數。

(v) 燈具、工作人員及送風機所產生的熱量，以 $q_o(W)$ 表示，其計算公式如下：

$$q_o = q_H * n_h + q_L * n_l + (q_M * n_m) / \text{Eff}_M \quad (7)$$

其中

q_H : 工作人員之發熱量 (W) ;

n_h : 工作人員數 ;

q_L : 照明設備之發熱量 (W) ;

n_l : 照明設備數 ;

q_M : 舍內送風馬達之發熱量 (W) ;

n_m : 送風馬達數 ;

Eff_M : 馬達效率 (%)。

(vi) 自水簾流入而從風扇帶走的熱量，以 $q_v(W)$ 表示，其計算公式如下：

$$\begin{aligned} q_v &= N * V * \rho * C_p * (T_p - T_i) \\ &= A * \rho * C_p * (T_p - T_i) \\ &= A_i * q * \rho * (I_o - I_i) \end{aligned} \quad (8)$$

其中

N : 單位時間內通風次數 ($\text{次}/\text{hr}$) ;

V : 畜舍體積 (m^3) ;

T_p : 室內水簾出口端溫度 ($^{\circ}\text{C}$) ;

A : 總通風量 (m^3/hr) ;

$$T_p = T_o - \text{Eff}_p * (T_o - T_w) \quad (9)$$

其中

Eff_p : 水牆冷卻效率 (%) ;

T_w : 室外空氣濕球溫度 (°C)

$$T_i : \text{室內平均溫度 (°C)} = (T_p + T_t) / 2 \quad (10)$$

其中

T_t : 室外風扇出風口溫度 (°C);

A_t : 地面積 (m²);

q : 通風率 (m³/hr·m²);

I_i : 室內空氣焓 (kJ/kg);

I_o : 室外空氣焓 (kJ/kg)。

依能量守恆

$$\text{畜舍內總熱量 } q_s + q_A + q_i + q_p + q_o + q_v = 0$$

代入式(8), 可得通風量

$$A = (q_s + q_A + q_i + q_p + q_o) / [\rho * C_p * (T_i - T_p)] \quad (11)$$

II. 試驗設備與材料

本研究在熱環境模式建立時, 利用長時間數據收集器於彰化種畜繁殖場進行畜舍內熱環境資料之收集, 將收集到之資料與熱環境模式比較, 以驗證本熱環境模式。並利用熱環境模式建立相關的 VETH 線圖, 期能提供畜舍內溫濕度與通風率之畜舍熱環境管理資料。

(i) 實驗畜舍

本實驗於行政院農業委員會畜產試驗所彰化種畜繁殖場進行實驗。種畜繁殖場內有天鵝舍及豬舍數棟, 豬舍包含分娩舍、保育舍、待產舍、配種舍及種豬舍, 其中有兩棟將原本採自然通風式畜舍改建成密閉式畜舍, 一棟為成豬舍, 另一棟則為本實驗現場之種畜舍, 舍內共飼養 33 頭種豬, 每頭重約 180 kg。

種畜舍總長 40 m, 實際使用長度 38 m, 留有 2 m 隔間作為水塔存放及水簾遮陰, 寬度為 16 m, 屋脊高 5.1 m, 屋簷高 3.1 m, 南北向畜舍, 如圖 1 所示。

畜舍南面山形牆裝設有 60" 風扇(通風量 1024 CMM) 3 個, 48" 風扇(通風量 657 CMM) 2 個, 畜舍北端則裝設水簾兩面, 東面及西面側壁則裝設活動帆布及水簾各一面。

1. 水簾: 蜂巢式水簾, 高 1.9 m、寬 5.5 m、厚度 15 cm, 白陽木纖維製剛性水簾。
2. 風扇: Aerotech, Inc. AT481ZC (657CMM, 皮帶帶動, 馬達 1HP, 效率 81%), AT602ZC (1024CMM, 皮帶帶動, 馬達 2HP, 效率 85%),
3. 數據記錄器: DelTa-T Logger DL2e, 內有記憶體 256 KB, 可記錄 131072 筆資料, 內部每片控制板可接 15 個接點, 目前裝有兩片控制板, 最大可接 4 片。記錄器依設定時間溫度感測點每 10 min 記錄一次, 30 min 平均一次; 濕度感測點每 30 min 記錄一次。記錄器可透過 RS-232 介面與電腦相連接, 將數據自記錄器中取出後分析整理。
4. 溫度感測器: K type 熱電偶線, 利用電壓輸出, 電壓範圍 -4.138 ~ 8.137 V, 量測範圍為 -120 ~ 200°C ± 0.5 °C, 本實驗共 20 點, 總長 200 m。
5. 濕度感測器: 神榮 SHINYEI THT-B7, 感測元件為高分子薄膜型, 量測範圍 0 ~ 100 % RH ± 1 %。
6. 手攜式日照計: INS.DX-100, 量測範圍 0 ~ 200,000 Lux ± 2 %。
7. 手攜式風速計: PROVA Instruments INC. AVM-05, 量測範圍 0.0 ~ 45.0 m/s ± 3 %。

8. 手攜式溫濕度計：INS. HT-800，濕度 $5 \sim 98 \% \text{ RH} \pm 2.5 \% \text{ RH}$ ，溫度 $15 \sim 60 ^\circ\text{C} \pm 0.2 ^\circ\text{C}$ 。

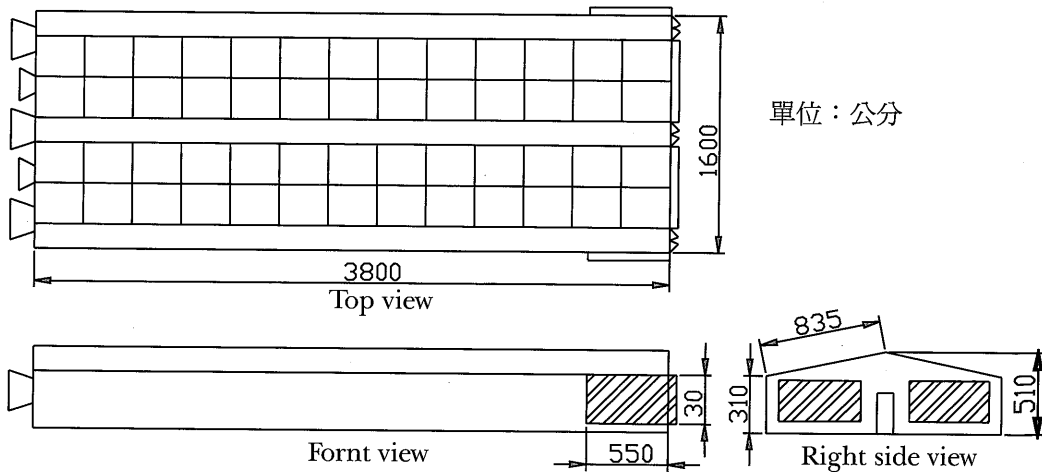


圖 1. 試驗豬舍之三視圖。上視圖、前視圖、側視圖。

Fig. 1. Diagram of three views of swine building used for test. Top view、Frent view and Right side view.

(ii) 實驗畜舍熱環境之量測

利用數據紀錄器收集實驗畜舍內溫度、濕度變化，將數據載入電腦後利用 Microsoft EXCEL進行數據分析與整理。數據記錄器可依實驗需要來調整數據擷取之間隔時間，本實驗在溫度感測點上每 10 min 讀取一次，30 min 自動平均一次並將結果儲存於記憶體中，而濕度感測元件則每 30 min 自動讀取一次，由於濕度感測元件耗電量較大，通常需外接電源以維持元件之運作，在此利用 Data Logger 本身外接之蓄電池，在濕度量測前 10 sec 開始供給濕度感測元件電源，數據讀取完畢後立即切掉濕度感測元件電源，以節省蓄電池電力，運用此方式可以解決畜舍內電源不易取得或因畜舍沖洗而導致外接電源易於漏電之問題。

在溫度量測方面，於畜舍內的混凝土支柱旁，採每 5 m 等距架設一個溫度感測點，計有 7 * 2 個點，畜舍中央走道則配合畜舍擾流板，採每 10 m 架設一個溫度感測點，計有 3 個溫度點。於室內風扇出口、室內水簾、室外亦各架設一溫度感測點，共有溫度感測點 20 點。

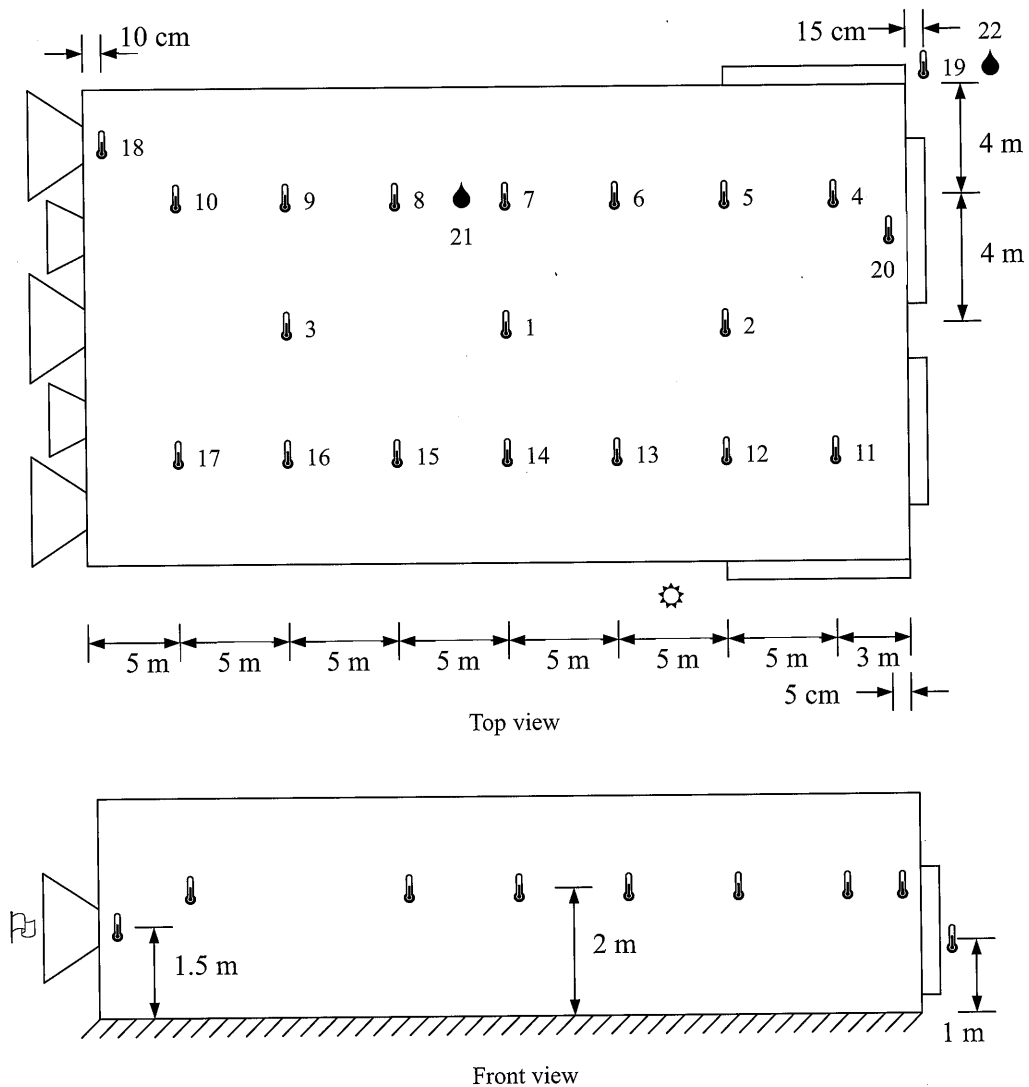
在濕度量測方面，於畜舍中央及室外各架設一濕度感測器，以觀測畜舍內與室外的濕度變化狀況。

在風速量測方面，則利用手攜式風速計量測各溫度點與水簾內外側，風扇內外側之風速，同時也利用手持式溫濕度計，一併量取各溫度點，水簾內外側及風扇內外側的溫濕度，作為比較之用。

在日照量量測方面，則利用手攜式日照計在室外每 30 min 量測一次，求得當天的日照量變化情形。各項感測器之配置如圖 2 所示。

(iii) 畜舍內 VETH (P) 線圖之建立

由畜舍內熱環境模式及實驗量測所得之數據，可計算出畜舍內熱焓值之變化情形，由畜舍內的通風率及蒸發散量，可求出各通風率及蒸發散量下的絕對濕度值，利用查圖法可在濕空氣線圖



⌚ : Temperature sensor (K-type Thermocouple)

◆ : Relative Humidity sensor

⌚ : Wind Velocity meter

☼ : Solar radiation meter

圖 2. 畜舍內外感測點分佈圖。

Fig. 2. Arrangements of sensors used.

上得到所對應之相對濕度及溫度值，綜合通風率(Ventilation rate, V)、蒸發率(Evaporation rate, E)、溫度(Temperature, T)及相對濕度(Relative humidity, H)之值，即可建立畜舍內通風率、蒸發率、溫度及相對濕度間，相互關係的 VETH 線圖(三原, 1980)。於水簾式畜舍，針對不同的飼養階段及飼養規模，亦以由熱環境模式得到不同舍內熱焓值變化情形，藉此可尋上

述方法建立相關的 VETH (P) 線圖。

結果與討論

I. 畜舍內熱環境之量測分析

(i) 溫度環境

由實驗畜舍收集之 89 年 6 月 21 日溫度變化資料中可看出 (圖 3)，畜舍內若採自然通風降溫，其畜舍內水簾端、前端、中央及後端的溫度幾乎等於室外溫度，一般室外溫度會在早上太陽升起後因地面吸收大陽光能量，而地面在 9 點之後逐漸將地面所受之熱量利用對流傳導方式漸漸釋放至空氣中，導致室外溫度逐漸爬升，在上午 9 時之後，室外空氣溫度已高於攝氏 30 °C，已超過豬隻之生長合適溫度之外，此時若單純使用自然通風或強制通風來降溫並無法將室溫降低至大氣溫度以下，唯有使用蒸發冷卻技術方能達到降溫的目標。

相對於自然通風，由圖 4 中所量測 89 年 6 月 27 日得到的數據可看出，畜舍內若採用水簾系統來進行降溫，在上午 9 點之後仍可有效將室內溫度維持在 26 ~ 28 °C 之間，在中午 12 時則更可將舍內溫度與舍外溫度差距拉大到 6 °C，讓舍內溫度維持在穩定的 26 ~ 28 °C 範圍之間，由此，密閉式水簾畜舍在夏季舍外溫度均高於 30 °C 狀態，相對濕度為 60 ~ 70 % 時，確實可以有效降低畜舍飼養環境溫度。而在畜舍內的溫度分佈方面，將各點的溫度量測值繪製成圖 5 之等溫線圖，在外氣溫度 32 °C (63 % RH) 下，室內平均溫度 27.6 °C，水簾降溫可達到 5 °C，在舍內並無產生明顯的溫度梯度，具有均勻的分佈，在夏天可以有效減輕豬隻的熱緊迫問題，提供豬隻良好的室內溫度環境。

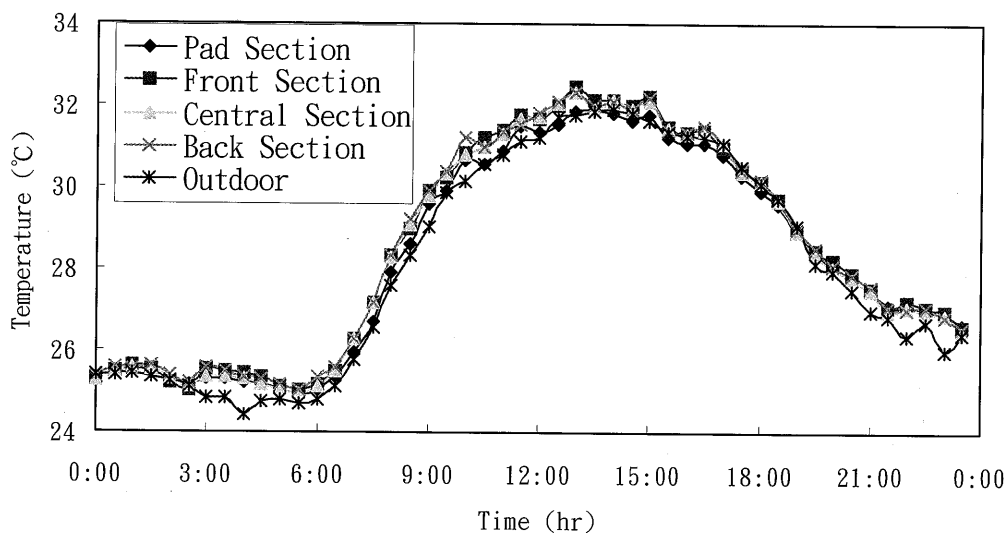


圖 3. 畜舍內自然通風下之溫度變化圖 (89 年 6 月 21 日)。

Fig. 3. Diurnal variations of air temperatures in swine building with natural ventilation (2000, 6/21).

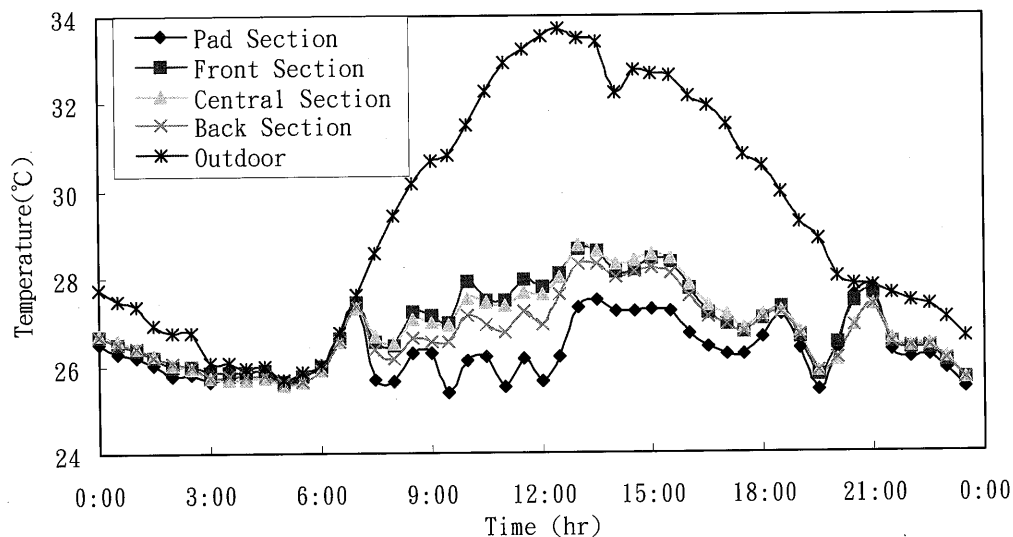


圖 4. 畜舍利用水簾降溫之溫度變化圖 (89 年 6 月 27 日)。

Fig. 4. Diurnal variations of air temperatures in swine building with evaporative pad cooling system (2000, 6/27).

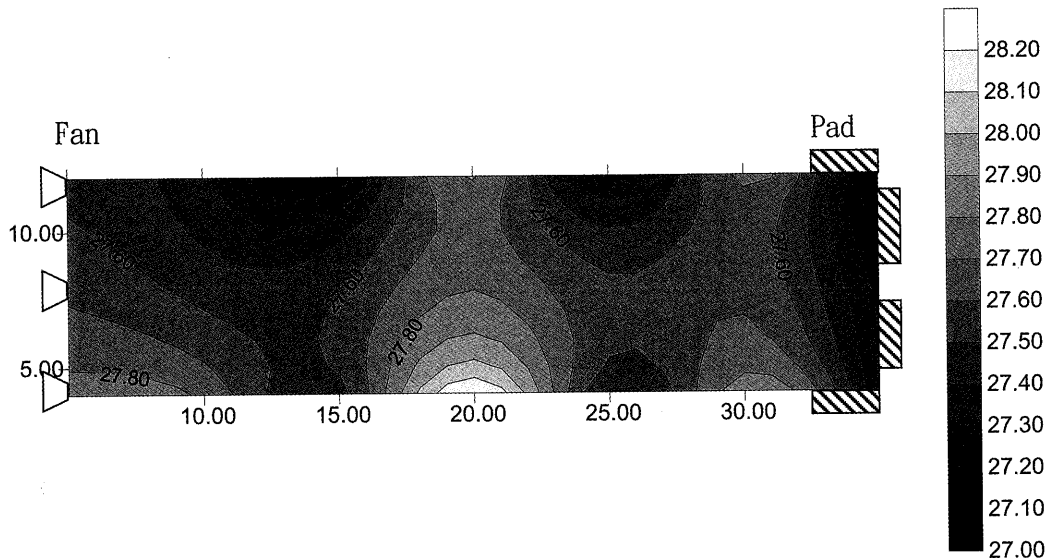


圖 5. 水簾式畜舍內溫度分佈圖，舍外溫度 32°C，相對溼度 63% (89 年 7 月 12 日 下午 4 時)。

Fig. 5. Horizontal distribution of indoor air temperature in swine building with pad and fan cooling system when outdoor air temperature was 32°C and relative humidity was 63% (2000, 7/12 PM 4:00).

(ii) 氣流環境

由於水簾式密閉畜舍採用強制通風的作業方式，舍外風速的大小對舍內風速的影響並不大。由圖 6 之量測結果顯示，在風扇全部運轉的情況下，舍內平均風速為 1.5 m/s，在擾流板下方風速增為 1.7 ~ 2 m/s，非擾流板下風速減為 0.9 ~ 1.3 m/s，風扇出風口風速則高達 6 ~ 8 m/s。在舍外風速為 1.2 m/s 下，畜舍內因有風扇進行強制抽風，畜舍外水簾入風處風速約可保持在 1.5 ~ 2 m/s，舍內水簾出風口處風速也有 1.3 ~ 1.8 m/s，水簾的壓力降特性使得過水簾後風速約減少 0.2 m/s。

在通過水簾的風速對水牆冷卻效率的影響上，由Munters公司所提供水牆冷卻效率與風速關係圖中顯示，對各種不同厚度的水簾，通過水簾風速的愈大，則冷卻效率愈低，而此現象於水簾厚度愈小則愈顯著。對一般常用的 10 cm、15 cm 厚度之水簾而言，由熱環境模式可知通過水簾的風速過小則流入空氣量少，豬舍的冷卻程度降低；但流入空氣量過多不僅增加設備與營運費用，且水牆冷卻效率降低，舍內形成過快的風速也會造成豬隻體熱過度的散失。故整體畜舍的降溫程度受流入空氣量之影響，設計時通風量的決定當考慮各項影響因子，妥善規劃。

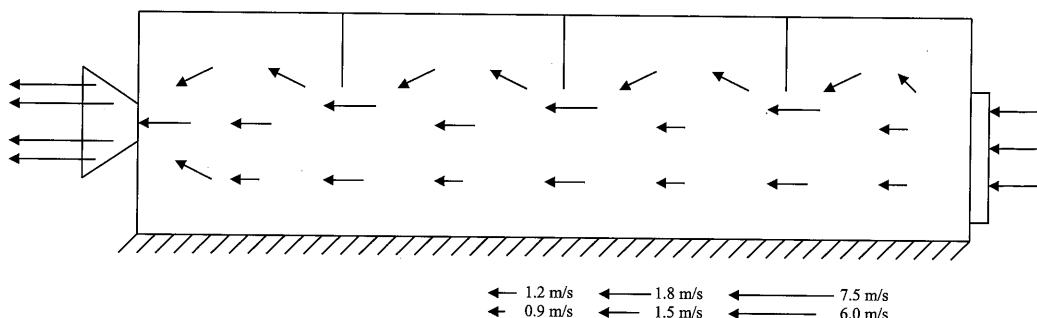


圖 6. 風扇全部運轉下畜舍內之風速分佈 (89 年 6 月 29 日 下午 4 時)。

Fig. 6. Distribution of wind velocities inside swine building when ventilation fans were fully operated (2000, 6/29 PM4:00).

II. 通風量計算

利用量測所得之氣象資料，對試驗豬舍進行熱環境模式之驗證，畜舍 89 年 7 月 12 日下午 4 點日射量 850 W/m^2 ，舍外溫度 $T_o = 32^\circ\text{C}$ ，相對濕度 63 % 之外氣環境條件，經由熱環境模式的計算，將各項熱負荷之比例於圖 8 表示。可看出影響畜舍內的主要熱量來源為太陽光照射到牆壁上的能量，佔了整個畜舍內的總熱量的 72 %，而 33 頭豬隻跟 5 座風扇馬達所產生的熱量分別為 13 %、14 % 左右，無太陽光照射之牆壁所傳遞進來的熱量則僅佔 1 %，由周壁門縫所滲透進來的熱量則幾乎可以忽略不計。故在水簾式豬舍的設計上，對於屋頂材料能選擇隔熱性能良好的資材，將可大幅減輕熱負荷，進而降低設備及營運之成本。

在通風量的計算上，以試驗豬舍所配置之 60" 風扇(通風量 1024 CMM) 3 個，48" 風扇(通風量 657 CMM) 2 個，分別不同的運轉方式組合後，計算其所能排除之熱負荷以圖 9 表示。於模擬之條件下，豬舍現場風扇共開啟 3 個 60" 風扇及 1 個 48" 風扇，風量與排除熱負荷分別為 3,729 CMM 及 53,722.5 W；而同樣之條件，熱環境模式計算之結果則分別為 4,047.9 CMM 及 58,313.1

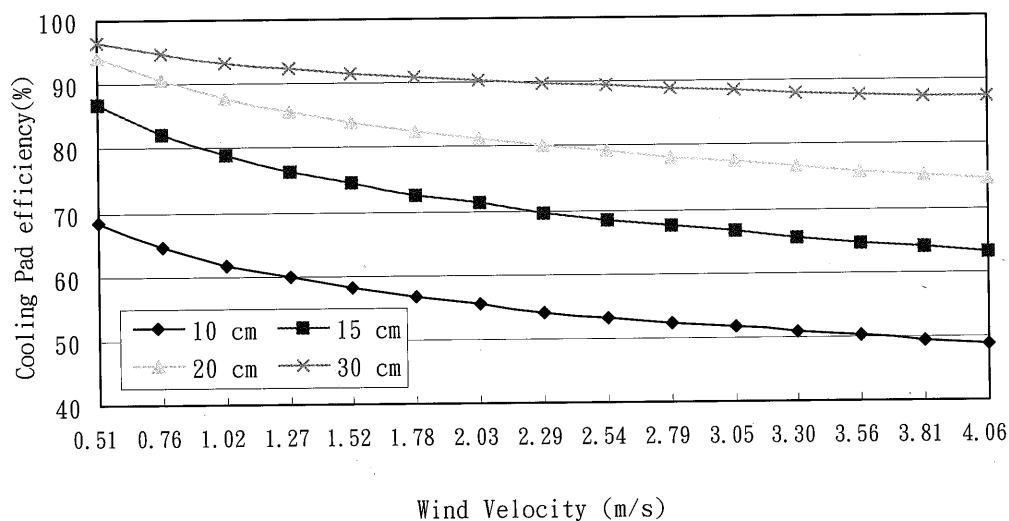


圖 7. 水簾厚度在不同風速下的冷卻效率 (Munters 公司)。

Fig. 7. Cooling efficiency for thickness of pad under different wind velocities(Munters company).

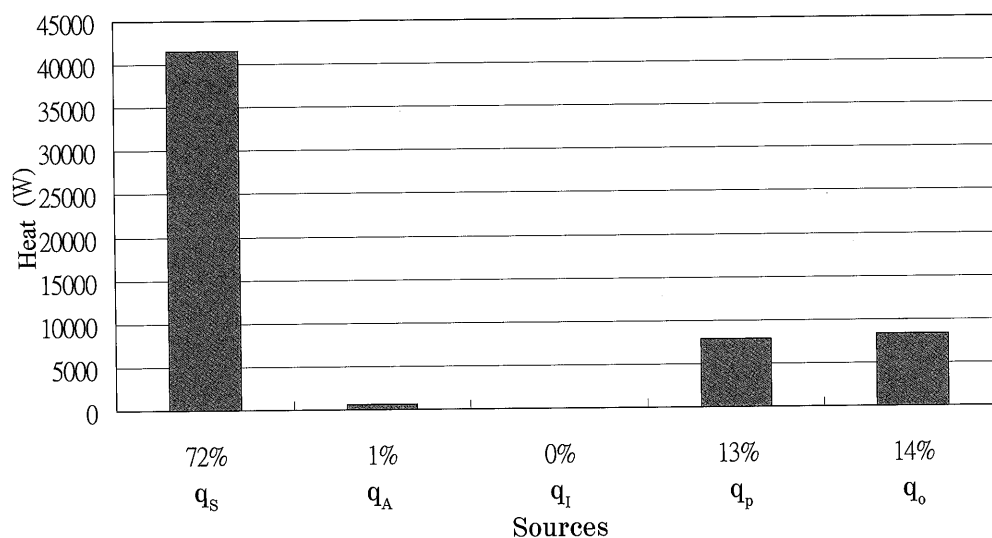


圖 8. 試驗畜舍內各種熱源的熱量值及所佔比例。

Fig. 8. Ratio of heat sources inside swine building.

W，兩者所需排除之熱負荷約有 6% 之誤差，推測其原因乃試驗豬舍周圍之植栽，遮斷部分日射，實際經由壁體吸收再傳遞至舍內的熱量而產生減少的現象。

在不同飼養階段的通風量方面，一般養豬戶除了飼養成豬外，還飼養母豬、仔豬。仔豬從出

生到變成成豬期間，豬隻體重隨著時間不斷的成長，豬體也產生不同的顯熱、潛熱量，可見豬隻體重與豬隻散發之熱量大小息息相關，因此計算不同飼養階段之通風量可從不同豬隻體重之散熱量著手。以試驗豬舍60欄之規模，每欄最多可飼養180 kg種豬3頭計算，豬隻飼養環境21.1℃、26.7℃、32.2℃與圖10所示不同豬隻體重之顯熱、潛熱量（岩谷，1991），代入熱環境模式進行計算得圖11。

圖中隨著豬隻體重不斷的成長，畜舍內通風量之需求量也從4800 CMM變成6500 CMM (26.7℃)，並且以21.1℃之飼養環境下所需要之通風量最大，通風量曲線成良好線性變化，顯示豬隻體重與通風量成正比關係，不同豬隻體重可藉由查圖來得到對應之所需通風量。

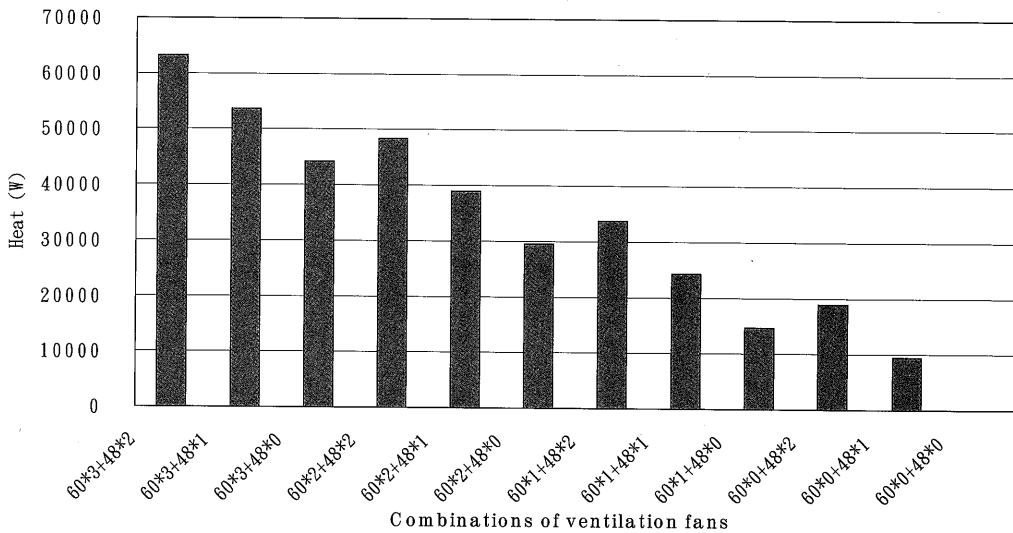


圖 9. 不同風扇搭配下每小時可移走的熱量值。

Fig. 9. Exhausted heat loading by different combinations of ventilation fans each hour.

III. VETH (P) 線圖之繪製

同上述通風量計算的外氣條件進行 VETH (P) 線圖繪製，查濕空氣線圖得外氣焓 $I_o = 19.3$ (kcal/kg DA)、外氣濕球溫度 26.2℃、外氣絕對濕度 $X_o = 0.019$ (kg/kg DA)。通過水簾後溫度 $T_p = 27.07$ ℃，相對濕度 93%，查濕空氣線圖得通過水簾後之空氣絕對濕度 $X_p = 0.02108$ (kg/kg DA)。

將熱環境平衡方程式中之溫度以焓表示，可變化如下：

$$A_i * q * \rho * (I_i - I_o) = q_s + q_A + q_l + q_p + q_o$$

忽視滲透熱，

$$I_i = I_o + \frac{q_s + q_A + q_p + q_o}{A_i * q * \rho}$$

$$= I_o + \frac{K_s * A_s * (T_s - T_i) + K_A * A_A * (T_o - T_i) + q_p + q_o}{A_i * q * \rho}$$

$$A_i = 38 * 16 = 608 \text{ m}^2 \text{ (地面積)}$$

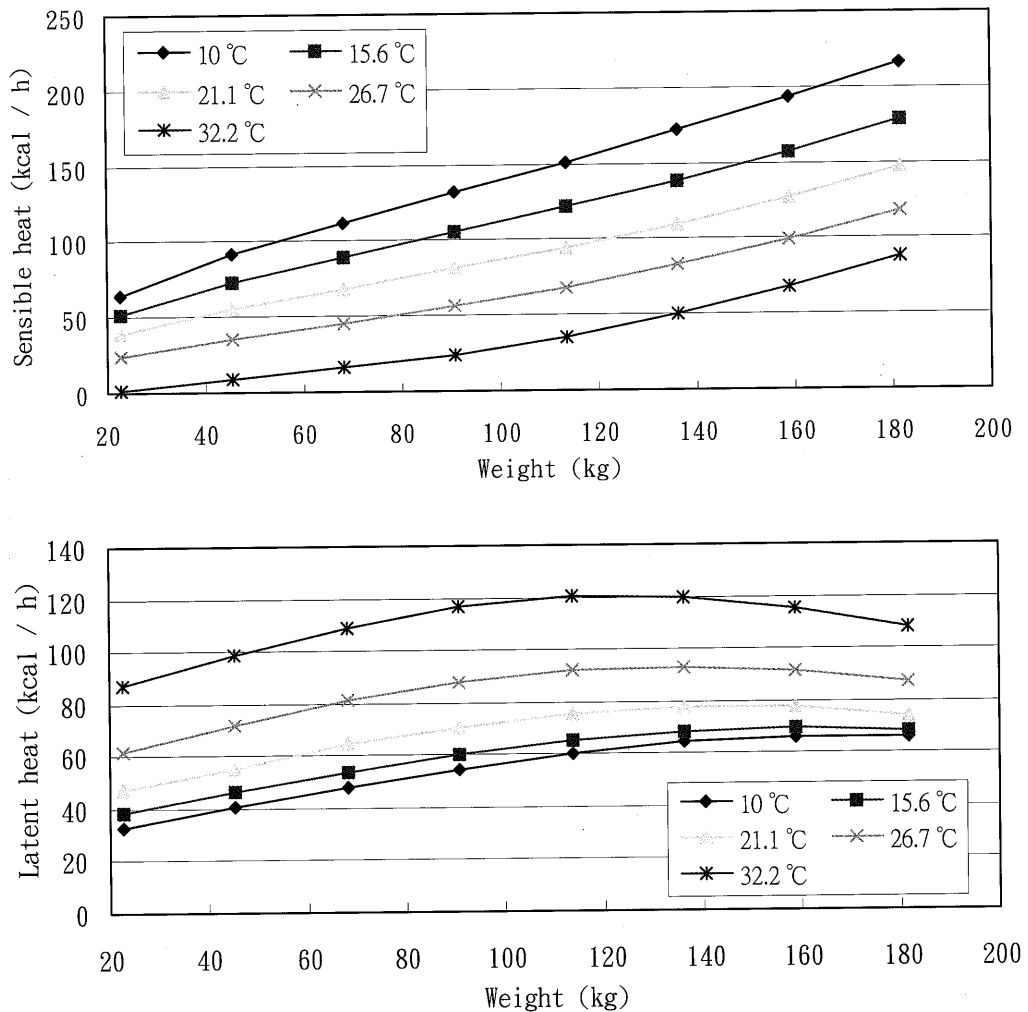


圖 10. 不同豬隻體重下的顯熱及潛熱 (岩谷, 1991)。

Fig. 10. Sensible and latent heat productions corresponding to pig weight (Iwatani, 1991).

分別以不同通風率 $q = 0.2$ 、 0.5 、 1 、 1.5 、 2 、 3 、 $4 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{min}$ 與 $T_i = 32^\circ\text{C}$ 、 42°C 代入計算，並在濕空氣圖上點出熱焓值 I_i 與 $T_i = 32^\circ\text{C}$ 及 42°C 之交會點，之後分別於濕空氣圖上繪出通風率 $q = 0.2$ 、 0.5 、 1 、 1.5 、 2 、 3 、 $4 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{min}$ 之曲線圖 (三原, 1980)。

由 $E_t = \rho \cdot q \cdot (X_i - X_p)$ 求出不同通風率 q 與舍內蒸發散量 E_t 下之 X_i 值，利用濕空氣線圖上 X_i 值延伸線與通風率 q 曲線之交會點求得對應之溫度與濕度，最後將通風率 (V)、蒸發散量 (E)、溫度 (T) 與濕度 (H) 之關係繪出，即可得圖 12 之 VETH (P) 線圖。

利用 VETH (P) 線圖，可以方便的查出在維持畜舍設定溫度所必需的通風量及蒸發散水量資料，水簾式豬舍內的溫濕度狀況完全受通風率掌握，如圖 12 舍內蒸發率為 $1 \text{ g}/\text{m}^2 \cdot \text{min}$ ，當通風

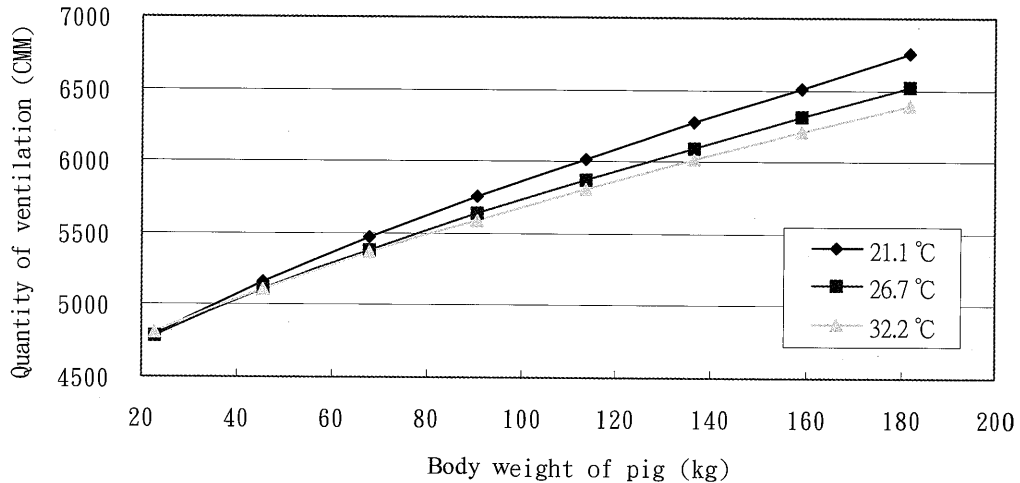


圖 11. 不同飼養環境下豬隻體重與通風量之關係。

Fig. 11. Relationships between pig weight and quantity of ventilation.

率為 $0.5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{min}$ 時可得舍內溫、濕度為 31°C 、 78% ，通風率為 $1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{min}$ 時為 29.5°C 、 84% ，而通風率為 $2 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{min}$ 時則為 28.2°C 、 88% ，是以建立不同飼養規模下之 VETH (P) 線圖，將可提供密閉式水簾畜舍在環控管理上之參考資料。

結 論

本研究以密閉水簾式豬舍之熱環境為基礎，利用空調負荷計算的方法來評估畜舍內之熱量來源及所需之通風量，並依據畜舍內作業情形，驗證此密閉式水簾畜舍熱環境模式之可行性。由實驗及熱環境模式計算得知，最重要的熱量來源為畜舍屋頂的太陽光能量，從屋頂進入的熱量佔整體熱量的 72% ，為影響水簾式豬舍降溫效果的最主要因素，因此選擇隔熱效果佳的屋頂材料將有助於整體畜舍內熱量的減少，可藉以降低設備及營運之成本。由於本試驗豬舍為種豬舍，舍內僅飼養33頭種豬，豬隻飼養密度並不高，因此在整體熱量上，由豬隻所產生的熱量並不多，如為一般飼養較為密集之成豬舍，即可明顯看出豬隻數目對整體熱量之影響。

於水簾式豬舍的環境管理中，其內部溫濕度、風速等熱環境因通風量而決定，在不同的外界氣候、飼養頭數或階段等狀況之熱負荷條件下，要維持舍內於一穩定的溫濕度狀態，可經由通風量的改變予以調節，其所需之通風量可藉相異熱負荷條件之 VETH (P) 線圖的製作，規劃適當的通風量以移除畜舍內的熱量，在畜舍環境管理作業上，提供通風量的控制策略規劃依據。

謝 誌

本試驗承行政院農業委員會計畫 89 自動化-5.1-牧-61(3)經費補助，試驗過程承中興大學農機系高信豪、尤建琳之協助，特申謝忱。

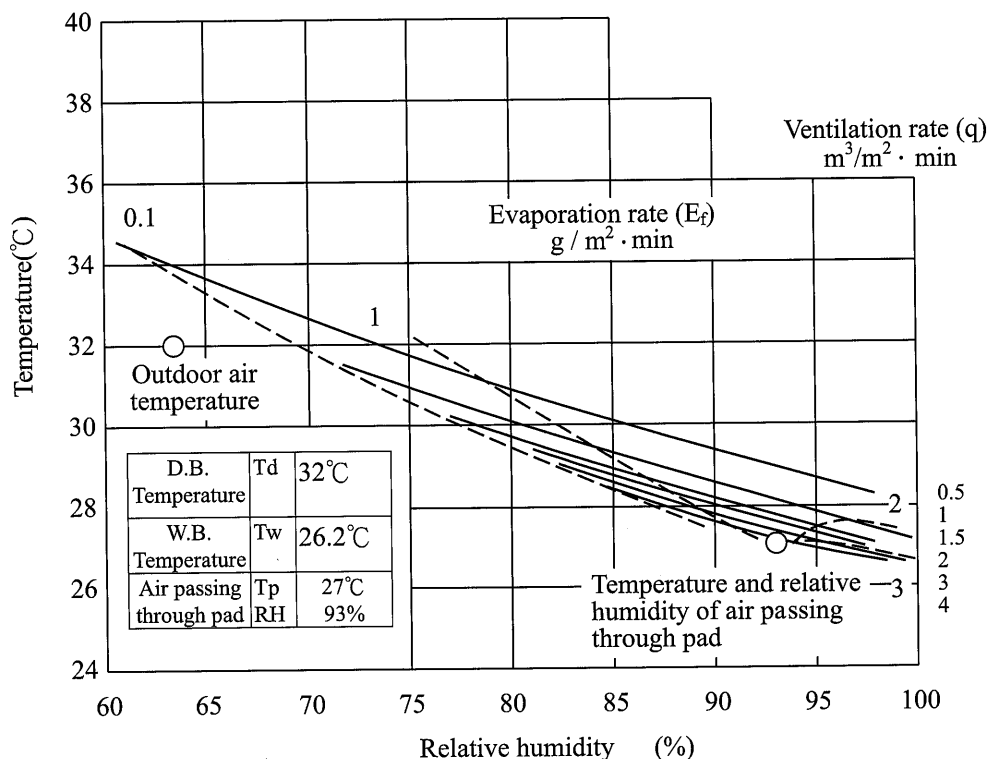


圖 12. 密閉式水簾畜舍之 VETH (P) 線圖。

Fig. 12. VETH (P) chart of swine building with evaporative cooling pad system.

參考文獻

- 王鼎盛。1990。開放式畜舍內輻射量之模擬。農業工程學報 36:78-86。
- 方煒。1994。水牆設計與使用。農業機械學刊 3(4): 57-70。
- 仇立偉、林達德。1997。鴨舍動態熱環境模擬與控制策略之研究。農業機械學刊 6(1): 1-18。
- 陳加忠、黃裕益、雷鵬魁。1997。密閉式雞舍水牆降溫系統之探討。農林學報 46(4): 17-33。
- 三原義秋。1980。溫室設計の基礎と實際。養賢堂，東京，pp. 160-166。
- 井上宇市。1997。空氣調節ハンドブック。丸善株式會社，東京，pp. 26-92。
- 岩谷 信。1991。ウインドウレスのすべて。チクサン出版社，東京，pp. 16-52。
- Munters. 1992. Celedk Evaporative Cooling System. Munters. Ltd. USA.

The Evaluation of Thermal Environment in Swine Building with Evaporative Cooling Pad System

Yu-I Huang⁽¹⁾, Kwang-Wen Hsieh⁽¹⁾, Chun-Che Cheng⁽²⁾

Received: Oct. 23, 2000 ; Accepted: Nov. 20, 2000

Abstract

Thermal environment model was developed according to the climate characteristics of Taiwan for swine building with evaporative cooling pad. Loading calculation was adopted to evaluate heat source in the building and the effect of temperature reduction for established model in this study. Measurements of thermal environmental parameters were conducted in swine building for proving the feasibility of model. Ventilation rates for variable control conditions were determined by calculation of heat sources and establishing the relationship among ventilation rate (V), evaporation rate (E), temperature (T), and relative humidity (H) of building named VETH chart.

For the summer climate of Taiwan, experimental results showed that indoor temperature of building with evaporative cooling pad was 5~6 °C lower than outdoor temperature under the condition of outdoor temperature 32~34 °C and relative humidity 60~70 %. Main heat source of inside building are coming from the roof and walls under solar radiation. Ventilation rates and operational cost can be reduced for control target of temperatures by selecting roof material with good insulation.

Key words: Swine building, Evaporative cooling pad, Thermal environment.

(1) Department of Agricultural Machinery Engineering, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan, R.O.C.

(2) Animal Farm, COA-TLRI, Hsinhua, Tainan, Taiwan, R.O.C.