

畜舍構造諸因子對舍內輻射熱量之要因分析

The Factorial Analysis of Thermal Radiation in Livestock Buildings

國立臺灣大學農業
工程學系副教授

王鼎盛

國立臺灣大學農業
工程學研究所碩士

吳世雄

國立臺灣大學農業工
程系博士後副研究員

廖中明

摘 要

本文乃以分散分析法來評估因子的要因效果。本分析中做為分析的特性值為畜舍內的輻射熱量。共選取11個因子，其中亦分別設定三個水準。因子水準組合乃利用實驗計劃法中之直交配列表求得。

畜舍構造諸因子經要因分析後，由結果可得知影響短波輻射熱量的主要因子為屋簷高度和畜舍寬度，影響長波輻射熱量的主要因子為屋頂總熱傳達抵抗和屋頂內表面輻射率，因此在畜舍設計建設時應特別注意以上因子以降低畜舍內之輻射熱量。

關鍵字：要因分析、分散分析、舍內輻射量

ABSTRACT

This paper describes a methodology of variance analysis to assess the factorial effect of factors. The thermal radiation in livestock buildings was chosen to be a characteristic value. There are eleven factors in factorial analysis and each factor has three levels. The combination of each factor level was analyzed by the experimental methodology.

The chosen factors of livestock building was analyzed by factorial analysis. The results found that the major factors of shortwave radiation are overhang, height and building width, while the major factors of longwave radiation are roof heat-resistance and the emissivity of the indoor roof. Therefore, the structure of livestock building should be designed in accordance with the major factors in order to alleviate the indoor radiation.

Keywords: factorial analysis, variance analysis, thermal radiation.

前 言

大多數的禽畜在氣溫 24°C ~ 27°C 時，其生產性開始降低（王鼎盛，1990）本省於夏季時平均氣溫高於 24°C ，每日最高氣溫高於 30°C ，亦即於夏天時畜舍內畜舍全天候均受到熱緊迫，為了使開放型畜舍

內由於輻射熱量對家畜所產生的熱緊迫達到最小，所以對於開放型畜舍構造諸因子對畜舍內輻射熱量影響的情形須有全盤性的瞭解。

由輻射熱量的計算式中，根據計算式可推得畜舍構造諸因子對舍內輻射熱量可能有較大影響的因子有屋頂材料的熱特性值，屋頂內、外表面的日射

吸收率、輻射率等共有10種，所以在實際情況下無法以實際測得的實驗值來進行定量的評估，而以輻射熱量的計算式來進行模擬，所得的值當做特性值，再用要因分析的方法來進行定量的評估，以求得畜舍構造諸因子對舍內輻射熱量的：

(1)寄與率 (ratio of contribution)

(2)要因效果 (factorial effect)

(3)簡單的輻射熱量預測式

進而藉要因分析所得之結果以提供畜舍在設計建築時之參考。

因子之要因分析

若某一物理量 y ，其影響因子有 $(F_1、F_2、\dots、F_n)$ 時，可以函數 f 來加以表示如下：

$$y = f(F_1, F_2, \dots, F_n) \quad (1)$$

將種種因子的值代入(1)式中所得到的 y 值加以分散分析 (analysis of variance) 來評估因子的要因效果，做為分散分析用的 y 值稱之為特性值 (田口玄一，1976) 而幾個因子中有 1 因子的稱之為主效果 (main effect)、2 因子交互作用、3 因子交互作用、……幾因子交互作用等幾種類的要因效果。

1. 要因分析法

在本分析中做為分析的特性值 y 是畜舍內的輻射熱量，亦即以畜舍內輻射熱量計算式當作(1)式來進行分析。

在因子的選取方面根據的因素有：

- (1)對輻射熱量可能有較大影響的構造因子。
- (2)在實際的畜舍設計，施工時所需考慮的因子：

在本分析中共選取11個因子如下：

- (1)屋頂的總熱傳達係數 (F1)。
- (2)屋頂外表面的日射吸收率 (F2)。
- (3)屋頂外表面的輻射率 (F3)。
- (4)屋頂內外表面的日射吸收率 (F4)。
- (5)屋頂內外表面的輻射率 (F5)。
- (6)地表面的種類 (F6)。
- (7)畜舍長度 (F7)。
- (8)畜舍寬度 (F8)。
- (9)屋簷高度 (F9)。
- (10)畜舍方位 (F10)。
- (11)屋頂斜度 (F11)。

以上11個因子分別設定為三個水準，而11個因子之水準組合共有 177,147組，為了提昇評估時的

效率，關於因子水準的組合是利用實驗計畫法中的直交配列表 (田口玄一，1976)。由於因子間的交互作用對於輻射熱量的影響無法明確的掌握，因此在本分析中為了簡化，只考慮 2 因子的交互作用。

2. 分析方法與直交配列表之選擇

欲使開放型畜舍內輻射熱量降低的方法可包括有減小屋頂的總熱傳達係數 (F1) 和遮斷直達的日射等，因此 2 因子交互作用的選取分別為 F1 與其它因子的交互作用 (F1×F2、F1×F3、……F1×F11)，畜舍寬 (F8×F9)，及棟方位 (F10) 和屋頂斜度 (F11) 的交互作用 (F10×F11) 共12個

關於直交配列表的選取方面，由於 3 水準的直交配列表各列的自由度 (degree of freedom) 為 2，因此11個主效果 (主效果自由度為 2) 和12個 2 因子交互作用 (2 因子交互作用至由度為 4) 的評估時，所需直交配列表的列數為35列，所以在本分析中選擇40列的直交配列表 L81(3**40)，剩餘的 5 列當作誤差項，即除了上述12個 2 因子交互作用之外的 2 因子交互作用和 3 因子以上的交互作用可由誤差項來看出。11個因子經 L81(3**40) 分配的結果因子水準的組合共有81組。

根據直交配列表 L81(3**40) 的81組因子水準組合代入輻射熱量的計算式中進行模擬，所得到的輻射熱量當做特性值，再根據以下的順序進行分散分析。首先用誤差項來進行 F 檢定 (friedman's test) α 取 0.05，經 F 檢定後，若有某些因子其分散 (variance) 較小而無法顯現其要因效果時，則將分散最小的項加入誤差項再行 F 檢定，若仍有因子無法顯現其要因效果時，再將分散最小的項加入誤差項再行 F 檢定直到無法顯現其要因效果的項完全消除為止，或直到誤差項的自由度累加到全自由度的二分之一為止。

分散分析的結果，可求得各因子的寄與率和要因效果以及畜舍內輻射熱量的預測式 (田口玄一，1976)，其求法分別如下：有關計算式所使用之符號，請參考附錄。

(1)各因子的寄與率可由(2)求得

$$p_i = (S_i - \phi_i \times V_{e,r}) / ST\% \quad (2)$$

(2)要因效果：各水準的要因效果以信賴度

(confidence coefficient) 95% 來求得其信賴限界 (confidence limit)

*主效果

$$\pm t\alpha(\phi_{or}) \times (S_{or}/n_o \times \phi_{or}) **0.5 \quad (3)$$

*交互作用

$$\pm t\alpha(\phi_{or}) \times (S_{or}/n_i \times \phi_{or}) **0.5 \quad (4)$$

(3) 輻射熱量的預測式 (信賴度95%)

$$PR = M + \sum(F_i - M) + \sum \sum U(j-l-i) \times [(F_i \times F_j - M) - (F_i - M) - (F_j - M)] \pm t\alpha(\phi_{or}) \times (S_{or}/n_o / \phi_{or}) **0.5 \quad (5)$$

因子水準之設定

在因子水準的設定時須考慮下列因素：

- (1) 現有材料之性質 (常用且符合經濟效益)。
- (2) 畜舍設計、施工時之限制。
- (3) 實際情況之配合參考。

1. 因子水準之設定值

(1) 屋頂總熱傳達抵抗 (F1)

屋頂總熱傳達抵抗的計算中需知道材料的熱傳導率和表面的熱傳達率，在本分析裏屋頂材料為石棉板和保麗龍，其總熱傳達抵抗的值分別設定如表一所示 (松尾楊等，1980)

表一：屋頂的熱傳導抵抗 (kcal/m²·h·°C) 熱容量和總熱傳達抵抗 (m²·h·°C/kcal)

| | 石棉 6.35mm | 石棉6.35mm 保麗龍15mm | 石棉6.35mm 保麗龍30mm |
|--------|--------------|---------------------|---------------------|
| 熱傳導抵抗 | 0.0058 | 0.324 | 0.624 |
| 熱容量 | 1.9177 | 2.1427 | 2.3677 |
| 總熱傳達抵抗 | 0.249 | 0.567 | 0.885 |

石棉的熱傳導比抵抗：0.92 m·h·°C/kcal

石棉的定容比熱：302 kcal/m³·°C

保麗龍的熱傳導比抵抗：21.2 m·h·°C/kcal

保麗龍的熱容量：15.0 kcal/m³·°C

屋頂外表面和內表面的熱傳達率分別為：

10.0 kcal/m²·h·°C、7.0 kcal/m²·h·°C

(2) 屋頂內外表面的日射吸收率和輻射率

日射吸收率、輻射率和材料表面的顏色和光滑程度有密切的關係，日射吸收率在白色系時為 0.2，黑色系時為 0.9，中間值為 0.55，共設定為 3 種水準。輻射率在金屬光滑面時為 0.2，一般塗裝面為 0.9，中間值為 0.55，亦設定為 3 種水準。

(3) 地表面種類 (F6)

地表面種類共設定為草地面、泥土面和混凝土地面三種、其地表面的日射吸收率、輻射率和蒸發比的值如表二所示 (松尾楊等，1980，尾島俊雄與森山正和，1978)。

表二：地表面的日射吸收率、輻射率和蒸發比

| | 草地面 | 泥土面 | 混凝土面 |
|-------|------|-------|------|
| 日射吸收率 | 0.75 | 0.862 | 0.7 |
| 輻射率 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 蒸發比 | 0.3 | 0.1 | 0.0 |

(4) 畜舍長、寬和屋簷高度 (F7~F9)

在大型的畜舍中，畜舍長度有的達 80m，小型的只有 10m 左右，故畜舍長度設定為 10、45、80m 三種水準。畜舍寬度依畜舍的規模有 3~18m，故畜舍寬度設定為 3、10、17m 三種水準。屋簷高度設定為 1.8、2.8、3.8m 三種水準。

(5) 棟方位 (F10)

畜舍的方位設定為東—西、東南—西北、南—北三種水準。

(6) 屋頂斜率

屋頂斜率設定為 6、20、34 度三種水準。

2. 其它條件之設定

在輻射熱量的模擬計算中，除上述之畜舍本身的條件外，尚需其它的條件，如氣象條件、模擬地點和日期，其值設定如表四所示 (中央氣象局，1971~1980)。

表四：其它條件之設定值

| | |
|------|-------------------------------------|
| 模擬日期 | 77、9、18 |
| 模擬地點 | 臺北市臺灣大學畜牧系 北緯 25.03 東經 121.52 |
| 氣象條件 | 77、9、18 測得之實測值 |
| 模擬位置 | 畜舍高 1m 之位置 |

3. 要因分析之特性值

在本分析中的特性值是畜舍內的輻射熱量，共取十二種輻射熱量當做特性值，分別介紹如表五所示。

表五：要因分析之特性值

| | |
|--------|-------------------------|
| 特性值 1 | 畜舍內高 0.5m 位置之全天平均的短波輻射量 |
| 特性值 2 | 畜舍內高 0.5m 位置之全天最大的短波輻射量 |
| 特性值 3 | 畜舍內高 0.5m 位置之全天平均的長波輻射量 |
| 特性值 4 | 畜舍內高 0.5m 位置之全天最大的長波輻射量 |
| 特性值 5 | 畜舍內高 0.5m 位置之全天平均的淨輻射量畜 |
| 特性值 6 | 舍內高 0.5m 位置之全天最大的淨輻射量 |
| 特性值 7 | 畜舍內高 1m 位置之全天平均的短波輻射量 |
| 特性值 8 | 畜舍內高 1m 位置之全天最大的短波輻射量 |
| 特性值 9 | 畜舍內高 1m 位置之全天平均的長波輻射量 |
| 特性值 10 | 畜舍內高 1m 位置之全天最大的長波輻射量 |
| 特性值 11 | 畜舍內高 1m 位置之全天平均的淨輻射量 |
| 特性值 12 | 畜舍內高 1m 位置之全天最大的淨輻射量 |

註：輻射熱量的平均值是以 simpson 法求得

結果分析

由寄與率及要因效果推定值之分析結果（吳世雄，1989）所得之各因子最小水準組合表可參考文獻（吳世雄，1989）。由各特性值所得之最小因子水準之要因效果推定值代入下列12個特性值方程式

$$PR1 = (F7 + F11 + F8F9F10 + F4 + F6 - 5 * M) \pm 8.4 \quad (6)$$

$$PR2 = (F8 + F9 + F7 + F11 + F10 - 4 * M) \pm 37.2 \quad (7)$$

$$PR3 = (F11 + F7 + F9 + F1F8 + F1F5 + F8F9 + F2 - F1 - F8 - 4 * M) \pm 7.4 \quad (8)$$

$$PR4 = (F11 + F1F5 + F6 + F1F8 + F1F2 + F8F9 - 2 * F1 - 2 * F8 - F9) \pm 12.1 \quad (9)$$

$$PR5 = (F11 + F9 + F10 + F7 + F1F8 + F3 - 5 * M) \pm 12.8 \quad (10)$$

$$PR6 = (F9 + F7 + F3 + F1F5 + F1F8 + F1F4 + F1F2 + F10F11 - 4 * F1 - F5 - F4 - F2) \pm 99.4 \quad (11)$$

$$PR7 = (F7 + F11 + F8F9 + F4 + F10 + F6$$

$$- 5 * M) \pm 7.1 \quad (12)$$

$$PR8 = (F7 + F11 + F10 + F8f9 - 3 * M) \pm 32.0 \quad (13)$$

$$PR9 = (F11 + F6 + F7 + F8F9 + F1F5 + F2 + F1F8 - F1 - F8 - 4 * M) \pm 7.4 \quad (14)$$

$$PR10 = (F1F5 + F11 + F6 + F1F2 + F1F8 + F8F9 - 2 * F1 - 2 * F8) \pm 12.1 \quad (15)$$

$$PR11 = (F7 + F1F5 + F6 + F8F9 + F3 + F10F11 + F4 + F1F2 - F1 - 6 * M) \pm 10.2 \quad (16)$$

$$PR12 = (F11 + F7 + F10 + F1F4 + F1F5 + F1F2 + F3 + F8F9 - 3 * F1 - F2 - F4 - 2 * M) \pm 65.8 \quad (17)$$

則便可得最小之特性值（輻射量）。計算結果列於表六。

表六：各特性值經要因分析所得之最小值

| 特性值 | * 最小特性值，kcal/m ² -h |
|-----|--------------------------------|
| 1 | <6.9 |
| 2 | <44.3 |
| 3 | <3226 ± 7.49 |
| 4 | <365 ± 12.1 |
| 5 | <353.9 ± 12.8 |
| 6 | <371.9 ± 99.4 |
| 7 | <3.7 |
| 8 | <53.7 |
| 9 | <322 ± 8.1 |
| 10 | <362.6 ± 13.0 |
| 11 | <334.9 ± 10.2 |
| 12 | <367.9 ± 65.8 |

* 各特性位代表意義請參閱表五。

結論

由畜舍構造諸因子經要因分析後，可得以下之結論：

1. 入射於畜舍的輻射熱量確實受畜舍構造因子之影響。
2. 影響短波輻射熱量之主要因子為屋簷高和畜舍寬

度，而影響長波輻射量之主要因子為屋頂總熱傳達抵抗和屋頂內表面輻射率。

3. 畜舍構造因子對舍內不同高度之輻射熱量的影響情形大致相似，只是在寄與率的大小有些微差異。

參 考 文 獻

1. 王鼎盛 (1990)：開放式畜舍內輻射量之模擬，農工學報。36(1)：78—86。
2. 尾島俊雄，森山正和 (1978)：地域環境アセスメントにおける地表面熱收支理論，應用研究，第2報，地表熱收支計算法實測，日本建築學會論文報告集，第265號，93—103。
3. 松尾陽，橫山浩一，石野久彌，川元昭吾 (1980)：空氣設備動的熱負荷計算入門，日本建築設備士協會，7—101。
4. 田口玄一 (1976)：實驗計畫法 (上)，丸善，1—50，339—355。
5. 中央氣象局，氣象報告彙編 (臺灣) 第四篇，民國六十年至民國六十九年。
6. 吳世雄 (1989)：畜舍構造諸因子對舍內輻射熱

量之要因分析。國立臺灣大學農業工程學系碩士論文。

附錄要因分析之符號說明

- F : 因子
Fi×Fj : 因子 i 和因子 j 的交互作用
M : 特性值之平均值
PR : 特性值之預測式
S : 平方和
V : 雙異數
ρ : 寄與率 (%)
φ : 自由度
n : 81/樣本數
ne : 81/須考慮之自由度數
- 足碼標字：
er : 誤差項
i : 因子種類
o : 主效果
t : 交互作用

收稿日期：民國79年2月7日

接受日期：民國79年2月27日

專營 土木、水利、建築、工程承包、挖土機出租
廢土清運、破碎機等工程

明 川 土 木 包 工 業

負責人：邱明川 地 址：花蓮市建國街89巷9號
電 話：(038) 331948 · 331951
工地電話：(038) 841314

專營 土木、水利、建築等工程

原 正 營 造 事 業 有 限 公 司

廠 址：台北縣淡水鎮民族路110巷38弄11號
聯絡處：台北市重慶南路2段21號6F之4
電 話：(02) 3912205 · 3915327