

# 水簾式肉豬舍熱季微氣候與空氣品質調查<sup>(1)</sup>

蘇天明<sup>(2)(3)</sup> 劉威志<sup>(2)</sup> 翁義翔<sup>(2)</sup> 蕭庭訓<sup>(2)</sup>

收件日期：112 年 4 月 11 日；接受日期：112 年 6 月 13 日

## 摘 要

本試驗旨在探討水簾式肉豬舍在豬隻進養前後，豬舍內的微氣候與空氣品質資料。在熱季（5—8 月）將 LYD [(Landrace ♀ × Yorkshire ♂) ♀ × Duroc ♂] 雜交肉豬（平均體重約 36 kg）500 頭，飼養在水簾式肉豬舍 20 個豬欄內，每欄 25 頭，期間飼糧與飲用水皆充分供應，至平均體重約 110 kg 結束試驗。調查空舍期及豬隻飼養期間豬舍外水簾端（P1）、豬舍內水簾端（P2）、空氣污染防治設施前端（P3）與空氣污染防治設施後端（P4）之微氣候及空氣品質。試驗結果顯示，豬舍空舍期在風扇運轉功率（FOP）自動控制的情況下，P1 的溫濕度指數（THI）顯著地較豬舍內各測定點為高，然調整 FOP 在 40—100% 間豬舍內環境溫度、相對濕度（RH）及 THI 無差異，通風量則隨著 FOP 增加而提高（ $P < 0.05$ ）。無論自動控制或手動調整 FOP，豬舍內空氣品質指標（AQI）皆介於良好及普通間。豬隻生長期及肥育期豬舍外平均環境溫度分別約 31℃ 及 34℃，豬舍內 RH 較豬舍外高 30—45%（ $P < 0.05$ ），溫度顯著降低 4—6℃，THI 介於 30—35 間也較豬舍外為低（ $P < 0.05$ ），而豬舍內 AQI 介於 42—77 間。豬隻生長期 P3 和 P4 的氨濃度分別為 3.66 和 0.39 ppm，肥育期則為 4.86 和 0.70 ppm，P4 位置的氨濃度分別較 P3 降低約 89% 及 85%（ $P < 0.05$ ），顯示在 P3 和 P4 間設置空氣污染防治設施確發揮改善氨氣排放的功能。綜上，應用水簾式肉豬舍具有改善熱季豬舍內微氣候及空氣品質的效果，可提高豬隻舒適感。

關鍵詞：空氣品質、生長肥育豬、豬舍微氣候、水簾式肉豬舍。

## 緒 言

養豬業長久以來都是臺灣農業產值最高的產業，但肉豬舍仍以開放式實地面建築居多，面對全球氣候暖化的飼養管理風險和日益嚴峻的環保法令，皆屬刻正必須正視的問題。Cheng *et al.* (2022) 指出，牲畜的生長速度、產乳量、產蛋量、繁殖性能、罹病率、死亡率及飼料供應，皆會隨著全球氣候變遷而受到影響。Leonardo *et al.* (2022) 指出，畜舍內微氣候主要受到溫度、相對濕度和通風量的影響，而這些參數會受到季節和豬舍外的氣流變化影響，必須在密閉空間評估。

為維持豬隻正常生長必須提供其舒適和健康的適當環境，通常用來衡量豬舍環境的指標包括豬舍內微氣候和有害氣體濃度等。豬舍內微氣候指標以溫度和相對濕度為主 (Rowell, 1972)，並常以溫濕度指數 (temperature-humidity index, THI) 作為動物舒適感的指標 (Lallo *et al.*, 2018; Cross *et al.*, 2020; Rathnayake *et al.*, 2021)，Quiniou *et al.* (2001) 和 Renaudeau *et al.* (2008) 都認為豬隻的適溫帶 (thermoneutral zone) 大約是 24—25℃。空氣中有害氣體評估常包括二氧化碳 (CO<sub>2</sub>)、氨 (NH<sub>3</sub>) 和硫化氫 (H<sub>2</sub>S) (Philippe *et al.*, 2009; Stinn *et al.*, 2014)，以及懸浮微粒與揮發性有機物 (Lim *et al.*, 2000; Elenbaas-Thomas *et al.*, 2005; Kim *et al.*, 2005; Sun *et al.*, 2008) 等。在採取隧道式通風的豬場，經常以提高風速來改善豬舍內微氣候 (Stender *et al.*, 2003; Barbari *et al.*, 2007)，並常以 CO<sub>2</sub> 濃度作為通風率的指標 (Sousa and Pedersen, 2004; Li *et al.*, 2005; Rong *et al.*, 2014)。由於豬隻缺乏功能性汗腺，透過呼吸道增加蒸發是消散熱負荷的有效方法 (Black *et al.*, 1993; Baumgard and Rhoads, 2013)，蕭等 (2015) 認為豬舍通風設施主要為排除舍內水蒸氣、熱及空氣。畜舍配備隧道通風系統安裝排風扇強制空氣對流，是改善動物排熱的有效方法之一 (Barbari *et al.*, 2007; Barbari and Conti, 2009)。在通風的風速方面，夏 (2001) 指出，當環境溫度 21.1℃ 時，風速 0.17—0.27 m/s 對各年齡豬隻皆為舒適等級，Whittemore (1993) 研究發現，肥育豬適合生長在風速 0.3 m/s 的環境，Hoff (2013) 則推薦隧道式水簾通風系統以 2 m/s 的風速，可提供豬隻舒適生長環境，Nääs *et al.* (2006) 指出，利用水簾降溫除了可讓空氣

(1) 農業部畜產試驗所研究報告第 2749 號。

(2) 農業部畜產試驗所畜產經營組。

(3) 通訊作者，E-mail: tmsu@mail.tlri.gov.tw。

進入豬舍前被冷卻外，也兼具減少粉塵進入豬舍的效果。豬舍內環境溫度穩定可提高豬隻生長性能 (Quiniou *et al.*, 2001; Huynh *et al.*, 2005; Renaudeau *et al.*, 2008)，高溫環境對豬隻飼料採食量會有明顯的負面影響 (Le Dividich *et al.*, 1988; Pearce *et al.*, 2015)，而豬隻飼養在適當的環境溫度下，具有改善飼料效率 (Barbari *et al.*, 2007) 及日增重 (Wiegert *et al.*, 2018) 效果。

臺灣屬亞熱帶海島型氣候，理想的豬隻生產環境必須有效改善豬舍內環境變異，例如溫度、濕度、風速及空氣污染物 (Brown-Brand *et al.*, 2014)，提供豬舍內適當的照度以增加豬隻採食量 (Bruininx *et al.*, 2002; Niekamp *et al.*, 2006)。畜產試驗所在 2020 年建置一棟在養 500 頭規模的模組化水簾式肉豬舍，本研究旨在建立此棟豬舍空舍期及豬隻飼養期間豬舍內的微氣候與空氣品質資料，以提供業者新 (修) 建豬舍參採與應用。

## 材料與方法

### I. 試驗豬舍：為密閉高床刮糞式鋼筋水泥之模組化水簾式肉豬舍建築 (圖 1)。

- (i) 豬舍內部：長 × 寬 × 高 = 63.7 m × 12.3 m × 2.4 m，截面積 29.5 m<sup>2</sup>，總容積 1,880 m<sup>3</sup>。
- (ii) 水簾及風扇：豬舍東側、南側及北側設置厚度 0.3 m，高度 1.8 m，長度分別為 12.3、5.4 及 5.4 m 塑膠材質的水簾降溫設施，採自來水循環、自動補水方式，總面積為 41.6 m<sup>2</sup>，西側安裝 7 臺 48 吋無段自動變速風扇。
- (iii) 通氣窗：透明玻璃材質，豬舍南側設置長 × 寬 = 1.55 m × 1.0 m 通氣窗 9 樘，北側設置長 × 寬 = 1.55 m × 1.0 m 通氣窗 6 樘及設置長 × 寬 = 3.35 m × 1.0 m 通氣窗 3 樘，以因應電力故障時豬舍緊急通風，兼具日間採光及提供參訪功能。
- (iv) 欄位設置：設置長 × 寬 = 5.4 m × 5.4 m 豬欄共 20 欄，南側與北側豬欄間設置寬 1.5 m 中間走道。
- (v) 燈具設置：豬舍內設置吸頂式 LED 電燈 (20W, 220V)，包括水簾端走道及空氣污染防治設施前走道各 3 盞，以及每一豬欄與中間走道各 10 盞，共 36 盞 (圖 2)。

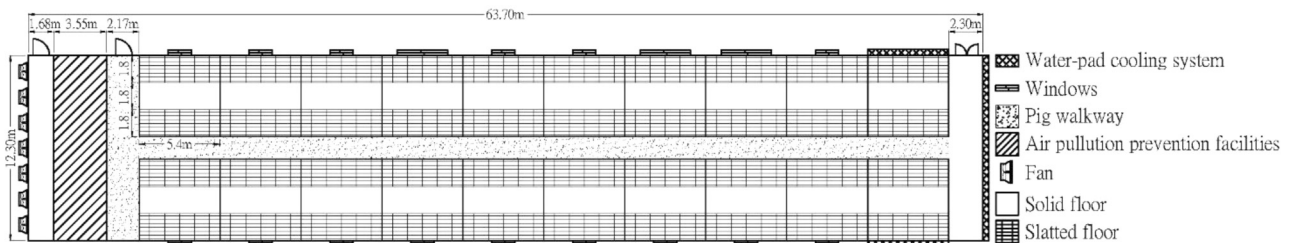


圖 1. 水簾式肉豬舍平面圖。

Fig. 1. The floor plan of wet-pad cooling system pig house.

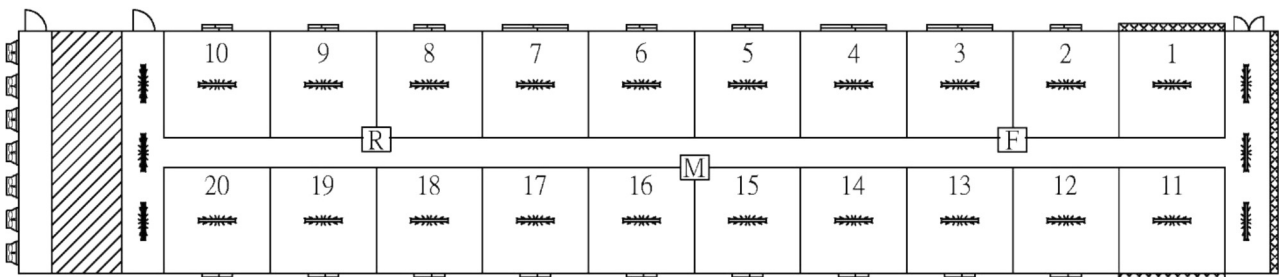


圖 2. 豬舍電燈位置圖及照度測定點 (F、M、R：豬舍前端、中端、後端，豬舍中間走道距離地面 1 公尺處)。

Fig. 2. The lamp location map and illuminance measurement points in pig houses (F, M, R: the front, middle, and rear ends of the pig house, the middle walkway of the pig house is 1 meter above the floor).

- (vi) 糞尿清理：每一豬欄前端與後端地面設置 5.4 m (長) × 1.8 m (寬) 的條狀地面，條狀地面下方設置刮糞溝、安裝軌道式刮糞板，中端設置 5.4 m (長) × 1.8 m (寬) 的實地面地板；採糞尿分離方式，豬隻生長期與肥育期每日分別清理刮糞溝中糞便 2 次與 3 次至豬欄西側集糞溝，豬欄地面上殘留之糞便則不清理，尿液及豬隻飲水溢漏水排至豬欄東側集尿溝集中後排出豬舍。

- (vi) 空氣污染防治設施：在距離西側最後豬欄 2.17 m 處設置 12.3 m (長) × 2.4 m (高)、厚度 0.3 m、體積 8.85 m<sup>3</sup> 塑膠材質的空氣污染防治設施，利用循環水進行空氣污染物去除。
- (vii) 水簾通風自動控制系統：由水簾、風扇及室內外溫濕度計組成，自動控制水簾供水及風扇運轉功率 (fan operating power, FOP)，以達到調控豬舍內溫度及濕度目的，其控制參數如下：
1. 豬舍外環境溫度低於 23℃ 時，FOP 以 40% 之最小通風量以維持畜舍空氣流通，保持豬隻生理基本需求，並隨著環境溫度升高自動調整 FOP。
  2. 豬舍外環境溫度達 27℃ 時，除風扇持續自動調整 FOP 運轉外，並啟動水簾供水馬達進行降溫。
  3. 豬舍外環境溫度達 30℃ 時，FOP 以 100% 最大通風量運轉，提高室內空氣流速，同時水簾供水馬達持續運轉。
  4. 豬舍外相對濕度 (relative humidity, RH) 達 95% 時，關閉水簾供水馬達，FOP 以 100% 最大通風量運轉。
  5. 在豬舍外水簾端及豬舍內中間走道前端 (第 2 – 3 欄間, F)、中端 (15 – 16 欄間, M) 及末端 (8 – 9 欄間, R) 距離豬舍地面 2 m 處 (圖 3)，分別設置溫濕度計自動量測並記錄溫濕度，每週並以指針型毛髮溫濕度計 (IACF-452007, TFA, Germany) 測定上述 4 點的溫濕度以校正。

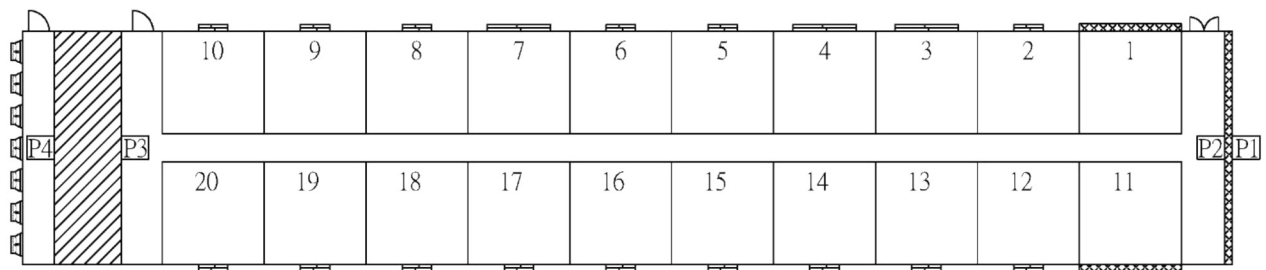


圖 3. 豬舍微氣候與空氣品質測定點 (P1：豬舍外水簾端；P2 豬舍內水簾端；P3 空氣污染防治設施前端；P4 空氣污染防治設施後端)。

Fig. 3. The microclimate and air quality measurement points in pig houses (P1: wet-pad cooling system end outside the pig house; P2: wet-pad cooling system end inside the pig house; P3: air pollution control facility frontend; P4: air pollution control facility backend).

## II. 試驗動物

- (i) 試驗於 2022 年 5 月 11 日至同年 8 月 17 日在畜產試驗所進行，將保育期結束 (14 週齡，平均體重約 36 kg) 的 LYD [(Landrace ♀ × Yorkshire ♂) ♀ × Duroc ♂] 仔豬 500 頭，平均飼養在 20 個豬欄、每欄 25 頭，期間飼糧與飲用水皆充分供應，至平均體重約 110 kg 結束試驗。每頭飼養面積 1.16 m<sup>2</sup>，符合行政院農業委員會 (2017) 豬隻友善飼養系統定義及指南，生長肥育豬 (體重 30 – 110 kg 以上) 每頭面積至少 1.0 平方公尺規範。
- (ii) 試驗動物之使用、飼養及實驗內容，皆依據畜產試驗所實驗動物照護及使用小組審查同意書 (同意書編號：111-08) 及試驗準則進行。

## III. 調查與分析項目

- (i) 空舍期水簾通風系統自動控制情況下豬舍微氣候及空氣品質資料收集：
  1. 豬隻進養前連續 7 日分別從上午 9 時及下午 14 時開始，在豬舍外水簾端 (P1)、豬舍內水簾端 (P2)、空氣污染防治設施前端 (P3) 及空氣污染防治設施後端 (P4) 等 4 個點，距離豬舍地面 1 m 處 (圖 3)，進行下列微氣候及空氣品質相關測定及資料收集：
    - (1) 豬舍內、外之溫度與相對濕度：以指針型毛髮溫濕度計測定。
    - (2) 氨氣濃度：以北川式ガス檢知管 (檢測範圍 0.2 – 20 ppm；光明理化學工業株式會社，Japan) 測定。
    - (3) 一氧化碳 (carbon monoxide, CO)、硫化氫 (hydrogen sulfide, H<sub>2</sub>S) 及氧氣 (oxygen, O<sub>2</sub>) 濃度：以攜帶式四用氣體偵測器 (Altar 4XR, MSA, USA) 測定。
    - (4) 細懸浮微粒 (fine aerosol, PM<sub>2.5</sub>)、懸浮微粒 (aerosol, PM<sub>10</sub>) 與總揮發性有機物 (total volatile organic compound, TVOC) 濃度及空氣品質指標 (air quality index, AQI)：以智慧空氣品質偵測器 (AM100, Acer, Taiwan) 測定。
    - (5) 二氧化碳 (carbon dioxide, CO<sub>2</sub>) 濃度：以二氧化碳偵測器 (ZG-106, TECPEL, Taiwan) 測定。
    - (6) 風速：以熱線式風速計 / 風溫計 (AVM-714, TECPEL, Taiwan) 測定。
  2. 豬舍內照度：豬隻進養前連續 16 日以藍芽溫照度記錄器 (MX2202, HOBO, Taiwan) 在豬舍第 2 – 3 豬欄



- (F)、15 – 16 豬欄 (M) 及 8 – 9 豬欄 (R)，中間走道距離地面 1 公尺處等 3 點 (圖 2)，分別測定全日未開燈 (CC)、全日開左右側電燈 (LR)、全日開前中後走道電燈 (BA) 及全日電燈全開 (FO) 之照度，每種開燈方式各 4 日、每小時記錄一次，並取 4 日之平均值。
3. 溫濕度指數 (temperature-humidity index, THI) 估算：參考 Lallo *et al.* (2018) 公式，即  $THI = T_{max} - (0.55 - (0.0055 RH) (T_{max} - 14.5))$ ，公式中： $T_{max}$  為調查期間乾球平均攝氏溫度，RH 為相對濕度百分率。
4. 通風量估算：參考蕭等 (2015) 公式，通風量 (ventilation volume, VV) = 豬舍截面積 × 風速。
- (ii) 空舍期水簾通風系統手動調整 FOP 情況下豬舍內微氣候及空氣品質資料收集：
- 前項測定隨後，以手動調整 FOP 為 40%、50%、60%、70%、80%、90% 及 100%，每次調整經約 10 分鐘風扇運轉正常後，依照前述 (i) 之方法，於豬舍內進行相同之測定與資料收集，並取各測定點 (P2、P3 及 P4) 平均值。
- (iii) 豬隻在養期間水簾通風系統自動控制情況下豬舍微氣候及空氣品質資料收集：
1. 除照度測定外，每週三依照前述 (i) 之方法，進行微氣候及空氣品質等資料收集。
  2. 照度測定：
- 豬隻生長期 (平均體重 36 kg) 及肥育期 (平均體重 75 kg) 開始時，連續 7 日以 24 小時計時器 (TB38909NT7, Panasonic, Japan) 設定從下午 16 時到翌日 9 時，開豬舍中間走道共 10 盞電燈，其餘時間採取自然光照，以藍芽溫照度記錄器在第 2 – 3 豬欄 (F)、15 – 16 豬欄 (M) 及 8 – 9 豬欄 (R)，豬舍中間走道距離地面 1 公尺處等 3 點，每小時自動記錄 1 次。

#### IV. 統計分析

利用 SAS 統計分析套裝軟體的一般線性模式程序 (general linear model procedure) 進行變方分析 (SAS, 2002)。微氣候及空氣品質資料以 LSMEANS 統計模式估計各測定點的最小平方平均值及標準機差，各測定點數值如有差異，再以最小顯著差異測驗法 (Least significant difference test, LSD)，比較差異顯著性。

## 結果與討論

### I. 空舍期豬舍之微氣候、空氣品質及照度

#### (i) 豬舍微氣候

豬舍空舍期由於水牆供水馬達故障，因豬隻即將進養無法繼續進行空舍期資料收集，故實際僅收集 8 筆資料。在自動控制 FOP 情況下 (表 1)，豬舍外水簾端 (P1) 的平均溫度達 30.7°C，顯著地較豬舍內 (P3 及 P4) 高約 2.5°C，相對濕度則以 P1 的 48.0% 較豬舍內 (P2、P3 及 P4) 低約 30 – 32% ( $P < 0.05$ )，豬舍內風速顯著地較 P1 為高，P1 的 THI 較豬舍內三個測定點皆高 ( $P < 0.05$ )，顯示自動控制水簾式豬舍的 FOP 和水牆供水確具降溫效果。由於豬舍外空氣係透過水牆進入豬舍，致使豬舍內的 RH 較豬舍外為高 ( $P < 0.05$ )。豬舍外 (P1) 風速較豬舍內為低應與豬舍後端設置風扇抽風有關。以手動調整 FOP 為 40%、50%、60%、70%、80%、90% 及 100%，進行豬舍內 (P2、P3 及 P4) 微氣候測定 (表 2)，結果 FOP 不影響豬舍內環境溫度及 RH，THI 隨著 FOP 增加而降低 ( $P < 0.05$ )，風速和 VV 則隨著 FOP 增加而顯著提高。

#### (ii) 豬舍空氣品質

在空舍期自動控制 FOP 的情況下 (表 1)，4 個測定點皆未測得 CO 及 H<sub>2</sub>S，O<sub>2</sub> 皆維持在 20.8%，豬舍內 CO<sub>2</sub>、TVOC、PM<sub>2.5</sub> 和 PM<sub>10</sub> 分別介於 425 – 433 ppm、0.16 – 0.16 ppm、16.6 – 18.2 µg/m<sup>3</sup> 和 26.5 – 37.9 µg/m<sup>3</sup> 間，符合室內空氣品質標準 (行政院環境保護署，2012) 1,000 ppm、0.56 ppm、35 µg/m<sup>3</sup> 和 75 µg/m<sup>3</sup> 規範，而 NH<sub>3</sub> 濃度在 0.20 – 0.32 ppm 間，P3 的 NH<sub>3</sub> 濃度顯著地較 P2 為高。AQI 介於 48 – 54 間，介於空氣品質監測網 (行政院環境保護署) 定義的空氣品質良好 (0 – 50) 及普通 (51 – 100) 間，即對人體健康影響為污染程度低或無污染 (0 – 50) 及對非常少數之極敏感族群產生輕微影響 (51 – 100)。以手動調整 FOP 為 40%、50%、60%、70%、80%、90% 及 100% (表 2)，結果豬舍內 3 個測定點 (P2、P3 及 P4) 皆未測得 CO 及 H<sub>2</sub>S，O<sub>2</sub> 皆維持在 20.8%，CO<sub>2</sub>、TVOC、PM<sub>2.5</sub> 和 PM<sub>10</sub> 皆隨著風扇 FOP 提高而降低，分別介於 421 – 431 ppm、0.14 – 0.20 ppm、13.0 – 25.7 µg/m<sup>3</sup> 和 2.63 – 41.7 µg/m<sup>3</sup> 間，且均符合室內空氣品質標準 (2012) 規範。NH<sub>3</sub> 介於 0.15 – 0.37 ppm，空氣品質屬良好及普通等級，AQI 介於 48 – 63 間。

#### (iii) 豬舍照度

在豬舍空舍期測定不同開燈方式的照度，主要目的是要沿用於豬隻飼養期間開燈方式。在全日未開燈 (CC) 連續 4 日的情況下，在夜間 (18 時到翌日 6 時) 豬舍前端 (第 2 – 3 欄間，F)、中端 (第 15 – 16 欄

間，M) 及後端 (第 8 – 9 欄間，R) 的照度皆為 0 (圖 4)，另在夜間其他 3 種開燈方式 (全日開左右側電燈，LR；全日開前中後走道電燈，BA；全日電燈全開，FO) 不論在豬舍前端、中端或末端，在夜間照度皆可達 5 lx 以上。豬舍內的照度必須滿足豬隻每日各時段的行為需求。提高豬舍內的照度會增加豬隻的採食量 (Bruininx *et al.*, 2002; Niekamp *et al.*, 2006)，當照度 12 – 200 lx 時豬隻可以區分顏色並且視力是恆定的，低於 12 lx 時豬隻視力僅能區分黑色和白色 (Graf, 1976)，Taylor *et al.* (2006) 指出，豬舍內的照度必須可以滿足豬隻交流和識別豬欄特徵，而歐盟推薦豬舍內的照度為 40 lx。Chandler *et al.* (1999) 發現，豬欄躺臥區域照度不可以太高，因為豬隻喜歡在 2.4 lx 昏暗的燈光下休息，而當照度小於 0.2 lx 時會降低豬的動物福利 (van Putten and Elshof, 1984)。綜合以上論述，本試驗在豬隻飼養期間，夜間必須補充豬舍內照度，以符合豬隻多以白天採食、夜間休息的動物行為需求。

表 1. 豬舍空舍期之微氣候與空氣品質

Table 1. The microclimate and air quality in pig house during empty period

| Items                                 | Measure the position <sup>1</sup> |                    |                   |                    | SEM <sup>2</sup> |
|---------------------------------------|-----------------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|
|                                       | P1                                | P2                 | P3                | P4                 |                  |
| Measurement times                     | 8                                 | 8                  | 8                 | 8                  |                  |
| Temperature, °C                       | 30.7 <sup>a</sup>                 | 28.3 <sup>b</sup>  | 28.3 <sup>b</sup> | 28.0 <sup>b</sup>  | 0.3              |
| Relative humidity, %                  | 48.0 <sup>b</sup>                 | 79.5 <sup>a</sup>  | 79.0 <sup>a</sup> | 78.3 <sup>a</sup>  | 0.6              |
| THI <sup>3</sup>                      | 34.7 <sup>a</sup>                 | 26.9 <sup>b</sup>  | 23.1 <sup>c</sup> | 18.6 <sup>d</sup>  | 0.5              |
| Wind speed, m/sec                     | 0.85 <sup>b</sup>                 | 1.39 <sup>a</sup>  | 1.44 <sup>a</sup> | 1.45 <sup>a</sup>  | 0.03             |
| VV <sup>4</sup> , m <sup>3</sup> /sec | 25.0 <sup>b</sup>                 | 41.1 <sup>a</sup>  | 42.5 <sup>a</sup> | 42.8 <sup>a</sup>  | 1.0              |
| CO, ppm                               | 0.00                              | 0.00               | 0.00              | 0.00               | 0.00             |
| H <sub>2</sub> S, ppm                 | 0.00                              | 0.00               | 0.00              | 0.00               | 0.00             |
| O <sub>2</sub> , %                    | 20.8                              | 20.8               | 20.8              | 20.8               | 0.0              |
| PM <sub>2.5</sub> , µg/m <sup>3</sup> | 18.4                              | 17.2               | 18.2              | 16.6               | 2.5              |
| PM <sub>10</sub> , µg/m <sup>3</sup>  | 29.5                              | 27.3               | 37.9              | 26.5               | 6.1              |
| CO <sub>2</sub> , ppm                 | 424                               | 425                | 426               | 433                | 4                |
| NH <sub>3</sub> , ppm                 | 0.13 <sup>a</sup>                 | 0.20 <sup>bc</sup> | 0.32 <sup>a</sup> | 0.25 <sup>ab</sup> | 0.04             |
| TVOC, ppm                             | 0.17                              | 0.16               | 0.16              | 0.16               | 0.01             |
| AQI <sup>5</sup>                      | 55.9                              | 53.0               | 53.5              | 48.7               | 5.4              |

<sup>1</sup> P1: wet pad cooling system end outside the pig house; P2: wet pad cooling system end inside the pig house; P3: air pollution prevention facility frontend; P4: air pollution prevention facility backend.

<sup>2</sup> SEM: standard error of the mean.

<sup>3</sup> Refer to Lallo *et al.* (2018) formula to estimate, THI (temperature-humidity index) =  $T_{\max} - (0.55 - (0.0055 \text{ RH}) (T_{\max} - 14.5))$ .

<sup>4</sup> Refer to Hsiao *et al.* (2015) formula to estimate, VV (ventilation volume) = cross section area of the trickling filter × wind speed.

<sup>5</sup> AQI: air quality index.

<sup>a, b, c</sup> Means with in same row without the same superscripts differ ( $P < 0.05$ ).

表 2. 風扇運轉功率對空舍期豬舍內微氣候與空氣品質之影響

Table 2. Effects of fan operating power (FOP) on microclimate and air quality in pig house during empty period

| Items                | FOP               |                   |                   |                   |                   |                   |                   | SEM <sup>1</sup> |
|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|
|                      | 40%               | 50%               | 60%               | 70%               | 80%               | 90%               | 100%              |                  |
| Measurement times    | 8                 | 8                 | 8                 | 8                 | 8                 | 8                 | 8                 |                  |
| Temperature, °C      | 29.4              | 28.7              | 29.1              | 29.1              | 28.8              | 28.7              | 27.9              | 0.5              |
| Relative humidity, % | 69.4              | 72.0              | 71.9              | 70.7              | 70.9              | 71.9              | 72.5              | 3.1              |
| THI <sup>2</sup>     | 27.6              | 26.5              | 26.5              | 26.2              | 25.0              | 24.8              | 23.2              | 1.5              |
| Wind speed, m/sec    | 0.57 <sup>g</sup> | 0.79 <sup>f</sup> | 0.90 <sup>e</sup> | 1.15 <sup>d</sup> | 1.42 <sup>c</sup> | 1.69 <sup>b</sup> | 1.93 <sup>a</sup> | 0.04             |

表 2. 風扇運轉功率對空舍期豬舍內微氣候與空氣品質之影響 (續)

Table 2. Effects of fan operating power (FOP) on microclimate and air quality in pig house during empty period (continued)

| Items                                 | FOP               |                    |                    |                    |                    |                    |                    | SEM <sup>1</sup> |
|---------------------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|
|                                       | 40%               | 50%                | 60%                | 70%                | 80%                | 90%                | 100%               |                  |
| VV <sup>3</sup> , m <sup>3</sup> /sec | 16.8 <sup>g</sup> | 23.2 <sup>f</sup>  | 26.6 <sup>e</sup>  | 33.9 <sup>d</sup>  | 41.8 <sup>c</sup>  | 49.9 <sup>b</sup>  | 57.1 <sup>a</sup>  | 1.3              |
| CO, ppm                               | 0.00              | 0.00               | 0.00               | 0.00               | 0.00               | 0.00               | 0.00               | 0.00             |
| H <sub>2</sub> S, ppm                 | 0.00              | 0.00               | 0.00               | 0.00               | 0.00               | 0.00               | 0.00               | 0.00             |
| O <sub>2</sub> , %                    | 20.8              | 20.8               | 20.8               | 20.8               | 20.8               | 20.8               | 20.8               | 0.0              |
| PM <sub>2.5</sub> , µg/m <sup>3</sup> | 12.8 <sup>b</sup> | 13.0 <sup>b</sup>  | 16.6 <sup>ab</sup> | 20.9 <sup>ab</sup> | 19.6 <sup>ab</sup> | 18.0 <sup>ab</sup> | 25.7 <sup>a</sup>  | 3.2              |
| PM <sub>10</sub> , µg/m <sup>3</sup>  | 20.6              | 35.5               | 26.3               | 32.9               | 30.4               | 29.4               | 41.7               | 7.7              |
| CO <sub>2</sub> , ppm                 | 429               | 431                | 426                | 431                | 428                | 421                | 426                | 5                |
| NH <sub>3</sub> , ppm                 | 0.10 <sup>c</sup> | 0.23 <sup>b</sup>  | 0.15 <sup>bc</sup> | 0.27 <sup>ab</sup> | 0.37 <sup>a</sup>  | 0.26 <sup>b</sup>  | 0.19 <sup>bc</sup> | 0.05             |
| TVOC, ppm                             | 0.15 <sup>b</sup> | 0.14 <sup>b</sup>  | 0.14 <sup>b</sup>  | 0.17 <sup>ab</sup> | 0.17 <sup>ab</sup> | 0.20 <sup>a</sup>  | 0.19 <sup>ab</sup> | 0.01             |
| AQI <sup>4</sup>                      | 44.7 <sup>b</sup> | 48.5 <sup>ab</sup> | 50.5 <sup>ab</sup> | 56.2 <sup>ab</sup> | 54.8 <sup>ab</sup> | 52.2 <sup>ab</sup> | 69.3 <sup>a</sup>  | 6.8              |

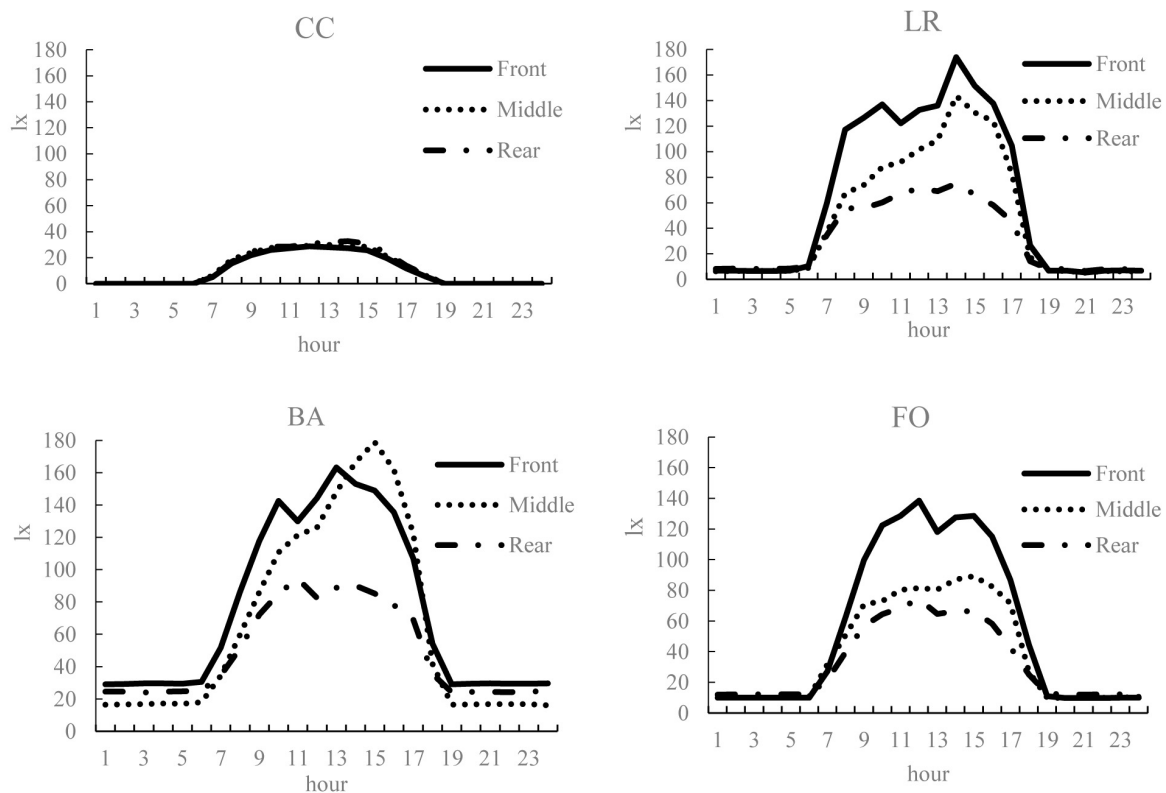
<sup>1</sup> SEM: standard error of the mean.<sup>2</sup> Refer to Lallo *et al.* (2018) formula to estimate, THI (temperature-humidity index) =  $T_{\max} - (0.55 - (0.0055 \text{ RH}) (T_{\max} - 14.5))$ .<sup>3</sup> Refer to Hsiao *et al.* (2015) formula to estimate, VV (ventilation volume) = cross section area of the trickling filter × wind speed.<sup>4</sup> AQI: air quality index.a, b, c, d, e, f, g Means with in same row without the same superscripts differ ( $P < 0.05$ ).

圖 4. 空舍期間開燈方式對豬舍照度之影響 (CC：未開燈，LR：開左右側電燈，BA：開前中後走道電燈，FO：電燈光全開；Front、Middle、Rear：豬舍前端 (第 2－3 欄間)、中端 (第 15－16 欄間)、後端 (第 8－9 欄間)，豬舍中間走道距離地面 1 公尺處。)

Fig. 4. Effects of the way of turning on the light on the illuminance in the pig house during the empty pig house. (CC: lights not turned on, LR: left and right side lights turned on, BA: front, middle and rear aisle lights turned on, FO: all lights turned on; Front, Middle, Rear: between pens 2-3, 15-16, 8-9 of the pig house, the aisle in the middle of the pig house is 1 meter above the floor.)

## II. 豬隻飼養期間豬舍之微氣候、空氣品質及豬舍內照度

### (i) 豬舍微氣候

豬隻飼養期間在 FOP 自動控制，豬舍外環境溫度 (P1) 高於 30°C、RH 低於 95%、及水牆持續供水的情況下，豬隻生長期 (平均體重 36 – 75 kg) 豬舍內 (P2、P3、P4) 溫度顯著地較 P1 降低約 4 – 5°C，肥育期 (平均體重 75 – 113 kg) 則降低約 5 – 6°C ( $P < 0.05$ )，而豬舍內 RH 顯著地較 P1 為高 (表 3)，豬隻的適溫帶大約是 24 – 25°C (Quiniou *et al.*, 2001; Renaudeau *et al.*, 2008)，因此豬舍內 RH 顯著地較 P1 為高，應與本試驗設定豬舍外環境溫度達 27°C 時水牆即開始循環供水有關，也因此降低豬舍內溫度 ( $P < 0.05$ )，致使 THI 顯著較豬舍外為低。本試驗估算 THI 係採用 Lallo *et al.* (2018) 相同的公式，以 THI 作為豬隻受熱緊迫程度的指標，當 THI 小於 27.8 時表示豬隻無熱緊迫，27.8 – 28.9 為輕微熱緊迫，28.9 – 30.0 為嚴重熱緊迫，大於 30.0 則表示熱緊迫狀態非常嚴重。本試驗豬隻生長期與肥育期豬舍內的 THI 分別為 30.2 – 31.4 與 33.2 – 34.2，參考 Lallo *et al.* (2018) 對豬隻受熱緊迫程度定義，飼養期間豬隻皆處於熱緊迫非常嚴重狀態，而豬隻生長期與肥育期豬舍外 (P1) 的 THI 分別為 34.9 與 38.2，皆顯著地高於豬舍內，顯示利用水簾風扇已初步達到降溫及提高豬隻舒適度目的。

表 3. 豬隻在養期間豬舍之微氣候與空氣品質

Table 3. The microclimate and air quality in pig houses during pig raising period

| Items                                 | Grower stage      |                   |                   |                   | SE   | Finisher stage    |                    |                   |                    | SEM <sup>2</sup> |
|---------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|
|                                       | P1                | P2                | P3                | P4                |      | P1                | P2                 | P3                | P4                 |                  |
| Measure the position <sup>1</sup>     |                   |                   |                   |                   |      |                   |                    |                   |                    |                  |
| Measurement times                     | 14                | 14                | 14                | 14                |      | 14                | 14                 | 14                | 14                 |                  |
| Temperature, °C                       | 30.9 <sup>a</sup> | 26.4 <sup>b</sup> | 25.6 <sup>c</sup> | 25.6 <sup>c</sup> | 0.3  | 33.9 <sup>a</sup> | 28.2 <sup>b</sup>  | 27.6 <sup>b</sup> | 27.4 <sup>b</sup>  | 0.4              |
| Relative humidity, %                  | 50.6 <sup>b</sup> | 84.9 <sup>a</sup> | 84.7 <sup>a</sup> | 83.9 <sup>a</sup> | 1.3  | 45.1 <sup>b</sup> | 87.0 <sup>a</sup>  | 86.7 <sup>a</sup> | 89.3 <sup>a</sup>  | 1.5              |
| THI <sup>2</sup> , °C                 | 34.9 <sup>a</sup> | 31.4 <sup>b</sup> | 30.3 <sup>c</sup> | 30.2 <sup>c</sup> | 0.4  | 38.2 <sup>a</sup> | 34.2 <sup>b</sup>  | 33.3 <sup>b</sup> | 33.2 <sup>b</sup>  | 0.6              |
| Wind speed, m/sec                     | 1.16 <sup>b</sup> | 1.77 <sup>a</sup> | 1.86 <sup>a</sup> | 1.74 <sup>a</sup> | 0.11 | 0.92 <sup>b</sup> | 1.70 <sup>a</sup>  | 1.76 <sup>a</sup> | 1.72 <sup>a</sup>  | 0.18             |
| VV <sup>3</sup> , m <sup>3</sup> /sec | 34.2 <sup>b</sup> | 52.3 <sup>a</sup> | 54.8 <sup>a</sup> | 51.4 <sup>b</sup> | 3.3  | 27.2 <sup>b</sup> | 50.2 <sup>a</sup>  | 52.0 <sup>a</sup> | 50.8 <sup>a</sup>  | 5.2              |
| CO, ppm                               | 0.00              | 0.00              | 0.00              | 0.00              | 0.00 | 0.00              | 0.00               | 0.00              | 0.00               | 0.00             |
| H <sub>2</sub> S, ppm                 | 0.00              | 0.00              | 0.00              | 0.00              | 0.00 | 0.00              | 0.00               | 0.00              | 0.00               | 0.00             |
| O <sub>2</sub> , %                    | 20.8              | 20.8              | 20.8              | 20.8              | 0.0  | 20.8              | 20.8               | 20.8              | 20.8               | 0.00             |
| PM <sub>2.5</sub> , µg/m <sup>3</sup> | 26.9              | 28.1              | 29.9              | 28.4              | 5.8  | 48.0 <sup>a</sup> | 39.2 <sup>a</sup>  | 27.0 <sup>b</sup> | 12.6 <sup>c</sup>  | 3.9              |
| PM <sub>10</sub> , µg/m <sup>3</sup>  | 45.3              | 45.0              | 47.7              | 45.3              | 9.8  | 77.4 <sup>a</sup> | 66.6 <sup>a</sup>  | 43.4 <sup>b</sup> | 18.8 <sup>c</sup>  | 6.1              |
| CO <sub>2</sub> , ppm                 | 412               | 412               | 409               | 414               | 5    | 414 <sup>c</sup>  | 483 <sup>b</sup>   | 575 <sup>a</sup>  | 604 <sup>a</sup>   | 14               |
| NH <sub>3</sub> , ppm                 | 0.17 <sup>c</sup> | 1.49 <sup>b</sup> | 3.66 <sup>a</sup> | 0.39 <sup>c</sup> | 0.12 | 0.20 <sup>d</sup> | 1.16 <sup>b</sup>  | 4.86 <sup>a</sup> | 0.70 <sup>c</sup>  | 0.13             |
| TVOC, ppm                             | 0.15              | 0.15              | 0.15              | 0.16              | 0.01 | 0.24              | 0.27               | 0.30              | 0.27               | 0.02             |
| AQI <sup>4</sup>                      | 74.0              | 74.0              | 76.9              | 68.7              | 11.5 | 37.4 <sup>b</sup> | 46.2 <sup>ab</sup> | 50.8 <sup>a</sup> | 42.2 <sup>ab</sup> | 4.3              |

<sup>1</sup> P1: wet pad cooling system end outside the pig house; P2: wet pad cooling system end inside the pig house; P3: air pollution prevention facility frontend; P4: air pollution prevention facility backend.

<sup>2</sup> SEM: standard error of the mean.

<sup>3</sup> Refer to Lallo *et al.* (2018) formula to estimate, THI (temperature-humidity index) =  $T_{\max} - (0.55 - (0.0055 \text{ RH}) (T_{\max} - 14.5))$ .

<sup>4</sup> Refer to Hsiao *et al.* (2015) formula to estimate, VV (ventilation volume) = cross section area of the trickling filter × wind speed.

<sup>5</sup> AQI: air quality index.

<sup>a, b, c, d</sup> Means with in same row without the same superscripts differ ( $P < 0.05$ ).

本試驗在水簾通風自動控制系統隨著豬舍外溫濕度自動控制下，豬隻生長肥育期 FOP 維持在 80 – 100% 間，P1 的風速較豬舍內 3 個測定點皆低 ( $P < 0.05$ )，應與風扇系統設置在豬舍後端抽風有關。Gao *et al.* (2018) 指出，在較高的環境溫度下，豬舍內通風是否足夠對畜舍環境有至關重要的影響，在通風較低的畜舍，其 THI 值高於其他通風較好的畜舍，Stender *et al.* (2003) 也證實，在夏季將豬隻飼養在設置通風設施的豬舍，豬隻的飼料效率 (gain/feed) 顯著較飼養在自然通風的豬舍為高。本試驗不論在豬隻生長期或肥育期，豬舍外環境溫度及 THI 皆達 30 及 34°C 以上 (表 3)，豬舍內的環境溫度及 THI 分別顯著地較豬舍外降



低  $4.5 - 6.5$  及  $3.5 - 5.0^{\circ}\text{C}$ ，顯示應用水簾通風自動控制系統具有降低豬舍內環境溫度及 THI 效果，惟飼養期間豬隻仍處於熱緊迫非常嚴重狀態，如何調整豬舍內各項自動控制參數，讓豬隻處於舒適環境生長，為後續研發重點。

## (ii) 豬舍空氣品質

豬隻飼養期間豬舍內與豬舍外皆未測得  $\text{CO}$  及  $\text{H}_2\text{S}$ ， $\text{O}_2$  皆維持在  $20.8\%$ 。豬隻生長期豬舍內  $\text{CO}_2$ 、TVOC、 $\text{PM}_{2.5}$  和  $\text{PM}_{10}$  分別介於  $409 - 414 \text{ ppm}$ 、 $0.15 - 0.16 \text{ ppm}$ 、 $28.4 - 29.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  和  $45.0 - 47.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  間 (表 3)， $\text{PM}_{2.5}$  和  $\text{PM}_{10}$  較空舍期 (表 1) 稍高；豬隻肥育期豬舍內  $\text{CO}_2$ 、TVOC、 $\text{PM}_{2.5}$  和  $\text{PM}_{10}$  分別介於  $483 - 604 \text{ ppm}$ 、 $0.27 - 0.30 \text{ ppm}$ 、 $12.6 - 39.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  和  $18.8 - 66.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  間， $\text{CO}_2$ 、TVOC、 $\text{PM}_{2.5}$  和  $\text{PM}_{10}$  濃度皆較空舍期為高，豬隻飼養期間豬舍內空氣品質，皆符合室內空氣品質標準 (行政院環境保護署，2012)  $1,000 \text{ ppm}$ 、 $0.56 \text{ ppm}$ 、 $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  和  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$  規範。豬隻飼養期間豬舍內  $\text{PM}_{2.5}$  和  $\text{PM}_{10}$  濃度皆明顯較空舍期為高 (表 1)，可能是受到豬隻飼養期間豬舍外  $\text{PM}_{2.5}$  和  $\text{PM}_{10}$  濃度較空舍期為高的影響。豬隻生長期 P1、P2、P3 和 P4 的  $\text{NH}_3$  濃度分別為  $0.17$ 、 $1.49$ 、 $3.66$  和  $0.39 \text{ ppm}$ ，肥育期則為  $0.20$ 、 $1.16$ 、 $4.86$  和  $0.70 \text{ ppm}$  (表 3)，P3 的  $\text{NH}_3$  濃度皆較 P4 為高 ( $P < 0.05$ )，P4 的  $\text{NH}_3$  濃度分別較 P3 降低約  $89\%$  及  $85\%$ ，顯示在 P3 和 P4 間設置空氣污染防治設施具有明顯降低  $\text{NH}_3$  濃度，減少  $\text{NH}_3$  排放功能，且 P4 的  $\text{NH}_3$  濃度符合行政院環境保護署 (2021) 固定污染源空氣污染物排放標準  $1 \text{ ppm}$  的周界排放標準。Peng *et al.* (2023) 指出，隨著養豬業集約化程度的提高，豬舍的空氣品質和異味排放問題逐漸引起人們的關注，其中氨被認為是豬舍的重要環境指標。氨引起的兩種最常提到的問題是動物肺炎和生長速度下降 (Donham, 1989)，當氨濃度高於  $7 \text{ ppm}$  和  $11 \text{ ppm}$  時分別會影響工作人員和豬隻的健康 (Donham, 1991)，Stombauch *et al.* (1969) 和 Drummond *et al.* (1980) 指出，當豬隻暴露於高氨濃度 ( $> 50 \text{ ppm}$ ) 環境時會使生長速度降低，本試驗豬隻飼養期間豬舍內的氨濃度皆較上述論述為低。Dai *et al.* (2016) 指出，在中國大陸華東集約化豬舍內的  $\text{H}_2\text{S}$  濃度一般在  $0.2 \text{ mg}/\text{m}^3$  以下，Ni *et al.* (2002) 研究發現，以機械通風在糞液沒有攪拌的情況下，具有儲糞設施的豬舍內  $\text{H}_2\text{S}$  濃度通常低於  $1.5 \text{ mg}/\text{m}^3$  之結果皆低，而 Day *et al.* (1965) 指出，豬舍內  $\text{H}_2\text{S}$  的最高濃度應低於  $15.2 \text{ mg}/\text{m}^3$ ，本試驗依豬隻生長階段排泄量利用刮糞設備在豬隻生長期或肥育期每日分別清理糞便 2 次或 3 次，測得豬舍內  $\text{H}_2\text{S}$  濃度數據皆為 0，顯示應用刮糞設備輔以適當的刮糞頻率將豬糞移出舍外，可減少豬舍內  $\text{H}_2\text{S}$  含量。豬隻生長期豬舍內 AQI 介於  $69 - 77$ ，肥育期則介於  $42 - 51$  間，P4 的 AQI 數值較 P3 為低，但差異未顯著。豬隻生長期豬舍內 AQI 較高，可能係受到豬舍外 AQI (74.0) 的影響，但整體而言豬隻飼養期間 AQI 仍介於空氣品質監測網 (行政院環境保護署) 規範的良好及普通之間。

## (iii) 豬舍照度

本試驗豬隻飼養期間從下午 16 時到翌日 9 時，開啟豬舍中間走道電燈，其餘時間不開燈，由透明玻璃材質通氣窗提供自然光照，在豬舍中間走道前端、中端及末端電燈，距離地面 1 公尺欄杆處測定並自動紀錄豬舍全日照度 (圖 5)。結果夜間 (18 時至翌日 5 時) 照度皆達  $3.5 \text{ lx}$  以上，符合 van Putten and Elshof (1984) 及 Chandler *et al.* (1999) 所述的動物福利及提供豬隻在昏暗燈光下休息的照度需求。日間是豬隻主要的採食時段，本試驗在 6 時 - 17 時豬舍內的照度維持在  $12 - 180 \text{ lux}$  間，與 Graf (1976) 指出豬隻  $12 - 200 \text{ lux}$  的

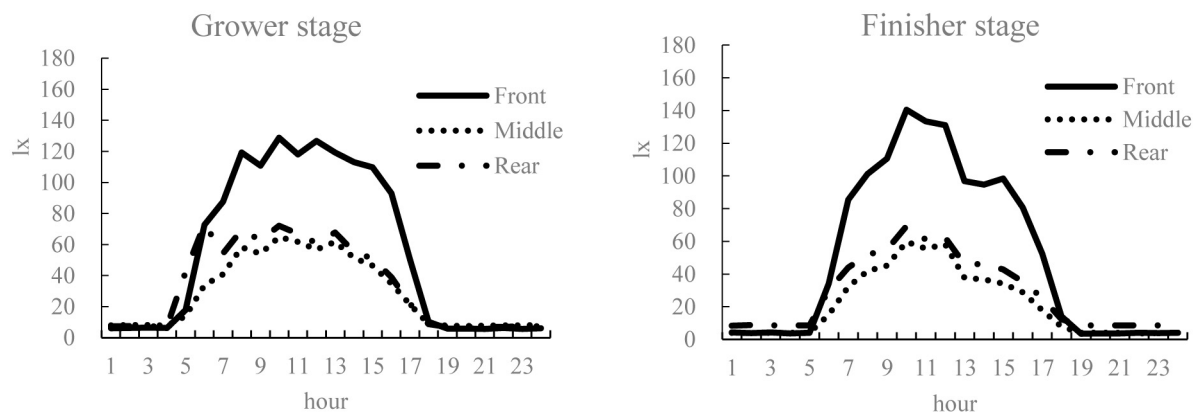


圖 5. 豬隻飼養期間豬舍內照度。(開中間走道電燈；G：豬隻生長期；F：豬隻肥育期；Front、Middle、Rear：豬舍前端 (第 2 - 3 欄間)、中端 (第 15 - 16 欄間)、後端 (第 8 - 9 欄間)，豬舍中間走道距離地面 1 公尺處。)

Fig. 5. The illumination in the pig house during pig feeding period. (Turn on the lights in the middle walkway; G: grower stage of pig; F: finisher stage of pig; Front, Middle, Rear: between pens 2-3, 15-16, 8-9 of the pig house, the aisle in the middle of the pig house is 1 meter above the floor.)



照度環境下可以區分顏色且視力恆定之照度相近，Bruininx *et al.* (2002) 及 Niekamp *et al.* (2006) 證實，提高豬舍內的照度會增加豬隻採食量，而歐盟推薦豬舍內的照度為 40 lux (Taylor *et al.*, 2006)。顯示本試驗採取的開燈方式，符合豬隻日間採食與夜間休息之動物行為需求。

## 結論與建議

豬舍環境的微氣候會影響豬隻舒適感和採食量，空氣品質會影響豬隻及管理人員的健康，排放到豬舍外的空氣污染物則會引起人們的負面情緒反應，是畜牧場被視為鄰避設施的主要原因。試驗結果發現，本試驗使用的水簾式肉豬舍，依照豬隻飼養期間設定參數操作，確具降低豬舍內溫度及溫濕度指數的效果，可提供豬隻較舒適的生長環境，並有利於空氣污染物收集與處理，顯著減少氨氣排放並符合固定污染源空氣污染物排放標準，且豬舍內空氣品質不致影響管理人員健康，可提供業者新 ( 修 ) 建豬舍參採與應用。

## 參考文獻

- 行政院環境保護署。空氣品質監測網。https://airtw.epa.gov.tw/CHT/Information/Standard/AirQualityIndicato.aspx。
- 行政院環境保護署。2012。室內空氣品質標準。https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?pcode= 00130005。
- 行政院環境保護署。2021。固定污染源空氣污染物排放標準。https://oaout.epa.gov.tw/law/LawContent.aspx?id=FL015350。
- 行政院農業委員會。2017。豬隻友善飼養系統定義及指南。https://law.coa.gov.tw/glrsnewsout/LawContent.aspx?id=GL000866。
- 夏良宙。2001。畜牧要覽養豬篇。中國畜牧學會，臺北市，第 293 頁。
- 蕭庭訓、蘇天明、陳水財、黃裕益、李超陽、程梅萍。2015。滴濾設施去除密閉式豬舍逸散之粉塵、氨氣及異味。畜產研究 48：36-44。
- Barbari, M., M. Bianchi, and G. F. Sorbetti. 2007. Preliminary analysis of different cooling systems of sows in farrowing room. J. Agric. Eng. 1: 53-58.
- Barbari, M. and L. Conti, 2009. Use of different cooling systems by pregnant sows in experimental pen. Biosyst. Eng. 103: 239-244.
- Baumgard, L. H. and R. P. Rhoads. 2013. Effects of heat stress on postabsorptive metabolism and energetics. Annu. Rev. Anim. Biosci. 1: 311-337.
- Black, J. L., B. P. Mullan, M. L. Lorsch, and L. R. Giles. 1993. Lactation in the sow during heat stress. Livest. Prod. Sci. 35: 153-170.
- Brown-Brandl, T. M., D. H. Morgan, H. Xin, J. A. Nienaber, H. Li, R. A. Eigenberg, J. P. Stinn, and T. Shepherd. 2014. Heat and moisture production of modern swine. ASHRAE Transactions 120: 469-489.
- Bruininx, E. M. A. M., M. J. W. Heetkamp, D. van den Bogaart, C. M. C. van der Peet-Schwering, A. C. Beynen, H. Everts, L. A. den Hartog, and J. W. Schrama. 2002. A prolonged photoperiod improves feed intake and energy metabolism of weanling pigs. J. Anim. Sci. 80: 1736-1745.
- Chandler, M. J., P. J. Smith, D. A. Samuelson, and E. O. Mackay. 1999. Photoreceptor density of the domestic pig retina. Vet. Ophthalmol. 2: 179-184.
- Cheng, M., B. McCarl, and C. Fei. 2022. Climate change and livestock production: A literature review. Atmosphere 13: 140.
- Cross, A. J., T. M. Brown-Brandl, B. N. Keel, J. P. Cassady, and G. A. Rohrer. 2020. Feeding behavior of grow-finish swine and the impacts of heat stress. Transl. Anim. Sci. 4: 986-992.
- Day, D. L., E. L. Hansen, and S. Anderson. 1965. Gasses and odors in confinement swine buildings. Transactions of the ASAE 8: 118-121.
- Dai, X. R., J. Q. Ni, Q. O. Pan, K. Y. Wang, and Albert J Heber. 2016. Monitoring of temperature, humidity and air quality inside pig weaner house in eastern china. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery 47: 315-322.
- Donham, K. J. 1989. Relationships of air quality and productivity in intensive swine housing. Agri-Practice 10: 15-26.
- Donham, K. J. 1991. Association of environmental air contaminants with disease and productivity in swine. Am. J. Vet. Res.

52: 1723-1730.

- Drummond, J. G., S. E. Curtis, J. Simon, and H.W. Norton. 1980. Effects of aerial ammonia on the growth and health of young pigs. *J. Anim. Sci.* 50: 1085-1091.
- Elenbaas-Thomas, A. M., L. Y. Zhao, Y. Hyun, X. Wang, B. Anderson, G. L. Riskowski, M. Ellis, and A. J. Heber. 2005. Effects of room ozonation on air quality and pig performance. *American Society of Agricultural Engineers* 48: 1-7.
- Gao, Y., Y. Diao, C. Lin, Y. Liu, C. Guo, M. Lei, Y. Tong, and X. Li. 2018. Monitoring and analysis of thermal environment and harmful gases in mechanically ventilated multistory pig buildings. *Trans. Chin. Soc. Agric. Eng.* 34: 239-247.
- Graf, R., 1976. Das visuelle Orientierungsvermögen der Schweine in abhängigigkeit von der Beleuchtungsstärke. In *Institut Voor Veeteeltkundig Onderzoek, Zeist*, p. 56.
- Hoff, S. J. 2013. The impact of ventilation and thermal environment on animal health, welfare and performance. In *Livestock Housing: Modern Management to Ensure Optimal Health and Welfare of Farm Animals*; Aland, A. and T. Banhazi Eds. pp. 209-236. Wageningen Academic: Wageningen, The Netherlands.
- Huynh, T. T. T., A. J. A. Aarnink, M. W. A Verstegen, W. J. J. Gerrits, M. J. W. Heetkamp, B. Kemp, and T. T. Canh. 2005. Effects of increasing temperatures on physiological changes in pigs at different relative humidities. *J. Anim. Sci.* 83: 1385-1396.
- Kim, K. Y., H. J. Ko, K. J. Lee, J. B. Park, and C. N. Kim. 2005. Temporal and spatial distributions of aerial contaminants in an enclosed pig building in winter. *Environ. Res.* 99: 150-157.
- Lallo, C. H. O., J. Cohen, D. Rankine, M. Taylor, J. Cambell, and T. Stephenson. 2018. Characterizing heat stress on livestock using the temperature humidity index (THI)- prospects for a warmer Caribbean. *Reg. Environ. Change* 18: 2329-2340.
- Le Dividich, J., J. Noblet, P. Herpin, J. van Milgen, N. Quiniou, J. Wiseman, M. A. Varley, and J. P. Chadwick. 1998. Thermoregulation. In *Progress in Pig Science*. Wiseman, J., M. A. Varley, and J. P. Chadwick Eds. pp. 229-263. Nottingham University Press: Nottingham, UK.
- Leonardo, de B. A., M. G. César, Z. R. Amaia, and H. A. Arturo. 2022. Pollutant emissions in livestock buildings: Influence of indoor environment, rearing systems, and manure management. *J. Vet. Heal. Sci.* 3: 223-249.
- Li, H., H. Xin, Y. Liang, R. S. Gates, E. F. Wheeler, and A. J. Heber. 2005. Comparison of direct vs. indirect ventilation rate determinations in layer barns using manure belts. *American Society of Agricultural Engineers* 48: 367-372.
- Lim, T. T., A. J. Heber, J. Q. Ni, R. Grant, and A. L. Sutton. 2000. Odor impact distance guideline for swine production systems. *Proceedings of the Water Environment Federation*. Jan. 2000:773-788. Agricultural and Biological Engineering, Purdue University West Lafayette, IN 47907, USA.
- Nääss, I., P. Zappavigna, and P. Panagakakis. 2006. Animal housing in hot climates: A multidisciplinary view. Research Centre Bygholm, Danish Institute of Agricultural Sciences: Horsens, Denmark.
- Ni, J. Q., A. J. Heber, C. A. Diehl, T. T. Lim, R. K. Duggirala, and B. L. Haymore. 2002. Characteristics of hydrogen sulfide concentrations in mechanically ventilated swine buildings. *Can. Biosyst. Eng.* 44: 11-19.
- Niekamp, S. R., M. A. Sutherland, G. E. Dahl, and J. L. Salak-Johnson. 2006. Photoperiod influences the immune status of multiparous gestating sows and their piglets. *J. Anim. Sci.* 84: 2072-2082.
- Pearce, S. C., M. V. Sanz Fernandez, J. Torrison, M. E. Wilson, L. H. Baumgard, and N. K. Gabler. 2015. Dietary organic zinc attenuates heat stress-induced changes in pig intestinal integrity and metabolism. *J. Anim. Sci.* 93: 4702-4713.
- Peng, S., J. Zhu, Z. Liu, B. Hu, M. Wang, and S. Pu. 2023. Prediction of ammonia concentration in a pig house based on machine learning models and environmental parameters. *Animals* 13: 165.
- Philippe, F. X., B. Canart, M. Laitat, J. Wavreille, M. Vandenheede, N. Bartiaux-Thill, B. Nicks, and J. F. Cabaraux. 2009. Gaseous emissions from group-housed gestating sows kept on deep litter and offered an *ad libitum* high-fibre diet. *Agric. Ecosyst. Environ.* 132: 66-73.
- Quiniou, N., J. Noblet, J. van Milgen, and S. Dubois. 2001. Modelling heat production and energy balance in group-housed growing pigs exposed to low or high ambient temperatures. *Br. J. Nutr.* 85: 97-106.
- Rathnayake, D., H. S. Mun, M. A. Dilawar, I. B. Chung, K. W. Park, S. R. Lee, and C. J. Yang, 2021. Effect of air heat pump cooling system as a greener energy source on the air quality, housing environment and growth performance in pig house. *Atmosphere* 12: 1474.
- Renaudeau, D., M. Kerdoncuff, C. Anais, and J. L. Gourdine. 2008. Effect of temperature level on thermal acclimation in

- Large White growing pigs. *Animal* 11: 1619-1626.
- Rong L., D. Liu, E. F. Pedersen, and G. Zhang. 2014. Effect of climate parameters on air exchange rate and ammonia and methane emissions from a hybrid ventilated dairy cow building. *Energy Build.* 82: 632-643.
- Rowell, H. C. 1972. A guide to environmental research on animals. *Can. Vet. J.* 13: 196.
- SAS. 2002. SAS/STAT® 8.6. SAS Institute Inc., Cary, NC. USA.
- Sousa P. D. and S. Pedersen. 2004. Ammonia emission from fattening pig houses in relation to animal activity and carbon dioxide production. *Agricultural Engineering International: The CIGR Journal of Scientific Research and Development* 6: 1-13.
- Stender, D. R., J. D. Harmon, J. D. Weiss, and D. Cox. 2003. Comparison of different styles of swine finishing facilities within a uniform production system. *Appl. Eng. Agric.* 19: 79-82.
- Stinn, J. P., H. Xin, T. A. Shepherd, H. Li, and R. T. Burns. 2014. Ammonia and greenhouse gas emissions from a modern U.S. swine breeding-gestation-farrowing system. *Atmospheric Environ.* 98: 620-628.
- Stombaugh, D. P., H. S. Teague, and W. L. Roller. 1969. Effects of atmospheric ammonia on the pig. *J. Anim. Sci.* 28: 844-847.
- Sun, G., H. Guo, J. Peterson, B. Predicala, and C. Laguë. 2008. Diurnal odor, ammonia, hydrogen sulfide, and carbon dioxide emission profiles of confined swine grower/finisher rooms. *J. Air Waste. Manag. Assoc.* 58: 1434-48.
- Taylor, N., N. Prescott, G. Perry, M. Potter, C. L. Sueur, and C. Wathes. 2006. Preference of growing pigs for illuminance. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 96: 19-31.
- van Putten, G. and W. J. Elshof. 1984. The influence of three light levels on the behaviour of fattening pigs. *KTBL Schrift* 199: 197-216.
- Wiegert, J. G., M. T. Knauer, and S. B. Shah. 2018. Effect of pad cooling on summer barn environment and finishing pig temperature. *J. Anim. Sci.* 95 (Suppl. 2): 35.
- Whittemore, C. 1993. The science and practice of pig production. Chapter 17. The environmental requirements of pig. Longman group UK Ltd.

# Investigation on microclimate and air quality of wet-pad cooling system pig house in hot season <sup>(1)</sup>

Tein-Ming Su <sup>(2)(3)</sup> Wei-Zhi Liu <sup>(2)</sup> Yi-Hsiang Weng <sup>(2)</sup> and Ting-Hsun Hsiao <sup>(2)</sup>

Received: Apr. 11, 2023; Accepted: Jun. 13, 2023

## Abstract

The purpose of this study is to investigate the microclimate and air quality data in the pig house before and after the pigs are reared in a wet-pad cooling system pig house. In the hot season (between May and Aug.), a total of 500 LYD [(Landrace♀ × Yorkshire ♂) ♀ × Duroc ♂] hybrid pigs (average body weight about 36 kg) were raised in 20 pens with 25 pigs/pen. Pigs were fed diet and drinking water *ad libitum*, and the feeding period was terminated when the body weight of pigs reached 110 kg. Investigate the microclimate and air quality of the wet-pad cooling system end outside the pig house (P1), the wet-pad cooling system inside the pig house (P2), the front end of the air pollution prevention and control facilities (P3) and the back end of the air pollution prevention and control facilities (P4) during the empty house and pigs raising period. The results show that ambient temperature (AT) and temperature-humidity index (THI) of P1 was significantly higher than empty house under the condition of automatic control of the fan operating power (FOP). However, there is no difference of the AT, relative humidity (RH) and THI in the pig house when the FOP is adjusted between 40-100%, but the ventilation volume decreased with the increase of FOP ( $P < 0.05$ ). Regardless of automatic or manual adjustment of FOP, both of the air quality indexes (AQI) in the pig house are between good and normal. The average AT outside the pig house during the grower stage and finisher stage of the pigs are about 31°C and 34°C, respectively. The RH inside the pig house is 30-45% higher than that outside the pig house ( $P < 0.05$ ), and the temperature is significantly lower 4-6°C, THI between 30-35 is also lower than outside the pig house ( $P < 0.05$ ), while the AQI inside the pig house is between 42-77. The ammonia concentrations in P3 and P4 during the pig grower stage were 3.66 and 0.39 ppm, and 4.86 and 0.70 ppm in the finisher stage, respectively. The measure point of P4 significantly reduces the ammonia concentration about 89% and 85% compared to P3 in grower stage and finisher stage ( $P < 0.05$ ). It shows that the installation of air pollution prevention facilities between P3 and P4 does play a role in improving ammonia emissions. In conclusion, the application of a wet-pad cooling system to a pig house can improve the microclimate and air quality of pig houses in hot season, and improve the comfort of pigs.

Key words: Air quality, Grower-finisher pig, Pig house microclimate, Wet-pad cooling system pig house.

(1) Contribution No. 2749 from Taiwan Livestock Research Institute (TLRI), Ministry of Agriculture (MOA).

(2) Livestock Management Division, MOA-TLRI, HsinHua, Tainan 71246, Taiwan, R. O. C.

(3) Corresponding author, E-mail: tmsu@mail.tlri.gov.tw.