

國立臺灣師範大學生命科學專業學院

生技醫藥產業碩士學位學程碩士論文

Graduate Program of Biotechnology and Pharmaceutical Industries

School of Life Science

National Taiwan Normal University

Master's Thesis

環境感測換氣系統對於緩解豬隻感染呼吸道疾病  
的應用潛力評估

Evaluation of application potential of the environmental  
sensing ventilation systems for alleviating pigs  
respiratory diseases infections

陳孟可

Chen, Meng-Ke

指導教授：吳忠信 博士

Advisor：Wu, Chung-Hsin, Ph.D.

中華民國 110 年 7 月

July 2021

## 謝 誌

一篇論文的完成，是站在無數先進的研究基礎上累積而成。

首先要感謝論文指導教授吳忠信教授，在論文的指導上給予研究者無數誨人不倦引導。從論文題目發想、研究方法、實驗設計、內容探討等研究歷程的諄諄指導，讓研究者獲益良多，打開了生命科學領域研究任督二脈。

其次，感謝本研究領域相關先進老師的協助，感謝賀耀華老師資工研究團隊的專業指導，讓本研究得以在 AIoT 領域應用潛力評估得以實踐，謝謝宜芳、驊成的感測技術協助。

在此也特別感謝王佩華老師在論文格式上的特別指導，提供養豬業領域專業知識，讓學生在論文完成上能更加精進。

另外要感謝本研究室團隊的內容指導與協助，謝謝睿芝、珍奴、婉溱、詠馨、清隆等研究室團隊成員協助，讓本研究得以順利完成。

最後也特別感謝汐止夢想社區蔡聰明董事長與康媽媽對於研究者學術夢想能夠完成的無盡支持，讓研究者得以無後顧之憂進行研究。

陳孟可 謹誌於

臺灣師範大學生技醫藥產業碩士學位學程論文

中華民國一百一十年七月

## 摘要

臺灣養豬業中肉豬生長遲滯情況，經常發生在保育期與肥育前期肉豬體內的疾病包括呼吸道跟消化道的感染，造成養豬業者嚴重的經濟損失。如何有效預防及感測監控保育期與肥育前期豬隻的呼吸道傳染疾病，已經是臺灣養豬業者亟需要解決的關鍵問題。

為此，本論文探討的目的針對環境感測換氣系統對於緩解豬隻呼吸道疾病的影響，希望藉此輔助豬隻的呼吸道傳染病防治，提升飼養的生產力及品質。

本論文從畜牧環境內部空氣品質感測的觀點切入，開發適用於畜牧養殖場內的環境感測系統，透過有策略的建構環境感測器與收集感測資料，進行資料蒐集分析，並運用偵測到環境的不同特徵值資料，作為應用防範豬隻流感與相關傳染病參考。

研究實驗結果顯示，室內豬場空氣中影響的潛在因子包括：二氧化碳(CO<sub>2</sub>)濃度、濕度、環境細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)及環境總揮發性有機化合物(TVOC)都較室外的空氣濃度高；而豬場環境排風扇的運作增加室內的通風性，會使得空氣品質獲得明顯改善；此外，仔豬血液的檢測報告也證實飼養在設置排風扇豬場的仔豬，體內引起過敏反應的嗜酸性白血球細胞數目，會遠較密閉豬場內的仔豬低。

這結果說明了，建置環境空氣質量監測系統及排風扇，除了可改善及緩解目前動物呼吸道的疾病外，未來也可提供有效的環境監測及產業應用的價值。

**關鍵字：**畜牧環境、環境感測換氣系統、呼吸道傳染病、豬

# **Evaluation of application potential of the environmental sensing ventilation systems for alleviating pigs respiratory diseases infections**

## **Abstract**

The growth retardation of pigs in the Taiwan pig farming industry is often caused by respiratory and digestive tract infections in pigs in the nursery and pre-fattening stages, resulting in serious economic losses for pig farmers. How to effectively prevent, detect and monitor respiratory infections in pigs during the nursery and pre-fattening period has been a key issue that pig farmers in Taiwan urgently need to solve.

To this end, the purpose of this paper is to explore the impact of environmental sensing and ventilation systems on the mitigation of respiratory diseases in pigs, in the hope that it will assist with the prevention and control of respiratory diseases in pigs and improve the productivity and quality of farming.

This paper develops an environmental sensor system for livestock farms from the viewpoint of air quality sensing in the livestock environment. By strategically constructing environmental sensors and collecting sensing data, we collect and analyze data, and use the data of different characteristics of the detected environment as a reference for the application of preventing influenza and related infectious diseases in pigs.

The results of the study showed that the potential factors affecting the air in indoor pig farms include: carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) concentration, humidity, ambient fine suspended particulates (PM<sub>2.5</sub>), and total volatile organic compounds (TVOC) are higher than outdoor air concentrations; and the operation of environmental exhaust fans in pig farms increases indoor ventilation, resulting in significant improvements in air quality. In addition,

blood tests on piglets confirmed that the number of eosinophilic leukocytes causing allergic reactions was much lower in piglets kept in farms with exhaust fans than in piglets kept in enclosed farms.

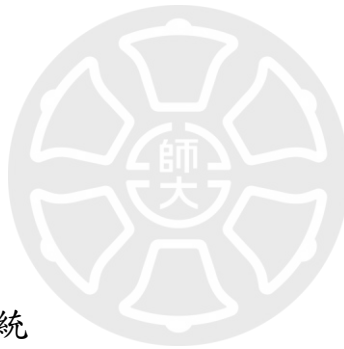
The results show that the installation of an ambient air quality monitoring system and exhaust fans can improve and alleviate the current respiratory diseases in animals and provide effective environmental monitoring and industrial applications in the future.

**Keywords:** Livestock environment, Environmental sensing ventilation systems, Animal respiratory diseases, Pigs



# 論文目錄

謝誌	i
摘要	ii
ABSTRACT	iii
<b>第一章 緒論</b>	<b>1</b>
第一節 研究背景	1
第二節 文獻探討	2
第三節 研究目的	6
<b>第二章 材料與方法</b>	<b>7</b>
第一節 實驗設計	7
第二節 環境空氣感測系統	8
第三節 環境感測系統布建與場域實測	8
第四節 牧場空氣品質資料分析	10
第五節 仔豬血液中過敏反應分析	11
第六節 統計與資料分析	11
<b>第三章 實驗結果</b>	<b>12</b>
第一節 環境溫度感測結果	12
第二節 環境二氧化碳感測結果	12



第三節 環境濕度感測結果	13
第四節 環境光度感測結果	13
第五節 環境細懸浮微粒 PM1.0-10 感測結果	13
第六節 環境總揮發性有機化合物(TVOC)感測結果	14
第七節 環境換氣緩解仔豬過敏反應	15
<b>第四章 討論</b>	<b>16</b>
第一節 豬場空氣品質與豬隻呼吸道疾病常見 PM 病原的關聯	16
第二節 豬場空氣品質對仔豬感染呼吸道疾病的影響	18
第三節 改善豬場空氣品質對促進仔豬生長的影響	19
<b>第五章 結論</b>	<b>21</b>
<b>參考文獻</b>	<b>22</b>
<b>實驗圖表</b>	<b>27</b>

## 圖表次

圖 1：環境空氣感測系統雛型	8
表 1：各項空氣污染物之標準規定	9
圖一：利用環境感測系統監測並比較豬場環境溫度差異	26
圖二：利用環境感測系統監測並比較豬場環境二氧化碳濃度差異	27
圖三：利用環境感測系統監測並比較豬場環境濕度差異	28
圖四：利用環境感測系統監測並比較豬場環境光照度差異	29
圖五：利用環境感測系統監測並比較豬場環境細懸浮微粒 PM 1.0 差異	30
圖六：利用環境感測系統監測並比較豬場環境細懸浮微粒 PM 2.5 差異	31
圖七：利用環境感測系統監測並比較豬場環境細懸浮微粒 PM 10 差異	32
圖八：利用環境感測系統監測並比較豬場環境總揮發性有機化合物(TVOC)差異	33
圖九：利用換氣系統改善環境空氣質量可以緩解仔豬血液中過敏反應	34
圖十：環境感測換氣系統有助於緩解動物感染呼吸道疾病	35

# 第一章 緒論

## 第一節 研究背景

在臺灣肉豬罹患呼吸道感染疾病常常引起肉豬生長遲滯或死亡情形，造成養豬業者重大的經濟損失，如何於飼養環境中有效的感測監控保育期與肥育前期豬隻的呼吸道傳染疾病，並兼顧動物健康環境增進動物福利，已經是臺灣養豬業者急迫需要解決的關鍵性問題。

根據過去的研究顯示，有鑒於早期的豬舍常因為環境通風不良造成豬舍如二氧化碳等有害氣體濃度增加，對豬隻生長、飼料報酬等造成影響，更嚴重的是會增加呼吸道等疾病發生的機率。

因此常導致保育期及肥育前期肉豬罹患呼吸道的感染疾病。更由於離乳仔豬的免疫系統不成熟，可能導致嚴重的氧化壓力(Oxidative stress)和腸道疾病，從而造成生長不良、腹瀉和其他疾病(Pluske et al., 1997; Heo et al., 2013; Yin et al., 2014)。

除此之外，豬隻在繁殖和生長過程中的病原體傳播也會損傷呼吸道，導致呼吸系統疾病，嚴重時甚至感染肺炎而導致仔豬死亡(Chae, 2016)。因此，離乳仔豬的肺炎不僅歸因於病毒或細菌感染，還歸因於宿主的一系列發炎反應。仔豬死亡前出現的症狀是發燒，咳嗽和呼吸困難以及腹瀉。

正如同本實驗室團隊之前研究發現，有些罹患肺炎的離乳仔豬可能會在呼吸道和腸道中發展為呼吸道與腸胃道疾病，嚴重時甚至導致仔豬死亡，且過去研究指出有些科學中藥確實可以透過抑制離乳仔豬呼吸道和腸胃道細胞膜的血管緊張素轉換酶 2 (Angiotensin-converting enzyme 2, ACE-2)受體表現，而達到減輕肺炎和腹瀉，並且改善離乳仔豬的生長性能(Lu et al., 2020)。

對於豬隻呼吸道傳染病流行的時期，針對養豬場域的安全防護，除了基本的人員進出記錄、紅外線體溫量測、消毒防護等措施外，透過室內環境的空氣品質監測能夠忠實的反映室內空氣的流動與室內外空氣的循環效果。

而養豬場域在生長期及肥育期多為密閉空間，由於呼吸道傳染疾病的傳播方式為透過空氣或飛沫傳染，病原體藉由飛沫微粒懸浮在密閉空間的空氣中，以直接或是間接的方式接觸到被感染動物，使得疾病因此得以傳播。

因此，本研究認為室內養豬環境的空氣品質量監測可為流感與呼吸道傳染病防治的重要項目值得長期追蹤研究，相信對於流感與呼吸道傳染病的疫情監測，可以達到發揮防微杜漸的效果。

## 第二節 文獻探討

### 病原菌與飼養環境

根據過去研究資料顯示豬隻的呼吸道疾病有許多病原造成，例如造成母豬繁殖障礙和各年齡層豬隻常罹患的「豬繁殖和呼吸障礙綜合症 (Porcine Reproductive and Respiratory Syndrome, PRRS)」，俗稱「藍耳病 (Blue Ear Disease)」，而豬繁殖與呼吸綜合症病毒 (Porcine Reproductive and Respiratory Syndrome Virus, PRRSV) 是一種 RNA 病毒，可感染所有年齡層的豬。這是一種以呼吸道感染為主的豬隻傳染疾病，而且易併發二次性感染而造成死亡。並且愈年幼的豬隻併發症會愈嚴重，常致使死亡率增加，造成養豬業經濟上重大的損失(Chae, 2016)；在美國，一項針對 34 個已存在 PRRS 一段時間的豬場研究報告指出，在應用各種人為干預措施之前，死亡率約為 10% (Dee et al., 1997)。

除此之外，潛在的環境品質會影響呼吸道接觸病原菌，因而加重感染機率，所以豬隻流行性感冒經由正粘液病毒科 (Orthomyxoviridae) 病毒所引起後，常

會造成豬隻發熱、支氣管炎與肺炎。

另外，豬隻的肺炎黴漿菌感染症又稱為「豬地方流行性肺炎 (enzootic pneumonia)」；豬肺炎黴漿菌(*Mycoplasma hyopneumoniae*)在人類社會與畜產界皆普遍而廣泛，影響可說甚大。

其傳播途徑為飛沫傳播，容易因為病徵緩和與一般普通的感冒混淆而未被重視；肺炎黴漿菌會依附在氣管跟支氣管上的上皮細胞，生長緩慢，所以疾病潛伏期長；而其黏附於纖毛上形成菌落，因而造成呼吸道纖毛斷離與脫落，更會降低肺臟吞噬細胞對病原的吞噬與清除能力，降低肺臟的保護機制，感染後主要會引起非持續性的乾咳、慢性肺炎，造成肉豬的生長效能降低、飼料換肉率變差等(Chae, 2016)。

一般在呼吸道傳染病防治中，空氣品質是一個非常重要的觀測指標。因為帶有病原體的飛沫微粒懸浮在空氣中，會透過室內空氣流動直接或間接的造成傳染。

### 懸浮微粒

在臺灣，空氣品質在量測上有不同類型的空氣污染物，其中 2.5 微米細懸浮微粒 (Particulate Matter, PM 2.5)已列為行政院環境保護署(簡稱環保署)空氣品質重要指標之一(空氣品質標準法規，2020)，更是被世界衛生組織(World Health Organization, WHO)列為一級致癌物，PM2.5 由於細小只有頭髮的二十八分之一，附載著重金屬、戴奧辛、病菌等。

當 PM2.5 經由鼻、咽及喉進入人體後，因為非常細小可以穿透肺泡，除了會沉積在支氣管及肺泡中，導致細支氣管擴張、肺水腫或支氣管纖維化等外；也會直接進入血管中隨著血液循環全身，影響腦部與心臟等幾乎全身所有器官，所以會大幅增加心血管、肺線癌罹患率和呼吸系統疾病的可能性。如果空氣中

PM2.5 濃度過高，容易造成過敏、氣喘或孕婦早產(謝，2016)。

## 總揮發性有機化合物

總揮發性有機化合物(Total Volatile Organic Compound，TVOC)意指所有揮發性有機化合物(Volatile Organic Compounds，VOCs)總和。

在室外，揮發性有機化合物的來源主要來自燃料燃燒和交通運輸產生的工業廢氣、汽機車、光化學污染等；而在室內則主要來自燃煤和天然氣等燃燒產物、吸菸、採暖和烹調等的煙霧，建築和裝飾材料、家具、家用電器、清潔劑和人體本身的排放等。在室內裝潢過程中，揮發性有機物主要來自油漆、塗料和膠粘劑。

揮發性有機化合物的危害很明顯，當室內揮發性有機化合物濃度超過一定濃度時，在短時間內人們感到頭痛、噁心、嘔吐、四肢乏力；嚴重時會抽搐、昏迷、記憶力減退。揮發性有機物傷害人的肝臟、腎臟、大腦和神經系統，其中還包含了很多致癌物質。過去研究顯示，由於這些具有揮發性有機化合物成分擴散快速且容易暴露及透過呼吸道吸入體內引起的疲勞和上呼吸道症狀的患病率顯著更高，並且比正常狀態顯現更多的疲勞、頭痛和影響呼吸道、眼睛和皮膚出現症狀(Anundi et al., 1993)。現今室內空氣品質被揮發性有機化合物污染問題已引起了世界各國所重視。

而在養豬場也會產生並排放出複雜的 VOCs 混合物，自 1960 年代初在養豬場進行第一次 VOCs 實驗以來，北美、歐洲和亞洲 15 個國家的總共 47 個研究機構做了許多研究發現，其中近一半的研究論文由美國研究機構發表。調查的主要 VOCs 來源包括豬舍內的空氣、糞便儲存和堆肥的頂部空間、豬廢水上方的開放空氣以及周圍的養豬場。研究還包括液態豬糞和廢水，以及豬舍內外的灰塵。而豬舍的 VOCs 主要排放來自糞便儲存處(Ni et al., 2012)。

## 二氧化碳

二氧化碳 (Carbon Dioxide, CO<sub>2</sub>) 如果在通風不良室內積聚，高濃度的二氧化碳會使人感到昏昏欲睡，引起頭痛，難以集中注意力，頭暈甚至噁心。甚至更高的濃度（如在幾個小時內 > 5000ppm）則會引起心跳加快，血壓升高，甚至在極端情況下出現昏迷、窒息和抽搐，間接影響健康。

## 溫度與濕度

在過去研究上，溫度與濕度也會影響呼吸道傳染疾病。根據研究證實，溫度與濕度確實影響了 A 型流感病毒的傳染率，但其中病毒的傳染力則不受濕度影響(Yang et al., 2012)。事實上在過去的研究顯示，乾燥的環境也讓流感病毒在生長和傳播上提供了絕佳的生存機會。根據 Metz 與 Fin 的研究裡(Metz & Fin, 2015)，也證明了此一觀點。這些發現在過去研究裡已經獲得反覆的驗證，包括在 2009 年爆發的豬流感，流感在爆發時幾乎是伴隨著空氣濕度的下降。因為在乾燥的空氣環境中，當咳嗽或打噴嚏而噴出的許多微粒，過程中會分成更小的微粒，因此病毒能夠在乾燥的空氣環境中漂浮數個小時，直到讓豬隻吸入呼吸道中。

由此可知，過度壅擠的空間及在室內換氣不佳的情形下，都是容易造成疫情爆發的原因。

因此，營造整體環境的通風性是可以有效、快速的改善空氣品質，而室內空氣品質的量測則可以最直接反映出室內外空氣的循環效果與室內空氣流動情形。

### 第三節 研究目的

本論文探討環境感測換氣系統對於緩解豬隻呼吸道疾病的影響應用潛力評估，希冀藉此研究可以輔助豬隻的呼吸道傳染病防治，提升飼養環境的生產力及品質。

本論文將從畜牧環境內部空氣品質感測的觀點切入，使用適用於豬隻養殖場內的環境空氣質量感測器，透過有策略的布建環境空氣質量感測器與感測結果，進行資料分析，並藉由偵測環境中不同的特徵值資料，作為應用防範豬隻流感與相關傳染病參考。



## 第二章 材料與方法

### 第一節 實驗設計

本研究場域為雲林大峰牧場，而在實驗設計上分成動物試驗設計與建置環境感測換氣系統應用潛力評估兩部分，分述如下。

臺灣的外來種豬的三大主要種類為藍瑞斯 (Landrace；縮寫 L)、杜洛克 (Duroc, Duroc-Jersey；縮寫 D)和約克夏 (Yorkshire, Large white；縮寫 Y)，這些外國種豬的雜交種如 L(母)×D (公)、LY(母)×D (公)，是國內主要的肉豬品系來源(李，2006)。本研究場域大峰牧場建於 1982 年，位於雲林斗六市，比鄰虎尾溪畔，至今近 40 年歷史。畜牧環境設備有傳統開放式畜舍及新式負壓水濺舍，目前在養肉豬約 33,000 頭，其中 3000 頭母豬一貫場，年產 52,000 肉豬 LY(母)×D (公) 品種肉豬供應肉品市場。

而在動物試驗設計上，利用 200 頭 28 日齡離乳 LY(母)×D (公) 品種雜交仔豬進行田野臨床試驗，逢機分為兩個處理組，分別為在未改善環境換氣品質豬舍生長六週的仔豬(對照組)；以及在已經改善環境換氣品質豬舍生長六週的仔豬(實驗組)。於生長期間紀錄仔豬生長性狀與呼吸道感染及咳嗽情形。實驗結束後每組逢機抽樣 5 頭仔豬，進行採血送檢。本實驗所使用之動物相關實驗方法均依循國際之實驗動物使用及照顧相關方法，通過國立臺灣師範大學實驗動物使用及照護委員會之審查。

同時評估藉著人工智慧(Artificial Intelligence, AI)資通訊技術(Information and Communication Technology, ICT) 的環境感測系統，藉此輔助牧場豬隻的呼吸道傳染病防治，提升豬隻飼養的生產力及品質。

最後，本論文也希望透過仔豬的採血送檢資料與追蹤環境空氣監測採收數據比對進行分析討論，確認改善環境換氣品質後，是否可以有效緩解呼吸道與肺

組織的發炎反應，藉此評估建置環境感測系統後是否可以有效防治動物的呼吸道傳染病以了解環境感測換氣系統應用潛力。

## 第二節 環境空氣感測系統

本系統建置將從畜牧環境內部空氣品質感測的觀點切入，使用適用於豬隻養殖場內的環境空氣感測裝置，透過有策略的布建與感測結果，進行資料分析。

為了偵測室內環境的空氣品質，本研究將先運用並調整適合於畜牧環境內的環境空氣感測系統原型機，而感測器偵測到的空氣品質資料將用於分析，藉此評估將來佈建以人工智慧物聯網(AIoT)技術為關鍵技術的畜牧環境感測監控系統應用潛力。

## 第三節 環境空氣感測系統布建與場域實測

隨著城市人口的持續快速增長，空氣污染成為從公共衛生到社會經濟的嚴重問題。在所有污染物中，細懸浮微粒（PM2.5）與各種嚴重的健康問題直接相關，例如肺癌、過早死亡、哮喘、心血管和呼吸系統疾病。為了提高城市生活質量，過去有研究部署了環境空氣感測系統來創建智慧城市(Chen et al., 2017)，以利 PM2.5 的監測。

而疾病監測對於控制包括新型冠狀病毒病 (COVID-19) 在內的流感和呼吸道傳染病至關重要。室內空氣質量監測已被證明可有效了解室內氣流和循環的有效性，從而降低感染疾病的風險(Ho et al., 2020)。

本研究使用初步的環境空氣感測系統用以評估養豬場環境感測換氣系統應用潛力之可行性，使用的環境空氣感測系統雛型如圖 1 所示。

在雛型系統內，裝置二氧化碳感測器、溫度及氣壓感測器、懸浮微粒感測器及光感測器等。經過測試後，研究過程將懸浮微粒感測器風扇的擺放位置朝上，除了可吸入新鮮空氣增加感測空氣的品質外，亦有散熱的功能，可幫助感測器排放多餘的熱能，防止室內感測器蓄熱，強化環境感測器運作的效能。

光感測器安裝在系統盒，可以感測室內光照是否足夠。另外有助於在安裝及檢視感測器是否處於正常運作之狀態，增加感測器檢查的速度及便利性，並在室內空氣品質感測器上加裝 OLED 螢幕。

本研究資料儲存將空氣品質感測器的感測資料皆保存在 microSD 卡內，以確保感測到的寶貴資料的完整性及可用性。



圖 1. 環境空氣感測系統雛型

研究過程環境感測系統因應現地布建，安裝在有換氣系統豬舍與無換氣系統半開放豬舍，以及室外。

#### 第四節 牧場空氣品質資料分析

、 本次利用環境感測系統進行應用潛力研究，測試收集空氣品質、溫溼度、光照等資料，以利後續資料分析及開發應用潛力評估。

表 1：各項空氣污染物之標準規定

項目	標準值		單位
一氧化碳 (CO)	1 小時平均值	35	ppm
甲醛 (HCHO)	1 小時平均值	0.08	ppm
總揮發性有機化合物(TVOC，包含：12 種揮發性有機物之總和)	1 小時平均值	0.56	ppm
細菌(Bacteria)	最高值	1500	CFU/m <sup>3</sup> (菌落數/立方公尺)
真菌(Fungi)	最高值	1000	CFU/m <sup>3</sup>
10 微米 (μm) 之懸浮微粒 (PM10)	24 小時平均值	100	μg/m <sup>3</sup> (微克/立方公尺)
2.5 微米 (μm) 之懸浮微粒 (PM2.5)	24 小時平均值	35	μg/m <sup>3</sup>
臭氧 (O <sub>3</sub> )	1 小時平均值	0.12	ppm

(行政院環保署環署空字第 1010106229 號令訂定)

另外

二氧化碳 (CO<sub>2</sub>) 8 小時平均值 1000 ppm (體積濃度百萬分之一)

## 第五節 仔豬血液中過敏反應分析

首先以含抗凝血劑的採血管抽取 5ml 的血液進行血球分析。

本項檢驗是利用 IDEXX Procyte Dx 自動血球分析器透過雷射流式細胞儀技術(Laser flow cytometry technology)、光學螢光(optical fluorescence)和層流阻抗(laminar flow impedance)三種技術進行 18 種與血液細胞相關的分析測量，包含紅血球計數(RBC)、血色素(Hb)、血容比(Hct)、平均紅血球容積(MCV)、平均紅血球血色素(MCH)、平均紅血球血色素比(MCHC)、平均血小板體積(MPV)、紅血球分布寬度(RDW)、網狀紅血球數目(RETIC)、白血球計數(WBC)、嗜中性球計數(NEUT)、淋巴球計數(LYMPH)、單核球計數(MONO)、嗜酸性球計數(EOS)、嗜鹼性球計數(BASO)、血小板計數(PLT)、血小板分布寬度(PDW)、血小板容積比(PDW)。



## 第六節 統計與資料分析

將環境感測系統所蒐集空氣品質資料與動物實驗分別為在未改善環境換氣品質豬舍生長六週的仔豬(對照組 5 頭)；以及在已經改善環境換氣品質豬舍生長六週的仔豬(實驗組 5 頭)資料進行分析，所有的實驗數值都是用平均值±平均值標準誤差來表示。而統計方法則是用單因子變異數分析 (one-way ANOVA)，再用 Tukey 事後檢定比對分析。p-values 值<0.05 則顯示具有顯著誤差。

## 第三章 實驗結果

本實驗環境感測系統蒐集數據為溫度、濕度、二氧化碳、光度、PM1.0~10及 TVOC，加上動物實驗數據，在本章將相關研究數據結果說明如下，而相關實驗數據圖列於附件說明。

### 第一節 環境溫度感測結果

從研究圖一來看，無論 2 週仔豬飼育房舍、9 週中豬飼養房舍、以及 22 週大豬飼養房舍的室內溫度都較室外溫度低。

在大豬欄舍環境的折線圖上可以看到有轉折點的出現，推測原因為在那個時間點排風扇開始運作，而排風扇的運作增加豬場的通風性，而使得溫度下降。

### 第二節 環境二氧化碳感測結果

CO<sub>2</sub> 一般視為通風狀況的一個表徵，可以從圖二看到，無論 2 週仔豬飼育房舍、9 週中豬飼養房舍以及 22 週大豬飼養房舍的 CO<sub>2</sub> 濃度都較室外高，而中豬及大豬的 CO<sub>2</sub> 濃度又較仔豬的高，推測原因為畜舍形態的不同。中豬及大豬的欄舍環境為密閉，通風依靠大排風扇，而仔豬的畜舍則是通風的，只有捲簾布的遮罩，所以 CO<sub>2</sub> 濃度較其他兩處低。

除此之外在大豬欄舍環境的折線圖上可以看到有三處大起伏，推測原因為在那個時間點排風扇開始運作，而排風扇的運作增加豬場的通風性，而使得 CO<sub>2</sub> 濃度大幅下降。

### 第三節 環境濕度感測結果

從圖三來看，無論 2 週仔豬半開放房舍、9 週中豬飼養房舍以及 22 週大豬封閉飼養畜舍的室內濕度都較室外濕度高，而中豬及大豬的濕度又較仔豬的高，推測原因為畜舍形態的不同。

中豬及大豬的畜舍環境為密閉，通風依靠大排風扇，而仔豬的畜舍則是通風的，只有捲簾布的遮罩，所以濕度較其他兩處低。在大豬欄舍環境的折線圖上可以看到有轉折點的出現，推測原因為在那個時間點排風扇開始運作，而排風扇的運作增加豬場的通風性，而使得濕度下降。

### 第四節 環境光度感測結果

從圖四來看，無論 2 週仔豬半開放畜舍、9 週中豬以及 22 週大豬封閉畜舍，由於室內均為暗黑的環境，因此光度檢測偏低。

光照會影響豬隻活動量，本研究認為豬舍內光照應配合豬齡調控充足光量，除了可以方便工作人員視察豬隻外，光照時間也應配合自然光時間同步開關，促使豬隻活動量充足，進而使豬隻身體抵抗力與發育正常。

### 第五節 環境細懸浮微粒 PM1.0-10 感測結果

從圖五來看，顯示於 PM1.0 濃度不論是在 2 週仔豬飼育房舍、9 週中豬飼養房舍以及 22 週大豬飼養房舍都較室外的 PM1.0 濃度來得高。

從圖六來看，顯示在 PM2.5 的濃度不論 2 週仔豬飼育房舍、9 週中豬飼養房舍以及 22 週大豬飼養房舍也都較室外的 PM2.5 濃度高。

從圖七來看，顯示在 PM10 的濃度感測結果於 2 週仔豬飼育房舍、9 週中豬飼養房舍、22 週大豬飼養房舍以及室外的 PM10 濃度似乎沒有明顯的區分。

值得注意的是 2 週仔豬飼育房舍、9 週中豬飼養房舍以及 22 週大豬飼養房舍的 PM1.0 濃度、PM2.5 濃度，也隨著室外的 PM1.0 濃度、PM2.5 濃度波動而變化。藉由此觀察結果發現本飼養畜舍透過空氣於縫隙的流通，造成環境細懸浮微粒 PM1.0、PM2.5 有此現象，說明了內部的 PM1.0、PM2.5 濃度會受到室外 PM1.0、PM2.5 濃度的影響。

## 第六節 環境總揮發性有機化合物(TVOC)感測結果

總揮發性有機化合物(Total Volatile Organic Compound, TVOC)意指所有揮發性有機化合物(Volatile Organic Compounds, VOCs)總和。而在養豬場產生並排放出的複雜 VOCs 混合物，主要的來源包括豬舍內的空氣、糞便儲存和堆肥的頂部空間、豬廢水上方的開放空氣以及周圍的養豬場。研究還包括液態豬糞和廢水，以及豬舍內外的灰塵。而豬舍的 VOCs 主要排放來自糞便儲存處(Ni et al., 2012)。

從圖八結果分析發現，無論是在 2 週仔豬飼育房舍、9 週中豬飼養房舍以及 22 週大豬飼養房舍的 TVOC 濃度都較室外高，而中豬及大豬的 TVOC 濃度又較仔豬的高，推測原因為場房形態的不同。中豬及大豬的欄舍環境為密閉，通風依靠大排風扇，而仔豬的廠房則是通風的，只有捲簾布的遮罩，所以 TVOC 濃度較其他兩處低。除此之外，在大豬欄舍環境的折線圖上可以看到有三處大起伏，推測原因為在那個時間點排風扇開始運作，而排風扇的運作增加豬場的通風性，而使得 TVOC 濃度大幅下降。這 TVOC 結果與 CO<sub>2</sub> 的情況相同。

## 第七節 環境換氣緩解仔豬過敏反應

圖九報告顯示仔豬的血液檢測結果，飼養於設置有排風扇豬場的仔豬，體內與過敏或感染反應相關的嗜酸性白血球細胞數目遠較密閉豬場內的仔豬降低。這結果顯示，將來建置環境感測換氣系統後，更可以及時有效防治動物的呼吸道傳染病。



## 第四章 討論

本研究從畜牧環境內部空氣品質感測的觀點切入，開發適用於豬場內的環境感測系統，從溫度、濕度、二氧化碳、光度、PM1~10 及 TVOC 等感測器蒐集相關研究數據進行討論，而相關實驗數據圖列於附件說明。

一般在養豬管理上，豬舍溫度及濕度的控制影響著不同時期豬隻生長狀況及健康，也會反映在飼料成本上。而光照明度也會影響到母豬或是女豬(指發身後與分娩前的雌性豬隻)其後的繁殖性能。

在豬舍內二氧化碳的濃度如果超過標準，就有可能導致豬出現精神不振、體質下降及食慾差等情況。如此，豬隻本身的抗體也會受到影響，患病的概率也會增加。

然本研究針對會影響豬隻肺部以及呼吸道健康較直接的 PM1.0~10 及 TVOC 等，在本章節進行以下討論。

### 第一節 豬場空氣品質與豬隻呼吸道疾病常見 PM 病原的關聯

近年來，由於空氣傳播生物性危害作用，細懸浮微粒已成為全球空氣污染物的關注焦點。

懸浮微粒是指在空氣中懸浮的固體顆粒或液滴(細小液體粒子)，是由許多成分所構成，包括酸(如硝酸鹽  $\text{NO}_3^-$  和硫酸鹽  $\text{SO}_4^{2-}$ )、金屬、有機化合物、土壤或是粉塵等(余，2018)。其中也包含了一些生物性的懸浮粒子如病毒、細菌、黴菌、孢子和節肢動物(如塵蹣等)的排泄物等，稱為生物氣膠(bioaerosols)之物質。PM 可以分為兩類尺寸：粗懸浮微粒(PM10)和細懸浮微粒(PM2.5，包含 PM1.0)。PM10 是指顆粒直徑小於 10 微米( $\mu\text{m}$ )的物質，而 PM2.5 的直徑小於

2.5 微米( $\mu\text{m}$ )，約頭髮直徑二十八分之一大小。與自然產生的粉塵(如沙塵、花粉等)來源不同處，懸浮微粒(PM)中也包含了人工污染物的各種化學物質，如從燃燒柴油引擎、營建工程、工廠和發電廠等排放來源(Feng et al., 2007)。儘管 PM 的成分取決於其來源而有所不同，例如重金屬和酸性物質，但主要是碳粒。

而生物體可以將非常小的 PM 吸入氣管和肺部，並且很容易沉積到肺部肺泡甚至血液，導致發炎。因此，過去研究中假設這種炎症可能不僅是造成呼吸系統疾病的原因，而且還可能引發造成各種器官的永久性損害。暴露於 PM<sub>2.5</sub> 環境中也會導致繁殖能力變差(Cao et al., 2017) 和/或腦功能下降(Wilker et al., 2015)。空氣傳播的傳染原是人類和動物的重要課題，在過去的幾年中是受到極大關注的醫學問題(Fernstrom & Goldblatt, 2013；Wei & Li, 2016)。

影響所有年齡層的豬繁殖和呼吸障礙綜合症病毒 PRRSV 是一種可經呼吸道感染豬的 RNA 病毒。而豬繁殖和呼吸障礙綜合症(PRRS)也是被認為是美國養豬業中較危險的疾病(Arruda et al., 2019)。感染此病毒，豬的生殖系統疾病和生殖疾病會導致繁殖性能下降和死亡率增加(Holtkamp et al., 2013)。一旦 PRRSV 被引入易感動物種群中，將會發生感染，並且被感染的動物將開始通過唾液、鼻分泌物、尿液、精液、乳腺分泌物和糞便排出病毒(Wills et al., 1997；Rossow et al., 1994)。

此外，高密度繁殖的豬場經過感染者的傳播後，更容易暴露於 PRRSV 中並而感染 PRRSV(Velasova et al., 2012)。

過去曾有研究 PRRSV 在台灣 28 家豬場調查之結果，其豬場陽性率 96.4%，豬隻陽性率 80.2%(鍾等，1997)。而 PRRSV 具有高度傳染性，可經空氣傳染，而豬場一旦遭受 PRRSV 感染，病毒常持續存在豬群中，時間可長達 3-4 個月，甚至長達數年的時間 (Albina, 1997)。

在本研究 PM2.5(含 PM1.0)部分，可從研究圖六看到隨著室外的 PM2.5 濃度而波動變化。這結果說明飼養房舍內部的 PM2.5 濃度是受到室外 PM2.5 濃度的影響。鑒於感測器可偵測到 PM1.0 與 PM2.5 室內濃度顯著增加高於室外，這說明感測器的偵測靈敏度很高，與室內在不通風狀況下對豬隻呼吸道疾病潛在威脅，因此安裝感測器有助於管理者監測養豬場室內 PM2.5(含 PM1.0)以早期預防因應可能因 PM2.5(含 PM1.0)引起的呼吸道疾病發生。

最後，幾項臨床研究和流行病學研究也顯示，已經確定了 PM 的存在與呼吸和炎症疾病的流行之間的關鍵聯繫。粗懸浮微粒 (PM10) 會透過先天免疫反應的調控增強 RNA 病毒感染(Mishra et al., 2020)。

而在本研究數據在 PM10 的濃度 ( $>40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 可以看到仔豬、中豬及大豬飼養畜舍以及室外的 PM10 濃度似乎沒有明顯的區分(圖七)，顯示較不易感染豬呼吸綜合症病毒 (PRRSV)，這結果也顯示與飼養畜舍的通風性有相關。

## 第二節 豬場空氣品質對仔豬感染呼吸道疾病的影響

空氣污染源之一 TVOC 是來自於生活周遭或工業中經常使用的除蟲劑、粘著劑、皮革或金屬清洗劑，絕大部分是屬於揮發性的碳氫氯化物有機成分，例如：氯仿(Chloroform)、三氯甲烷(Trichloromethane)、二氯甲烷(Dichloromethane)等，導致空氣環境的污染，而空氣污染物可能是當今世界上導致疾病和死亡的最大原因(Enyoh et al., 2020；行政院環保署毒物及化學物質局，2021)。

而在養豬場產生並排放出的複雜 VOCs 混合物，主要的來源包括豬舍內的空氣、糞便儲存和堆肥的頂部空間、豬廢水上方的開放空氣以及周圍的養豬場。研究還包括液態豬糞和廢水，以及豬舍內外的灰塵。而豬舍的 VOCs 主要排放來自糞便儲存處(Ni et al., 2012)。由於這些具有揮發性的有機物成分擴散快

速且容易暴露及透過呼吸道吸入體內引起過敏性氣喘、呼吸困難及咳嗽等呼吸道急性及慢性發炎疾病(Anundi et al., 1993 ; Paggiaro et al., 1985)，影響肺部功能後遺症久遠。而且揮發性的有機物成分導致罹患癌症的風險提高(Loh et al., 2007)。因此養豬場空氣品質對仔豬感染呼吸道疾病的影響甚為重要。

研究結果於圖八顯示，偵測總揮發性有機化合物（TVOC 包含：12 種揮發性有機物之總和）無論仔、中及大豬飼養房舍的 TVOC 濃度都較室外高，而排風扇的運作增加豬場的通風性，而使得 TVOC 濃度大幅下降(圖八)。類似於其他研究學者顯示，利用流體動力學（computational fluid dynamics, CFD）計算發現增加側壁排氣、屋頂煙囪排氣或結合側壁及屋頂煙囪排氣能有效減少 TVOC 及 CO<sub>2</sub> 在養豬飼養房舍的空氣改善(Yeo et al., 2020)。

而圖八 B 圖中，9 週齡中豬飼養房舍、以及 22 週齡大豬飼養房舍的室內平均 TVOC 濃度都較 2 週齡仔豬飼育房舍、以及室外平均 TVOC 濃度顯著增加 ( $p < 0.01$ )，這結果也可以說明感測器的偵測靈敏度很高，有助於管理者監測養豬場室內 TVOC 濃度以早期預防因應可能因 TVOC 引起的呼吸道疾病發生。

### 第三節 改善豬場空氣品質對促進仔豬生長的影响

氣溶膠（Aerosol），又稱為氣膠、煙霧質，一般是指固體或液體微粒穩定的懸浮於氣體中形成的分散體系，同時也是一種懸浮微粒(PM)。相關研究顯示，氣溶膠傳播（Aerosol transmission）取決於與疾病相關的物理變化量。例如顆粒大小懸浮微粒所引起的感染性疾病，而顆粒大小也會影響病毒生存力(Alonso et al., 2015)。影響其傳播散發的病原體數量，液滴(細小液體粒子)乾燥速率等變化量(Fernstrom & Goldblatt, 2013)。

環境條件例如空氣環境溫度和濕度，寒冷和乾燥的條件也都有利於傳播 (Lowen et al., 2007 ; Tang , 2009)。因此，環境條件已被證明是重要的外在因素影響著仔豬生長。而集約化養豬場需要環境控制系統以確保動物福利和生產效率，空氣溫度和相對濕度是室內微氣候的非常重要的變化量，因為它們直接影響生長，飼料利用率和動物福利(Huynh, 2005)。

本研究透過環境溫度感測器顯示，利用排風扇的運作增加豬場的通風性，而使得溫度下降(圖一)。無論是 2 週齡仔豬飼育房舍、9 週齡中豬飼養房舍以及 22 週齡大豬飼養房舍的室內溫度都較室外溫度低。環境濕度感測顯示結果表明，排風扇的運作增加豬畜舍內通風性，而使得濕度下降(圖三)。然而，該研究方法結果類似於在炎熱潮濕的國家（例如哥倫比亞）飼育房舍或飼料倉添加通風風扇、蒸發冷卻系統和電子控制器，並直接針對該電子控制器進行調整使動物保持在熱中性區（Thermoneutral Zone；縮寫 TNZ）都有助於仔豬降低真菌污染的風險(ASHRAE, 1989)和病原性生物的生長(ASAE, 2009)。

除了豬舍溫度、濕度外，豬舍的細懸浮微粒 PM<sub>2.5</sub>(含 PM<sub>1.0</sub>)通常也較室外高，但在改善通風排氣下，從圖九的豬隻血液分析圖表中可以看到利用換氣系統改善環境空氣質量後，豬隻的血液與發炎或過敏相關的嗜酸性白血球細胞數目明顯減少，這結果說明空氣質量改善後仔豬較不容易有過敏性發炎現象產生。

## 第五章 結論

本論文認為環境空氣感測換氣系統對於緩解動物呼吸道疾病具有正面影響，環境感測換氣系統對於緩解動物感染呼吸道疾病具有應用潛力。希望藉此輔助畜牧動物的呼吸道傳染病防治，提升動物福利與飼養的生產力及品質。

本研究從畜牧環境內部空氣品質感測的觀點切入，進行先期開發評估適用於畜牧養殖場內的環境空氣感測系統及其應用潛力，透過有策略的布建環境感測系統與蒐集相關感測數值結果，進行資料分析。並運用偵測的環境資訊，將不同特徵值的資料預測結果和防範豬隻流感與相關傳染病進行討論。

本實驗結果顯示室內豬場空氣中的二氧化碳(CO<sub>2</sub>)濃度、濕度、環境細懸浮微粒(PM) 1.0 及 2.5、環境總揮發性有機化合物(TVOC)都較室外的空氣濃度高；而豬場排風扇的運作可增加室內的通風性，使得室內空氣品質獲得明顯改善。

從仔豬血液檢測報告也證實飼養在設置有環境空氣質量監測系統以及排風扇豬場的仔豬，體內與過敏反應相關的嗜酸性白血球細胞數目，會遠較密閉豬場內的仔豬降低，這結果說明建置環境空氣質量監測系統以及排風扇對於緩解動物呼吸道疾病確實有助益。

最後，本研究認為其相關技術應用潛力資訊，可提供未來建置人工智慧環境系統與畜牧場管理另一新型管理思考方式，以減少養豬產業損失並增進畜牧動物福利。

## 參考文獻

- 李培芬(2006年)。臺灣的自然資源與生態資料庫－農林漁牧。臺灣：行政院農業委員會林務局。
- 空氣品質標準法規(2020年9月18日)。
- 鍾文彬、吳大中、林敏雯、黃瓊儀、張志成、張文發、楊平政(1997)。台灣地區豬繁殖與呼吸道症候群 III。流行病學調查。中華民國獸醫學會雜誌，23(1)，43-50。
- 行政院環保署毒物及化學物質局(2021年9月18日)。毒性及關注化學物質查詢資料庫，檢自<https://toxicdms.epa.gov.tw/Chm>
- 謝明昌(2016年3月15日)。認識細懸浮微粒PM2.5。社團法人台灣醫事檢驗學會網站，檢自[https://www.labmed.org.tw/knowledge\\_1.asp?mno=74](https://www.labmed.org.tw/knowledge_1.asp?mno=74)
- 余國賓(2018年1月)。PM2.5知多少。科技報導網站，檢自<http://scitechreports.blogspot.com/2018/01/pm25.html>
- Albina, E. (1997). Epidemiology of porcine reproductive and respiratory syndrome (PRRS): an overview. *Veterinary microbiology*, 55(1-4), 309–316.
- Alonso, C., Raynor, P. C., Davies, P. R. & Torremorell, M. (2015). Concentration, Size Distribution, and Infectivity of Airborne Particles Carrying Swine Viruses. *PloS one*, 10(8), e0135675.
- Anundi, H., Lind, M. L., Friis, L., Itkes, N., Langworth, S., & Edling, C. (1993). High exposures to organic solvents among graffiti removers. *International archives of occupational and environmental health*, 65(4), 247–251.
- Arruda, A. G., Tousignant, S., Sanhueza, J., Vilalta, C., Poljak, Z., Torremorell, M., Alonso, C., & Corzo, C. A. (2019). Aerosol Detection and Transmission of Porcine Reproductive and Respiratory Syndrome Virus (PRRSV): What Is the Evidence, and What Are the Knowledge Gaps?. *Viruses*, 11(8), 712.

- ASHRAE (1989). *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. ASHRAE Stand. 62.
- ASAE (2009). *Design of Ventilation Systems for Poultry and Livestock Shelters*. ASABE Stand, 1–19.
- Cao, X. N., Shen, L. J., Wu, S. D., Yan, C., Zhou, Y., Xiong, G., Wang, Y. C., Liu, Y., Liu, B., Tang, X. L., Guo, M., Liu, D. Y., Long, C. L., Sun, M., He, D. W., Lin, T., & Wei, G. H. (2017). Urban fine particulate matter exposure causes male reproductive injury through destroying blood-testis barrier (BTB) integrity. *Toxicology letters*, 266, 1–12.
- Chae, C. (2016). Porcine respiratory disease complex: Interaction of vaccination and porcine circovirus type 2, porcine reproductive and respiratory syndrome virus, and *Mycoplasma hyopneumoniae*. *Veterinary journal (London, England : 1997)*, 212, 1–6.
- Chen, L. J., Ho, Y. H., Lee H. C., Wu, H. C., Liu, H. M., Hsieh, H. H., Huang, Y. T., & Lung, S. C. C. (2017). An Open Framework for Participatory PM2.5 Monitoring in Smart Cities. *IEEE Access*, 5:14441 – 14454..
- Dee, S. A., Joo, H. S., Polson, D. D., Park, B. K., Pijoan, C., Molitor, T. W., Collins, J. E., & King, V. (1997). Evaluation of the effects of nursery depopulation on the persistence of porcine reproductive and respiratory syndrome virus and the productivity of 34 farms. *The Veterinary record*, 140(10), 247–248.
- Enyoh, C. E., Verla, A. W., Wang, Q., Ohiagu, F. O., Chowdhury, A. H., Enyoh, E. C., Chowdhury, T., Evelyn, N. V., & Chinwendu, U. P. (2020). An overview of emerging pollutants in air: Method of analysis and potential public health concern from human environmental exposure. *Trends in Environmental Analytical Chemistry* 28, e00107
- Feng, Y., Xue, Y., Chen, X., Wu, J., Zhu, T., Bai, Z., Fu, S., & Gu, C. (2007). Source

- apportionment of ambient total suspended particulates and coarse particulate matter in urban areas of Jiaozuo, China. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 57(5), 561–575.
- Fernstrom, A., & Goldblatt, M. (2013). Aerobiology and its role in the transmission of infectious diseases. *Journal of pathogens*, 2013(6), 493960.
- Heo, J. M., Opapeju, F. O., Pluske, J. R., Kim, J. C., Hampson, D. J., & Nyachoti, C. M. (2012). Gastrointestinal health and function in weaned pigs: a review of feeding strategies to control post-weaning diarrhoea without using in-feed antimicrobial compounds. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 97(2), 207–237.
- Holtkamp, D. J., Kliebenstein, J. B., Neumann, E., Zimmerman, J. J., Rotto, H., Yoder, T. K., Wang, C., Yeske, P., Mowrer, C. L., & Haley, C. A. (2013). Assessment of the economic impact of porcine reproductive and respiratory syndrome virus on United States pork producers. *Economics Publications*, 21(2):72-84.
- Ho, Y. H., Li, P. E., Chen, L. J., & Liu, Y. L. (2020). Indoor air quality monitoring system for proactive control of respiratory infectious diseases: poster abstract. *In Proceedings of The 18th ACM International Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys '20)*, 693-694.
- Ni, J. Q., Robarge W. P., Xiao, C., Heber, A. J. (2012). Volatile organic compounds at swine facilities: a critical review. *Chemosphere*. 89(7):769-88.
- Loh, M. M., Levy, J. I., Spengler, J. D., Houseman, E. A., & Bennett, D. H. (2007). Ranking cancer risks of organic hazardous air pollutants in the United States. *Environmental health perspectives*, 115(8), 1160–1168.
- Lowen, A. C., Mubareka, S., Steel, J., & Palese, P. (2007). Influenza virus transmission is dependent on relative humidity and temperature. *PLoS pathogens*,

3(10), 1470–1476.

Lu, C. W., Wang, S. E., Wu, W. J., Su, L. Y., Wang, C. H., Wang, P. H., & Wu, C. H. (2020). Alternative antibiotic feed additives alleviate pneumonia with inhibiting ACE-2 expression in the respiratory system of piglets. *Food science & nutrition*, 9(2), 1112–1120.

Metz, J. A., & Finn, A. (2015). Influenza and humidity-Why a bit more damp may be good for you!. *The Journal of infection*, 71 Suppl 1, S54–S58.

Mishra, R., Krishnamoorthy, P., Gangamma, S., Raut, A. A., & Kumar, H. (2020). Particulate matter (PM10) enhances RNA virus infection through modulation of innate immune responses. *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)*, 266(Pt 1), 115148.

Pluske, J.R., Hampson, D.J., & Williams, I.H. (1997) Factors influencing the structure and function of the small intestine in the weaned pig: a review. *Livestock Production Science*, 51, 215–236.

Paggiaro, P., Lastrucci, L., Di Pede, C., Bacci, E., Rossi, O., & Talini, D. (1985). Respiratory pathology caused by exposure to solvents in the shoe industry: description of 3 clinical cases. *Giornale italiano di medicina del lavoro*, 7(4), 149–152.

Rossow, K. D., Bautista, E. M., Goyal, S. M., Molitor, T. W., Murtaugh, M. P., Morrison, R. B., Benfield, D. A., & Collins, J. E. (1994). Experimental porcine reproductive and respiratory syndrome virus infection in one-, four-, and 10-week-old pigs. *Journal of veterinary diagnostic investigation*, 6(1), 3–12.

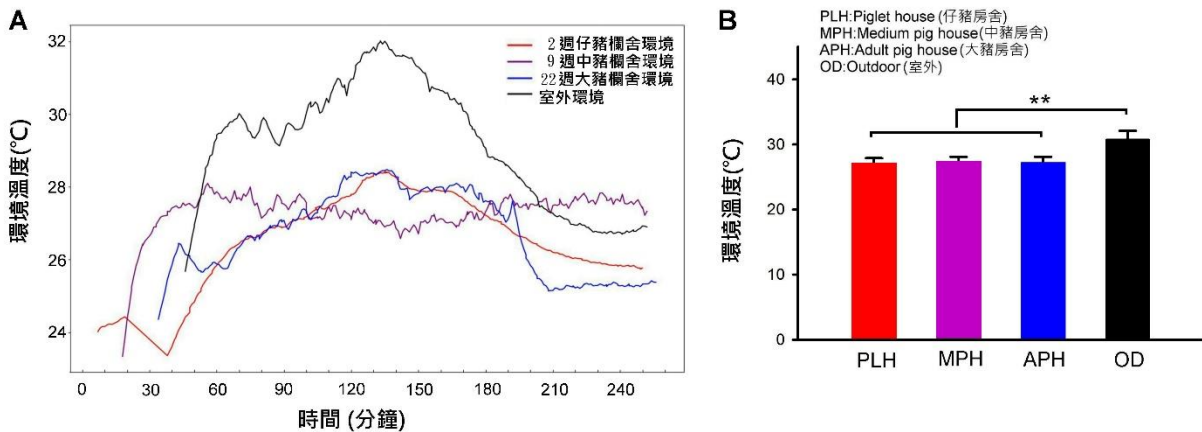
Tang, J. W. (2009). The effect of environmental parameters on the survival of airborne infectious agents. *Journal of the Royal Society, Interface*, 6(Suppl 6), S737–S746.

Huynh, T. T. T. (2005). *Heat stress in growing pigs*, Thesis (PhD). Wageningen

Institute of Animal Science, Wageningen University, Wageningen.

- Velasova, M., Alarcon, P., Williamson, S., & Wieland, B. (2012). Risk factors for porcine reproductive and respiratory syndrome virus infection and resulting challenges for effective disease surveillance. *BMC veterinary research*, 8, 184.
- Wei, J., & Li, Y. (2016). Airborne spread of infectious agents in the indoor environment. *American journal of infection control*, 44(9), S102–S108.
- Wilker, E. H., Preis, S. R., Beiser, A. S., Wolf, P. A., Au, R., Kloog, I., Li, W., Schwartz, J., Koutrakis, P., DeCarli, C., Seshadri, S., & Mittleman, M. A. (2015). Long-term exposure to fine particulate matter, residential proximity to major roads and measures of brain structure. *Stroke*, 46(5), 1161–1166.
- Wills, R., Zimmerman, J., Swenson, S., Yoon, K., Hill, H., Bundy, D., & McGinley, M. (1997). Transmission of PRRSV by direct, close, or indirect contact. *Journal of Swine Health and Production*, 5(6), 213-218.
- Yang, W., Elankumaran, S., & Marr, L. C. (2012). Relationship between humidity and influenza A viability in droplets and implications for influenza's seasonality. *PloS one*, 7(10), e46789.
- Yeo, U.-H., Decano-Valentin, C., Ha, T., Lee, I.-B., Kim, R.-W., Lee, S.-Y., & Kim, J.-G. (2020). Impact Analysis of Environmental Conditions on Odour Dispersion Emitted from Pig House with Complex Terrain Using CFD. *Agronomy*, 10(11), 1828.
- Yin, J., Wu, M. M., Xiao, H., Ren, W. K., Duan, J. L., Yang, G., Li, T. J., & Yin, Y. L. (2014). Development of an antioxidant system after early weaning in piglets. *Journal of animal science*, 92(2), 612–619.

## 實驗圖表

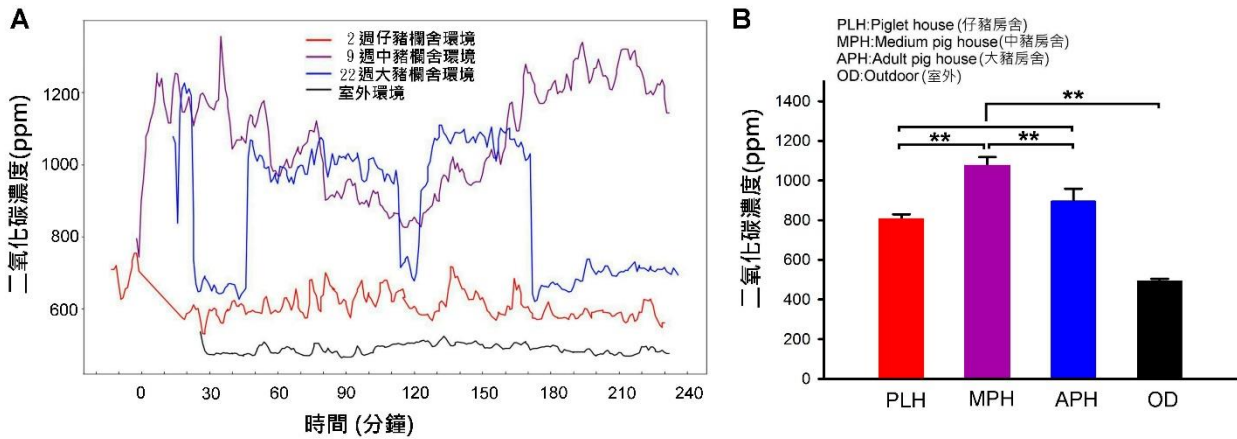


圖一：利用環境感測系統監測並且比較豬場環境溫度差異

(A) 利用環境感測系統監測豬場不同環境下的溫度變化，紅線代表 2 週仔豬飼育房舍的溫度變化；紫線代表 9 週中豬飼養房舍的溫度變化；藍線代表 22 週成豬飼養房舍的溫度變化；黑線則是代表室外環境的溫度變化。無論 2 週齡仔豬飼育房舍、9 週齡中豬飼養房舍、以及 22 週齡大豬飼養房舍的室內溫度都較室外溫度低。在大豬欄舍環境的折線圖上可以看到有折線，推測原因為在那個時間點排風扇開始運作，而排風扇的運作增加豬場的通風性，而使得溫度下降。

(B) 統計比較環境感測系統監測豬場不同環境下的溫度差異，結果顯示無論 2 週齡仔豬飼育房舍、9 週齡中豬飼養房舍、以及 22 週齡大豬飼養房舍的室內平均溫度都較室外溫度顯著降低( $p < 0.01$ )。

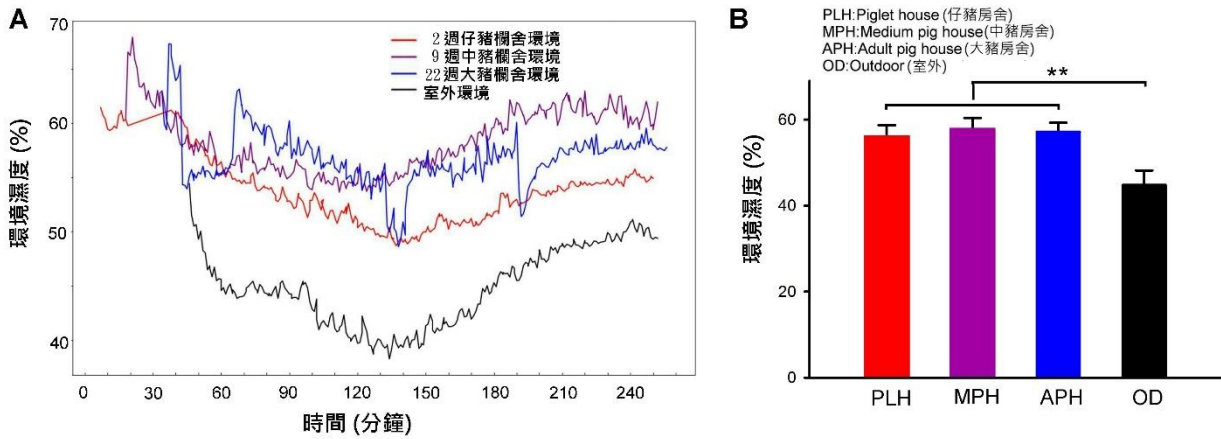
各組檢測出來的數值均由平均值 $\pm$ 平均值標準誤差 (Standard error of the mean, SEM) 來表示，且用單因子變異數分析 (One-way analysis of variance, ANOVA) 以及 S-N-K 多重差距檢定 (Student-Newman-Keuls multiple range test) 來分析是否有顯著誤差，若有顯著誤差則用\*\* $p < 0.01$  以及\* $p < 0.05$  表示。



**圖二：利用環境感測系統監測並且比較豬場環境二氧化碳濃度差異**

(A) 利用環境感測系統監測豬場不同環境下的二氧化碳濃度變化，紅線代表 2 週仔豬飼育房舍的二氧化碳濃度變化；紫線代表 9 週中豬飼養房舍的二氧化碳濃度變化；藍線代表 22 週成豬飼養房舍的二氧化碳濃度變化；黑線則是代表室外環境的二氧化碳濃度變化。無論 2 週齡仔豬飼育房舍、9 週齡中豬飼養房舍、以及 22 週齡大豬飼養房舍的二氧化碳濃度都較室外二氧化碳濃度高。而中豬及大豬的二氧化碳濃度又較仔豬的高，推測原因為廠房形態的不同，中豬及大豬的欄舍環境為密閉，通風依靠大排風扇，而仔豬的廠房則是通風的，只有捲簾布的遮罩，所以二氧化碳濃度較其他兩處低。除此之外在大豬欄舍環境的折線圖上可以看到有三處大起伏，推測原因為在那個時間點排風扇開始運作，而排風扇的運作增加豬場的通風性，而使得二氧化碳濃度大幅下降。

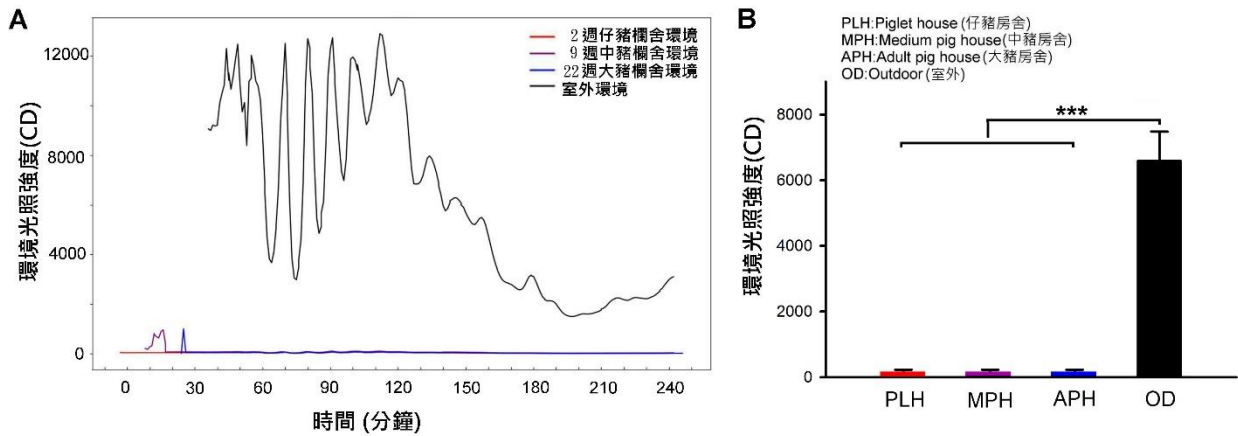
(B) 統計比較環境感測系統監測豬場不同環境下的二氧化碳濃度差異，結果顯示無論 2 週齡仔豬飼育房舍、9 週齡中豬飼養房舍、以及 22 週齡大豬飼養房舍的室內平均二氧化碳濃度都較室外二氧化碳濃度顯著增加( $p < 0.01$ )；而且，9 週齡中豬飼養房舍平均二氧化碳濃度也較 2 週齡仔豬飼育房舍以及 22 週齡大豬飼養房舍的室內平均二氧化碳濃度顯著增加( $p < 0.01$ )。統計分析與數據表示方法與圖一類似，請參閱圖一文字說明。



**圖三：利用環境感測系統監測並且比較豬場環境濕度差異**

(A) 利用環境感測系統監測豬場不同環境下的濕度變化，紅線代表 2 週仔豬飼育房舍的濕度變化；紫線代表 9 週中豬飼養房舍的濕度變化；藍線代表 22 週成豬飼養房舍的濕度變化；黑線則是代表室外環境的濕度變化。無論 2 週齡仔豬飼育房舍、9 週齡中豬飼養房舍、以及 22 週齡大豬飼養房舍的濕度都較室外濕度高。大豬欄舍環境的折線圖上可以看到有三處大起伏，推測原因為在那個時間點排風扇開始運作，而排風扇的運作增加豬場的通風性，而使得濕度大幅下降。

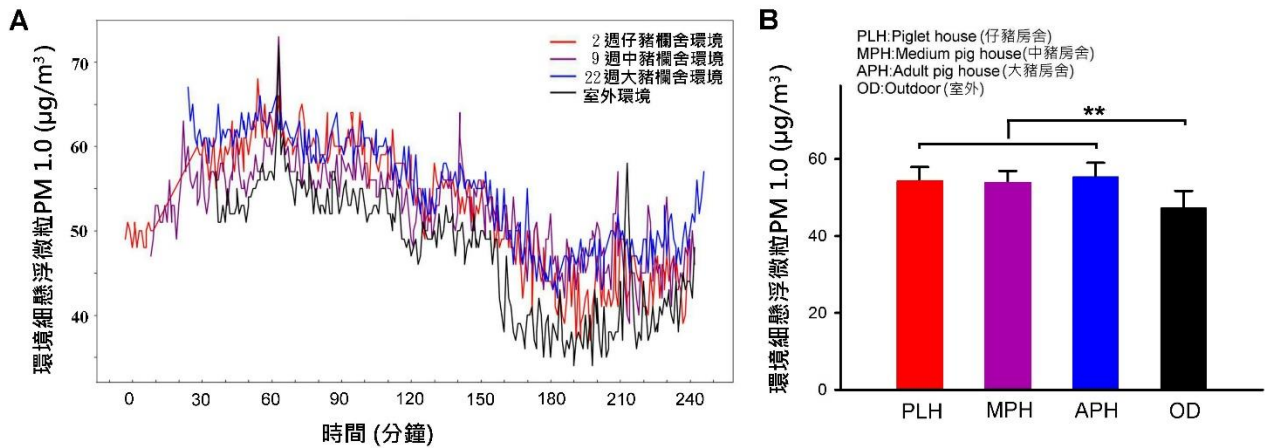
(B) 統計比較環境感測系統監測豬場不同環境下的濕度差異，結果顯示無論 2 週齡仔豬飼育房舍、9 週齡中豬飼養房舍、以及 22 週齡大豬飼養房舍的室內平均濕度都較室外濕度顯著增加( $p < 0.01$ )。統計分析與數據表示方法與圖一類似，請參閱圖一文字說明。



**圖四：利用環境感測系統監測並且比較豬場環境光照度差異**

(A) 利用環境感測系統監測豬場不同環境下的光照度變化，紅線代表 2 週仔豬飼育房舍的光照度變化；紫線代表 9 週中豬飼養房舍的光照度變化；藍線代表 22 週成豬飼養房舍的光照度變化；黑線則是代表室外環境的光照度變化。無論 2 週齡仔豬飼育房舍、9 週齡中豬飼養房舍、以及 22 週齡大豬飼養房舍的光照度都幾近於零，而室外光照度則隨日照強度而改變。

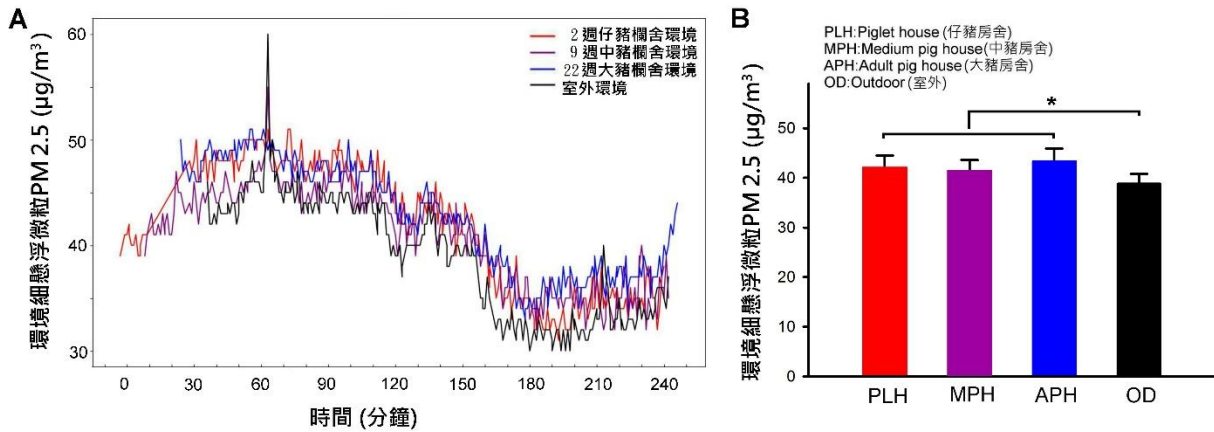
(B) 統計比較環境感測系統監測豬場不同環境下的光照度差異，結果顯示無論 2 週齡仔豬飼育房舍、9 週齡中豬飼養房舍、以及 22 週齡大豬飼養房舍的室內平均光照度都幾近於零，而遠較室外光照度顯著降低( $p < 0.001$ )。統計分析與數據表示方法與圖一類似，請參閱圖一文字說明。



**圖五：利用環境感測系統監測並且比較豬場環境細懸浮微粒 PM<sub>1.0</sub> 差異**

(A) 利用環境感測系統監測豬場不同環境下的環境細懸浮微粒 PM<sub>1.0</sub> 變化，紅線代表 2 週仔豬飼育房舍的 PM<sub>1.0</sub> 變化；紫線代表 9 週中豬飼養房舍的 PM<sub>1.0</sub> 變化；藍線代表 22 週成豬飼養房舍的 PM<sub>1.0</sub> 變化；黑線則是代表室外環境的 PM<sub>1.0</sub> 變化。無論 2 週齡仔豬飼育房舍、9 週齡中豬飼養房舍、以及 22 週齡大豬飼養房舍的 PM<sub>1.0</sub> 都較室外濕度高。值得注意的是 2 週齡仔豬飼育房舍、9 週齡中豬飼養房舍、以及 22 週齡大豬飼養房舍的 PM<sub>1.0</sub> 濃度，也隨著室外的 PM<sub>1.0</sub> 濃度而波動變化，這結果說明飼養房舍內部的 PM<sub>1.0</sub> 濃度是受到室外 PM<sub>1.0</sub> 濃度的影響，因此可得知室外懸浮微粒入滲室內環境的現象隨時都在發生。

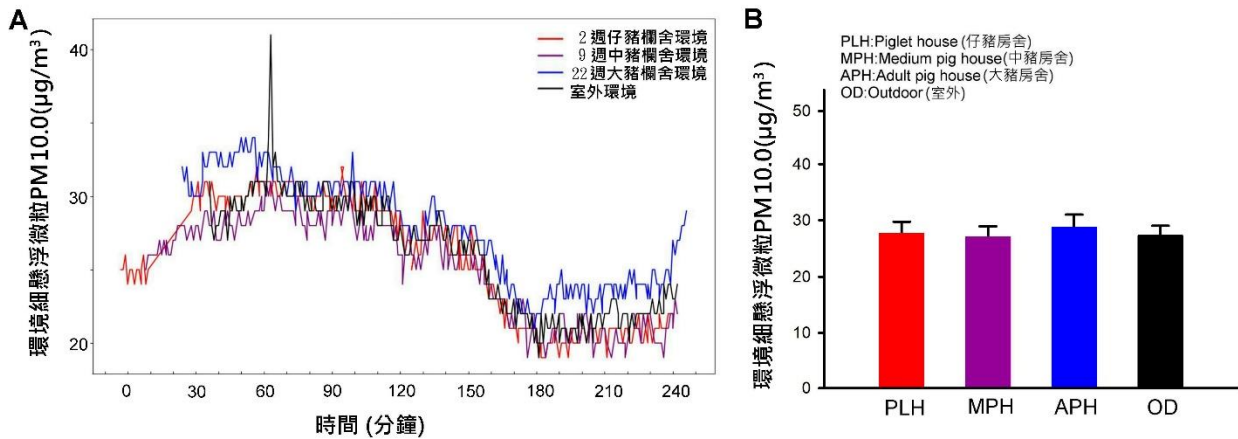
(B) 統計比較環境感測系統監測豬場不同環境下的 PM<sub>1.0</sub> 差異，結果顯示無論 2 週齡仔豬飼育房舍、9 週齡中豬飼養房舍、以及 22 週齡大豬飼養房舍的室內平均 PM<sub>1.0</sub> 濃度都較室外 PM<sub>1.0</sub> 濃度顯著增加( $p < 0.01$ )。統計分析與數據表示方法與圖一類似，請參閱圖一文字說明。



圖六：利用環境感測系統監測並且比較豬場環境細懸浮微粒 PM<sub>2.5</sub> 差異

(A) 利用環境感測系統監測豬場不同環境下的環境細懸浮微粒 PM<sub>2.5</sub> 變化，紅線代表 2 週仔豬飼育房舍的 PM<sub>2.5</sub> 變化；紫線代表 9 週中豬飼養房舍的 PM<sub>2.5</sub> 變化；藍線代表 22 週成豬飼養房舍的 PM<sub>2.5</sub> 變化；黑線則是代表室外環境的 PM<sub>2.5</sub> 變化。無論 2 週齡仔豬飼育房舍、9 週齡中豬飼養房舍、以及 22 週齡大豬飼養房舍的 PM<sub>2.5</sub> 都較室外濕度高。值得注意的是 2 週齡仔豬飼育房舍、9 週齡中豬飼養房舍、以及 22 週齡大豬飼養房舍的 PM<sub>2.5</sub> 濃度，也隨著室外的 PM<sub>2.5</sub> 濃度而波動變化，這結果說明飼養房舍內部的 PM<sub>2.5</sub> 濃度是受到室外 PM<sub>2.5</sub> 濃度的影響，因此可得知室外懸浮微粒入滲室內環境的現象隨時都在發生。

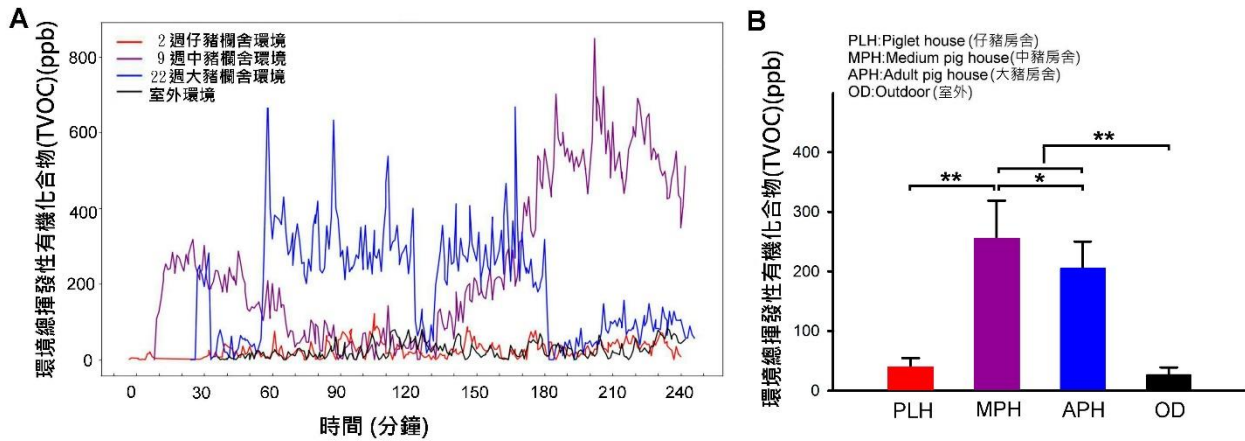
(B) 統計比較環境感測系統監測豬場不同環境下的 PM<sub>2.5</sub> 差異，結果顯示無論 2 週齡仔豬飼育房舍、9 週齡中豬飼養房舍、以及 22 週齡大豬飼養房舍的室內平均 PM<sub>2.5</sub> 濃度都較室外 PM<sub>2.5</sub> 濃度顯著增加 ( $p < 0.05$ )。統計分析與數據表示方法與圖一類似，請參閱圖一文字說明。



**圖七：利用環境感測系統監測並且比較豬場環境懸浮微粒 PM<sub>10</sub> 差異**

(A) 利用環境感測系統監測豬場不同環境下的環境懸浮微粒 PM<sub>10</sub> 變化，紅線代表 2 週仔豬飼育房舍的 PM<sub>10</sub> 變化；紫線代表 9 週中豬飼養房舍的 PM<sub>10</sub> 變化；藍線代表 22 週成豬飼養房舍的 PM<sub>10</sub> 變化；黑線則是代表室外環境的 PM<sub>10</sub> 變化。無論 2 週齡仔豬飼育房舍、9 週齡中豬飼養房舍、22 週齡大豬飼養房舍的 PM<sub>10</sub>、以及室外 PM<sub>10</sub> 似乎沒有明顯的區分。但室內與室外波動連動，因此可得知室外懸浮微粒入滲室內環境的現象隨時都在發生。

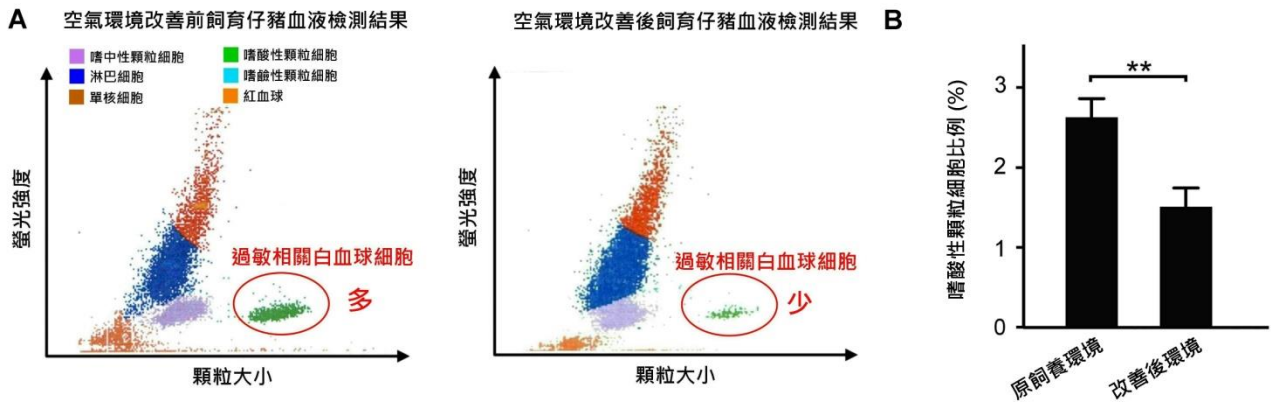
(B) 統計比較環境感測系統監測豬場不同環境下的 PM<sub>10</sub> 差異，結果顯示無論 2 週齡仔豬飼育房舍、9 週齡中豬飼養房舍、以及 22 週齡大豬飼養房舍室內平均 PM<sub>10</sub> 濃度、以及室外 PM<sub>10</sub> 濃度均無顯著差異。統計分析與數據表示方法與圖一類似，請參閱圖一文字說明。



圖八：利用環境感測系統監測並且比較豬場環境總揮發性有機化合物(TVOC)差異

(A) 利用環境感測系統監測豬場不同環境下的環境總揮發性有機化合物(TVOC)變化，紅線代表 2 週仔豬飼育房舍的 TVOC 變化；紫線代表 9 週中豬飼養房舍的 TVOC 變化；藍線代表 22 週成豬飼養房舍的 TVOC 變化；黑線則是代表室外環境的 TVOC 變化。結果顯示 9 週齡中豬飼養房舍、以及 22 週齡大豬飼養房舍的 TVOC 都較 2 週齡仔豬飼育房舍以及室外的 TVOC 高。推測原因為廠房形態的不同，中豬及大豬的欄舍環境為密閉，通風依靠大排風扇，而仔豬的廠房則是通風的，只有捲簾布的遮罩，所以 TVOC 濃度較其他兩處低。

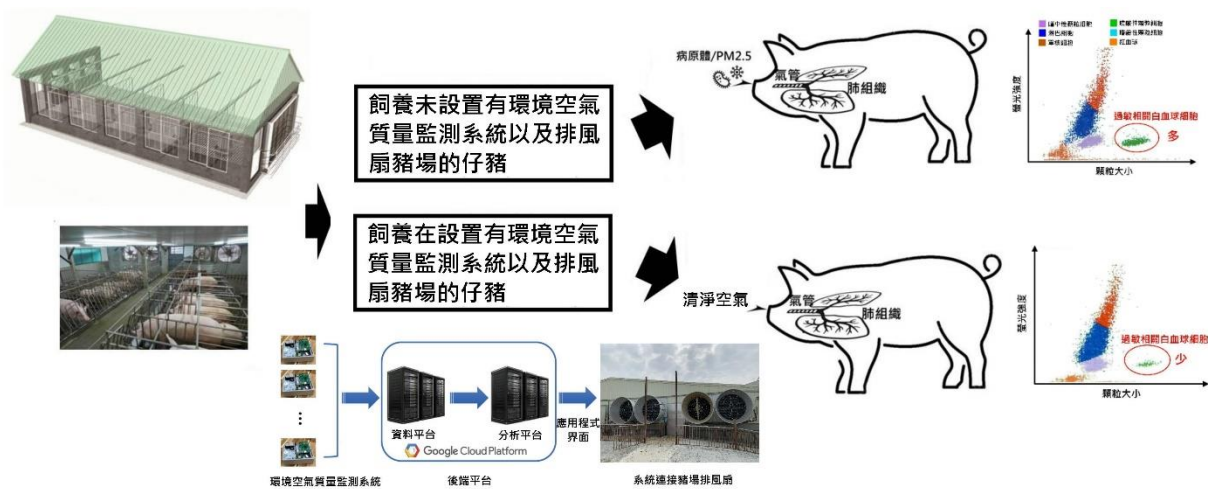
(B) 統計比較環境感測系統監測豬場不同環境下的 TVOC 差異，結果顯示 9 週齡中豬飼養房舍、以及 22 週齡大豬飼養房舍的室內平均 TVOC 濃度都較 2 週齡仔豬飼育房舍、以及室外平均 TVOC 濃度顯著增加( $p < 0.01$ )。而 9 週齡中豬飼養房舍的室內平均 TVOC 濃度也較 22 週齡大豬飼養房舍的室內平均 TVOC 濃度顯著增加( $p < 0.05$ )。



**圖九：利用換氣系統改善環境空氣質量可以緩解仔豬過敏反應**

(A) 利用血液檢測實驗紀錄環境空氣質量改善前後仔豬血液的過敏相關嗜酸性白血球細胞數目。結果顯示空氣質量改善後仔豬血液的過敏相關嗜酸性白血球細胞數目顯然少於空氣質量改善前仔豬血液的過敏相關嗜酸性白血球細胞數目。這結果說明空氣質量改善後仔豬較不容易有過敏現象產生。

(B) 統計比較環境空氣質量改善前後仔豬血液的過敏相關嗜酸性白血球細胞數目比例，結果顯示空氣質量改善後仔豬血液的過敏相關嗜酸性白血球細胞比例顯著少於空氣質量改善前仔豬血液的過敏相關嗜酸性白血球細胞比例( $p < 0.01$ )。統計分析與數據表示方法與圖一類似，請參閱圖一文字說明。



圖十：環境感測換氣系統有助於緩解動物感染呼吸道疾病

統整本論文結果可以說明利用環境感測換氣系統監測豬場空氣品質，再利用豬場排風扇的運作增加室內的通風性，會使得空氣品質獲得明顯改善。

而仔豬飼養在設置有環境空氣質量監測系統以及排風扇豬場的仔豬，體內過敏反應遠較密閉豬場內的仔豬降低，顯見建置環境空氣質量監測系統以及排風扇對於緩解動物呼吸道疾病確實有助益。