

# 豬隻屠宰場作業人員生物性氣膠暴露的 人畜共通傳染病風險

THE ZONOTIC INFECTIOUS DISEASE RISK ASSOCIATED WITH BIOAEROSOL EXPOSURE  
FOR SWINE SLAUGHTERHOUSE WORKERS

中信金融管理學院  
通識教育中心自然學科  
教授

楊心豪\*  
Shin hao Yang

中信金融管理學院  
AI 環境工學與  
循環經濟研究中心  
副研究員

高國勝  
Gour-Shenq Kao

中信金融管理學院  
AI 環境工學與  
循環經濟研究中心  
研究員

黃筱茜  
Hsiao-Chien Huang

中信金融管理學院  
通識教育中心自然學科  
教授

徐櫻芳  
Ying-Fang Hsu

勞動部  
勞動及職業安全衛生研究所  
副研究員

洪柏宸  
Po-Chen Hung

中信金融管理學院  
AI 環境工學與  
循環經濟研究中心  
研究員

劉暉廷  
Wei-Ting Liu

長榮大學  
職業安全與衛生學系  
教授

陳秋蓉  
Chiou-Jong Chen

## 摘要

本研究針對豬隻屠宰場作業環境生物性氣膠分佈與人畜共通疾病危害暴露進行調查，以瞭解豬隻屠宰場作業人員的環境暴露與傳染病危害風險。

於選定的 3 家豬隻屠宰場依作業內容進行環境分區，並進行夏季與冬季的生物性氣膠採樣，檢測所採集生物性氣膠中所含的人畜共通傳染病指標微生物 - 李斯特菌、金黃色葡萄球菌、沙門氏菌與出血性大腸桿菌，並進行菌種鑑定。

採樣結果顯示，在 3 場家畜屠宰場作業環境中採集的生物性氣膠，均有檢出李斯特菌、沙門氏菌、金黃色葡萄球菌，出血性大腸桿菌則是未檢出。夏季及冬季均以金黃色葡萄球菌檢出最高濃度，其次為李斯特菌。高濃度檢出之區域，經完整清潔消毒程序處理，可明顯降低指標微生物於氣膠中的濃度，亦即降低病原體暴露風險。夏季於氣膠檢出病原菌濃度及種類均高於冬季，顯示溫度增加促進病原微生物之生長，由不同飼養場及運輸路線挾帶的病原菌也有差異。真菌生物性氣膠的濃度相對低，經由清潔消毒程序處理亦能有效降低暴露風險。

菌種鑑定以羅氏菌屬 (*Rothia*)、葡萄球菌屬 (*Staphylococcus*)、莫拉氏菌屬 (*Moraxella*) 為多數，真菌則以枝孢菌屬 (*Cladosporium*) 為主。

屠宰人員因直接接觸動物，易暴露於因屠宰過程經噴濺或激烈動作產生的生物性氣膠，同時含有病原微生物的氣膠，具有實質致病的危害風險，建議作業時應配戴個人防護用具，並於工作結束後以消毒肥皂落實清洗，以避免病原微生物的附著及傳播。

**關鍵詞：**生物性氣膠、李斯特菌、金黃色葡萄球菌、沙門氏菌、出血性大腸桿菌。

## THE ZONOTIC INFECTIOUS DISEASE RISK ASSOCIATED WITH BIOAEROSOL EXPOSURE FOR SWINE SLAUGHTERHOUSE WORKERS

### **Shinhao Yang\***

Center for General  
Education,  
CTBC Business School,  
Tainan, Taiwan, ROC.

### **Gour-Sheng Kao**

Research Center for AI  
Environmental  
Engineering and  
Circular Economy,  
CTBC Business School,  
Tainan, Taiwan, ROC.

### **Hsiao-Chien Huang**

Research Center for AI  
Environmental  
Engineering and  
Circular Economy,  
CTBC Business School,  
Tainan, Taiwan, ROC.

### **Ying-Fang Hsu**

Center for General  
Education,  
CTBC Business School,  
Tainan, Taiwan, ROC.

### **Po-Chen Hung**

Institute of Labor, Occupational  
Safety and Health, Ministry of  
Labor, Taipei, Taiwan, ROC.

### **Wei-Ting Liu**

Research Center for AI  
Environmental Engineering and  
Circular Economy,  
CTBC Business School, Tainan,  
Taiwan, ROC.

### **Chiou-Jong Chen**

Department of Occupational  
Safety and Health,  
Chang Jung Christian University,  
Tainan, Taiwan, ROC.

## ABSTRACT

This study examines the distribution of bioaerosols in swine slaughterhouse environments and the related zoonotic disease hazards to assess the risk faced by swine slaughterhouse workers.

In three selected pig slaughterhouses, bioaerosol sampling was conducted in both summer and winter. The collected samples were tested for zoonotic microorganisms: *Listeria*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella*, and *Enterohemorrhagic Escherichia coli*.

Results indicated that *Listeria*, *Salmonella*, *Staphylococcus aureus*, and *Staphylococcus aureus* were detected. The concentration of staphylococcus bioaerosol was highest in both sampling seasons. Enhanced cleaning and disinfection procedures effectively reduced microbial concentrations in high-risk areas. Summer samples exhibited higher pathogen concentrations, highlighting the effect of increased temperatures on microbial growth. The fungal bioaerosol was low, with effective cleaning reducing exposure risks. Predominant microbial genera identified included *Rothia*, *Staphylococcus*, and *Moraxella*, with *Cladosporium* being the primary fungus.

Due to direct animal contact, slaughterhouse workers are at significant risk of exposure to bioaerosols containing pathogenic microorganisms. Protective equipment and thorough washing with disinfectant soap are recommended to mitigate this risk. Slaughterhouse workers, due to their direct contact with carcasses, are at risk of microbial entry into the body due to blood splatter or vigorous activity during slaughter. It is recommended to strengthen the wearing of personal

protective equipment (including gloves, masks, and work clothes). Furthermore, to enhance cleaning after work, workers could use disinfectant soap as the main cleaning tool to reduce the risk of microbial hazards.

**Keywords:** Bioaerosols, *Listeria*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella*,  
*Enterohemorrhagic escherichia coli*.

## 一、前言

根據聯合國環境署 (United Nations Environment Programme, UNEP) 的統計資料,目前人類新興傳染病中有 75% 是人畜共通疾病<sup>[1]</sup>。全球氣候變遷不僅改變生態圈,間接增加疾病在其潛伏期內向世界各地傳播的機會。據此,世界衛生組織 (World Health Organization, WHO) 於 2024 年 4 月將氣膠 (Aerosols, smaller particles) 及液滴 (Droplets, larger particles) 因組成含有病原體的傳染性顆粒,納入空氣傳播的途徑之一<sup>[2]</sup>。

氣膠被定義為具有 1 nm ~ 100 μm 範圍的膠體顆粒,以固體或液體顆粒懸浮在氣體系統<sup>[3]</sup>,其最主要的特質為「具有傳播潛力的懸浮膠體,遵循流線型氣流運動擴散」。病原微生物通過氣膠傳播引發大規模傳染病,其中最廣泛的疫情是 2019 ~ 2021 年新冠病毒病 (COVID-19) 透過氣膠傳播於高層住宅、餐館、巴士和機場等典型案例<sup>[4-7]</sup>。Greenhalgh T. *et al.* 說明 COVID-19 通過氣膠傳播的 10 項實證<sup>[8]</sup>; Wang *et al.* 與 Styles CT. *et al.* 也提出氣膠不僅傳播 COVID-19, 包括 SARS、流感、麻疹和呼吸道合胞病毒 (RSV) 等多種呼吸道病毒,也可透過氣膠微粒致病<sup>[9,10]</sup>。部分非呼吸道相關疾病病毒,如輪狀病毒和諾如病毒,也可以通過氣膠傳播<sup>[11,10]</sup>。因此,生物性氣膠 (Bioaerosols) 是具備疾病傳播風險,依其挾帶病原體的類型,決定其危害之嚴重程度<sup>[13]</sup>。

由於工業化普及食物供應鏈的便利性,為追求高品質與安全的食品 (或食材),密閉式生產設施結合危害分析重要管制點系統制度 (HACCP) 及食品良好衛生規範準則 (GHP),成為民眾健康把關的重要依循<sup>[14]</sup>,但也成為疾病傳播的「良好場所」<sup>[15]</sup>。例如,在歐洲和美國,規模龐大的、採用人工製冷的自動化肉類加工廠暴發新冠疫情案件,遠多於小規模採自然通風的肉品加工廠<sup>[16,17]</sup>。換言之,食物供應鏈的現代化不必然能降低疾病傳播的風險。由於家畜、家禽肉品是重要的動物性蛋白質來源,根據農業部統計,臺灣每人每年豬肉的消費量約 36 公斤,全台消費量累計更達 90 萬公噸,每日吃掉的豬肉為 2,465 公噸,若以每隻豬純豬肉部分以 69 公斤計算,則平均每天為國人屠宰的豬就超過 3 萬 5 千隻。全臺約有 176 家屠宰場其中僅 59 場為家畜屠宰場,每年屠宰量高達 3 億 8 千多萬餘隻。屠宰場為所有畜禽肉品上市前必經之場所,亦是動物疾病防疫之重要管制監測點。除例行之屠宰衛生檢查工作外,亦對活體進行家禽流行性感冒、非洲豬瘟及口蹄疫等重

大疫病的初步篩檢,透過屠檢人員對畜禽屠前及屠後檢查,及早發現法定傳染疾病或特殊病例,逆向溯源以遏止傳染病蔓延。例如,由豬鏈球菌引起的第二型豬鏈球菌感染症,即為人畜共通傳染病,雖然主要宿主是豬隻,但豬隻飼養人員、屠宰工作人員、生鮮肉品處理及運送的人員、銷售人員及廚師也是感染豬鏈球菌的高風險群<sup>[18]</sup>。因應新興疾病多數為人畜共通傳染病,研究屠宰場從業人員所暴露的風險為數仍然不多<sup>[19]</sup>。

屠宰場常見的人畜共通細菌病原體,如沙門氏菌、彎曲桿菌和假單胞菌<sup>[20]</sup>,除具有抗生素產生抗藥性特質外,亦可能導致住院和死亡。根據 Kim *et al.* (2016) 報告指出美國食物中毒的案件檢體,主要檢出病原菌有金黃色葡萄球菌 (*Staphylococcus aureus*)、產氣莢膜梭菌 (*Clostridium perfringenes*)、彎曲菌屬 (*Campylobacter spp.*)、沙門氏菌屬 (*Salmonella spp.*)、單核細胞增生性李斯特氏菌 (*Listeria monocytogenes*)、O157: H7 型大腸桿菌 (*Escherichia coli* O157: H7)<sup>[21]</sup>。同時該 6 種特定病原菌也是臺灣執行屠體病原微生物檢測的標的。先前於屠宰環境進行的研究結果發現,經由機器屠宰過程造成屠體內臟破裂,釋放的豬隻腸道內病原體,常噴濺形成生物性氣膠,再經由吸入或接觸方式感染作業人員,其中最常見的病原菌為 *Campylobacter spp.*,且作業工具表面之菌量及對應生物性氣膠均檢出高濃度之 *Campylobacter spp.*<sup>[22]</sup>。針對抗二甲氨基苯青黴素金黃葡萄球菌 (LA-MRSA) 在豬隻屠宰作業環境的分布發現,脫毛區是危害最高的區域;屠宰初始作業的人員其血清 MRSA 陽性比例偏高,其中 3.2% 的人員其鼻腔中檢出 LA-MRSA,推測為噴濺形成之氣膠,經吸入所致<sup>[23]</sup>。

本研究利用 AGI-30 採樣器設置於屠宰場屠宰流程相關場域進行作業環境空氣中生物性氣膠採集<sup>[24]</sup>,並以選擇性培養基進行李斯特菌 (*Listeria monocytogenes*)、沙門氏菌 (*Salmonella*)、金黃色葡萄球菌 (*Staphylococcus aureus*)、腸出血性大腸桿菌 O157:H7 (*Enterohemorrhagic Escherichia coli* O157:H7) 等人畜共通傳染病指標病原菌菌落培養,以瞭解不同作業區域空氣中生物性氣膠挾帶的病原體差異。

## 二、研究方法

### 2.1 家畜屠宰作業環境之採樣規劃

本研究選取 3 場家畜屠宰作業場作為標的採樣

場所，並依豬隻屠宰作業流程，在繫留區 (A)、電暈放血區 (B)、脫毛區 (C)、內臟區 (D)、雜碎洗滌區 (E)、分切區 (F)、以及室外 (G) 等區域，進行場域空氣生物性氣膠採樣 (如圖 1 至圖 3)。除依據屠宰作業區域類別進行分區採樣，並依場域面積大小設定採樣點數，並依據採樣樣本個別培養人畜共通傳染病原菌，依菌落生長情形做為評估作業環境中從業人員可能暴露之風險指標。

同時為了解作業人員可能暴露之風險，也針對個別屠宰場域分區作業人數進行調查，以評估人員暴露風險，表 1 至表 3 為 3 場屠宰場內對應個別採樣區之作業人數。

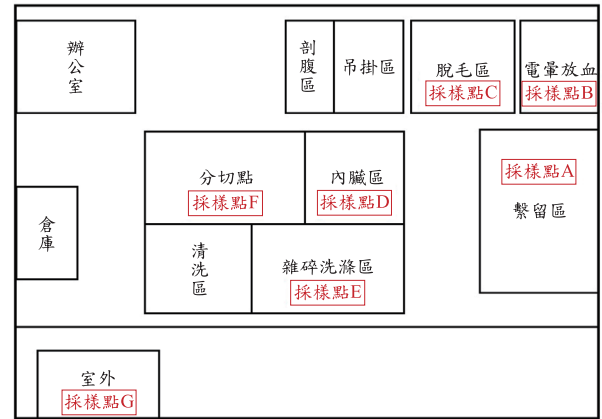


圖 2 家畜屠宰場 2 採樣環境平面圖

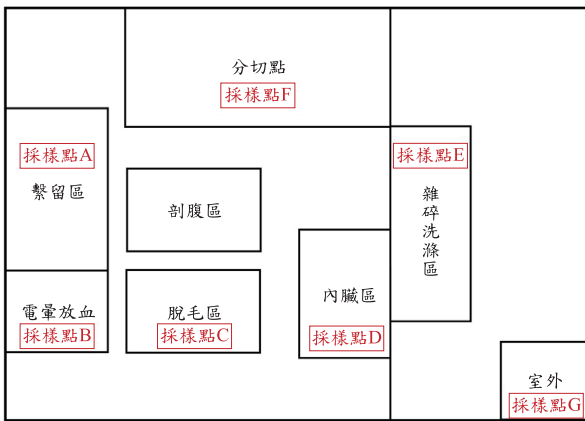


圖 1 家畜屠宰場 1 採樣環境平面圖

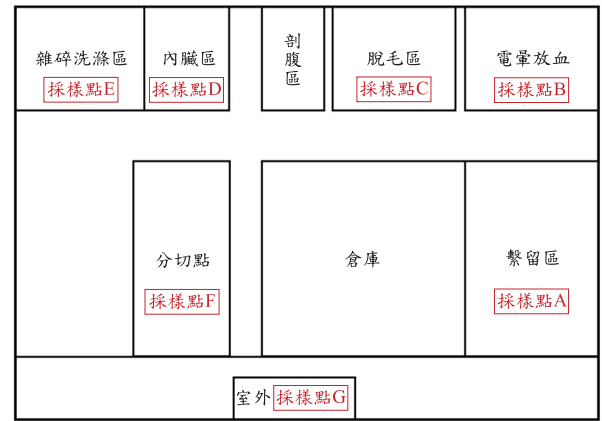


圖 3 家畜屠宰場 3 採樣環境平面圖

表 1 家畜屠宰作業場所 1 作業人數及工作項目統計

採樣區域	採樣點	作業人數 (人)	工作項目
繫留區	採樣點 A	1	將豬隻留置
屠宰室	採樣點 B	2	豬隻電暈、放血
	採樣點 C	1	脫毛處理
	採樣點 D	4	剖腹取內臟
雜碎洗滌室	採樣點 E	12	內臟處理及清洗
分切區	採樣點 F	4	刮毛、屠體分切、沖洗

表 2 家畜屠宰作業場所 2 作業人數及工作項目統計

採樣區域	採樣點	作業人數 (人)	工作項目
繫留區	採樣點 A	1	將豬隻留置
屠宰室	採樣點 B	2	豬隻電暈、放血
	採樣點 C	6	脫毛處理
	採樣點 D	8	剖腹取內臟
雜碎洗滌室	採樣點 E	8	內臟清洗
分切區	採樣點 F	6	刮毛、屠體分切、沖洗

表 3 家畜屠宰作業場所 3 作業人數及工作項目統計

採樣區域		作業人數 (人)	工作項目
繫留區	採樣點 A	2	將豬隻留置
屠宰室	採樣點 B	2	豬隻電暈、放血、攪拌豬血
	採樣點 C	1	脫毛處理
	採樣點 D	5	剖腹取內臟
雜碎洗滌室	採樣點 E	3	內臟清洗
分切區	採樣點 F	4	刮毛、屠體分切、沖洗

## 2.2 人畜共通指標微生物採樣與培養

本研究李斯特菌、金黃色葡萄球菌、沙門氏桿菌、O157:H7 型大腸桿菌等 4 種高風險人畜共通傳染病原菌，作為豬隻屠宰作業場所空氣中生物性氣膠調查標的。依據環保署 NIEA E301.13C「空氣中細菌濃度檢測方法」及 NIEA E401.13C「空氣中真菌濃度檢測方法」之規範進行採樣，分析屠宰場內個別屠宰作業區與室外之生物性氣膠所含有之病原菌濃度差異；屠宰場內部作業環境之採樣點設置，以人類呼吸區帶模擬評估暴露量，並且依照屠宰場作業環境內部勞動作業區塊與型態增加採樣點數，以利取得屠宰場內部具代表性之生物性氣膠樣本。使用 AGI-30 衝擊式生物性氣膠採樣器 (Biostage Simplestage Vcable Cascade Impactor, SKC Inc., USA) 進行採樣<sup>[24]</sup>，流量設定為 12.5 L/min，採集時間為 10 分鐘，採樣器之 d50 皆為 0.31 μm。採樣前後均以紅外線皂泡計 (Giliblator, Gillian Inc.) 進行流量校正。採樣時以 20 mL 之去離子無菌水作為收集液，於 AGI-30 採樣後將收集液進行系列稀釋，在分別以不同類型培養基針對李斯特菌、金黃色葡萄球菌、沙門氏桿菌、O157:H7 型大腸桿菌進行培養。根據 Zhao *et al.* (2014) 研究報告指出，AGI-30 之偵測極限為  $5.3 \times 10^2$  CFU/m<sup>3</sup>，生物性氣膠濃度算依下列公式計算屠宰作業環境中的空氣生物性氣膠濃度<sup>[25]</sup>。

$$\text{濃度(CFU / m}^3\text{)} = \frac{\text{菌落數(CFU)} \times \text{稀釋倍率}}{\text{採樣流量(L / min)} \times \text{採樣時間(min)} \times 10^{-3} \text{(m}^3\text{ / L)}}$$

本研究採樣作業分別於屠宰「作業中」，以及屠宰作業完成後之「清理後」進行之，「作業中」代表屠宰作業進行中，「清理後」則是為屠宰作業結束後，人員依「屠宰作業準則」規範進行場區清潔作業完成 6 小時後，進行採樣。藉以了解屠宰作業之「作

業中」與「清理後」之病原菌生物性氣膠濃度差異。採集屠宰場作業環境之空氣中生物性氣膠共進行 2 次，分別為夏季 (第一次) 6 月至 9 月，與冬季 (第二次) 10 月至 12 月，比較夏季與冬季溫差對氣膠中病原菌的危害程度。

針對 3 場屠宰場採集之生物性氣膠收集液，部分收集液經純化後，再利用分析 16S rRNA (Ribosomal RNA) 的序列鑑定細菌的菌種<sup>[26]</sup>；及分析 18S rRNA 基因序列鑑定真菌的菌種<sup>[27]</sup>。

## 2.3 統計分析方法

描述性資料的呈現及資料統計分析則使用 SPSS 13.0 (SPSS Inc., Chicago, IL) 統計軟體。各個實場生物性氣膠採樣監測所得之結果，以 Wilcoxon Signed Rank test 進行作業中生物性氣膠濃度與清理後生物性氣膠濃度顯著性差異分析，並以 Pearson Correlation Coefficient 進行不同作業區域生物性氣膠濃度之差異分析，針對各場區環境條件對於生物性氣膠分佈之影響程度則是以 Pearson Correlation Coefficient 進行顯著性差異分析。

## 三、結果與討論

### 3.1 家禽屠宰作業場所 1 一人畜共通指標微生物生物性氣膠分佈特性

家畜屠宰場 1 為中部一小型家畜屠宰場，A 點-F 點則為室內作業區採樣點，G 點為室外採樣點 (主要是監測生物性氣膠之背景值)

整體而言，屠宰場內生物性氣膠細菌濃度高於場外生物性氣膠細菌濃度；以 Wilcoxon Signed Rank test 分析顯示，作業中與清理後之生物性氣膠濃度並無統計差異 (細菌  $p = 0.31$ ，真菌  $p = 0.32$ )，以

Pearson Correlation Coefficient 分析顯示場內不同區域之生物性氣膠濃度亦無差異 (細菌  $p = 0.987$ , 真菌  $p = 0.115$ )。

表 4-1A 為家畜屠宰場 1 所針對 7 個採樣點收集生物性氣膠細菌濃度分佈之統計表 ( $n = 42$ )，結果顯示夏季在家禽屠宰場 1 外採樣點細菌類生物性氣膠濃度在 1,802 ~ 1,848 CFU/m<sup>3</sup>，在場內採樣點部分細菌類生物性氣膠濃度在 1,389 ~ 135,406 CFU/m<sup>3</sup>間，最高濃度出現於採樣屠宰室 (D) 之作業中，最低濃度出現於繫留場 (A) 之清理後；冬季在家禽屠宰場 1 外採樣點細菌類生物性氣膠濃度在 530 ~ 742 CFU/m<sup>3</sup>，在場內採樣點部分細菌類生物性氣膠濃度在 247 ~ 12,721 CFU/m<sup>3</sup>間，最高濃度出現於採樣屠宰室 (B) 之作業中，最低濃度出現於繫留場 (A) 之清理後。

表 4-2A 為家畜屠宰場 1 所針對 7 個採樣點收集生物性氣膠真菌濃度分佈之統計表 ( $n = 42$ )，夏季在家畜屠宰場 1 外採樣點真菌類生物性氣膠濃度在 10,283 ~ 13,569 CFU/m<sup>3</sup>，在場內採樣點部分真菌類生物性氣膠濃度在 4,806 ~ 35,406 CFU/m<sup>3</sup>間，最高濃度出現於屠宰室 (D) 之作業中，最低濃度出現於繫留區 (A) 之清理後；冬季在家畜屠宰場 1 外採樣點真菌類生物性氣膠濃度在 530 ~ 1,696 CFU/m<sup>3</sup>，在場內採樣點部分真菌類生物性氣膠濃度在 424 ~ 3,498 CFU/m<sup>3</sup>間，最高濃度出現於屠宰室 (D) 之作業中，最低濃度出現於繫留區 (A) 之清理後。

表 5 在夏季的採樣中，出血性大腸桿菌生物性氣膠無檢出，李斯特菌及金黃色葡萄球菌在各區皆有檢出，沙門氏菌除分切區 (F) 外皆有檢出。4 種高風險微生物中以金黃色葡萄球菌濃度最高，屠宰

表 4-1 人畜共通指標微生物生物氣膠分佈 - 細菌性培養

A. 屠宰場 (1) 生物氣膠分佈 - 細菌性培養				單位: CFU/m <sup>3</sup>			
採樣區域與點位				夏季		冬季	
				作業中	清理後	作業中	清理後
繫	留	區	A	52.5±3.1×10 <sup>3</sup>	1.4±0.1×10 <sup>3</sup>	1.0±0.1×10 <sup>3</sup>	0.2±0.1×10 <sup>3</sup>
屠	電	量	放	110.9±8.9×10 <sup>3</sup>	11.7±2.2×10 <sup>3</sup>	12.7±2.3×10 <sup>3</sup>	0.4±0.0×10 <sup>3</sup>
宰	脫	毛	區	123.9±10.3×10 <sup>3</sup>	21.5±2.6×10 <sup>3</sup>	4.5±0.6×10 <sup>3</sup>	0.6±0.0×10 <sup>3</sup>
室	內	臟	區	135.4±3.7×10 <sup>3</sup>	21.9±0.9×10 <sup>3</sup>	10.2±2.3×10 <sup>3</sup>	1.6±0.3×10 <sup>3</sup>
雜	碎	洗	滌	112.1±13.3×10 <sup>3</sup>	12.3±0.3×10 <sup>3</sup>	5.9±3.0×10 <sup>3</sup>	0.6±0.4×10 <sup>3</sup>
分	切	區	F	101.5±5.4×10 <sup>3</sup>	9.5±0.4×10 <sup>3</sup>	1.9±0.1×10 <sup>3</sup>	1.0±0.4×10 <sup>3</sup>
室		外	G	1.8±0.4×10 <sup>3</sup>	1.8±0.5×10 <sup>3</sup>	1.7±0.1×10 <sup>3</sup>	1.5±0.5×10 <sup>3</sup>

B. 屠宰場 (2) 生物氣膠分佈 - 細菌性培養				單位: CFU/m <sup>3</sup>			
採樣區域與點位				夏季		冬季	
				作業中	清理後	作業中	清理後
繫	留	區	A	22.4±3.1×10 <sup>3</sup>	18.4±1.3×10 <sup>3</sup>	10.8±1.1×10 <sup>3</sup>	3.2±0.2×10 <sup>3</sup>
屠	電	量	放	25.3±0.8×10 <sup>3</sup>	17.6±7.7×10 <sup>3</sup>	25.3±4.5×10 <sup>3</sup>	5.8±0.3×10 <sup>3</sup>
宰	脫	毛	區	18.0±1.9×10 <sup>3</sup>	14.7±0.2×10 <sup>3</sup>	12.2±3.7×10 <sup>3</sup>	4.3±0.9×10 <sup>3</sup>
室	內	臟	區	23.1±0.3×10 <sup>3</sup>	17.5±0.4×10 <sup>3</sup>	19.2±0.3×10 <sup>3</sup>	7.6±0.4×10 <sup>3</sup>
雜	碎	洗	滌	24.5±0.7×10 <sup>3</sup>	17.1±1.1×10 <sup>3</sup>	3.8±0.6×10 <sup>3</sup>	3.7±0.3×10 <sup>3</sup>
分	切	區	F	18.4±1.1×10 <sup>3</sup>	8.2±1.2×10 <sup>3</sup>	4.7±1.2×10 <sup>3</sup>	1.7±0.8×10 <sup>3</sup>
室		外	G	1.7±0.4×10 <sup>3</sup>	1.0±0.5×10 <sup>3</sup>	2.0±0.4×10 <sup>3</sup>	1.0±0.5×10 <sup>3</sup>

C. 屠宰場 (3) 生物氣膠分佈 - 細菌性培養				單位: CFU/m <sup>3</sup>			
採樣區域與點位				夏季		冬季	
				作業中	清理後	作業中	清理後
繫	留	區	A	3.9±30.8×10 <sup>3</sup>	2.4±0.9×10 <sup>3</sup>	67.7±0.9×10 <sup>3</sup>	1.4±0.3×10 <sup>3</sup>
屠	電	量	放	17.0±0.3×10 <sup>3</sup>	9.0±0.4×10 <sup>3</sup>	7.6±2.3×10 <sup>3</sup>	2.6±0.5×10 <sup>3</sup>
宰	脫	毛	區	15.5±2.1×10 <sup>3</sup>	14.7±1.6×10 <sup>3</sup>	3.1±0.3×10 <sup>3</sup>	1.5±0.0×10 <sup>3</sup>
室	內	臟	區	10.5±2.7×10 <sup>3</sup>	2.4±0.7×10 <sup>3</sup>	5.5±0.2×10 <sup>3</sup>	0.8±0.2×10 <sup>3</sup>
雜	碎	洗	滌	10.9±0.1×10 <sup>3</sup>	5.5±3.3×10 <sup>3</sup>	2.9±0.1×10 <sup>3</sup>	1.5±0.0×10 <sup>3</sup>
分	切	區	F	11.0±0.2×10 <sup>3</sup>	7.7±0.7×10 <sup>3</sup>	2.5±0.2×10 <sup>3</sup>	1.5±0.6×10 <sup>3</sup>
室		外	G	2.7±0.9×10 <sup>3</sup>	5.4±2.7×10 <sup>3</sup>	2.3±2.0×10 <sup>3</sup>	1.1±0.4×10 <sup>3</sup>



表 4-2 人畜共通指標微生物生物氣膠分佈 - 真菌培養

A. 屠宰場 (1) 生物氣膠分佈 - 真菌培養 單位: CFU/m<sup>3</sup>

採樣區域與點位	夏季				冬季			
	作業中		清理後		作業中		清理後	
	金黃葡萄球菌	沙門氏菌	金黃葡萄球菌	沙門氏菌	金黃葡萄球菌	沙門氏菌	金黃葡萄球菌	沙門氏菌
繫留區 A	+	+	+	+	+	+	+	+
屠宰電暈放血區 B	+	+	+	+	+	+	+	+
屠宰脫毛區 C	+	+	+	+	+	+	+	+
屠宰室內臟區 D	+	+	+	+	+	+	+	+
雜碎洗滌室 E	+	+	+	+	+	+	+	+
分切區 F	+	+	+	+	+	+	+	+
室外 G	+	+	+	+	+	+	+	+

B. 屠宰場 (2) 生物氣膠分佈 - 真菌培養 單位: CFU/m<sup>3</sup>

採樣區域與點位	夏季				冬季			
	作業中		清理後		作業中		清理後	
	金黃葡萄球菌	沙門氏菌	金黃葡萄球菌	沙門氏菌	金黃葡萄球菌	沙門氏菌	金黃葡萄球菌	沙門氏菌
繫留區 A	+	+	+	+	+	+	+	+
屠宰電暈放血區 B	+	+	+	+	+	+	+	+
屠宰脫毛區 C	+	+	+	+	+	+	+	+
屠宰室內臟區 D	+	+	+	+	+	+	+	+
雜碎洗滌室 E	+	+	+	+	+	+	+	+
分切區 F	+	+	+	+	+	+	+	+
室外 G	+	+	+	+	+	+	+	+

C. 屠宰場 (3) 生物氣膠分佈 - 真菌培養 單位: CFU/m<sup>3</sup>

採樣區域與點位	夏季				冬季			
	作業中		清理後		作業中		清理後	
	金黃葡萄球菌	沙門氏菌	金黃葡萄球菌	沙門氏菌	金黃葡萄球菌	沙門氏菌	金黃葡萄球菌	沙門氏菌
繫留場 A	+	+	+	+	+	+	+	+
屠宰電暈放血區 B	+	+	+	+	+	+	+	+
屠宰脫毛區 C	+	+	+	+	+	+	+	+
屠宰室內臟區 D	+	+	+	+	+	+	+	+
雜碎洗滌室 E	+	+	+	+	+	+	+	+
分切區 F	+	+	+	+	+	+	+	+
室外 G	+	+	+	+	+	+	+	+

表 5 屠宰場 (1) 人畜共通指標微生物檢出情形

採樣區域	夏季								冬季							
	作業中				清理後				作業中				清理後			
	金黃葡萄球菌	沙門氏菌	致病性大腸桿菌	李斯特菌	金黃葡萄球菌	沙門氏菌	致病性大腸桿菌	李斯特菌	金黃葡萄球菌	沙門氏菌	致病性大腸桿菌	李斯特菌	金黃葡萄球菌	沙門氏菌	致病性大腸桿菌	李斯特菌
繫留區 A	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
屠宰電暈放血區 B	+	+	+	-	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
屠宰脫毛區 C	+	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
屠宰室內臟區 D	+	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
雜碎洗滌室 E	+	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-
分切區 F	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

室脫毛區檢測濃度達 110,400 CFU/m<sup>3</sup>，但清理後明顯降低，顯示清理程序可有效降低高風險生物性氣膠之濃度；冬季的採樣中，出血性大腸桿菌生物性氣膠無檢出，李斯特菌及金黃色葡萄球菌僅在雜碎洗滌室 (E) 檢出，4 種高風險微生物中以金黃色葡萄球菌濃度最高，檢測濃度達 640,800 CFU/m<sup>3</sup>，於清理後明顯降低。

由鑑定結果中可發現細菌中 *Rothia* 菌屬佔 22.53%，屬於羅氏菌屬，其次為 *Micrococcus* 菌屬佔 11.26%，為微球菌屬；真菌中 *Cladosporium* 菌屬佔 38.31%，為枝孢菌屬，其次為 *Eurotiales* (26.62%) 及 *Penicillium* 菌屬 (18.83%)，散囊菌目及青黴菌屬。

### 3.2 家禽屠宰作業場所 2 一人畜共通指標微生物生物性氣膠分佈特性

家畜屠宰場 2 為南部一中型家畜屠宰場，整體而言，屠宰場內生物性氣膠細菌濃度高於場外生物性氣膠細菌濃度；以 Wilcoxon Signed Rank test 分析顯示，作業中與清理後之生物性氣膠濃度並無統計差異 (細菌  $p = 0.398$ ，真菌  $p = 0.028$ ) 作業中真菌生物性氣膠濃度高於清理後 ( $p = 0.028$ )，以 Pearson Correlation Coefficient 分析顯示場內不同區域之生物性氣膠濃度亦無差異 (細菌  $p = 0.345$ ，真菌  $p = 0.535$ )。

表 4-1B 即是家畜屠宰場 2 所針對 7 個採樣點細菌類生物性氣膠濃度分佈之統計表，結果顯示夏季在家畜屠宰場 2 外採樣點細菌類生物性氣膠濃度在 954 ~ 1,696 CFU/m<sup>3</sup>，在場內採樣點部分細菌類生物性氣膠濃度在 17,962 ~ 25,336 CFU/m<sup>3</sup>間，最高濃度

出現於採樣屠宰室 (B) 之作業中，最低濃度出現於分切區 (F) 之清理後；冬季在家畜屠宰場 2 外採樣點細菌類生物性氣膠濃度在 954 ~ 1,966 CFU/m<sup>3</sup>，在場內採樣點部分細菌類生物性氣膠濃度在 1,696 ~ 25,273 CFU/m<sup>3</sup>間，最高濃度出現於採樣屠宰室 (B) 之作業中，最低濃度出現於分切區 (F) 之清理後。

表 4-2A 是家畜屠宰場 2 所針對 7 個採樣點真菌類生物性氣膠濃度分佈之統計表，夏季在家畜屠宰場 2 室外採樣點真菌類生物性氣膠濃度在 2,438 ~ 2,639 CFU/m<sup>3</sup>，在場內採樣點部分真菌類生物性氣膠濃度在 3,753 ~ 27,244 CFU/m<sup>3</sup>間，最高濃度出現於屠宰室 (B) 之作業中時，最低濃度出現於雜碎洗滌區 (E) 之清理後；冬季在家畜屠宰場 2 室外採樣點真菌類生物性氣膠濃度在 482 ~ 696 CFU/m<sup>3</sup>，在場內採樣點部分真菌類生物性氣膠濃度在 347 ~ 7,844 CFU/m<sup>3</sup>間，最高濃度出現於屠宰室 (B) 之作業中，最低濃度出現於分切區 (F) 之清理後。

表 6 在夏季採樣中，出血性大腸桿菌及沙門氏菌生物性氣膠無檢出，金黃色葡萄球菌在各區皆有檢出，李斯特菌除繫留區 (A) 外皆有檢出。4 種高風險微生物中以金黃色葡萄球菌濃度最高，於屠宰室脫毛區檢測濃度達 9,600 CFU/m<sup>3</sup>，於清理後濃度僅 < 800 CFU/m<sup>3</sup>，顯示清理程序可有效降低高風險生物性氣膠濃度。在冬季的採樣中，出血性大腸桿菌及沙門氏菌生物性氣膠無檢出，金黃色葡萄球菌及李斯特菌在其餘區域零星檢出。4 種高風險微生物中以金黃色葡萄球菌濃度最高，繫留區檢出濃度達 7,200 CFU/m<sup>3</sup>，於清理後明顯降低。

由鑑定結果中可發現 細菌中 *Staphylococcus* 菌屬佔大多數，屬於葡萄球菌屬，其次為 *Moraxella* 菌屬，

表 6 屠宰場(2)人畜共通指標微生物檢出情形

採樣區域	夏季								冬季							
	作業中				清理後				作業中				清理後			
	李斯特菌	金黃葡萄球菌	沙門氏菌	致病性大腸桿菌	李斯特菌	金黃葡萄球菌	沙門氏菌	致病性大腸桿菌	李斯特菌	金黃葡萄球菌	沙門氏菌	致病性大腸桿菌	李斯特菌	金黃葡萄球菌	沙門氏菌	致病性大腸桿菌
繫留區 A	-	+	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	+	-	-
屠宰電暈放血區 B	+	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-
屠宰室脫毛區 C	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
雜碎洗滌室 E	+	+	-	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-
分切區 F	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-

莫拉氏菌屬，為人畜共通菌種；真菌中 *Eurotiales* 菌屬佔大多數，屬於散囊菌目，其次為 *Cladosporium* 及 *Sporidiobolus* 菌屬，為枝孢菌屬及鎖癭酵母屬。

### 3.3 家禽屠宰作業場所 3 一人畜共通指標微生物生物性氣膠分佈特性

家畜屠宰場 3 為中部一小型家禽屠宰場，整體而言，屠宰場內生物性氣膠細菌濃度高於場外生物性氣膠細菌濃度；以 Wilcoxon Signed Rank test 分析顯示，作業中與清理後之生物性氣膠濃度並無統計差異（細菌  $p = 0.063$ ，真菌  $p = 0.026$ ）作業中真菌生物性氣膠濃度高於清理後（ $p = 0.026$ ），以 Pearson Correlation Coefficient 分析顯示場內不同區域之生物性氣膠濃度亦無差異（細菌  $p = 0.620$ ，真菌  $p = 0.019$ ）。

表 4-1C 即是家畜屠宰場 2 所針對 7 個採樣點細菌類生物性氣膠濃度分佈之統計表，結果顯示夏季在家畜屠宰場 3 室外採樣點細菌類生物性氣膠濃度在 2,650 ~ 5,406 CFU/m<sup>3</sup>，在場內採樣點部分細菌類生物性氣膠濃度在 2,438 ~ 16,961 CFU/m<sup>3</sup>間，最高濃度出現於採樣屠宰室電暈放血區 (B) 之作業中，最低濃度出現於繫留區 (A) 之清理後；冬季在家畜屠宰場 3 外採樣點細菌類生物性氣膠濃度在 1,060 ~ 2,332 CFU/m<sup>3</sup>，在場內採樣點部分細菌類生物性氣膠濃度在 848 ~ 67,739 CFU/m<sup>3</sup>間，最高濃度出現於採樣繫留區 (A) 之作業中，最低濃度出現於屠宰室內臟區 (D) 之清理後。

表 4-2C 是家畜屠宰場 2 所針對 7 個採樣點真菌

類生物性氣膠濃度分佈之統計表，夏季在家畜屠宰場 3 室外採樣點真菌類生物性氣膠濃度在 2,226 ~ 3,180 CFU/m<sup>3</sup>，在場內採樣點部分真菌類生物性氣膠濃度在 1,908 ~ 4,240 CFU/m<sup>3</sup>間，最高濃度出現於屠宰室內臟區 (D) 以及雜碎洗滌室 (E) 之作業中，最低濃度出現於繫留區 (A) 之清理後。冬季在家畜屠宰場 3 外採樣點真菌類生物性氣膠濃度在 2,226 ~ 3,180 CFU/m<sup>3</sup>，在場內採樣點部分真菌類生物性氣膠濃度在 1,908 ~ 4,240 CFU/m<sup>3</sup>間，最高濃度出現於屠宰室內臟區 (D) 以及雜碎洗滌室 (E) 之作業中，最低濃度出現於繫留區 (A) 之清理後時冬季在家畜屠宰場 3 外採樣點真菌類生物性氣膠濃度在 106 ~ 318 CFU/m<sup>3</sup>，在場內採樣點部分真菌類生物性氣膠濃度在 424 ~ 2,968 CFU/m<sup>3</sup>間，最高濃度出現於分切區 (F) 之作業中，最低濃度出現於雜碎洗滌室 (E) 之清理後。

表 7 夏季採樣中，出血性大腸桿菌生物性氣膠無檢出，李斯特菌、金黃色葡萄球菌及沙門氏菌等高風險微生物在各區皆有檢出。4 種高風險微生物中以金黃色葡萄球菌濃度最高，於屠宰室內臟區檢出濃度到達 20,400 CFU/m<sup>3</sup>，於清理後降低；在冬季的採樣中，出血性大腸桿菌及沙門氏菌之生物性氣膠無檢出，李斯特菌僅出現於雜碎洗滌室 (E)，金黃色葡萄球菌於繫留區、屠宰室電暈放血區 (B) 及雜碎洗滌室 (E) 皆有出現，且於繫留區檢測濃度高達 30,400 CFU/m<sup>3</sup>，於清理後則無檢出。

鑑定結果中可發現 *Moraxella* 菌屬佔大多數，屬於莫拉氏菌屬，其次為 *Staphylococcus* 及 *Bacillus* 菌屬，屬於葡萄球菌屬及桿菌屬。

表 7 屠宰場 (3) 人畜共通指標微生物檢出情形

採樣區域	夏季								冬季							
	作業中				清理後				作業中				清理後			
	金黃	致病性	沙門氏	大腸桿	金黃	致病性	沙門氏	大腸桿	金黃	致病性	沙門氏	大腸桿	金黃	致病性	沙門氏	大腸桿
繫留區 A	+	+	+	-	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
屠宰室電暈放血區 B	+	+	+	-	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-
屠宰室脫毛區 C	+	+	+	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
屠宰室內臟區 D	+	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
雜碎洗滌室 E	+	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-
分切區 F	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

### 3.4 家禽屠宰作業場所菌種鑑定

在細菌的鑑定結果顯示，不同地點/區域的菌種分佈比率具差異性，3 屠宰場場域的鑑定結果顯示，*Moraxella sp.* 菌屬在 3 屠宰場均有檢出；其次是 *Staphylococcus spp.* 及 *Bacillus spp.* 菌屬，雖然僅 2 場，但比率偏高；此外，*Micrococcus sp.* 及 *Exiguobacterium sp.* 在相距較遠的場檢出，可列為警戒菌種。

在真菌的鑑定結果顯示，不同地點/區域的菌種分佈比率具差異性，3 屠宰場場域的鑑定結果顯示，*Cladosporium sp.* 屬在 3 屠宰場均有檢出，且占比最高；其次是 *Penicillium sp.* 及 *Fusarium sp.*，雖然比率低，但在 3 屠宰場均有檢出。

## 四、結論

本研究結果顯示，屠宰場作業人員暴露於屠宰過程因噴濺衍生之生物性氣膠所挾帶的人畜共通傳染病風險中，落實屠後清潔消毒程序，可有效消除生物性氣膠內所含的致病原。然而，依據菌種鑑定發現，不同地區、不同屠宰場的生物性氣膠挾帶的微生物分佈具高度特異性。夏季與冬季的溫差，促使微生物生長具差異，夏季高溫，動物表皮挾帶微生物叢較多且生長速度快；冬季低溫，屠宰場生物性氣膠微生物的主要來源，可能多為屠宰動物消化道<sup>[28]</sup>。

生物性氣膠控制技術主要透過個人防護設備、濃度稀釋、過濾和清除，以及滅殺和失活等措施<sup>[29]</sup>。針對屠宰場內部作業建議，1. 增加換氣機制：定時進行內外空氣交換，稀釋病原體濃度；2. 強化防護措施：更換作業防護衣材質（防濺），口罩與面罩防護；3. 更換不同消毒劑：避免固定使用同一種消毒劑<sup>[30]</sup>。另外，除落實作業人員健康檢查外，應加強職業安全防護教育，提升衛生健康知覺及智能，降低傳染病發生風險。針對屠宰室工作人員因須直接接觸屠體，於屠宰時容易因屠體血液噴濺或激烈活動造成微生物進入人體之危害，建議加強個人防護用具的配戴（包含手套、口罩及工作服），並且於工作結束後加強清洗，並定期提供安全衛生教育，加強員工對於安全衛生之認知，以提高員工的配合度、降低感染之風險<sup>[31-33]</sup>。

根據本研究所測得之數據顯示，繫留區為生物性氣膠濃度較高之區域，因繫留區為待宰禽畜類佔時停留之場所，載運途中可能容易有微生物汙染，生

物性氣膠也可能因禽畜類活動之揚塵，而受到生物性氣膠之暴露。建議可於人員作業場所區域加裝通風設備，增加換氣效果以降低改善環境細菌及真菌生物性氣膠濃度<sup>[34]</sup>。

## 誌謝

感謝行政院勞動部勞動及職業安全衛生研究所提供經費贊助本研究，研究團隊謹此敬表謝忱。

## 參考文獻

1. WHO Global Technical Consultation Report on Proposed Terminology for Pathogens that Transmit Through the Air. World Health Organization, Geneva, April 18, 2024.
2. Moreno T, Gibbons W. Aerosol Transmission of Human Pathogens: From Miasmata to Modern Viral Pandemics and Their Preservation Potential in the Anthropocene Record. *Geosci Front.* 2022 Nov; 13(6):101282.
3. Poulsen OM, Breum NO, Ebbehøj N, Hansen AM, Ivens UI, van Lelieveld D, Malmros P, Matthiasen L, Nielsen BH, Nielsen EM, et al. Sorting and Recycling of Domestic Waste. Review of Occupational Health Problems and Their Possible Causes. *Sci Total Environ.* 1995 May 19; 168(1):33-56.
4. Li X, Sun B, Lyu K, Chen J, Zhang Y, Sun Y, Li C, Sui T, Wang X, Hu Y, Wang Q, Xu D. Research on the Relationship Between Architectural Features in Northeast China and Vertical Aerosol Transmission of COVID-19. *Front Public Health.* 2023 Jan 12; 10:1052610.
5. Shi KW, Huang YH, Quon H, Ou-Yang ZL, Wang C, Jiang SC. Quantifying the Risk of Indoor Drainage System in Multi-unit Apartment Building as a Transmission Route of SARS-CoV-2. *Sci Total Environ.* 2021 Mar 25; 762:143056.
6. Shen Y, Li C, Dong H, Wang Z, Martinez L, Sun Z, Handel A, Chen Z, Chen E, Ebell MH, Wang F, Yi B, Wang H, Wang X, Wang A, Chen B, Qi Y, Liang L, Li Y, Ling F, Chen J, Xu G. Community Outbreak Investigation of SARS-CoV-2 Transmission Among

- Bus Riders in Eastern China. *JAMA Intern Med.* 2020 Dec 1; 180(12):1665-1671.
7. Schijven JF, van Veen T, Delmaar C, Kos J, Vermeulen L, Roosien R, Verhoeven F, Schipper M, Peerlings B, Duizer E, Derei J, Lammen W, Bartels O, van der Ven H, Maas R, de Roda Husman AM. Quantitative Microbial Risk Assessment of Contracting COVID-19 Derived from Measured and Simulated Aerosol Particle Transmission in Aircraft Cabins. *Environ Health Perspect.* 2023 Aug; 131(8):87011.
  8. Greenhalgh T, Jimenez JL, Prather KA, Tufekci Z, Fisman D, Schooley R. Ten Scientific Reasons in Support of Airborne Transmission of SARS-CoV-2. *Lancet.* 2021 May 1;397(10285):1603-1605. doi: 10.1016/S0140-6736(21)00869-2. Epub 2021 Apr 15. Erratum in: *Lancet.* 2021 May 15; 397(10287):1808.
  9. Wang CC, Prather KA, Sznitman J, Jimenez JL, Lakdawala SS, Tufekci Z, Marr LC. Airborne Transmission of Respiratory Viruses. *Science.* 2021 Aug 27; 373(6558):eabd9149.
  10. Styles CT, Zhou J, Flight KE, Brown JC, Lewis C, Wang X, Vanden Oever M, Peacock TP, Wang Z, Millns R, O'Neill JS, Borodavka A, Grove J, Barclay WS, Tregoning JS, Edgar RS. Propylene Glycol Inactivates Respiratory Viruses and Prevents Airborne Transmission. *EMBO Mol Med.* 2023 Dec 7; 15(12):e17932.
  11. Dennehy PH. Transmission of Rotavirus and Other Enteric Pathogens in the Home. *Pediatr Infect Dis J.* 2000 Oct; 19(10 Suppl):S103-5.
  12. Ijaz MK, Zargar B, Wright KE, Rubino JR, Sattar SA. Generic Aspects of the Airborne Spread of Human Pathogens Indoors and Emerging Air Decontamination Technologies. *Am J Infect Control.* 2016 Sep 2; 44(9 Suppl):S109-20.
  13. Ratliff KM, Oudejans L, Archer J, Calfee W, Gilberry JU, Hook DA, Schoppman WE, Yaga RW, Brooks L, Ryan S. Impact of test methodology on the efficacy of triethylene glycol (Grignard Pure) against bacteriophage MS2. *Aerosol Sci Technol.* 2023 Nov 10; 57(12):1178-1185.
  14. Chen SC, Hsu GS, Chiu CP. Information system equality for food security--implementation of the food safety control system in Taiwan. *Asia Pac J Clin Nutr.* 2009; 18(4):638-41.
  15. Fallucca A, Restivo V, Sgariglia MC, Roveta M, Trucchi C. Hepatitis a Vaccine as Opportunity of Primary Prevention for Food Handlers: A Narrative Review. *Vaccines (Basel).* 2023 Jul 21;11(7):1271.
  16. Kooh P, Guillois Y, Federighi M, Pivette M, Maillard AL, Luong NM, Chaix E. Mitigating COVID-19 in Meat Processing Plants: What Have We Learned from Cluster Investigations? *Front Public Health.* 2024 Sep 2; 12:1432332.
  17. Di Leone G, Bertinato L, Brambilla G, Manno V, Napolano F, Savi S, Settimo G, Lagravinese D. COVID-19 in Meat Plants: A Survey Framed Within A Target Prevention Plan, in Italy. *Ann Ist Super Sanita.* 2024 Jul-Sep; 60(3):171-178.
  18. Jiang F, Guo J, Cheng C, Gu B. Human infection caused by *Streptococcus suis* serotype 2 in China: report of two cases and epidemic distribution based on sequence type. *BMC Infect Dis.* 2020 Mar 14; 20(1):223.
  19. Mia MM, Hasan M, Pory FS. Occupational Exposure to Livestock and Risk of Tuberculosis and Brucellosis: A Systematic Review and Meta-analysis. *One Health.* 2022 Sep 6; 15:100432.
  20. Karr KJ, Boyle EAE, Kastner CL, Marsden JL, Phebus RK, Prasai RK, Pruett WP Jr, Garcia Zepeda CM. Standardized Microbiological Sampling and Testing Procedures for the Beef Industry †. *J Food Prot.* 1996 Jul; 59(7):778-780.
  21. Kim SY, Chung B, Chang JH, Jung GY, Kim HW, Park BY, Oh SS, Oh MH. Simultaneous Identification of 13 Foodborne Pathogens by Using Capillary Electrophoresis-Single Strand Conformation Polymorphism Coupled with Multiplex Ligation-Dependent Probe Amplification and Its Application in Foods. *Foodborne Pathog Dis.* 2016 Oct; 13(10):566-574
  22. Kontro MH, Kirsi M, Laitinen SK. Exposure to bacterial and fungal bioaerosols in facilities processing biodegradable waste. *Front Public Health.* 2022 Nov 16; 10:789861.
  23. Li X, Xie L, Huang H, Li Z, Li G, Liu P, Xiao D, Zhang X, Xiong W, Zeng Z. Prevalence of Livestock-Associated MRSA ST398 in a Swine Slaughterhouse in Guangzhou, China. *Front Microbiol.* 2022 Jun 23; 13:914764.

24. Guo J, Zheng X, Qin T, Lv M, Zhang W, Song X, Qiu H, Hu L, Zhang L, Zhou D, Sun Y, Yang W. An Experimental Method for Efficiently Evaluating the Size-resolved Sampling Efficiency of Liquid-absorption Aerosol Samplers. *Sci Rep*. 2022 Mar 18; 12(1):4745.
25. Zhao Y, Aarnink AJ, Wang W, Fabri T, Groot Koerkamp PW, de Jong MC. Airborne virus sampling: Efficiencies of samplers and their detection limits for infectious bursal disease virus (IBDV). *Ann Agric Environ Med*. 2014; 21(3):464-71.
26. Perrone MR, Romano S, De Maria G, Tundo P, Bruno AR, Tagliaferro L, Maffia M, Fragola M. Compositional Data Analysis of 16S rRNA Gene Sequencing Results from Hospital Airborne Microbiome Samples. *Int J Environ Res Public Health*. 2022 Aug 16; 19(16):10107.
27. Oliveira M, Amorim MI, Ferreira E, Delgado L, Abreu I. Main airborne Ascomycota Spores: Characterization by Culture, Spore Morphology, Ribosomal DNA Sequences and Enzymatic Analysis. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2010 Apr; 86(4):1171-81.
28. Matys J, Kensy J, Gedrange T, Zawiślak I, Grzech-Leśniak K, Dobrzyński M. A Molecular Approach for Detecting Bacteria and Fungi in Healthcare Environment Aerosols: A Systematic Review. *Int J Mol Sci*. 2024 Apr 9; 25(8):4154.
29. Dinsmore J, Brands S, Perry S, Lopez M, Dong Y, Palasz D, Tucker J. Efficacy of Various Facial Protective Equipment for Infection Control in a Healthcare Setting. *West J Emerg Med*. 2021 Aug 17; 22(5):1045-1050.
30. Locke L, Dada O, Shedd JS. Aerosol Transmission of Infectious Disease and the Efficacy of Personal Protective Equipment (PPE): A Systematic Review. *J Occup Environ Med*. 2021 Nov 1; 63(11):e783-e791.
31. Rodarte KA, Fair JM, Bett BK, Kerfua SD, Fasina FO, Bartlow AW. A Scoping Review of Zoonotic Parasites and Pathogens Associated with Abattoirs in Eastern Africa and Recommendations for Abattoirs as Disease Surveillance Sites. *Front Public Health*. 2023 Jul 17; 11:1194964.
32. Dixit AK, Espinoza B, Qiu Z, Vullikanti A, Marathe MV. Airborne Disease Transmission During Indoor Gatherings Over Multiple Time Scales: Modeling Framework and Policy Implications. *Proc Natl Acad Sci USA (PNAS)*. 2023 Apr 18; 120(16):e2216948120.
33. Chen Y, Liang Z, Li G, An T. Indoor/Outdoor Airborne Microbiome Characteristics in Residential Areas Across four Seasons and its Indoor Purification. *Environ Int*. 2024 Aug; 190:108857.
34. Ali S, Alsayeqh AF. Review of Major Meat-borne Zoonotic Bacterial Pathogens. *Front Public Health*. 2022 Dec 15; 10:1045599.

收稿日期：民國 113 年 02 月 05 日  
修改日期：民國 113 年 11 月 18 日  
接受日期：民國 113 年 12 月 08 日