

開放式養豬場逸散空氣污染物之去除⁽¹⁾

蕭庭訓⁽²⁾ 陳水財⁽³⁾ 黃裕益⁽⁴⁾ 程梅萍⁽²⁾⁽⁵⁾

收件日期：101 年 04 月 19 日；接受日期：101 年 08 月 28 日

摘要

本試驗目的在建立去除開放式養豬場周界空氣污染物之方法，以降低成本及操作容易為目標。本研究先設計一套由遮陽網及微霧噴霧設備所組成之空氣污染防治設施，該設施之結構強度經分析可耐 30m/s 強風。再測試 8 種噴嘴在 20 - 40kg/cm² 噴霧壓力下之霧粒粒徑與流量，結果選用流量較低之 N40 噴嘴。將此設施安裝於開放式養豬場周界，分析設施操作前後養豬場周界空氣污染物濃度，結果顯示處理前開放式養豬場周界之平均氨氣與異味濃度為 5.3 ppm 與 106.2 OU/m³ 顯著高於處理後之濃度 ($P < 0.05$)，分別為 2.5 ppm 與 86.4 OU/m³，即此設施處理對氨氣與異味去除率分別為 52.0% 與 18.6%。此外，三甲基胺與硫化氫濃度處理後低於處理前，去除率分別為 48.2% 與 17.0%；其他如甲硫醇、乙硫醇、硫化甲基、二硫化甲基等未檢出。試驗結果顯示本空氣污染防治設施可降低養豬場周界空氣污染物濃度，可做為開放式養豬場空氣污染防治設備。

關鍵詞：開放式養豬場、逸散、去除、空氣污染物

緒言

畜禽飼養場所逸散之空氣污染問題被檢舉的案例越來越多，尤其是惡臭問題受到鄰近居民抗議及檢舉事件日益升高趨勢，防治禽畜飼養場所產生的空氣污染問題，如粉塵、氨氣及令人厭惡的異味，為目前急需解決的問題。依據空氣污染防治法規（行政院環境保護署，2006）規定，畜牧場周界氨氣濃度不得超過 1 ppm、既設與新設牧場之異味濃度分別不得高於 50 與 30，但養豬場異味高於此閾值的機率頗高，因此畜殖場惡臭的防治技術有日益迫切需要。

豬舍內產生之空氣污染物主要包括孢子、氨氣、二氧化碳、硫化氫、內毒素、粒狀污染物（粉塵與生物氣膠）及異味等（Heber *et al.*, 1988; Maghirang and Puma, 1996; Seedorf, 2004），且與畜舍型態、環境溫度、相對溼度、風速、季節、飼養策略、飼養密度、糞便貯存及清除方式、糞尿 pH、豬隻體重

(1) 行政院農業委員會畜產試驗所研究報告第 1784 號。

(2) 行政院農業委員會畜產試驗所經營組。

(3) 行政院農業委員會畜產試驗所技術服務組。

(4) 國立中興大學生物產業機電工程學系。

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

及活動情形、地板型態及材質等有關 (Costa *et al.*, 2009; Lachance *et al.*, 2005; Lim *et al.*, 2004)。由於作業環境品質及動物福利愈來愈受重視，一些文獻指出牧場工作者暴露於高空氣污染物濃度之畜舍將影響健康 (Dosman *et al.*, 1988; Donham *et al.*, 1989)，並建議工作者不要暴露在超過 1500 及 7 ppm 之二氧化碳及氨氣環境下，Wathes (1998) 則建議動物飼養環境之氨氣與總粉塵分別不超過 20 ppm 與 3.4 mg/m³。

降低豬舍內之氨氣和異味等空氣污染物方式，包括從飼料營養著手，如降低日糧粗蛋白質含量 (Le *et al.*, 2009; Lynch *et al.*, 2008; O'Shea *et al.*, 2009) 或日糧中加入添加劑增加豬隻腸道微生物多樣性，藉以降低腸道 pH (Murphy *et al.*, 2011; Halas *et al.*, 2010; Sauer *et al.*, 2009)，減少氨氣及異味逸散；或者，加強畜舍管理，如肉豬舍內糞尿溝 1、7、14、42 天清除 1 次，以每日沖洗組較其他組降低氨氣逸散 51%–62% (Lim *et al.*, 2004)；或加強管末處理，如 O'Neill *et al.* (1992) 提出異味控制方法有熱焚化、觸媒焚化、吸附、吸收、生物洗滌、生物濾床、煙囪擴散、臭氧處理、紫外線處理及化學處理等方法。養豬場空氣污染物屬生物性廢氣，其處理方式一般採生物處理法，主要分為生物濾床法 (biofilters) 生物洗滌器 (bioscrubbers)、生物滴濾床 (biotrickling filter)，其處理程序為分解污染物成 CO₂、水、微生物增殖及溶解鹽 (Szántó *et al.*, 2007)。Potivichayanon *et al.* (2006) 利用生物洗滌法 (bio-scrubber) 吸收、溶解廢氣中之空氣污染物於洗滌槽，洗滌槽內之微生物進行生物降解作用，氨氣易溶於水及低鹼度 (alkalinity) 適合以水或酸洗處理，氨氣亦容易被微生物經脫硝或硝化作用成無味之物質 (Yasuda *et al.*, 2009)，一般滴濾濾材可由陶瓷、塑膠材料、活性碳、矽藻土等裝填 (Pedersen and Arvin, 1995; Weber and Hartmans, 1996)。

國內養豬場空氣污染問題一直缺乏具體的防制措施，本試驗利用類似生物洗滌器或生物滴濾方式，由遮陽網及微粒噴霧設備所組成之空氣污染防治設施，安裝於開放式養豬場周界，探討對養豬場逸散之空氣污染物去除效果，期建立低成本且操作簡易之空氣污染物去除方式，作為推動養豬場空氣污染防制之參考依據，使養豬產業與環境保護得以兼顧並永續經營。

材料與方法

I. 試驗設備

(i) 試驗豬舍

本試驗所選擇之養豬場位於台南市善化區，為開放式一貫化養豬場 (飼養公豬、母豬、乾母豬、懷孕豬、哺乳豬、保育豬、小豬、中豬及肥育豬)，飼養約 2000 隻豬，地形呈南北向，豬舍為東西向，該場之東側有簡易之磚造圍牆。豬舍床面為水泥地，聘僱 1 人每日早上清洗種豬舍及保育舍，下午清洗肉豬舍。

(ii) 空氣污染防治設施

空氣污染防治設施由遮陽網搭配高壓噴霧設備組裝而成，架設與豬場東側之圍牆結合，該設備外觀如圖 1，設施長約 60 m、高 2.43 m，主要結構包括直徑 4.2 cm，長 2.43 m 之鉸管支柱，固定於磚造圍牆之底座，橫樑以 4.2 × 4.2 cm 之三角鐵，長 2.26 m 為一跨距，每一跨距有直徑 2.2 cm，長 0.85 m 之鉸管與豬舍結構體連接固定，計有 26 個跨距，圖 2 為該設施之鉸管與豬舍結構體連接固定結構圖。遮陽網裝設於圍牆與鉸管支柱間，以捲軸式開閉。噴霧設施由三相 5 馬力之高壓噴霧機、電控開關、過濾器、微粒噴嘴、不銹鋼管及貯水桶組成，其中不銹鋼管每 50 cm 裝設乙只微粒噴嘴，總計裝設 120 只噴嘴。



圖 1. 開放式養豬場空氣污染防治設施外觀

Fig. 1. The pictures of the open-style pig house with the air pollutant control facility.

(iii) 結構強度分析

空氣污染防治設施結構（圖 2）使用美國加州 Research Engineers 公司出品之 STAAD. Pro 2004（Structure Analysis And Design）結構分析軟體，該軟體於鋼結構方面支援 AISC（American Institute of Steel Construction，美國鋼結構協會）等多種規範設計，利用其 AISC ASD（Allowable Stress Design，容許應力設計）規範，配合我國「鋼構造建築物鋼結構設計技術規範」之容許應力法執行結構分析。

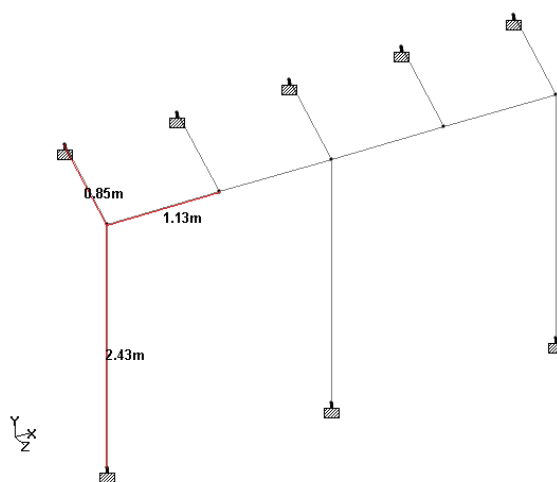


圖 2. 空氣污染防治設施結構及支承圖。

Fig. 2. The schematic diagram of structure and support of the air pollutant control facility.

(iv) 微粒噴嘴流量量測及粒徑分析

噴霧設施包括噴嘴、泵浦及耐高壓金屬管或塑膠管，均為市面上用於園藝設施或噴霧降溫常見之產品，噴嘴型號 TD-920-3A、TD-920-4A、TD-920-5A、TD-920-6A、N40、N50、N60 及 N80 為選用試驗之噴嘴。泵浦採高壓直結式噴霧機，外接電源 220 V，馬力輸出 2 Hp，噴嘴安裝於耐高壓金屬管，再以 30 cm 長之塑膠軟管套於噴嘴上，量測流量時以容器承接並以碼表計時，計算每分鐘之流量，操作範圍自 20 - 40 kg / cm²，間隔壓力為 5 kg / cm²。

微粒噴嘴粒徑分析採用英國 Malvern 公司所生產的雷射粒徑分析儀，型號為 system 2600，應用雷射光束碰撞霧粒後繞射於傅立葉鏡頭進行量測的技術原理（鄭及劉，2001），經由傅立葉（Fourier）鏡頭的轉換及接收器接收訊號轉換後，進行粒徑大小分析。為符合儀器實驗的要求，參照雷射粒徑分析儀 system 2600 使用手冊，所採用鏡頭的焦距為 300 mm，其量測粒徑的範圍為 5.8 – 564 μm ，依據設定的操作壓力，將噴嘴位置固定在出口與雷射光垂直距離 10 cm 處，水平距離與一端傅立葉鏡頭間隔 30 cm。為避免霧粒因撞擊平臺而發生碎裂反彈，噴嘴採水平方向架設（黃，1999）。粒徑分析流程為啟動噴霧機，待噴霧壓力穩定，管路無抖動現象時開始量測。雷射光經細霧產生繞射現象，再經光偵測器感應到繞射光能量組合加以計算，顯示出各種粒徑之分布數值。

II. 空氣樣品採樣與分析

空氣污染防治設施操作以捲軸下降遮陽網並啟動高壓噴霧機之時段作為處理後，高壓噴霧機之操作壓力為 30 kg/cm²，噴霧時間為 120 分鐘；捲軸上升遮陽網並關閉高壓噴霧機之時段作為處理前。空氣樣品分別於設施操作處理前及處理後於豬場東側周界空氣污染防治設施外採集，分析異味（odor）、氨氣（ammonia）、三甲基胺（trimethylamine）、硫化氫（hydrogen sulfide）、甲硫醇（methanethiol）、乙硫醇（ethyl mercaptan）、硫化甲基（dimethyl sulfide）、二硫化甲基（dimethyl disulfide）等空氣污染物；並於採樣時段紀錄氣象資料如風向、風速及溫溼度等。空氣污染物分析方法分述如下：

- (i) 氨氣以靛酚／分光光度計法分析（NIEA A426.71B）。
- (ii) 異味以 10 L 之氣體採樣袋（Tedlar gas sampling bag, SKC, USA）採集空氣樣品，以三點比較式嗅袋法測定（NIEA A201.13A）。
- (iii) 空氣中三甲基胺以氣相層析儀－火焰離子化偵測器（GC – FID）分析（NIEA A707.11C）。
- (iv) 甲硫醇、乙硫醇、硫化甲基、硫化氫等空氣污染物以氣相層析－火焰光度偵測法（GC – FPD）分析（NIEA A701.11C）。
- (v) 溫濕度之量測採用熱敏式溫濕度計（Lutron Electronic Enterprise Co. LTD., Taiwan），測量溼度範圍為 10% – 95%，解析度 0.1%，精確度為 $\pm 3\%$ ；溫度量測範圍為 0 – 50 $^{\circ}\text{C}$ ，解析度 0.1 $^{\circ}\text{C}$ ，精確度為 ± 0.8 $^{\circ}\text{C}$ 。
- (vi) 風速量測以熱線式風速計（Lutron Electronic Enterprise Co. LTD., Taiwan），量測範圍 0.2 – 20.0 m/s，解析度 0.1 m/s。

III. 資料分析

養豬場周界空氣中之氨氣、異味及硫化氫等試驗資料以成對 t 檢定經空氣污染防治設施處理前、後之差異顯著性（ $\alpha=0.05$ ）。

結果與討論

I. 空氣污染防治設施結構強度分析

結構強度分析執行程序包括建立節點（joint）座標、設定桿件（member）標號、設定結構材料規格、結構支承（support）設定為固定（fixed），具備平移與轉動拘束、設定基本載重（自重、風力）、設定載重組合、執行 STAAD. Pro 2004 結構分析，判讀是否安全。其中構造物的載重計算可分為垂直載重（vertical load）包含垂直於地平面方向即活載重（live load），及鉛垂方向受重力作用之載重即靜載重（dead load）。水平載重（horizontal load）包含平行於地平面方向之荷重，有風

力 (wind load)、地震力 (seismic load, earthquake load) 等, 本試驗考量的載重為靜載重及風力。靜載重係建築物本身各部分之重量及固定於建築構造上各物之重量, 在本試驗中視為骨架鋼材本身重量。風力載重設施, 一般地區之風力由公式求之。載重組合目前我國鋼構造多採用容許應力法 (ASD, Allowable Stress Design), 其設計精神為需要的設計應力等於極限應力除以一個安全係數, 本研究的輕型鋼構造物取靜載重及風力組合作分析。

本試驗之開放式養豬場空氣污染防治設施結構在輸入上述之結構參數與採用行政院農業委員會畜產試驗所之農業氣象站之最大風速 30 m/s 後 (民國 83 - 93 年間), STAAD. Pro 軟體輸出之結構強度顯示在強風 30 m/s 之情況下仍通過安全測試。

II. 微粒噴嘴粒徑分析及流量量測

表 1 為噴嘴粒徑分析及流量測定結果, 噴嘴 N40 當操作壓力自 20 - 40 kg/cm², 其體積累積粒徑 (Volume median diameter, VMD) 及紹特平均直徑 (Sauter mean diameter, SMD) 變化不大, SMD 值愈大表示霧粒群平均粒徑越大, 霧化效果差, 粒徑小於 40 μ m 之百分比介於 64%-68%之間, 每分鐘之流量隨著操作壓力增大而增加, 最高不超過 110 mL/min。TD-920-3A、TD-920-4A、TD-920-5A、TD-920-6A 噴嘴之 VMD 粒徑及 SMD 粒徑分析顯現出隨著操作壓力增加而降低之趨勢, 流量隨著操作壓力增大而增加。因 TD-920-3A、TD-920-4A 噴嘴之 VMD 粒徑及 SMD 粒徑分析值較 N40、N60 為小, 表示霧化效果較佳, 霧粒粒徑較小, 且每分鐘之流量較多。各種噴嘴各有其用途, 但用於去除空氣污染物仍為少見, 本試驗選擇 N40 噴嘴, 因其具高壓噴霧機較安全之噴霧壓力 30kg/cm² 與較低流量, 表 1 提供 20-40 kg/cm² 操作壓力下之微霧粒徑大小及每分鐘流量, 使用者視用途需要選擇安裝。

黃等 (2000) 指出噴嘴之 VMD 及 SMD 數值對其霧化效果影響情形, 以噴霧產生的表面面積表示噴霧精細度的方法, SMD 之數代表為該霧粒的體積與表面積之比, 經 SMD 量測法可判斷噴嘴設計的優缺點, 且可計算霧粒蒸發成氣體的時間; VMD 以霧粒平均體積來表示霧粒大小的表示方式; 粒徑小於 40 μ m 的百分比, 表示體積累積佔全部霧粒體積多少百分比時所相對應之霧粒粒徑大小, 粒徑越小表面積越大, 飄移距離較遠。N50 及 N80 噴嘴經粒徑分析發現其粒徑小於 40 μ m 的百分比均高於 100%, 因重複分析 6 次均顯示同樣結果, 可能為 N50 及 N80 噴嘴設計上之問題, 於噴霧時造成讓儀器判讀超過 100%。

III. 開放式養豬場空氣污染物去除

採樣時之氣象資料溫度介於 25 - 32.6°C, 溼度介於 50.0% - 86.2%, 風向為西風, 風速介於 0 - 0.9 m/s。試驗所得之資料以成對 t 檢定空氣污染防治設施有無處理差異, 結果如表 2, 處理前異味平均為 106.2 \pm 29.0 OU/m³, 其範圍介於 71 - 175 OU/m³ 之間, 顯著高於處理後平均為 86.4 \pm 15.9 OU/m³ (P < 0.05), 範圍介於 65 - 109 OU/m³ 之間。處理後與處理前之氨氣濃度平均分別為 2.52 \pm 2.26 (0.54 - 6.27) ppm 與 5.25 \pm 5.28 (0.24 - 15.2) ppm, 以處理後顯著低於處理前 (P < 0.05)。處理後之三甲基胺與硫化氫濃度較處理前低, 分別為 3.27 \pm 0.54 與 33.1 \pm 6.50 ppb 及 6.31 \pm 1.18 與 39.9 \pm 6.20 ppb。

表 1. 不同噴嘴在不同壓力下微霧粒徑及流量

Table 1. The particle size of the mist and the spray volume of different nozzles under various pressure

Nozzle types	Spray pressure (kg/cm ²)	Volume mean diameter (μ m)	Sauter mean diameter (μ m)	The percentage of particle size less than 40 μ m (%)	Spray volume (ml/min)
N40	20	45.40	35.11	67.36	61.5
	25	45.92	36.72	68.79	80.0
	30	44.48	35.50	64.54	90.8
	35	43.95	35.56	64.57	94.2
	40	44.79	35.43	67.77	110.0
N50	20	72.85	55.28	105.30	76.5
	25	72.83	39.96	129.65	103.3
	30	67.03	34.05	120.45	126.6
	35	60.92	34.58	103.44	130.4
	40	58.13	33.60	100.71	151.2
N60	20	40.09	28.33	63.63	91.5
	25	38.73	27.41	60.43	130
	30	38.46	26.67	59.84	159
	35	35.99	24.41	58.22	167
	40	36.72	24.81	59.98	196
N80	20	83.96	38.88	143.52	111
	25	76.67	39.63	129.45	125
	30	65.79	34.44	110.98	151
	35	69.24	38.98	113.51	166
	40	63.85	35.83	104.06	192
TD-920-3A	20	35.16	22.12	60.10	162
	25	32.33	20.34	55.30	225
	30	29.71	18.52	51.28	252
	35	27.86	17.56	48.18	264
	40	26.69	16.84	45.98	270
TD-920-4A	20	36.78	23.42	62.35	147
	25	33.74	21.39	57.46	180
	30	31.83	20.03	54.55	204
	35	28.84	17.82	50.13	234
	40	27.26	16.44	47.61	387
TD-920-5A	20	45.76	25.94	85.08	249
	25	41.00	22.91	75.27	351
	30	37.04	21.43	66.17	384
	35	35.49	21.30	62.33	414
	40	31.95	18.62	56.92	459
TD-920-6A	20	48.10	29.53	84.39	294
	25	43.80	26.40	75.04	408
	30	42.57	25.62	69.15	461
	35	39.42	24.32	63.30	486
	40	36.63	22.61	58.96	552

空氣污染防治設施處理養豬場周界逸散之異味、氨氣、三甲基胺與硫化氫濃度去除率平均分別為 18.6%、52.0%、48.2%與 17.0%。開放式養豬場周界之異味與氨氣經空氣污染防治設施處理可降低部分空氣污染物濃度，雖然有成效但異味與氨氣之濃度仍高於周界排放標準。開放式養豬場周界空氣中之三甲基胺與硫化氫濃度低於周界排放標準，養豬場周界空氣中之甲硫醇、乙硫醇、硫化甲基、二硫化甲基等濃度未檢出。

表 2. 開放式養豬場周界空氣污染物處理前後濃度

Table 2. The air pollutant concentrations around the open-style pig house before and after treatment

Item (unit)	Treatment	N	Concentration	Range	Removal (%)
Odor (OU/m ³)*	Before	12	106.2 ± 29.0	71–175	
	After	12	86.4 ± 15.9	65–109	18.6
Ammonia (ppm)*	Before	21	5.25 ± 5.28	0.24–15.2	
	After	21	2.52 ± 2.26	0.05–6.27	52.0
Trimethylamine (ppb)	Before	5	6.31 ± 1.18	5.27–7.94	
	After	5	3.27 ± 0.54	2.79–4.18	48.2
Hydrogen sulfide (ppb)*	Before	12	39.9 ± 6.20	28.2–49.2	
	After	12	33.1 ± 6.50	23.5–42.1	17.0
Methanethiol (ppb)	Before	5	ND	—	
	After	5	ND	—	
Ethyl mercaptan (ppb)	Before	5	ND	—	
	After	5	ND	—	
Dimethyl sulfide (ppb)	Before	5	ND	—	
	After	5	ND	—	
Dimethyl disulfide (ppb)	Before	5	ND	—	
	After	5	ND	—	

* Means the concentrations before and after treatment differed significantly ($P < 0.05$).

本試驗之處理前異味濃度平均 106 (71 – 175) OU/m³；而 Lim *et al.* (2001) 與 Zhu *et al.* (2000) 測量密閉式豬舍排氣處之異味平均分別為 199 (94 – 635) OU/m³ 與 765 OU/m³，較本試驗高，其原因為密閉式養豬舍可集中異味物質於排氣處，而開放式養豬場異味則隨風飄逸無法集中，其異味濃度較低。處理前氨氣與硫化氫濃度與一些文獻相符，如張等 (1997) 指出開放式養豬場環境內氨氣、硫化氫分別低於 5 ppm、0.2 ppm；與 Kim *et al.* (2008) 指出養豬舍逸散之氨氣、硫化氫濃度平均分別為 7.5 (0.8 – 21.4) ppm、286.5 (45.8 – 1235) ppb。Blunden *et al.* (2008) 亦指出夏、秋季養豬場之氨氣與硫化氫濃度平均為 2.0 (0.48 – 5.41)、3.51 (2.68 – 6.26) ppm 與 47 (2 – 113)、304 (6 – 527) ppb，此結果與本試驗相似且其濃度變異亦相當大。

國內外少有以噴霧處理養豬場周界逸散之空氣污染物報告，故以密閉式養豬場利用洗滌塔去除空氣污染物之效果做比較。Saha *et al.* (2010) 之報告指出利用生物洗滌塔可去除豬舍糞尿溝排氣口之氨氣 37% – 53%；Melse and Ogink (2005) 指出廣泛利用於荷蘭之酸洗與生物洗滌塔對異味去除效率分別為 30% 與 45%，酸洗洗滌塔對氨氣去除範圍為 40% – 100%，平均為 96%；生物洗滌塔對氨氣去除範圍為 - 8% – 100%，平均為 70%。Manuzon *et al.* (2007) 指出酸洗滌塔對 5 ppmv 與 100 ppmv 之氨氣濃度之去除率分別為 60% 與 27%，在低氨氣濃度 5 ppmv 下，其去除率較本試

驗之氨氣去除率（52.0%）稍高。雖然，洗滌塔對養豬場產生之異味與氨氣去除效率較本試驗佳，但是僅適合應用於有集中排氣口的密閉式養豬場，且其設置成本較高，操作困難度也較高。本試驗之空氣污染防治設施則可適用於開放式養豬場，且設置成本低，操作簡便。

結論與建議

- I. 開放式養豬場之空氣污染防治設施結構在輸入結構參數與採用行政院農業委員會畜產試驗所之農業氣象站之最大風速 30 m/s 後，經 STAAD. Pro 軟體輸出之結構強度顯示在強風 30 m/s 之情況下仍通過安全測試。
- II. 開放式養豬場周界之平均氨氣濃度與異味經空氣污染防治設施處理顯著低於無處理組，去除率分別為 52.0% 與 18.6%，三甲基胺與硫化氫濃度以處理組低於無處理組，去除率分別為 48.2% 與 17.0%，試驗證實本空氣污染防治設施可去除開放式養豬場部份空氣污染物。

參考文獻

- 行政院環境保護署。2006。空氣污染防治法規。行政院環境保護署環境保護人員訓練所編印。
- 張靜文、鍾弘、黃金鳳、蘇慧貞。1997。養豬場作業環境暴露危害研究。勞工安全衛生研究季刊 5(3): 1-22。
- 黃裕益。1999。噴霧冷卻法應用於台灣地區塑膠布溫室內降溫之研究。農業機械期刊 8(4): 17-28。
- 黃裕益。2000。鼓風式噴霧法於開放型溫室降溫之研究。農業機械學刊 9(4): 17-30。
- 鄭福田、劉希平。2001。微粒導論。國立編譯館。
- Blunden, J., V. P. Aneja and P. W. Westerman. 2008. Measurement and analysis of ammonia and hydrogen sulfide emissions from a mechanically ventilated swine confinement building in North Carolina. *Atmospheric Environment* 42(14): 3315-3331.
- Costa, A., F. Borgonovo, T. Leroy, D. Berckmans and M. Guarino. 2009. Dust concentration variation in relation to animal activity in a pig barn. *Biosystems Engineering* 104(1): 118-124.
- Donham, K. J., P. Haglind, Y. Peterson, R. Rylander and L. Belin. 1989. Environmental and health studies of workers in Swedish swine confinement buildings. *British Journal of Industrial Medicine* 40: 31-37.
- Dosman, J. A., B. L. Graham, D. Hall, P. Pahwa, H. H. McDuffie, M. Lucewicz and T. To. 1988. Respiratory symptoms and alterations in pulmonary function tests in swine producers in Saskatchewan: Results of a survey of farmers. *Journal of Occupational Medicine* 30: 71-720.
- Halas, D., C. F. Hansen, D. J. Hampson, B. P. Mullan, J. C. Kim, R. H. Wilson and J. R. Pluske. 2010. Dietary supplementation with benzoic acid improves apparent ileal digestibility of total nitrogen and increases villous height and caecal microbial diversity in weaner pigs. *Animal Feed Science and Technology* 160: 137-147.
- Heber, A. J., M. Steoik, J. M. Faubion and L. H. Willard. 1988. Size distribution and identification of aerial dust particles in swine finishing building. *Transaction of the ASAE* 31(3): 882-887.
- Kim, K. Y., H. J. Ko, H. T. Kim, Y. S. Kim, Y. M. Roh, C. M. Lee and C. N. Kim. 2008. Quantification of ammonia and hydrogen sulfide emitted from pig buildings in Korea. *Journal of Environmental*

- Management 88(2): 195-202.
- Lachance, Jr. I., S. Godbout, S. P. Lemay, J. P. Larouche and F. Pouliot. 2005. Separation of pig manure under slats: to reduce releases in the environment. ASAE Paper No. 054159.
- Le, P. D., A. J. A. Aarnink and A.W. Jongbloed. 2009. Odour and ammonia emission from pig manure as affected by dietary crude protein level. *Livestock Science* 121(2-3): 267-274.
- Lim, T. T., A. J. Heber, J. Q. Ni, D. C. Kendall and B. R. Richert 2004. Effects of manure removal strategies on odor and gas emissions from swine finishing. *Transactions of the ASAE* 47(6): 2041-2050.
- Lim, T. T., A. J. Heber, J. Q. Ni, L. Sutton and D. T. Kelly. 2001. Characteristics and emission rates of odor from commercial nurseries. *Transactions of the ASAE* 44(5): 1275-1282.
- Lynch, M. B., C. J. O'Shea, T. Sweeney, J. J. Callan and T. V. O'Doherty. 2008. Effect of crude protein concentration and sugar-beet pulp on nutrient digestibility, nitrogen excretion, intestinal fermentation and manure ammonia and odour emissions from finisher pigs. *Animal* 2: 425-434.
- Maghirang, R. G. and M. C. Puma. 1996. Airborne and settled dust levels in a swine house. *ASHRAE Trans.* 9(1): 126-130.
- Manuzon, R. B., L. Y. Zhao, H. M. Keener and M. J. Darr. 2007. A prototype acid spray scrubber for absorbing ammonia emissions from exhaust fans of animal buildings. *Transactions of the ASABE* 50(4): 1395-1407.
- Melse, R. W. and N. W. M. Ogink. 2005. Air scrubbing techniques for ammonia and odor reduction at livestock operations: review of on-farm research in the Netherlands. *Transactions of the ASAE* 48(6): 2303-2313.
- Murphy, D. P., J. V. O'Doherty, T. M. Boland, C. J. O'Shea, J. J. Callan, K. M. Pierce and M. B. Lynch. 2011. The effect of benzoic acid concentration on nitrogen metabolism, manure ammonia and odour emissions in finishing pigs. *Animal Feed Science and Technology* 163(2-4): 194-199.
- O'Neill, D. H. and V. R. Phillips. 1992. A review of the control of odour nuisance from livestock buildings: Part 3. Properties of the odorous substances which have been identified in livestock wastes or in the air around them. *J. Agric. Eng. Res.* 53(1): 23-50.
- O'Shea, C. J., B. Lynch, M. B. Lynch, J. J. Callan and J. V. O'Doherty. 2009. Ammonia emissions and dry matter of separated pig manure fractions as affected by crude protein concentration and sugar beet pulp inclusion of finishing pig diets. *Agric. Ecosys. Environ.* 131:154-160.
- Pedersen, A. R. and E. Arvin. 1995. Removal of toluene in waste gases using a biological trickling filter. *Biodegradation* 6: 109-118.
- Potivichayanon, S., P. Pokethitiyook and M. Kruatrachue. 2006. Hydrogen sulfide removal by a novel fixed-film bioscrubber system. *Process Biochemistry* 41(3): 708-715.
- Sauer, W., M. Cervantes, J. Yanez, B. Araiza, G. Murdoch, A. Morales and R. T. Zijlstra. 2009. Effect of dietary inclusion of benzoic acid on mineral balance in growing pigs. *Livest. Sci.* 122: 162-168.
- Seedorf, J. 2004. An emission inventory of livestock-related bioaerosols for Lower Saxony, Germany. *Atmospheric Environment* 38: 6565-6581.
- Saha, C. K., G. Zhang, P. Kai and B. Bjerg. 2010. Effects of a partial pit ventilation system on indoor air quality and ammonia emission from a fattening pig room. *Biosystems Engineering* 105(3): 279-287.
- STADD Pro 2004. 2004. Technical Reference. International Division of netGuru, Inc.
- Szántó, G. L., H. V. M. Hamelers, W. H. Rulkens and A. H. M. Veeken. 2007. NH₃, N₂O and CH₄ emissions

- during passively aerated composting of straw-rich pig manure. *Bioresource Technology*. 98: 2659-2670.
- Wathes, C. M. 1998. Aerial emissions from poultry production. *World's Poultry Science*. 54(3): 241-251.
- Weber, F. J. and S. Hartmans. 1996. Prevention of clogging in a biological trickle-bed reactor removing toluene from contaminated air. *Biotechnol Bioeng*. 50: 91-97.
- Yasuda, T., K. Kuroda, Y. Fukumoto, D. Hanajima and K. Suzuki. 2009. Evaluation of full-scale biofilter with rockwool mixture treating ammonia gas from livestock manure composting. *Bioresource Technology* 100: 1568-1572.
- Zhu, J., L. D. Jacobson, D. R. Schmidt and R. E. Nicolai. 2000. Daily variations in odor and gas emissions from animal facilities. *Appl. Eng. Agric*. 16(2): 153-158.

Removal of the air pollutants emitted from the open-style pig house⁽¹⁾

Ting-Hsun Hsiao⁽²⁾ Shui-Tsai Chen⁽³⁾ Yu- I Huang⁽⁴⁾
and Mei-Ping Cheng⁽²⁾⁽⁵⁾

Received: Apr. 19, 2012; Accepted: Aug. 28, 2012

Abstract

The objective of this research is to establish a low-cost and easy-operation method for removal of the air pollutant emitted from the pig house. First, an air pollutant control facility composed of a sprayer and the sun shed net was designed. The structure of this facility was analyzed as safe under 30m/s wind speed. Then 8 kinds of spray nozzles were analyzed for the particle sizes of mist and the spray volume under 20 to 40 kg/cm² pressure. The N40 nozzles of the lowest spray volume was chosen for the further experiment. Finally, this air pollutant control facility was installed around an open-style pig house. The air pollutant concentrations before and after the treatment were analyzed. The result shows that the concentrations of ammonia and odor were 5.3 ppm and 106.2 OU/m³ respectively before treatment, which were significantly ($P < 0.05$) higher than those after treatment, 2.5 ppm and 86.4 OU/m³, respectively. The removal efficiencies of ammonia and odor were 52.0 % and 18.6 %, respectively. Besides, the removal efficiencies of methylamine and hydrogen sulfide were 48.2 % and 17.0 %, respectively. The concentrations of methanethiol, ethyl mercaptan, dimethyl sulfide and dimethyl disulfides were non-detectable. In conclude, the air pollutant control facility established in this study could reduce the air pollutants concentration around the pig house, so it could be one of the strategies for the air pollution control of the open-style pig house.

Key words: Emission, Air pollutants, Open-style pig house

(1) Contribution No.1784 from Livestock Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan.

(2) Livestock Management Division, COA-LRI, Hsinhua, Tainan 71246, Taiwan, R.O.C.

(3) Technical Service Division, COA-LRI, Hsinhua, Tainan 71246, Taiwan, R.O.C.

(4) Department of Bio-industrial Mechatronics Engineering, National Chung-Hsing University, Taichung 40227, Taiwan, R.O.C.

(5) Corresponding author, E-mail: mpcheng@mail.tlri.gov.tw

