

滴濾設施去除密閉式豬舍逸散之粉塵、氨氣及異味⁽¹⁾

蕭庭訓⁽²⁾ 蘇天明⁽²⁾ 陳水財⁽³⁾ 黃裕益⁽⁴⁾ 李超陽⁽⁵⁾ 程梅萍⁽²⁾⁽⁶⁾

收件日期：103 年 8 月 7 日；接受日期：103 年 12 月 22 日

摘 要

本試驗之目的為評估滴濾設施安裝於密閉式豬舍後對豬舍內通風量之影響，並探討滴濾設施對豬舍逸散之空氣污染物去除效果。利用環境控制通風系統固定風扇運轉 100%、80%、60% 及 40% 時，分別量測滴濾設施與豬舍內風速，計算通風量及滴濾設施之空塔停留時間。當控制通風系統固定風扇運轉 100%、80%、60% 及 40% 時，滴濾設施之氣體接觸時間分別為 0.28、0.32、0.44、0.66 sec；豬舍內之風速較未裝設滴濾設施前分別降低 0.35、0.24、0.10 及 0.10 m/s，通風量則降低 290、195、88 及 86 m³/min。密閉式豬舍安裝滴濾設施對散逸之氨氣、粉塵、異味平均去除率分別為 54.2%、79.2%、55.4%，處理前之氨氣、粉塵、異味等平均濃度均顯著高於處理後 ($P < 0.01$)，分別為 3.54 ppm、0.93 mg/m³、67.2 及 1.57 ppm、0.19 mg/m³、34.6。因此，本試驗之滴濾設施可安裝於密閉式豬舍作為豬舍空氣污染物去除之方式。

關鍵字：滴濾設施、粉塵、氨氣、異味。

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不斷。依據行政院環境保護署 (2013) 公告固定污染源空氣污染物排放標準，畜牧場周界氨氣濃度不得超過 1 ppm、既設牧場之異味濃度不得超過 50，新設牧場之異味濃度不得超過 30。因此畜殖場惡臭的防制技術就有日益迫切的需要。為提昇畜禽生產效率改善飼養環境，以減少受環境氣候變化之衝擊，國內畜禽生產業者部分採用密閉式環控畜舍，提供畜禽適合的生長環境以維持穩定之生產效益。採用密閉式環控畜舍，雖對畜禽生產與疾病防疫有益，但也因密閉式飼養易造成風扇出口處之空氣品質問題，加上糞尿清除管理與通風系統控制不當時，易使舍內產生有害氣體，影響畜禽之生長及管理之健康。

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 1,500 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。

空氣污染物之防制方法有熱焚化、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 (O'Neill *et al.*, 1992)。生物性廢氣處理主要採用生物處理法，利用微生物將空氣污染物分解成 CO₂、水及溶解鹽 (Szántó *et al.*, 2007)。生物處理方法主要分為生物濾床法 (biofilters)、生物洗滌法 (bioscrubbers) 及生物滴濾法 (biotrickling filter) 等。生物洗滌法可以吸收或溶解廢氣中之空氣污染物於洗滌槽 (Potivichayanon *et al.*, 2006)，再由洗滌槽內微生物進行生物降解作用，其中，氨氣易溶於水及酸，適合以水或酸洗處理，並被微生物經脫硝或硝化反應成無味產物 (Yasuda *et al.*, 2009)。而採用生物滴濾法時之滴濾濾材可由陶瓷、塑膠材料、活性炭、矽藻土等裝填 (Pedersen and Arvin, 1995; Weber and Hartmans, 1996)。

(1) 行政院農業委員會畜產試驗所研究報告第 2181 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) 照農實業股份有限公司。

(6) 通訊作者：mpcheng@mail.tlri.gov.tw。

國內養豬場空氣污染問題一直缺乏具體的防制措施，本試驗利用蕭及程 (2009) 研發之「空氣污染排除裝置」安裝於密閉式豬舍，該裝置類似淋洗或滴濾方式，利用塑膠材料作為滴濾設施填充物，設計反應區及集水槽，操作時將水自集水槽不斷的淋洗濾材使保持濕潤，空氣污染物經由液相吸收 (吸附)，探討對密閉式豬舍逸散之空氣污染物去除效果，期建立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

試驗密閉式高床豬舍長 26 m，寬 5.8 m，每欄面積 8.3 m²，畜舍二側以帆布封閉為密閉式豬舍，床面採用不銹鋼網，不銹鋼材質直徑為 5.2 mm，縫隙為 W 10.0 × L 42.8 mm，豬舍一端安裝塑膠材質水簾 (L 4.1 m × W 1.6 m) 搭配 1 臺 1 馬力抽水馬達，另一端安裝滴濾設施。試驗期間飼養 70 頭肉豬，開始飼養體重為 50 – 60 kg，豬舍內高床下左右兩側之糞尿溝分別採沖水式及刮糞設備，每日沖水及刮糞 1 次。餵飼設備包括鏈條式飼料輸送管、定量桶、不鏽鋼飼料桶，並以可程式邏輯控制器 (Programmable Logic Controller, PLC) 控制，於設定時間啟動馬達輸送飼料及自動落料，一天自動餵飼 5 次。

(ii) 滴濾設施

滴濾設施安裝於密閉式豬舍 (圖 1)，將密閉式豬舍原有 4 臺無段式風扇 (Fancor Inc, Netherlands) 架設於滴濾設施外緣使與豬舍結為一體。滴濾設施內填充 3 層塑膠網狀物，容積為 3.8 m³ (W 0.75 m × L 3.92 m × H 1.3 m)，底部設有集水區回流至設置 2 馬力沉水馬達之 1 m³ 貯水桶。試驗進行時由貯水桶內之沉水馬達將水送至滴濾設施內反應區上方往下淋洗塑膠網狀物，操作時間自早上 8 時 30 分至下午 4 時止。貯水桶設自來水補水裝置並記錄補水量；滴濾設施進水管設水表記錄淋洗水量。

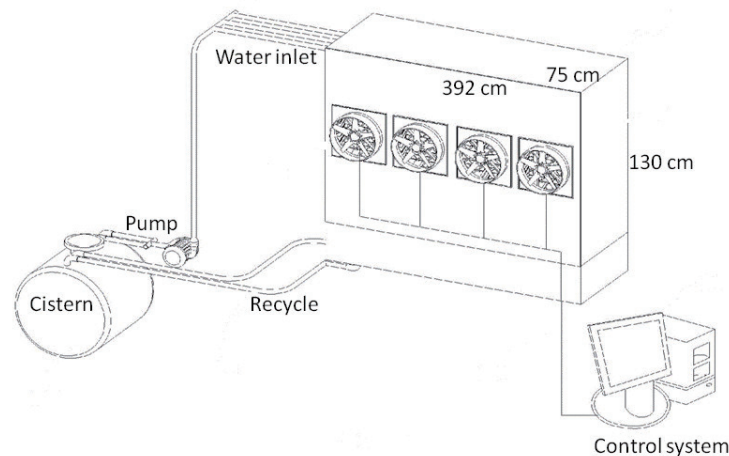


圖 1. 滴濾設施示意圖。

Fig. 1. Scheme of the trickling filter.

(iii) 滴濾設施與豬舍內風速量測

滴濾設施安裝前與後，利用環境控制系統 (Fancor Inc, Netherlands) 控制風扇運轉百分比為 100%、80%、60% 及 40% 時，分別以手持式風速計 (Lutron Electronic Enterprise Co. LTD., Taiwan) 量測滴濾設施與豬舍內風速。滴濾設施風速量測位置劃分為左、中、右 3 個縱斷面及上、中、下 3 個橫斷面 (圖 2)；試驗豬舍則由西至東劃分為前、中、後 3 個縱斷面分別距水簾 2.5、13、23.5 m 處，及由北至南劃分左、中、右 3 個橫斷面分別距管理室 1.4、2.9、4.3 m 處量測風速 (圖 3)。

II. 空氣樣品採樣與分析

試驗期間豬舍通風系統設定運轉 100%、80%、60% 及 40% 等不同通風條件，一天 1 次通風系統條件，每週 4 次分別設定 100%、80%、60% 及 40% 通風條件，進行滴濾設施去除豬舍逸散之空氣污染物試驗，空氣樣品採樣分別於滴濾設施前 (豬舍內進滴濾設施處) 及後 (風扇出口端) 採集空氣樣品，分析項目包括氨氣、粉塵、異味等空氣污染物，分析方法如下：

(i) 氨氣分析：畜舍環境空氣中氨氣經稀硫酸溶液吸收後，形成硫酸銨溶液，與酚及次氯酸鈉鹼溶液 (alkaline-

sodium hypochlorite) 反應生成靛酚 (indophenol)，並以亞硝鐵氰化鈉溶液 (sodium nitroprusside) 為催化劑可加速呈色。使用分光光度計於波長 630 nm 處進行比色分析，定量樣品中氨氣濃度 (NIEA A426.72B)。

- (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) 粉塵之收集採用粉塵收集器 (Gast Manufacturing Co. LTD., England.) 以直徑 47 mm，孔徑 0.45 μm 之濾紙 (SKC, Inc. USA) 採樣，採樣後將濾紙置於培養基攜回實驗室 (Wang *et al.*, 2002)。濾紙於採樣前及採樣後置於定溫 45°C 之烘箱 24 小時後稱重。

III. 統計分析

豬舍散逸之空氣污染物濃度，利用 SAS 套裝軟體 (SAS Institute Inc, 1988)，進行成對 t 值測驗法 (paired t test) 比較滴濾設施處理前及後之差異性。

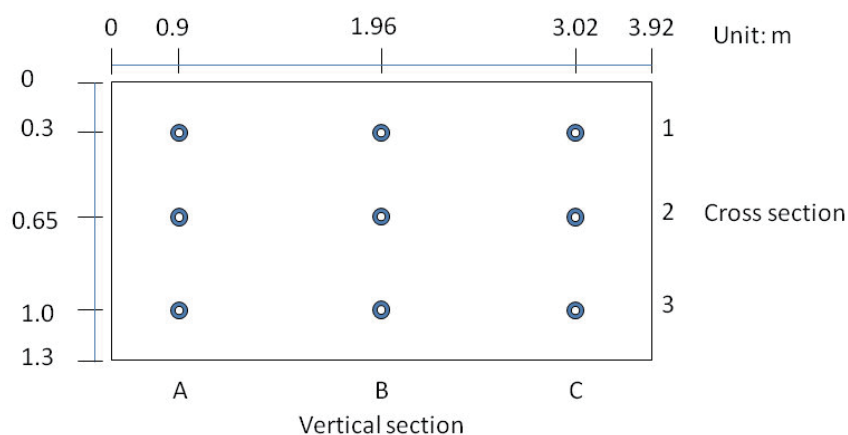


圖 2. 滴濾設施風速量測位置。

Fig. 2. Location of the air flow sampling spot on the trickling filter.

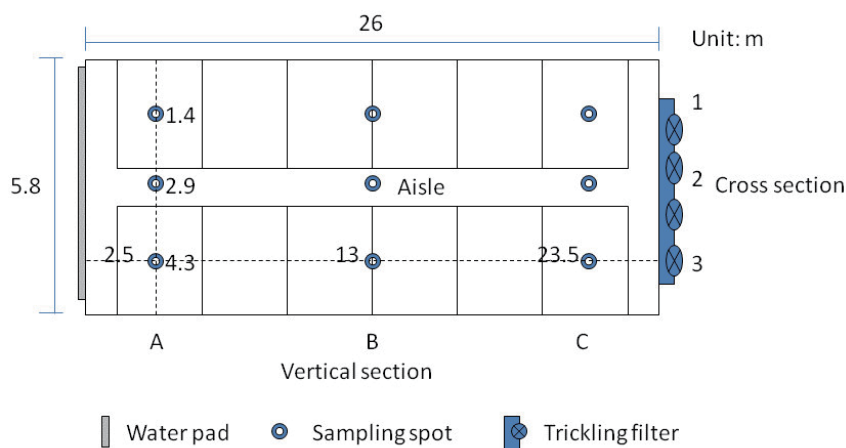


圖 3. 密閉式豬舍內風速量測位置。

Fig. 3. Location of the air flow sampling spot in the pig house.

結果與討論

I. 評估滴濾設施之空床停留時間

為確保豬舍內空氣品質，利用環境控制系統連線舍內溫度感應器控制風扇運轉百分比，當室內溫度高於 27°C 時則啟動水簾馬達並增加風扇運轉百分比進行降溫，當室內溫度達或高於 30°C 時則以最大通風量運轉，增加空氣流速，當室內溫度低於 23°C 時則以最小通風量運轉。本試驗之密閉式豬舍原有 4 臺無段式風扇架設於滴濾設施外緣並以環境控制通風系統設定 100%、80%、60% 及 40% 等不同運轉百分比因應涼熱季之舍內環境溫度，以手持式風速計於滴濾設施與豬舍連接處量測滴濾設施安裝前與後之風速值，計算通風量及空塔停留時間。表 1

為不同風扇運轉百分比時通過滴濾設施平均風速、通風量及空塔停留時間，當風扇以 100%、80%、60% 及 40% 運轉時，安裝滴濾設施較未安裝時分別降低風速 0.65、0.79、0.66 及 0.53 m/s，通風量則降低 198、242、200 及 162 m³/min，表示密閉式豬舍裝設滴濾設施會降低豬舍內風速與通風量。計算滴濾設施在風扇以 100%、80%、60% 及 40% 運轉之氣體接觸時間 (gas contact time, GCT) 分別為 0.28、0.32、0.44、0.66 sec，較其他研究短，如 Jiang *et al.* (2009) 利用生物滴濾床設定氣體接觸時間 4 – 20 sec 去除氨氣試驗及 Wu *et al.* (2011) 利用生物滴濾床去除牛糞堆肥化之氨氣試驗時之氣體接觸時間為 9.2 – 32.5 sec。

表 1. 通過滴濾設施平均風速及通風量

Table 1. The wind speed and ventilation volume of the trickling filters before and after the installation

Power of the fan (%)	Wind speed (m/s)			Ventilation volume ¹ (m ³ /min)			GCT ² (sec)
	Before	After	Difference	Before	After	Difference	
100	3.37 ± 0.75 ³	2.72 ± 0.22	0.65	1,031 ± 233	833 ± 67	198	0.28 ± 0.02
80	3.13 ± 0.30	2.34 ± 0.17	0.79	959 ± 92	717 ± 53	242	0.32 ± 0.02
60	2.38 ± 0.23	1.72 ± 0.16	0.66	728 ± 70	528 ± 48	200	0.44 ± 0.04
40	1.66 ± 0.19	1.13 ± 0.10	0.53	509 ± 57	347 ± 30	162	0.66 ± 0.06

¹ Ventilation volume = Cross section area of the trickling filter × Wind speed.

² Gas contact time (GCT) = Volume of the trickling filter ÷ Ventilation volume.

³ Mean ± SD.

II. 滴濾設施安裝前與後豬舍內風速與通風量

密閉式豬舍裝設滴濾設施後，豬舍內平均風速均隨風扇運轉百分比降低而下降趨勢（表 2），分別降低風速 0.35、0.24、0.10 及 0.10 m/s，滴濾設施裝設前與後平均豬舍內風速分別為 1.49、1.26、0.85 及 0.57 m/s 與 1.14、1.02、0.75 及 0.47 m/s。滴濾設施裝設後豬舍內平均通風量較裝設前減少 290、195、88 及 86 m³/min，風扇以 100%、80%、60% 及 40% 運轉，滴濾設施裝設前與後之通風量分別為 1244、1049、712 及 480 m³/min 與 954、854、624 及 394 m³/min。豬舍通風設施主要為排除舍內水蒸氣、熱及空氣，畜牧要覽 (2001) 養豬篇指出當環境溫度 21.1℃ 時，風速 0.17 – 0.27 m/s 對各年齡豬隻皆為舒適等級；Barre *et al.* (1998) 指出飼養 200 頭體重 90 kg 之肉豬，室外溫度 29℃ 時通風量需 453 m³/min；Whittemore (1993) 指出風速 0.3 m/s 適合大豬生長。本試驗對密閉式豬舍安裝滴濾設施後之豬舍內風速與通風量符合上述文獻建議，密閉式豬舍安裝滴濾設施不影響豬隻生長需求。

表 2. 滴濾設施裝設前後豬舍內平均風速及通風量

Table 2. The wind speed and ventilation volume of the pig house before and after the installation of the trickling filters

Power of the fan (%)	Wind speed (m/s)			Ventilation volume ¹ (m ³ /min)		
	Before	After	Difference	Before	After	Difference
100	1.49 ± 0.29 ²	1.14 ± 0.22	0.35	1,244 ± 241	954 ± 185	290
80	1.26 ± 0.27	1.02 ± 0.19	0.24	1,049 ± 229	854 ± 155	195
60	0.85 ± 0.19	0.75 ± 0.15	0.10	712 ± 158	624 ± 129	88
40	0.57 ± 0.13	0.47 ± 0.13	0.10	480 ± 110	394 ± 107	86

¹ Ventilation volume = Cross section area of the pig house × Wind speed.

² Mean ± SD.

III. 密閉式豬舍安裝滴濾設施對空氣污染物去除效果

滴濾設施之通風系統設定運轉 100%、80%、60% 及 40% 等不同通風條件 (GCT 分別為 0.28、0.32、0.44、0.66 sec)，於滴濾設施處理前及後進行豬舍逸散之氨氣、粉塵、異味等空氣樣品採樣及分析，結果如表 3 所示，滴濾設施處理前之氨氣濃度隨通風系統運轉百分比下降而增加趨勢，異味較高亦發現於低運轉百分比時，顯示通風量較小伴隨較差之豬舍內空氣品質。豬舍通風系統設定 100% (GCT 0.28 sec) 運轉時滴濾設施對豬舍散逸之氨氣、粉塵、異味平均去除率為 64.7%、79.6%、54.2%，其中粉塵、異味濃度處理前顯著高於處理後 (P < 0.01)，處理前及處理後氨氣、粉塵、異味平均濃度分別為 1.93 ppm、0.95 mg/m³、58.2 及 0.48 ppm、0.20 mg/m³、21.3；

通風系統設定 80% (GCT 0.32 sec) 運轉時滴濾設施對豬舍散逸之氨氣、粉塵、異味平均去除率分別為 54.8%、82.3%、42.3%，處理前及處理後之氨氣、粉塵、異味平均濃度分別為 2.75 ppm、0.91 mg/m³、52.8 及 1.20 ppm、0.16 mg/m³、29.8，粉塵濃度處理前顯著高於處理後 (P < 0.01)；通風系統設定 60% (GCT 0.44 sec) 運轉時滴濾設施對豬舍散逸之氨氣、粉塵、異味有顯著處理效果 (P < 0.05)，平均去除率分別為 47.8%、80.5%、50.3%，處理前及後之氨氣、粉塵、異味平均濃度分別為 4.26 ppm、0.93 mg/m³、54.1 及 2.00 ppm、0.17 mg/m³、19.4。豬舍通風系統設定 40% (GCT 0.66 sec) 運轉時滴濾設施對氨氣、粉塵、異味平均去除率分別為 49.5%、74.5%、40.9，氨氣、粉塵、異味平均濃度分別為 5.23 ppm、0.94 mg/m³、67.6 及 2.61 ppm、0.23 mg/m³、40.9，對氨氣及粉塵濃度有顯著處理效果 (P < 0.01)。

表 3. 滴濾設施對不同通風條件豬舍散逸之空氣污染物之去除效率

Table 3. The removal efficiency of air pollutants by the trickling filters under various gas contact times

Power of the fan (Gas contact time, sec) %	Treatment	Ammonia ppm	Dust mg/m ³	Odor —
100 (0.28)	Before	1.93 ± 2.52	0.95 ± 0.24	58.2 ± 29.1
	After	0.48 ± 0.26	0.20 ± 0.16**	21.3 ± 12.1**
Removal rate (%)		64.7 ± 14.6	79.6 ± 12.3	54.2 ± 30.7
80 (0.32)	Before	2.75 ± 2.36	0.91 ± 0.29	52.8 ± 25.1
	After	1.20 ± 0.89	0.16 ± 0.08**	29.8 ± 23.8*
Removal rate (%)		54.8 ± 20.1	82.3 ± 9.94	42.3 ± 25.9
60 (0.44)	Before	4.26 ± 2.77	0.93 ± 0.39	54.1 ± 25.7
	After	2.00 ± 1.02*	0.17 ± 9.30**	19.4 ± 6.0*
Removal rate (%)		47.8 ± 15.3	80.5 ± 7.32	50.3 ± 25.8
40 (0.66)	Before	5.23 ± 2.08	0.94 ± 0.28	67.6 ± 40.3
	After	2.61 ± 1.18**	0.23 ± 0.13**	38.4 ± 27.7
Removal rate (%)		49.5 ± 10.2	74.5 ± 10.9	40.9 ± 21.1

* Means in the same column with different superscripts differ (P < 0.05).

** Means in the same column with different superscripts differ (P < 0.01).

滴濾設施處理豬舍散逸之氨氣、粉塵、異味濃度 (表 4) 處理前平均為 3.54 ppm、0.93 mg/m³、67.2 均顯著高於處理後平均為 1.57 ppm、0.19 mg/m³、34.6 (P < 0.01)，去除效率平均分別為 54.2%、79.2%、55.4%。滴濾設施對密閉式豬舍逸散之氨氣、異味處理效率較蕭等 (2012b) 以遮陽網及微霧噴霧設備所組成之空氣污染防治設施處理開放式養豬場周界之平均氨氣與異味濃度去除率分別為 52.0% 與 18.6% 為佳。滴濾設施對密閉式豬舍逸散之氨氣、異味處理結果與國外研究亦相符合如 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%。

表 4. 滴濾設施對豬舍散逸之空氣污染物之去除效果

Table 4. The removal efficiency of air pollutants emitted from the pig house by trickling filter

Treatment	Ammonia ppm	Dust mg/m ³	Odor —
Before	3.54 ± 2.70 ^a	0.93 ± 0.30 ^a	67.2 ± 23.9 ^a
After	1.57 ± 1.19 ^b	0.19 ± 0.12 ^b	34.6 ± 16.5 ^b
Removal rate (%)	54.2 ± 16.4	79.2 ± 10.4	55.4 ± 21.1

Mean ± SD.

^{a, b} Means in the same column with different superscripts differ (P < 0.01).

本試驗滴濾設施處理前之氨氣濃度平均為 3.54 ppm 與蕭等 (2012b, a) 平均氨氣濃度為 5.3 ppm (開放式養豬場周界) 及 1.73、0.68 ppm (涼、熱季密閉式風扇出口處), 及張等 (1997) 指出豬場環境內氨氣低於 5 ppm 較為類似, 國外研究對於豬舍散逸之氨氣濃度差異相當大, 介於 0.8 – 24.7 ppm 之間 (Kim *et al.*, 2008; Blunden *et al.*, 2008; Predicala *et al.*, 2001; Groot Koerkamp *et al.*, 1998)。Predicala *et al.* (2001) 指出自然通風和機械通風豬舍測得可吸入性粉塵 (inhalable dust concentration) 濃度為 2.19 mg/m³ 和 2.13 mg/m³; Takai *et al.* (1998) 指出在豬舍內測量之可吸入性粉塵量平均為 2.19 mg/m³; 而國內學者如張等 (1997) 調查豬場環境之粉塵量平均濃度介於 0.15 – 0.34 mg/m³; 蕭等 (2012a) 調查密閉式豬舍風扇出口處之平均粉塵量, 涼及熱季分別為 0.22 及 0.23 mg/m³。本試驗於滴濾設施處理前及處理後所量測得之粉塵量介於 0.16 – 0.95 mg/m³ (表 3) 均較 Predicala *et al.* (2001) 與 Takai *et al.* (1998) 之文獻為低, 與張等 (1997) 及蕭等 (2012a) 之結果類似。依據行政院勞動部 (2014) 公告之勞工作業場所容許暴露標準, 八小時日時量平均容許濃度, 總粉塵為 10 mg/m³, 氨氣為 50 ppm, 由試驗數據顯示並未超越此標準。

滴濾設施對密閉式豬舍逸散之異味濃度處理前及處理後平均分別為 58.6 及 27.5, 圖 4 為滴濾設施處理前及後之異味分佈範圍 (10 – 99.3), 與蕭等 (2012a) 之密閉式豬舍風扇出口處之平均臭氣濃度為 99.0 ± 68.7, 範圍 30 – 235 及蕭等 (2012b) 之開放式養豬場之異味 106.2 ± 29.0, 範圍 71 – 175, 顯示異味濃度變異很大。Lim *et al.* (2001) 以官能測定法評估 2 個豬場之保育舍進氣與排氣處之臭味平均分別為 18 (7 – 85) 與 199 (94 – 635) OU/m³, 而 Zhu *et al.* (2000) 在 475 頭保育豬舍風扇出口處之異味濃度為 765 OU/m³, 本試驗所得之異味值皆低於國外文獻之參考值。

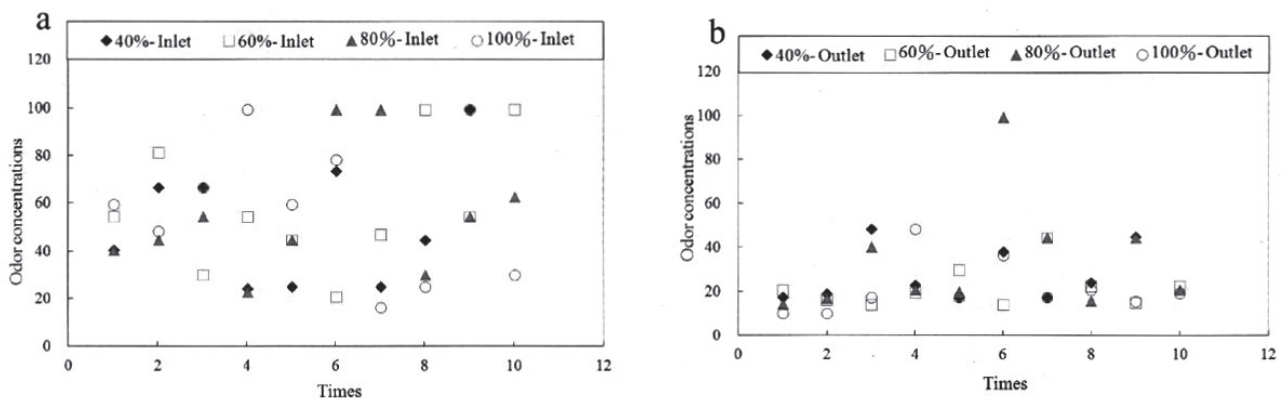


圖 4. 不同通風狀況滴濾設施處理前及後異味值。

Fig. 4. The odor values varied before and after the trickling filters under various ventilation conditions.

結 論

滴濾設施安裝於密閉式豬舍, 通風系統以 100%、80%、60% 及 40% 運轉時之豬舍內平均風速與通風量均隨風扇運轉百分比降低而下降趨勢, 但豬舍內風速與通風量可符合豬隻生長需求。密閉式豬舍安裝滴濾設施對散逸之氨氣、粉塵、異味平均去除率分別為 54.2%、79.2%、55.4%, 處理前均顯著高於處理後 ($P < 0.01$), 分別為 3.54 ppm、0.93 mg/m³、67.2 及 1.57 ppm、0.19 mg/m³、34.6, 本試驗之滴濾設施可安裝於密閉式豬舍作為豬舍空氣污染物去除之方式。

誌 謝

本試驗承蒙本所技工陳漢興先生、勞務外包技術人員金慶梅及鄭婷月小姐等協助完成, 特此致謝。

參考文獻

行政院勞動部。2014。勞工作業場所容許暴露標準。中華民國 103 年 6 月 27 日勞動部勞職授字第 10302007931 號令修正。

- 行政院環境保護署。2013。固定污染源空氣污染物排放標準。中華民國 102 年 4 月 24 日行政院環境保護署環署空字第 1020032301 號令修正。
- 畜牧要覽。2001。養豬篇。中國畜牧學會編印。pp. 293。
- 張靜文、鍾弘、黃金鳳、蘇慧貞。1997。養豬場作業環境暴露危研究。勞工安全衛生研究季刊 5(3)：1-22。
- 蕭庭訓、程梅萍。2009。空氣污染排除裝置。中華民國專利證書，新型第 M3690303 號。
- 蕭庭訓、蘇天明、郭猛德、黃裕益、程梅萍。2012a。水簾式豬舍空氣污染物之調查。畜產研究 45(2)：153-164。
- 蕭庭訓、陳水財、黃裕益、程梅萍。2012b。開放式養豬場逸散空氣污染物之去除。畜產研究 45(4)：311-322。
- Barre, H. J., L. L. Sammet and G. L. Nelson. 1988. Environmental and functional engineering of agricultural building. The AVI Book. Copyright by Van Nostrand Reinhold Company Inc. New York. U.S.A. pp. 249-263.
- 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. Atmos. Environ. 42: 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. Biosyst. Eng. 104(1): 118-124.
- Donham, K. J., P. Haglund, Y. Peterson, R. Rylander and L. Belin. 1989. Environmental and health studies of workers in Swedish swine confinement buildings. Brit. J. Ind. Med. 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. J. Occup. Med. 30: 715-720.
- Groot Koerkamp, P. W. G., J. H. M. Metz, G. H. Uenk, V. R. Philips, M. R. Holden, R. W. Sneath, J. L. Short, R. P. White, J. Hartung, J. Seedorf, M. Schröder, K. H. Linkert, S. Pedersen, H. Takai, J. O. Johnsen and C. M. Wathes. 1998. Concentrations and emissions of ammonia in livestock building in Northern Europe. J. Agric. Eng. Res. 70(1): 79-95.
- 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.
- Jiang, X., R. Yan and J. H. Tay. 2009. Simultaneous autotrophic biodegradation of H₂S and NH₃ in a biotrickling filter. Chemosphere 75: 1350-1355.
- 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. J. Environ. Manage. 88: 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.
- Lim, T. T., A. J. Heber, J. Q. Ni, D. C. Kendall and B. T. Z. 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.
- 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 emission exhaust fans of animal buildings. Transactions of the ASAE. 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.
- 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.
- 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 Biochem. 41(3): 708-715.
- Predicala, B. Z., R. G. Maghirang, S. B. Jerez, J. E. Urban and R. D. Goodband. 2001. Dust and bioaerosol concentration in two swine-finishing buildings in Kansas. Transactions of the ASAE. 44(5): 1291-1298.
- 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. Biosyst. Eng. 105(3): 279-287.

- SAS. 1988. SAS/STAT User's Guide, Release 6.03 edition. Cary, NC, U.S.A.
- Seedorf, J. 2004. An emission inventory of livestock-related bioaerosols for Lower Saxony, Germany. *Atmos. Environ.* 38: 6565-6581.
- 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. *Bioresour. Technol.* 98: 2659-2670.
- Takai, H., S. Pedersen, J. O. Johnsen, J. H. M. Metz, P. W. G. G. Koerkamp, G. H. Uenk, V. R. Phillips, M. R. Holden, R. W. Sneath and J. L. Short. 1998. Concentrations and emissions of airborne dust in livestock buildings in Northern Europe. *J. Agric. Eng. Res.* 70(1): 59-77.
- Wang, X., Y. Zhang, G. L. Riskowski and M. Ellis. 2002. Measurement and analysis of dust spatial distribution in a mechanically ventilated pig building. *Biosyst. Eng.* 81(2): 225-236.
- Wathes, C. M. 1998. Aerial emissions from poultry production1. *World Poultry Sci. J.* 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.
- Whittemore, C. 1993. The science and practice of pig production. Chapter 17. The environmental requirements of pig. Longman group UK Ltd.
- Wu, C. F., Q. H. Wang, X. H. Sun, N. T. Xue, S. Liu and W. M. Xie. 2011. Effect of aeration modes on the characteristics of composting emissions and the NH₃ removal efficiency by using biotrickling filter. *Waste Manage.* 31(8): 1702-1710.
- 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. *Bioresour. Technol.* 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. In Agric.* 16(2): 153-158.

Removal of ammonia, dust and odor from a closed type swine house by trickling filters ⁽¹⁾

Ting-Hsun Hsiao ⁽²⁾ Tein-Ming Su ⁽²⁾ Shui-Tsai Chen ⁽³⁾ Yu-I Huang ⁽⁴⁾
Chau-Yang Li ⁽⁵⁾ and Mei-Ping Cheng ⁽²⁾⁽⁶⁾

Received: Aug. 7, 2014; Accepted: Dec. 22, 2014

Abstract

A trickling-filter system was installed in a closed type swine house. When the ventilation system were set at 100%, 80%, 60% and 40% operation, the air speeds were reduced 0.65, 0.79, 0.66, 0.53 m/s and the wind amounts were reduced 198, 242, 200 and 162 m³/min, respectively, when compared to those before setting up the trickling filters. When the ventilation system was set at 100%, 80%, 60% or 40% operation, the empty bed retention time was 0.28, 0.32, 0.44 or 0.66 seconds, respectively. The average removal rates for the ammonia, dust and odor emitted from swine house were 54.2%, 79.2% and 55.4%, respectively. The ammonia, dust and odor concentrations of treated exhausted gas were 1.57 ppm, 0.14 mg/m³, 34.6, respectively, which were significantly lower than those of untreated gas ($P < 0.01$) as 3.54 ppm, 0.93 mg/m³, 67.2, respectively. The trickling filters could be installed in the closed type swine house for air pollutants removal.

Key words: Trickling filter, Ammonia, Dust, Odor.

(1) Contribution No. 2181 from Livestock Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan.

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

(3) Livestock technical service, COA-LRI, Hsinhua, Tainan, Taiwan, R.O.C.

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

(5) Agritek industries Corporation. Xindian, New Taipei City, Taiwan, R.O.C.

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