

微霧處理豬舍逸散之空氣污染物

蕭庭訓¹，程梅萍¹，黃裕益²

¹行政院農業委員會畜產試驗所經營組

²國立中興大學生物產業機電工程學系

摘要

本試驗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，架於密閉式豬舍風扇出口處，該設施之結構強度經分析可耐 30 m/s 強風。於該空氣污染防治設施內進行有無噴霧處理對密閉式豬舍逸散之氨氣、三甲基胺、粉塵及異味處理效果，結果顯示豬舍風扇後量測之氨氣濃度以噴霧處理平均為 1.19 ± 0.92 ppm 顯著低於無噴霧處理平均為 3.75 ± 2.31 ppm ($P < 0.05$)，去除率 68%；三甲基胺濃度經噴霧處理之濃度為 1.38 ± 0.99 ppm 較無噴霧處理 2.55 ± 1.50 ppm 為低，去除率 46%；粉塵量以噴霧處理顯著高於無噴霧處理 ($P < 0.05$)，平均為 0.55 ± 0.07 mg/m³、 0.21 ± 0.14 mg/m³；異味無噴霧處理及噴霧處理平均分別為 60.2 ± 48.5 及 49.7 ± 7.0 OU/m³。試驗結果顯示微霧處理可降低密閉式豬舍風扇端之空氣污染物濃度。

關鍵詞：密閉式豬舍、空氣污染物、微霧、逸散

1. 緒論

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，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。

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（Szánt

ó 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、活性炭、矽藻土等裝填 (Pedersen and Arvin, 1995; Weber and Hartmans, 1996)。

鑒於密閉式豬舍有固定之排氣場所，本試驗利用類似生物洗滌器或生物滴濾方式，由遮陽網及微粒微霧設備所組成之空氣污染防治設施，安裝於密閉式豬舍風扇出口處，探討對密閉式豬舍逸散之空氣污染物去除效果，作為推動養豬場空氣污染防制之參考依據。

2. 實驗設備與方法

2.1 試驗豬舍

水簾式試驗豬舍，長 26.2 m，寬 5.8 m，豬舍內左右側各 6 欄，計 12 欄，每欄面積 8.3 m²，其中 1 欄設磅秤設施，豬舍兩側安裝氣窗可自動或手動控制開閉。床面採用抗蝕鍍鋅金屬條狀床面。其他控制尚包括環境溫溼度控制系統、水簾通風系統 (含蜂巢水簾片及變速風扇與控制系統)、糞尿溝沖水系統、自動餵飼設施等。飼養肉豬 78 頭，試驗期間肉豬體重約為 90~120 kg，高床下之糞尿溝每日沖水 1 次。

2.2 空氣污染防治設施

空氣污染防治設施由遮陽網搭配高壓微霧設備組裝而成，架設於豬舍風扇出口處，該設施長約 12 m、高 4.8 m、寬 5.8 m (圖 1)，主要結構包括直徑 75 mm 鉅管支柱、I 形鋼橫樑，上方遮陽網固定於鉅管，兩側遮陽網分成上下層，分別以人工捲軸式開閉，後方遮陽網

分成上下層以繩索滑輪開閉，微霧設施包括三相 3 馬力之高壓噴霧機及 3 組微霧器，每組長度 400 cm 安裝 20 個微霧頭，總計 60 個噴霧頭。

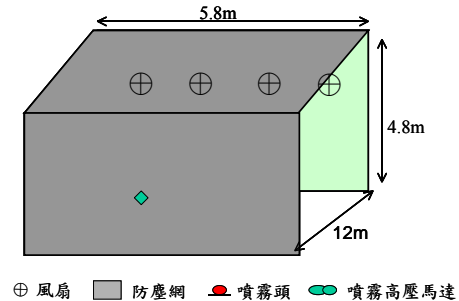


圖 1 空氣污染物去除裝置

2.3 設施結構強度分析

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。

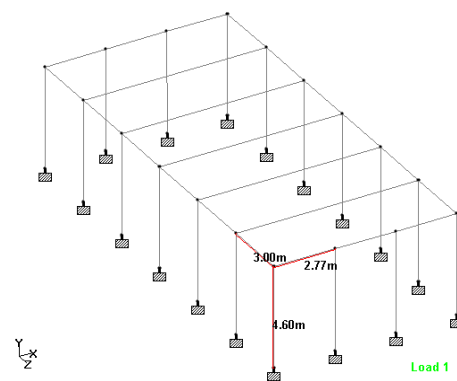


圖 2. 空氣污染防治設施結構及支承位置圖

2.4 空氣污染物分析方法分述如下：

(i) 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 之濾紙採樣, 採樣後將濾紙置於培養基攜回實驗室分析 (Wang et al., 2002)。

(ii) 氨氣、三甲基胺採用北川式氣體檢知器測定。

(iii) 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)。

(iv) 資料分析: 試驗所得之氨氣、三甲基胺、粉塵量及異味等資料, 利用統計分析系統 (Statistical Analysis System; SAS), 以非成對 t 檢定空氣污染防治設施有無處理差異性 ($\alpha=0.05$)。

3. 結果與討論

3.1 空氣污染防治設施結構強度分析

結構強度分析執执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) 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。

本研究之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近 10 年來之最大風速 30 m/s 後, 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。

3.2 微霧處理豬舍逸散空氣污染物

本試驗於空氣污染防治設施內進行有無微霧處理對密閉式豬舍風扇出口處之空氣污染物去除效果。啟動微霧後 20 分鐘開始採樣視為微霧組, 未啟動微霧為無微霧組。空氣樣品分析氨氣、三甲基胺、粉塵量及異味等。試驗期間該豬舍飼養肉豬 78 頭, 體重介於 90~120 kg。試驗結果如表 1, 微霧處理後之氨氣濃度平均為 1.19 ± 0.92 ppm, 其範圍介於 0~2.5 ppm 之間, 顯著低於微霧處理前 ($P < 0.05$), 平均為 3.75 ± 2.31 ppm, 其範圍介於 1.0~9.0 ppm 之間, 顯示氨氣可藉由微霧處理降低其濃度; 三甲基胺經微霧處理後之濃度為 1.38 ± 0.99 ppm 較無微霧處理 2.55 ± 1.50 ppm 為低; 粉塵量則以微霧處理平均為 0.55 ± 0.07 mg/m^3 顯著高於無微霧處理 0.21 ± 0.14 mg/m^3 ($P < 0.05$), 表示粉塵與微霧水滴結合致使採集之粉塵量增加。異味檢測在無微霧處理及微霧處理間無顯著性差異, 平均分別為 60.2 ± 48.5 及 49.7 ± 7.0 OU/m^3 。

本研究量測之無微霧處理之氨氣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低於 5 ppm, 與 Kim et al. (2008) 指出豬舍逸散之氨氣濃度平均為 7.5 (0.8~21.4) ppm。Blunden et al. (2008) 亦指出夏、秋季養豬場之氨氣濃度平均為 2.0 (0.48~5.41)、3.51 (2.68~6.26) ppm。本研究之處理前異味濃度平均 60.2 (20.9~144.5) OU/m^3 較 Lim et al. (2001) 與 Zhu et al. (2000) 測量密閉式豬舍排氣之異味平均分別為 199 (94~635) OU/m^3 與 765 OU/m^3 為低, 可能與飼養規模有

關。本研究之粉塵濃度介於 $0.06\sim 0.60\text{ mg/m}^3$ 之間與 Haeussermann et al. (2008) 量測肥育豬舍內及風扇出口處之總粉塵量為 0.35 及 0.31 mg/m^3 及張等 (1997) 調查開放式豬場環境之總粉塵平均濃度介於 $0.15\sim 0.34\text{ mg/m}^3$ 相吻合。

國內外少有以微霧處理養豬場逸散之空氣污染物報告，故利用洗滌塔去除密閉式養豬豬設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 $37\%\sim 53\%$ ；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 $40\%\sim 100\%$ ，平均為 96% ；生物洗滌塔對氨氣去除範圍為 $-8\%\sim 100\%$ ，平均為 70% 。本試驗利用微霧處理對氨氣及異味平均去除率分別為 68% 及 17% 與上述文獻有部分相似之處。

4. 結論

- (1)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進 10 年來之最大風速 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。
- (2)豬舍逸散之氨氣及三甲基胺經微霧處理平均為 1.19 及 1.38 ppm 較無微霧處理平均為 3.75 及 2.55 ppm 為低，粉塵量以微霧處理平均為 0.55 mg/m^3 顯著高於無微霧處理平均為 0.21 mg/m^3 ，顯示空氣污染防治設施內微霧處理對豬舍逸散之氨氣、三甲基胺有去除效果，且促使粉塵與微霧結合使採集之粉塵量增加，可降低豬場周圍之粉塵量。

誌謝

本試驗承蒙本組技工陳漢興先生、勞務外包技術工楊秀治小姐等協助完成，特此致謝。

參考文獻

1. 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。
2. 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。
3. 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.
4. 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.
5. Donham, K. J., P. Haglund, 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.
6. 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: 715-720.
7. Haeussermann A., A. Costa, J. M. Aerts, E. Hartung, T. Jungbluth, M. Guarino and D. Berckmans. 2008. Development of a dynamic model to predict PM_{10} emissions from swine houses. *Journal of Environmental Quality* 37(2): 557-564.

8. 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.
9. 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
10. 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.
11. Lim, T. T., A. J. Heber, J. Q. Ni, D. C. Kendall and B. T. 2004. Effects of manure removal strategies on odor and gas emissions from swine finishing. *Transactions of the ASAE*. 47(6): 2041–2050.
12. 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.
13. Maghirang, R. G. and M. C. Puma. 1996. Airborne and settled dust levels in a swine house. *ASHRAE Trans*. 9(1): 126–130.
14. 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.
15. Pedersen, A. R. and E. Arvin. 1995. Removal of toluene in waste gases using a biological trickling filter. *Biodegradation* 6: 109–118.
16. Potivichayanon, S., P. Pokethitiyook and M. Kruatrachue. 2006. Hydrogen sulfide removal by a novel fixed-film bioscrubber system. *Process Biochemistry* 41(3): 708–715.
17. 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.
18. Seedorf, J. 2004. An emission inventory of livestock-related bioaerosols for Lower Saxony, Germany. *Atmospheric Environment* 38: 6565–6581.
19. 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.
20. Wang, X., Y. Zhang, G. L. Riskowski and M. Ellis. 2002. Measurement and Analysis of Dust Spatial Distribution in a Mechanically Ventilated Pig Building. *Biosystems Engineering* 81(2): 225–236.
21. 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.
22. 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.
23. 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.

表 1. 密閉式豬舍風扇出口處之空氣污染物經微霧處理之濃度

Item (unit)	Treatment	N	Concentration	Range
Ammonia (ppm) *	none	25	3.75 ± 2.31	1.0~9.0
	mist	20	1.19 ± 0.92	0~2.5
Trimethylamine (ppm) *	none	25	2.55 ± 1.50	1.0~5.5
	mist	20	1.38 ± 0.99	0~3.0
Dust (mg/m ³) *	none	12	0.21 ± 0.14	0.03~0.57
	mist	10	0.52 ± 0.07	0.45~0.60
Odor (OU/m ³)	none	5	60.2 ± 48.5	20.9~145
	mist	3	49.7 ± 7.00	44.7~54.6

* Means the concentrations none and mist treatment differed significantly (P < 0.05).