

滴濾設施去除堆肥舍之氨氣及異味⁽¹⁾

蕭庭訓⁽²⁾ 蘇天明⁽²⁾ 陳水財⁽³⁾ 黃裕益⁽⁴⁾ 程梅萍⁽²⁾⁽⁵⁾

收件日期：101 年 3 月 12 日；接受日期：102 年 5 月 20 日

摘 要

本試驗利用添加銨氧化菌組（滴濾 A 組）與調控 pH 組（滴濾 B 組）之滴濾設施，在 11、15 及 23 秒氣體接觸時間（gas contact time, GCT）條件下，處理白肉雞墊料堆肥化過程產生之氨氣及異味。結果顯示堆肥溫度上升達 65℃ 以上且可以維持 3 天，且產生高氨氣與異味濃度，氨氣與異味濃度在翻堆後隨堆積天數呈現下降趨勢。滴濾 A 組在 GCT 15、23 秒操作條件下獲得較高之氨氣去除效率，分別為 94.8%、93.6%；異味去除效率為 50.6% – 75.6%，不同 GCT 條件下並無顯著差異。滴濾 B 組之氨氣去除效率在 GCT 11、15、23 秒條件下無顯著差異；而控制 pH 為 6 時，氨氣去除效率 95.5%，顯著較 pH 為 7 (84.9%) 及 8 (74.6%) 為佳；異味去除效率為 50.4% – 77.0%，在不同 GCT 及 pH 控制之操作條件皆無顯著差異。根據以上結果，對於雞糞墊料堆肥化散逸之氨氣與異味去除，建議以添加銨氧化菌之滴濾設施控制 GCT 在 15 秒以上或調控 pH 之滴濾設施控制 pH 為 6。

關鍵字：白肉雞墊料、堆肥化、氨氣、異味。

緒 言

肉雞舍床面鋪設墊料可達到兼顧動物福利，並吸附飼養過程雞隻排泄物、飲水溢漏等雙重目標 (Collett, 2012)。Bernhart *et al.* (2010) 指出肉雞墊料 (litter) 為累積排泄物、羽毛、廢棄飼料與鋪設材質之混合物，含氮、磷、鉀及其他微量礦物質，非常適合植物生長之營養源。禽畜糞含未消化飼料、腸道細胞、微生物等含氮有機物 (Higgins *et al.*, 2006; 2008)，堆肥化是禽畜糞最普遍的再利用方式。然而，堆肥化過程會產生惡臭之污染問題，若未經處理將嚴重影響鄰近住家的生活品質。Chung (2007) 指出堆肥化過程產生之氣體混合物超過 100 種，如氨氣、硫化物、揮發性脂肪酸等，其中氨氣逸散經常發生於基質好氧分解且適溫階段 (Liang *et al.*, 2006)，亦為堆肥化過程產生之空氣污染物中最具代表性者 (Pagans *et al.*, 2005)。禽畜糞堆肥化過程之翻堆管理、溫度變化與通氣量，將影響空氣污染物濃度如氨氣、硫化氫及異味等。

畜糞堆肥化過程產生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。生物濾床所填充之濾材有松樹皮與沸石 (Luo and Lindsey, 2006)、木屑 (Colón *et al.*, 2009)、牛糞與廢棄稻穀及椰子纖維 (Hong and Park, 2005) 及生活垃圾與禽畜糞混合物 (Pagans *et al.*, 2007) 等，皆可用來處理高濃度氨氣。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 1892 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：mpcheng@mail.tlri.gov.tw。

畜禽設施散逸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，故防治畜禽設施的空污問題，如氨氣及令人厭惡的異味，為目前急需解決的問題。本試驗利用塑膠材料作為生物滴濾床填充基質，設計反應器及集水槽，操作時將水自集水槽不斷的淋洗濾材使保持濕潤，運轉一段時間後反應器內之濾材會長出生物膜，空氣污染物經由液相吸收（吸附）或生物膜捕捉分解，探討生物滴濾設施對堆肥化過程產生之空氣污染物去除效果，以提供畜牧場附設堆肥場空氣污染物防制之參考。

材料與方法

I. 試驗設備

(i) 試驗堆肥舍

堆肥舍（圖 1）長 3.1 m、寬 1.8 m、高 2.5 m，三側以 PVC 板封閉，進料端以帆布起降密封作為試驗堆肥舍，堆肥舍地面設三個凹槽（長 140 cm、寬 14 cm、深 12 cm）置放直徑 8 cm 之 PVC 管，連接 0.5 馬力之鼓風機，以每小時起動 3 min 之設定運轉送風。堆肥舍內上方（離地面高 180 cm 處）設直徑 25 cm 之 PVC 管連結滴濾設施。

(ii) 滴濾設施

規劃滴濾設施（圖 1）2 組，以直徑 25 cm 之 PVC 管與堆肥舍連結。滴濾設施由容積為 1 m³ 反應區（長 107 × 寬 90 × 高 110 cm）及 0.5 m³ 之貯水桶組成，貯水桶內設置 1 馬力之抽水馬達將水送至內設 4 層塑膠網狀填充物之反應區上方往下淋洗。貯水桶進水管及滴濾設施進水管設水表記錄水量，分別評估清水補充量及循環用水量。2 組滴濾設施區分為添加銨氧化菌組（滴濾 A 組，白肉雞墊料移入堆肥舍後隨即進行銨氧化菌馴養）及 pH 控制組（滴濾 B 組），添加 40% 鹼液或鹽酸於洗滌水調控 pH 為 6、7、8。

2 組滴濾設施均以無段式風扇及環境控制系統（Fancor Inc., Netherlands）調控風扇運轉百分比，分別設定 3 種氣體接觸時間（gas contact time, GCT）操作條件下，進行去除效率試驗。



圖 1. 堆肥舍（左）與滴濾設施（右）示意圖。

Fig. 1. Scheme of the composting and biotrickling filter.

II. 滴濾設施洗滌水及空氣樣品採樣與分析

(i) 滴濾設施洗滌水分析

試驗期間分析滴濾設施洗滌水之 NH_4^+-N 、 NO_3^--N 、TKN、 NO_2^--N 及 TN，分析方法分別以環保署公告之 W437.52C、W417.51A、W438.50C、W418.51C 及 W423.52C 分析。

(ii) 氨氣及異味等空氣污染物採樣分析

白肉雞墊料堆肥化過程中於第 1 次翻堆後，連續 3 天進行氨氣及異味採樣分析，氨氣採樣點分別於 2 組滴濾設施進氣及出口端；異味採樣點於堆肥舍內離地面高 180 cm 處以矽膠管連結定量幫浦採集空氣樣品，採樣後以三點比較式嗅袋法測定（NIEA A201.13A）。氨氣則以稀硫酸溶液

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）作為催化劑以加速呈色，而後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)。

III. 統計分析

滴濾設施處理白肉雞墊料堆肥化逸散之氨氣及異味資料，利用統計分析系統 (Statistical Analysis System; SAS)，進行統計分析，以一般線性模式程序 (General Linear Model procedure; GLM) 進行變方分析，最小顯著差異性測驗 (LSD, $P = 0.05$) 比較堆肥翻堆後第 1、2、3 天採樣、GCT 及 pH (滴濾 B 組) 之差異顯著性。

結果與討論

I. 白肉雞墊料堆肥化之溫度變化

本試驗利用白肉雞飼養場之雞糞墊料經磅重 (1,270 kg) 及調整水分 (添加水 500 L) 後進行堆肥化試驗。雞糞墊料堆肥化過程中記錄堆肥溫度如圖 2，雞糞墊料堆肥化第 2–5 天溫度維持 65°C 以上，自第 6 天起逐日緩降至第 22 天為 47°C，翻堆 (第 22 天) 後隔天溫度上升至 67 及 65.5°C (第 23 及 24 天)，隨即逐日緩降至第 36 天為 41.5°C，進行第 2 度翻堆，溫度上升至 56 及 51°C (第 38 及 39 天)，堆肥溫度逐日緩降至第 49 天為 34°C，第 3 次翻堆 (第 49 天) 後之最高溫度僅達 36°C (第 51 及 52 天)。由堆肥化過程之溫度變化 (圖 2) 顯示雞糞墊料堆肥初次堆積後維持較長期的高溫 (4 天及 65°C)，第 1 次翻堆後溫度會再上升達 65°C，但僅維持 2 天隨即下降，第 2 次翻堆後之溫度僅達 56°C 隨即逐日緩降。Hanajima *et al.* (2010) 研究豬糞堆肥化結果顯示，在堆積後、第 1 及 2 次翻堆後，1–2 天內溫度達 70°C 隨即下降，第 3 次翻堆後，溫度僅達 50°C，與本試驗堆肥化過程之溫度變化非常類似。Pagans *et al.* (2006) 則指出堆肥化溫度介於 45–70°C 間，可促進有機物分解、穩定、礦化，產生 CO₂ 及水蒸氣並消滅病原菌及雜草種子等。

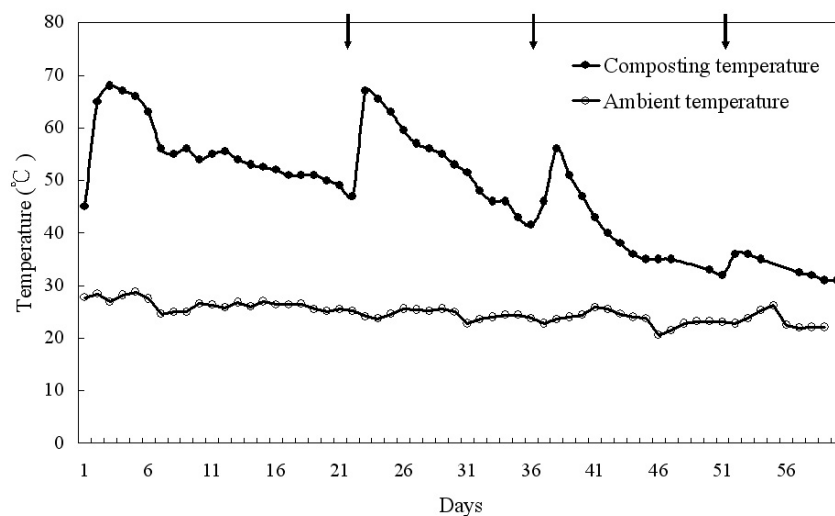


圖 2. 雞糞墊料堆肥化過程之溫度變化 (標示箭頭處為翻堆日)。

Fig. 2. Temperatures change during the composting process (Arrows indicate the day of turning compost mass).

II. 滴濾設施操作條件與氣體接觸時間估算

(i) 滴濾設施操作條件

滴濾 A 組所添加之銨氧化菌，先於實驗室進行培養 3 個月後接種於滴濾設施之貯水槽馴養 3 週 (堆肥化產生之氨氣為營養源)。滴濾設施係利用抽水、淋洗、集水等步驟自貯水槽不斷的淋洗濾材使保持濕潤，使反應器內之濾材附著生物膜，每日紀錄 pH 及補水量 (蒸發量)。滴濾 B 組之

貯水桶裝填自來水，其操作方式同滴濾 A 組。2 組之填充物均為塑膠網狀材質、孔隙率為 94.6%、填充容積 1.06 m³，操作期間滴濾 A 與滴濾 B 組平均每日循環水量及蒸發量分別為 118 m³ 及 24.2 L 與 119 m³ 及 26.4 L。

(ii) 滴濾設施氣體接觸時間估算

滴濾 A 組及滴濾 B 組之通風系統均由無段式風扇及環境控制系統 (Fancom Inc., Netherlands) 組成並利用環境調控系統控制風扇運轉百分比控制不同之通風量。滴濾設施內之風速值則於直徑 25 cm 之 PVC 管內以風速計量測，並藉以計算風扇不同運轉百分比 (45%、60% 及 75%) 之通風量及氣體接觸時間 (GCT)。表 1. 為風扇不同運轉百分比時，通過滴濾設施平均風速、通風量及 GCT，當環境控制系統風扇運轉百分比為 45% 時，滴濾 A 與滴濾 B 組之平均風速、通風量及 GCT 分別為 0.96 m/sec、2.83 m³/min 及 22.6 秒與 0.97 m/sec、2.85 m³/min 及 22.5 秒；風扇運轉百分比為 60% 時，滴濾 A 與滴濾 B 組之平均風速、通風量及 GCT 分別為 1.44 m/sec、4.25 m³/min 及 15.0 秒與 1.45 m/sec、4.25 m³/min 及 15.0 秒；風扇運轉百分比為 75% 時，滴濾 A 與滴濾 B 組之平均風速、通風量及 GCT 分別為 2.01 m/sec、5.92 m³/min 及 10.8 秒與 2.03 m/sec、5.98 m³/min 及 10.7 秒，在環境控制系統調控風扇運轉百分比為 45%、60% 及 75% 時，滴濾 A 與滴濾 B 組 2 組間之平均風速、通風量及 GCT 均無顯著差異。

表 1. 滴濾設施氣體接觸時間估算

Table 1. Estimation of gas contact time in the trickling filter

Power of the fan (%)	Treatment	Wind speed (m/s)	Ventilation volume ¹ (m ³ /min)	GCT ² (seconds)
45	Filter A	0.96 ± 0.08	2.83 ± 0.24	22.6 ± 1.88
	Filter B	0.97 ± 0.08	2.85 ± 0.24	22.5 ± 1.87
60	Filter A	1.44 ± 0.09	4.25 ± 0.27	15.0 ± 0.94
	Filter B	1.45 ± 0.10	4.25 ± 0.30	15.0 ± 1.07
75	Filter A	2.01 ± 0.09	5.92 ± 0.25	10.8 ± 0.47
	Filter B	2.03 ± 0.10	5.98 ± 0.30	10.7 ± 0.53

¹ Ventilation volume = cross section area of the trickling filter × wind speed.

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

III. 滴濾設施去除堆肥化之氨氣及異味效率

(i) 進氣中氨氣及異味濃度變化

滴濾 A 與 B 組進氣 (Inlet) 中之氨氣及異味濃度分別列於表 2 與表 3。滴濾 A 組氨氣濃度於翻堆後 1 天為 459 – 948 ppmv 之間，第 2 天為 245 – 532 ppmv 之間，第 3 天為 207 – 331 ppmv 之間，隨堆積日數呈現下降趨勢；且 GCT 少，即通風量大者，進氣中之氨氣濃度低。堆肥翻堆後第 1、2 及 3 天之異味濃度介於 130 – 997 OU/m³ 之間，亦隨堆積日數呈現下降趨勢 (表 2)。滴濾 B 組進氣氨氣及異味濃度與 A 組相似 (表 3)。此外，滴濾 A 組在不調整洗滌水 pH 的操作條件下，由微生物進行氨吸收及硝化等反應，pH 變化為 7.43 – 7.68 之間 (表 2)。

(ii) 滴濾 A 組氨氣及異味去除效率

滴濾 A 組於翻堆後第 1、2 及 3 天在不同 GCT 下處理後 (Outlet) 之氨氣濃度介於 5.12 – 87.9 ppmv 之間 (表 2)，經處理之異味濃度為 55 – 309 OU/m³ 之間，皆較進氣之氨氣與異味為低，顯示滴濾 A 組在各操作條件下對氨氣與異味皆有去除效果。

經統計分析，滴濾 A 組 (表 4) 進氣氨氣濃度在翻堆後第 1、2 及 3 天呈現下降趨勢 ($P < 0.05$)，亦即翻堆後隨堆積日數而降低，於進氣平均濃度分別為 782、404 及 270 ppmv，經處理後氨氣濃度在翻堆後第 1、2、3 天間無差異，分別為 22.9、34.9、30.6 ppmv，但去除效率第 1 天 (96.9%) 顯著優於第 2 及 3 天 (90.4% 及 88.1%)；在不同 GCT 條件下，進氣中之氨氣濃度以 GCT 11 秒低於

23、15 秒之操作條件 ($P < 0.05$)，處理後之氨氣濃度則以 GCT 15 秒較 11 秒為低，因此氨氣去除效率以 GCT 23 秒、15 秒較 11 秒高 ($P < 0.05$)。

肉雞墊料堆肥化之異味濃度在翻堆後第 1、2 及 3 天分別為 733、653 及 179 OU/m³ (表 4)，以翻堆後第 3 天顯著低於翻堆後第 1、2 天 ($P < 0.05$)，處理後之異味濃度在翻堆後第 1、2 及 3 天介於 94.7 – 213 OU/m³ 之間，去除效率介於 50.4% – 73.6%，無顯著差異；不同 GCT 操作條件下均無顯著差異，去除效率介於 50.6% – 75.6%。

表 2. 滴濾 A 組處理前後之堆肥舍排氣中氨氣及異味濃度

Table 2. The ammonia and odor concentration of exhausted gas from composting process before and after the treatment of trickling filter A

After running	GCT	pH	Ammonia concentration		Odor concentration	
			Inlet	Outlet	Inlet	Outlet
	(s)	(-)	(ppmv)		(OU/m ³)	
1 st d	23	7.51 – 7.58	868 – 947 (902) ¹	19.5 – 28.3 (23.4)	733	309
	15	7.54 – 7.64	656 – 948 (840)	5.12 – 28.4 (20.3)	733	174
	11	7.46 – 7.58	459 – 743 (604)	17.7 – 31.5 (24.9)	733	98
2 nd d	23	7.53 – 7.64	424 – 532 (475)	13.2 – 50.1 (26.0)	997	309
	15	7.53 – 7.59	416 – 454 (440)	16.3 – 29.7 (23.8)	550	98
	11	7.43 – 7.54	245 – 389 (295)	18.8 – 87.9 (54.8)	412	232
3 rd d	23	7.57 – 7.68	278 – 285 (281)	25.4 – 35.1 (31.3)	232	174
	15	7.43 – 7.59	275 – 331 (310)	18.2 – 27.3 (23.8)	174	55
	11	7.61 – 7.68	207 – 230 (219)	34.0 – 38.6 (36.7)	130	55

¹ Min-Max (average).

表 3. 滴濾 B 組處理前後之堆肥舍排氣中氨氣及異味濃度

Table 3. The ammonia and odor concentration of exhausted gas from composting process before and after the treatment of trickling filter B

After running	GCT	pH	Ammonia concentration		Odor concentration	
			Inlet	Outlet	Inlet	Outlet
	(s)	(-)	(ppmv)		(OU/m ³)	
1 st d	23	8	870 – 1059 (952) ¹	196 – 314 (236)	733	309
	15	8	649 – 969 (788)	165 – 231 (197)	733	412
	11	8	440 – 757 (609)	120 – 175 (153)	733	232
2 nd d	23	7	317 – 576 (471)	27.7 – 101 (66.8)	997	412
	15	7	376 – 500 (435)	21.1 – 48.5 (38.6)	550	55
	11	7	214 – 303 (272)	25.9 – 77.0 (51.3)	412	73
3 rd d	23	6	332 – 387 (362)	9.72 – 11.7 (11.0)	232	174
	15	6	223 – 492 (319)	11.8 – 21.2 (16.7)	174	55
	11	6	226 – 274 (243)	10.8 – 14.2 (12.7)	130	55

¹ Min-Max (average).

(iii) 滴濾 B 組氨氣及異味去除效率

滴濾 B 組處理後之氨氣濃度，以 pH 為 6 最佳 (10.8 – 21.2 ppmv)，pH 為 7 與 8 時分別為 21.1–101 ppmv 與 120 – 314 ppmv，異味濃度則為 55 – 412 OU/m³ 之間 (表 3)。處理後之氨氣與異味濃度皆較進氣中之濃度為低，顯示滴濾 B 組在各操作條件下對氨氣與異味皆有去除效果。但在相同 pH、不同的 GCT 操作下，氨氣與異味濃度去除效率差異不大，以 pH 為 8 為例，GCT 在 23、15、11 秒時平均氨氣去除效率分別為 75.2%、75.0%、74.9%。推論在滴濾 B 組 GCT 在 11 秒以上時，氨氣去除效率主要決定於 pH 值。

經統計分析，由表 5 顯示滴濾 B 組處理後之氨氣濃度及去除效率，pH 為 6、7、8 間具顯著差異 ($P < 0.05$)。處理後之氨氣濃度及去除效率均以 pH 控制為 6 (13.5 ppmv 及 95.5%) 較 pH 為 7 (52.3 ppmv 及 84.9%) 或 8 (195 ppmv 及 74.6%) 為佳。處理後異味濃度為 94.7 – 318 OU/m³ 之間，去除效率介於 50.4% – 77.0%，無顯著差異。

表 4. 滴濾 A 組在不同採樣日期及氣體停留時間之氨氣及異味去除效率

Table 4. The ammonia and odor removal efficiency of trickling filter A at different days and different gas contact times

		Ammonia concentration			Odor concentration		
		Inlet	Outlet	RE ¹	Inlet	Outlet	RE
		(ppmv)		(%)	(OU/m ³)		(%)
After running	1 st d	782 ^a ± 174	22.9 ^a ± 8.03	96.9 ^a ± 1.32	733 ^a ± 0	194 ^a ± 107	73.6 ^a ± 14.6
	2 nd d	404 ^b ± 96.4	34.9 ^a ± 25.4	90.4 ^b ± 8.03	653 ^a ± 306	213 ^a ± 107	65.0 ^a ± 19.6
	3 rd d	270 ^c ± 44.0	30.6 ^a ± 6.77	88.1 ^b ± 4.19	179 ^b ± 51.2	94.7 ^a ± 68.7	50.4 ^a ± 22.6
GCT (s)	23	553 ^a ± 277	26.9 ^{ab} ± 11.5	93.6 ^a ± 4.48	654 ^a ± 389	264 ^a ± 77.9	50.6 ^a ± 22.9
	15	530 ^a ± 253	22.6 ^b ± 8.01	94.8 ^a ± 2.54	486 ^a ± 285	109 ^a ± 60.3	75.6 ^a ± 6.92
	11	373 ^b ± 195	38.8 ^a ± 22.0	87.0 ^b ± 8.04	425 ^a ± 302	128 ^a ± 92.3	62.7 ^a ± 21.9

¹ Removal efficiency.

^{a, b, c} Means in the same column with the different superscript differed significantly ($P < 0.05$).

表 5. 滴濾 B 組在不同 pH 操作條件下氨氣及異味去除效率

Table 5. The ammonia and odor removal efficiency of trickling filter B at different pH

pH	Ammonia concentration			Odor concentration		
	Inlet	Outlet	RE ¹	Inlet	Outlet	RE
	(ppmv)		(%)	OU/m ³		(%)
6	308 ^b ± 57.1	13.5 ^c ± 3.62	95.5 ^a ± 1.32	179 ^b ± 51.2	94.7 ^a ± 68.7	50.4 ^a ± 22.6
7	393 ^b ± 121	52.3 ^b ± 26.7	84.9 ^b ± 9.74	653 ^a ± 306	180 ^a ± 201	77.0 ^a ± 16.3
8	783 ^a ± 194	195 ^a ± 54.2	74.6 ^c ± 5.48	733 ^a ± 0	318 ^a ± 90.3	56.7 ^a ± 12.3

¹ Removal efficiency.

^{a, b, c} Means in the same column with the different superscript differed significantly ($P < 0.05$).

本試驗利用肉雞墊料堆肥化之堆肥溫度 (圖 2)、氨氣與異味 (表 4) 濃度在第一次翻堆後第 1、2 天達最高點，與一些文獻相符，如 Pagans *et al.* (2006) 認為堆肥化溫度直接影響氨氣濃度，Hanajima *et al.* (2010) 之研究指出豬糞堆肥翻堆 1 – 2 天後，量測之氨氣與含硫化合物濃度最高，與堆肥化溫度有正相關，且伴隨異味濃度超過 1,000 OU/m³，Shen *et al.* (2011) 與 Higgins *et al.* (2008) 指出因堆肥中含氮有機物氨化作用，高氨氣濃度出現在堆肥化 1 – 3 天溫度升高時段，之後，氨氣濃度隨堆肥化溫度下降而下降。

滴濾 A 組及 B 組對於氨氣與異味之去除效果分別為 87% – 96.9% 與 50.4% – 75.6% (表 4) 及 74.6% – 95.5% 與 50.4% – 77.0% (表 5)，與 Ogawa *et al.* (2011) 利用洗滌器處理肥育豬舍散逸之氨氣，在氣體流速 1.27 – 3.09 m/s 及 pH < 7.5 之操作條件下去除氨氣效率為 55% – 95% 及 Jiang *et al.* (2009) 利用生物滴濾床 GCT 4 – 20 秒對氨氣去除效率達 98% (進流氨氣濃度 20 – 100 ppmv) 及 Wu *et al.* (2011) 利用生物滴濾床牛糞堆肥化之氨氣在 GCT 9.2 – 32.5 秒下去除氨氣達 99% (進流氨氣濃度 9.8 – 42.5 ppmv) 及 Melse and Ogink (2005)、Melse and Mol (2004) 於養豬場、養牛場及肉雞場以酸性洗滌器及生物滴濾法去除氨氣效率分別為 40% – 100% 及 0% – 100%，有類似結果。相較 Manuzon *et al.* (2007) 利用酸性 (pH < 2) 洗滌器處理畜舍風扇端之氨氣，在 GCT 0.2 – 0.4 秒之操作條件下去除氨氣 63% – 98%，本試驗之滴濾 B 組具較佳之安全性與類似之去除效率 (pH 為 6 時 95.5%) (表 5)。

(iv) 滴濾設施洗滌液理化性狀分析

表 6 為滴濾設施洗滌液之理化性狀，滴濾 A 組及 B 組洗滌液之 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 、TKN 及 TN 平均濃度分別為 1,132、1,527、2,721、39、1,566 mg/L 及 1,233、1,869、3,413、30、1,899 mg/L。此結果顯示兩組皆有溶解氨氣及硝化作用 (nitrification) 現象。堆肥化產生之氨氣經由洗滌液吸收、吸附及微生物分解，洗滌液吸收氨氣轉換成 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 致使 pH 上升， $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 經硝化作用氧化成亞硝酸鹽 (nitrite) 及硝酸鹽 (nitrate) 使 pH 下降，另堆肥化產生之 CO_2 經洗滌液吸收轉換成碳酸 (H_2CO_3) 促使 pH 下降，洗滌液自成平衡狀態。Renard *et al.* (2004) 指出氨氣為水溶性，利用打氣入自來水可輕易去除空氣中之氨氣。McNevin and Barford (2000) 在含微生物液相中，氨氣經由硝化作用氧化成亞硝酸鹽及硝酸鹽，且分別由氧化氨及亞硝酸鹽微生物完成。

表 6. 滴濾設施洗滌液之性狀

Table 6. The characters of washing solution in the trickling filter

Treatment	After running	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	$\text{NO}_3^-\text{-N}$	$\text{NO}_2^-\text{-N}$ (mg/L)	TKN	TN
Filter A	1 st d	1,040	1,499	2,525	34	1,533
	2 nd d	1,112	1,527	2,825	45	1,572
	3 rd d	1,244	1,555	2,813	39	1,594
	Average	1,132	1,527	2,721	39	1,566
Filter B	1 st d	1,174	1,975	3,588	42	2,017
	2 nd d	1,185	2,023	3,250	28	2,051
	3 rd d	1,339	1,608	3,400	20	1,628
	Average	1,233	1,869	3,413	30	1,899

結 論

- I. 雞糞墊料堆肥化之溫度上升達 65℃ 以上且維持 3 天，亦伴隨高氨氣與異味濃度產生，而堆肥化散逸之氨氣與異味濃度，在翻堆後隨堆積天數呈現下降趨勢。
- II. 滴濾 A 組之氨氣去除效果以 GCT 23 秒及 15 秒之操作條件具較高之去除效率分別為 93.6%、94.8%，異味去除效率在不同 GCT 操作條件介於 50.6% – 75.6% 之間。
- III. 滴濾 B 組之氨氣去除效率，在 GCT 11、15、23 秒間無差異，但控制 pH 為 6 時，處理之氨氣濃度及效率較 pH 為 7 或 pH 為 8 為佳；在不同 GCT 及 pH 控制之操作條件下異味濃度去除效率達 47.2% – 77.0%。
- IV. 雞糞墊料堆肥化散逸之氨氣與異味去除，若以添加銨氧化菌之滴濾設施於 GCT 控制在 15 秒以上或調控 pH 之滴濾設施控制 pH 為 6 為宜。

誌 謝

本試驗承蒙本所技工陳漢興先生、勞務外包技術工金慶梅及鄭婷月小姐等協助完成；另感謝國立中山大學環境工程系周明顯教授鼎力相助異味分析，特此致謝。

參考文獻

- Bernhart, M., O. O. Fasina, J. Fulton and C. W. Wood. 2010. Compaction of poultry litter. *Bioresour. Technol.* 101: 234–238.
- Chung, Y. C. 2007. Evaluation of gas removal and bacterial community diversity in a biofilter developed to treat composting exhaust gases. *J. Hazard. Mater.* 144(1–2): 377–385.
- Collett, S. R. 2012. Nutrition and wet litter problems in poultry. *Anim. Feed Sci. Technol.* 173(1–2): 65–75.
- Colón, J., J. Martínez-Blanco, X. Gabarrell, J. Rieradevall, X. Font, A. Artola and A. Sánchez. 2009. Performance of an industrial biofilter from a composting plant in the removal of ammonia and VOCs after material replacement. *J. Chem. Technol. Biot.* 84(8): 1111–1117.
- Hanajima, D., K. Kuroda, K. Morishita, J. Fujita, K. Maeda and R. Morioka. 2010. Key odor components responsible for the impact on olfactory sense during swine feces composting. *Bioresour. Technol.* 101(7): 2306–2310.
- Higgins, M. J., G. Adams, Y. C. Chen, Z. Erdal, Jr. R. H. Forbes, D. Glindemann, J. R. Hargreaves, D. McEwen, S. N. Murthy, J. T. Novak and J. Witherspoon. 2008. Role of protein, amino acids, and enzyme activity on odor production from anaerobically digested and dewatered biosolids. *Water Environ. Res.* 80: 127–135.
- Higgins, M. J., Y. C. Chen, D. P. Yarosz, S. N. Murthy, N. A. Maas, D. Glindemann and J. T. Novak. 2006. Cycling of volatile organic sulfur compounds in anaerobically digested biosolids and its implications for odors. *Water Environ. Res.* 78: 243–252.
- Hong, J. H. and K. J. Park. 2005. Compost biofiltration of ammonia gas from bin composting. *Bioresour. Technol.* 96(6): 741–745.
- Jiang, X., R. Yan and J. H. Tay. 2009. Simultaneous autotrophic biodegradation of H_2S and NH_3 in a biotrickling filter. *Chemosphere* 75: 1350–1355.
- Liang, Y., J. J. Leonard, J. J. Feddes and W. B. McGill. 2006. Influence of carbon and buffer amendment on ammonia volatilization in composting. *Bioresour. Technol.* 97(5): 748–761.
- Luo, J. and S. Lindsey. 2006. The use of pine bark and natural zeolite as biofilter media to remove animal rendering process odours. *Bioresour. Technol.* 97: 1461–1469.
- 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.
- McNevin, D. and J. Barford. 2000. Biofiltration as an odor abatement technology. *Biochem Eng. J.* 5: 231–242.
- Melse, R. W. and G. Mol. 2004. Odour and ammonia removal from pig house exhaust air using a biotrickling filter. *Water Sci. Technol.* 50(4): 275–282.
- 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., I. W. Stewart and V. R. Phillips. 1992. A review of the control of odour nuisance from livestock buildings. 2. The costs of odour abatement systems as predicted from ventilation requirements. *J. Agric. Eng. Res.* 51(3): 157–165.
- Ogawa, H., P. J. Dahl, T. Suzuki, P. Kai and H. Takai. 2011. A microbiological-based air cleaning system using a two-step process for removal of ammonia in discharge air from a pig rearing building. *Biosystems Eng.* 109(2): 108–119.
- Pagans, E., E. Barrena, X. Font and A. Sánchez. 2006. Ammonia emissions from the composting of different

- organic wastes. Dependency on process temperature. *Chemosphere* 62: 1534–1542.
- Pagans, E., X. Font and A. Sánchez. 2005. Biofiltration for ammonia removal from composting exhaust gases. *Chem. Eng. J.* 113(2–3): 105–110.
- Pagans, E., X. Font and A. Sánchez. 2007. Coupling composting and biofiltration for ammonia and volatile organic compound removal. *Biosystems Eng.* 97(4): 491–500.
- 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.
- Renard, J. J., S. E. Calidonna and M. V. Henley. 2004. Fate of ammonia in the atmosphere—a review for applicability to hazardous releases. *J. Hazard. Mater.* 108(1–2): 29–60.
- Shen, Y., L. Ren, G. Li, T. Chen and R. Guo. 2011. Influence of aeration on CH₄, N₂O and NH₃ emissions during aerobic composting of a chicken manure and high C/N waste mixture. *Waste Manage.* 31(1): 33–38.
- 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.
- 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.
- 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.

Removal of ammonia and odor from composting process by using trickling filters⁽¹⁾

Ting-Hsun Hsiao⁽²⁾ Tein- Ming Su⁽²⁾ Shui-Tsai Chen⁽³⁾
Yu- I Huang⁽⁴⁾ and Mei-Ping Cheng^{(2) (5)}

Received: Mar. 12, 2012 ; Accepted: May 20, 2013

Abstract

There were two trickling filters used in this study. Filter A was inoculated with ammonia-oxidizing bacteria. Filter B was pH controlled. The exhausted gases of broiler litter composting process were conducted to these two bio-trickling filters to reduce the NH₃ and odor emission. The gas contact times (GCT) were set at 11, 15 and 23 seconds for both filters. The temperatures rose to more than 65°C and was maintained for over 3 days during the composting process. A peak of the NH₃ and odor emissions was observed with the thermophilic stage. The odor and ammonia concentrations of the exhausted gas significantly decreased when the piling days of compost increased. The ammonia removal efficiencies of filter A were 94.8% and 93.6% when the GCT was 15 and 23 seconds, respectively. The odor removal efficiencies were between 50.6% and 75.6%, and there was no significant difference among different GCTs. There was no difference on ammonia removal efficiencies among different GCTs for filter B. The ammonia removal efficiency was 95.5% when the pH was controlled at 6, that was significantly higher than those at pH 7 (84.9%) and pH 8(74.6%) . The odor removal rates ranged at 47.2% to 77.0%, and there was no difference among different GCTs and pH values. According to these results, a bio-trickling filter with GCT 15 seconds and a trickling filter with controlled pH at 6 were suggested to be utilized on the removal of ammonia and odor produced during the composting process of broiler litter.

Key words: Broiler litter, Composting process, Ammonia, Odor.

(1) Contribution No. 1892 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

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