

「農業生物技術國家型科技計畫」成果報告

研發堆肥場綜合廢氣去除技術 與除臭過程菌相分析 (III)

計畫編號：NSC-94-2317-B-009-001

執行全期：94 年 11 月 01 日至 95 年 10 月 31 日

主持人：曾慶平 教授

國立交通大學生物科技研究所

共同主持人：鍾竺均 副教授

中華技術學院生物科技學系

計畫參與人員：何國領

國立交通大學生物科技研究所

葉冠逸

國立交通大學生物科技研究所

陳韋均

國立交通大學生物科技研究所

林岳賢

國立交通大學生化工程研究所

一、摘要

中文摘要：

堆肥場與畜殖場會排放臭氣與毒性氣體，根據本研究小組實際調查堆肥場臭氣成分，除含硫、氮化合物及短鏈脂肪酸外，其中有機胺濃度高達 250 ppm，氨氣 40 ppm，三甲基硫則為 15 ppm 以上。過去三年我們利用生物反應器進行畜殖場臭味減除技術開發已獲致良好成果，無論是除臭率、壓損、菌相穩定度與操作效能，皆達商品化規格，已獲得二項專利，兩項專利申請中與八篇論文發表，成果豐碩。傳統生物廢氣減除技術以活性污泥處理方式居多，因對處理過程不同廢氣組成與菌相動態變化相互關係不了解，無法藉由生物工程或物理操控方式提高除臭效率，因此我們依據過去研究，針對堆肥場臭氣進行減除，也藉由分子生物技術（如 DGGE）了解系統除臭過程中不同微生物菌相動態變化關係。

基於過去成功去除無機廢氣經驗在第一、二年產學合作計畫中以堆肥場產生的綜合臭氣為處理對象，在新竹「中型堆肥場」執行第二年產學合作計畫，針對該廠之封閉式軌道翻堆區所衍生的廢氣總量，設計一套實場規模大型生物除臭系統進行該廠區綜合臭氣去除。第二階段和苗栗縣「大型堆肥場」簽約合作，藉由這套生物與環工技術結合對大型實場生物除臭系統進行堆肥場綜合臭氣減除，以改良目前該堆肥場「木屑除臭法」佔地面積大、耗電量大與除臭效能不彰等缺點。

經實場連續九個月測試，對濃度較高的氨氣 (10~100 ppm) 和有機胺 (10~220 ppm) 可達 95% 以上去除率，亦可 100% 去除低濃度硫化氫 (<5 ppm)、有機硫 (<5 ppm) 和短鏈脂肪酸 (<4 ppm)。操作期間微生物活性穩定 ($10^7 \sim 10^9$ CFU/g -dry GAM)，系統 pH 維持在 6.8~7.8，無酸化問題，濾料水含量維持在 40~75% 且氣體進出流的壓差變化不大

(30~45 mmH₂O/m)，系統中原植種菌比例皆維持在 68~82%以上優勢菌群。由於該場廠房面積大 (處理廢氣面積為中型堆肥場的 20 倍)，為能以目前這套實場反應器有效減除臭氣並改善整廠空氣品質，進行加大除臭量並設置一套空氣對流循環系統和實場生物反應系統自動化裝置。由實驗結果顯示，空氣對流循環系統對於堆肥場內降溫並不明顯，但對於場內空氣流通，作業人員不再感到悶熱等感官感受有明顯改善。此外空氣對流循環系統對於場內臭氣濃度分布具有濃縮效果，有助於加大實場生物反應系統之除臭容量。這套實場生物處理系統能將堆肥場內綜合臭氣減除，並藉由此技術與業界共同發展並建立除臭技術轉移平台，以提升農業資源再利用與減少環境污染衝擊，提高生物廢氣處理產業的市場產值。

關鍵詞：有機硫、有機胺、脂肪酸、生物反應器、空氣對流循環系統、自動化

英文摘要 Abstract

Waste gases emitted from composting field have brought many environmental problems. These emitted odors include ammonia, hydrogen sulfide, organic sulfur and organic nitrogen compounds. All of them can cause the damage on human body. Except organic sulfur and nitrogen compounds, the short-chain fatty acids (C₂~C₆) are also commonly odors because of their low threshold values. The high removal performance of volatile malodorous is controlled by engineering methods and bacteria inoculated into the biofilter.

In previous studies, we have successfully removed the ammonia and hydrogen sulfide at the field test. Because traditional method is required large space, much electric power and results in low treatment efficiency, in this study we removed the waste gases emitted from composting field by combining biological and engineering techniques. The modified bioreactor has been proven to be a feasible method, which showed high removal efficiency during the past one year experiment. The experimental results during past one year operation indicated that the removal efficiency for 10~70 ppm of NH₃ and 10~220 ppm of organic nitrogen compounds achieved 96% and 95%, respectively. Organic sulfur, short-chain fatty acids, H₂S and all the rest compounds we monitored were simultaneously 100% removed. In addition, the changes of pH, pressure drop, moisture content and bacterial communities showed that the system was applicable for the further commercial application. The biological technique for waste gases treatment also possesses the advantages including high removal efficiency, stable operation, cheap and no secondary pollution. Based on these results, we used these technologies to treat the odor emitted from compost field. This technique development can elevate the safety of staff and decrease the environmental impact derived from odor or toxic gases. In addition, the platform of scale up and technique transfer and established. The achievement of this study develops the environmental biotechnology and expands the market of biological waste gases treatment.

Keywords : **Biofilter; Organic sulfur; Organic amine; Fatty acid; Compost field; Environmental biotechnology**

二、計畫緣由與目的

1. 研究動機與背景

台灣地區近年來由於畜殖和農牧業發達，人口密度高，每年產生之各種有機廢棄物數量極為龐大，包括五百萬噸以上禽畜廢棄物、五百至六百萬噸農產廢棄物，以及數百萬噸之林業及水產廢棄物，此外家庭與飲食業產生的廚餘更是大量，若未能適當快速處理，將成為嚴重污染源，對環境與生態造成極大負面影響。由於國內都市計劃規劃並未確實執行，導致工廠與住家毗鄰而居，使臭味問題益形惡化，部分工廠為因應未來國內環保趨勢，急需設置處理設施改善污染，惟因缺乏污染防治常識與專業技術人員，且環境工程服務業良莠不齊，以致無所適從或盲目投資造成浪費或操作不當而影響其效能^[1]。

隨著國人環保意識日漸高漲，特別在台灣已加入世界貿易組織 (WTO) 後，來自本土地區之污染源所產生的環保問題，更極待尋求解決之道。尤其是堆肥場堆肥過程，當氧氣不足時，更會產生有惡臭味的吲哚 (Indole)、糞臭素 (Skatol)、硫化氫 (Hydrogen sulfide)、揮發性胺類 (Amines)、硫醇類 (Mercaptans) 以及短鏈脂肪酸 (C2~C6) 等代謝物相繼造成環境污染問題。其中更以有機硫化合物 (特別是硫醇類) 和有機胺化合物 (特別是甲基胺類) 為堆肥場惡臭空氣之主要來源。且此惡臭氣體已被醫學界證實，長時間暴露下將對人體造成傷害。在低濃度時，常會對眼睛、鼻腔及喉嚨黏膜造成強烈刺激，而中樞神經抑制的症狀，如頭暈、昏昏欲睡、全身倦怠感、噁心、嘔吐甚至走路不穩亦會發生。在高濃度時，可能造成嚴重的肺水腫，抽搐、呼吸麻痺，嚴重的溶血性貧血，昏迷，甚而快速致死。

根據環保署在民國八十一年曾針對國內十四種高污染行業進行調查，發現五種惡臭物質：(1) 氨 (NH_3)：刺激味；(2) 硫化氫 (H_2S)：腐蛋味；(3) 硫化甲基 ($(\text{CH}_3)_2\text{S}$)：腐洋白菜味或腐甘藍菜味；(4) 硫醇類 (RSH)：依其化學組成不同，可能有令人不快之臭味、腐洋白菜味及大蒜味；(5) 甲基胺類：1. $(\text{CH}_3)\text{NH}_2$ ：魚腥味；2. $(\text{CH}_3)_2\text{NH}$ ：魚腥味；3. $(\text{CH}_3)_3\text{N}$ ：腐魚腥味。由於這些氣體揮發性大、臭味閾限值低，因此已受到相當之重視與關注，尤其以有機污染物 (硫化甲基、硫醇類及甲基胺類) 所產生之惡臭味更令人不悅。除了含硫、氮化合物外，短鏈脂肪酸由於嗅覺閾限值低亦是農業活動常見之惡臭氣體。根據我們實際調查大型堆肥場所產生的臭氣，其中氨氣濃度竟高達 50 ppm 以上，有機胺則高達 250 ppm，三甲基硫醇則為 25 ppm 以上。目前環保署根據這些污染物之臭味強度，已訂定其周界排放標準與臭味限值，若超過目前法令標準，主管單位將處以新台幣十萬元以上一百萬元以下罰款，情節重大者可命其停工或停業，近三年已有多座堆肥場因惡臭問題導致停業或遷廠，而目前政府正大力推廣廚餘堆肥，以達垃圾減量與資源再生之雙重目標，因此堆肥所衍生的臭味問題勢必快速解決。現行堆肥場最常使用「木屑除臭系統」，除佔地面積與耗電大外，並未同時發揮預期除臭效果，因此實有進行新型除臭技術發展之必要性。

為因應國內日趨嚴格的環保法令和符合地方民眾生活環境品質要求，對於堆肥場所逸散之含硫、氮化合物和短鏈脂肪酸的減除，須脫離傳統物理吸附^[2]、化學洗滌法^[3]和焚化法^[4]並重新調整其處理方式，朝向減少或避免環境衝擊及資源再利用之技術發展。雖然化學或物理法處理技術有高去除率、操作時間短及無時間限制等優點，但其最大缺點為污染物僅止於相變化，仍有二次污染之虞，會對環境帶來衝擊，且成本昂貴。相較下，

生物處理法^[5]則有耗能少、低成本及無二次污染等優點。目前常使用的廢氣生物處理程序^[6]包括：生物洗滌器 (Bioscrubber)、生物濾床 (Biofilter)、滴濾床 (Biotrickling filter) 及活性污泥曝氣法 (Activated sludge aeration) 等，其中又以具有營養鹽迴流系統之滴濾床最具有發展潛力。此外隨著未來生物科技發展趨勢，在未來研究可了解微生物菌相之動態變化，並可研發出佔地面積小、設備費低、操作容易且去除效果良好之處理方式，將有助於國內環保科技提昇與產業發展，以達永續發展之目標。

2. 計劃目的與重要性

堆肥場四處逸散之氣體已帶來許多環保問題與爭議，常見逸散氣體包括硫化氫、氨、硫醇類 (如甲硫醇、乙硫醇等)、有機硫類 (如二甲基硫、二甲基二硫等)、有機胺類 (如甲基胺、二甲基胺、三甲基胺等)。除上述含硫、氮化合物外，短鏈脂肪酸 (C2-C6) 由於嗅覺閾限值低亦為常見之惡臭污染物。其除嗅覺閾限值低外，對於此類污染物去除與彼此抑制關係之研究相當有限，同時對於處理過程中環境因子、進氣負荷、污染物種類與微生物菌相之動態變化並不十分了解，因此無法藉由生態工程控制或提高除臭菌效能等方式加以改善。

基於過去成功去除無機廢氣經驗在第一、二年產學合作計畫中以堆肥場產生的綜合臭氣為處理對象，在新竹「中型堆肥場」執行第二年產學合作計畫，系統經放大 55 倍後在中型堆肥場實場連續操作三個月，對 5~40 ppm 氨氣和 15~120 ppm 有機胺可達 94% 和 99% 以上去除率外，亦可 100% 去除低濃度的硫化氫 (<1 ppm)、有機硫 (<1 ppm) 和短鏈脂肪酸 (<1 ppm) 氣體，操作期間微生物活性穩定 ($10^7 \sim 10^9$ CFU/g-dry GAM)，系統 pH 維持在 6.8~7.8，無酸化問題，濾料水含量維持在 40~75%，且氣體進出流的壓差變化不大 (30~45 mmH₂O/m)，系統中原植種菌比例皆維持在 68~82% 以上優勢菌群。

第二階段和苗栗縣「大型堆肥場」簽約合作，藉由這套生物與環工技術結合對大型實場生物除臭系統進行堆肥場綜合臭氣減除，以改良目前該堆肥場「木屑除臭法」佔地面積和耗電量大及除臭效能不彰等缺點。經實場連續九個月初步測試，對濃度較高的氨氣 (10~60 ppm) 和有機胺 (10~220 ppm) 可達 98% 以上去除率，亦可 100% 去除低濃度硫化氫 (<1 ppm)、有機硫 (1~13 ppm) 和短鏈脂肪酸 (<4 ppm)。但由於該場廠房面積大 (處理廢氣面積為中型堆肥場的 20 倍)，為能以目前這套實場反應器有效減除臭氣並改善整廠空氣品質，與廠商 (清華科技檢驗股份有限公司) 共同執行「第三年產學合作計畫」，進行加大除臭量並設計一套空氣對流循環系統和實場生物反應系統自動化裝置。這套實場生物處理系統能將堆肥場內綜合臭氣減除，並藉由此技術與業界共同發展並建立除臭技術轉移平台，以提升農業資源再利用價值與減少環境污染衝擊，提高廢氣生物處理產業的市場產值。

3. 計劃目標與成果重要性

本計畫之目標包括完成『大型』堆肥場整廠除臭設計，達成預定除臭目標，並了解除臭效能變動與菌相消長之關聯性。計劃完成後，將本堆肥場列為除臭示範廠，提供相關單位參觀及推廣，同時提供相關產業良好且便宜之除臭技術平台，以增加我國環保事業於國際除臭市場的競爭力。生物技術應用於廢氣處理在國外已被視為最佳可行控制技

術，此技術過去六年經本研究團隊研發與測試，確認可廣泛應用於台灣各產業別之排放廢氣。

過去三年本研究團隊以堆肥場衍生綜合廢氣為處理對象，期間歷經停工、寒流來襲與突增負荷等突發事件，對於主要的臭氣處理效率皆可達95%以上，系統操作穩定，顯示本系統之可行性與優越性。第一階段和『中型』堆肥場合作，進行整廠綜合臭氣減除改善，以改良目前堆肥場「木屑除臭法」佔地面積大、耗電量大與除臭效能不彰等缺點。經中型堆肥場實場連續操作三個月，可達94~100%去除效果。由第二年產學合作計畫研究成果進行延伸本年度計畫，對『大型』堆肥場進行除臭，以加大臭氣去除量方式並同時設計一套空氣對流循環系統和實場生物反應系統自動化裝置，這套實場生物處理系統能成功將堆肥場內綜合臭氣減除，除可增加本國環境生物技術之產值外，亦可與國際其它廢氣生物處理技術相競爭。



圖一 實場大型生物除臭系統與堆肥場原設置傳統木屑脫臭槽比較圖



圖二 實場大型生物除臭系統設備圖

i. 除臭菌種及來源

將第一年產學研究計畫已篩選且經生理測試後之除臭菌中，挑選除臭效能較佳之有機硫 (KL-2)、有機胺 (KL-1) 和短鏈脂肪酸 (FA-9) 除臭菌，並搭配異營性硫氧化菌 (CP1) 和異營性氮氧化菌 (CP2) 進行大型生物除臭系統實場綜合廢氣減除應用研究。

ii. 進行廢氣減除實驗之液體培養基

KH_2PO_4 4.08 g/L、 K_2HPO_4 5.22 g/L、 NH_4Cl 0.4 g/L、 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.2 g/L 和 Fe(III)-citrate 0.01 g/L，而培養基最後的 pH 皆調整到 pH=7.0。

iii. 固定化程序及實場大型生物除臭系統

將先行增殖培養之除臭菌與適量的顆粒狀活性濾料 (Granular Activated Media, GAM) 進行混合倒入大型反應器單元並均勻混合。同時加入特定培養基，提供固定化期間微生物營養所需。培養期間以空壓機通入過濾之一般空氣，固定化時程視所使用菌株之生理特性而定，待細胞數達預期目標後 ($10^8 \sim 10^9$ CFU/g-dry GAM) 填充至實場大型生物反應槽體中進行堆肥場綜合廢氣減除研究。

本實場大型生物除臭反應器 (圖 2) 屬於生物滴濾床系統，反應器槽體 (不鏽鋼材質) 共分三大部份：(1) 均勻灑水槽：為一長 2 公尺寬 2 公尺高 0.5 公尺之槽體，位於系統最上方，內部安裝灑水裝置，以均勻灑水方式提供微生物所需水分；(2) 生物濾料填充槽：為一長 2 公尺寬 2 公尺高 0.9 公尺串聯四段之槽體，串聯後高度為 3.6 公尺，各段填充 0.7 公尺高已固定化之生物濾料，每段填充體積為 2,800 公升，濾料充填之總體積為 11,200 公升，總濾料乾重為 5,376 公斤。槽體表面每隔 0.45 公尺設置採樣孔，以利於取樣。槽體正下方設置不鏽鋼材質之微孔篩板，以支撐充填之大量濾料，並讓迴流液順利流出；(3) 營養鹽儲存槽：為一 2 公尺寬 2 公尺高 0.8 公尺之槽體，位於反應器最下方以利集中營養鹽及其它代謝產物，槽內添加 0.4 公尺高之液態培養液，培養液總體積為 1,600 公升，且不定時添加蒸餾水和營養劑以維持槽體內固定水位高度和微生物碳源來源。本實驗所需之氣體皆由 3HP 大型抽氣風扇以 $32 \text{ m}^3/\text{min}$ 速率抽取堆肥場廠房內之綜合廢氣，所抽取之空氣需事先通過一組過濾器過濾空氣中的雜質，再經由反應器本體下方進氣，上方出氣。而營養鹽儲存槽中之培養液以 1/2 HP 水幫浦進行迴流，並以液體流量計調節液體進流流速，由系統最上方灑水噴頭均勻散佈，流經各層生物反應槽體後，聚集至系統最下層之營養鹽儲存槽以供水幫浦繼續進行迴流。本系統氣體液體進流之操作模式是屬於『反向流』。為保持該堆肥場作業環境之空氣品質，每小時持續以 $32 \text{ m}^3/\text{min}$ 速率抽氣，而液體培養基則固定每 12 小時噴灑一次，每次以 $12 \text{ L}/\text{min}$ 速率連續噴灑 30 分鐘。連續操作下系統所產生之壓損和溫度則以壓差計和溫度計偵測。

iv. 大型反應器系統之建立與架設

實場標的選定軌道式堆肥場為除臭對象，此場為堆肥示範廠，首先進行現場各種不同臭氣或有毒氣體濃度檢測，繼而進行管線施工，植種之除臭菌則視現址污染物質而定，原則上採混合菌株之方式以應付各種廢氣，同時以固定化之方式增加植種菌優勢，試轉一週後，進行實場主要惡臭氣體之減除研究。利用過去一年產學合作計畫執行成果所建立之設計規範值 (含臨界負荷與最佳停留時間) 及偵測到的現場廢氣源廢氣濃度範圍與現場空間，架設一套實場大型生物除臭系統，實際應用於堆肥場實場除臭研究。

v. 產物分析與代謝機制之建立

定期分析迴流液和生物活性濾料中各種硫化物 (S^{2-} , S^0 , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$, SO_4^{2-})、氮化物 (NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , Org-N) 濃度與入流及出流含硫、氮或短鏈脂肪酸等氣體濃度，以推測各類化合物之代謝機制及短鏈脂肪酸之礦化比例。相關之化學分析如下：

(1) 硫化氫/氨氣濃度測定

硫化氫的進流及出流濃度以單點偵測器 (Single Point Monitor, MDA Scientific USA)

在 50~1500 ppb 的範圍連續監測，或週期性的以 1~60ppm 氣體檢知管 (GASTEC, Japan) 偵測。氨氣的進流及出流濃度以單點偵測器在 0.1~10 ppm 的範圍連續監測，或週期性的以 5~100 ppm 氣體檢知管 (GASTEC, Japan) 偵測。

(2) 有機硫/有機胺氣體濃度測定

有機硫化物 (硫醇、甲基硫、二甲基硫、二甲基二硫) 以氣相層析儀 (Gas Chromatography, GC)，配合火焰光度偵測器 (Flame Photometric Detector, FPD) 進行分析。填充管柱 (內徑 3 mm×長 3 m) 為 25% β' β -oxidipropionitrile on 60-80 mesh chromosorb W，操作溫度 80°C。有機胺化物分析則以氣相層析儀的火焰離子偵測器 (Flame Ionization Detector, FID) 進行分析，填充管柱為 Amipack 141。但對於較高濃度有機硫與有機胺化合物則以檢知管測定，每個樣品進行五重複，以增加靈敏度與準確度。

(3) 有機硫代謝產物分析

在 25°C 以離子層析儀 (Dionex 4500I)，分離管柱 IonPac AS4A-SC 無機負離子管柱，流動相溶液成分為 1.8 mM Na_2CO_3 /1.7mM NaHCO_3 ，流速 2.0 ml/min 測量溶液中 Sulfate(SO_4^{2-})濃度。Thiosulfate ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$) 的測定，使用標準的 I_2 溶液和澱粉指示劑滴定測得。Sulfite(SO_3^{2-})的測定，使用標準的 Postassium iodide-iodide 和澱粉指示劑滴定測得。Sulfide(S^{2-})的測定，使用特殊離子電極測得。硫元素(S^0)測定，利用其和 Cyanide(CN^-)產生 Thiocyanate，再添加鐵鹽，以 $\text{Fe}(\text{SCN})_6^{3-}$ 定量而得。

(4) 有機胺代謝產物分析

在 25°C 以離子層析儀 (Dionex 4500L)，分離管柱 IonPac AS4A-SC 無機負離子管柱，流動相溶液成分為 1.8 mM Na_2CO_3 /1.7mM NaHCO_3 ，流速 2.0 mL/min 測量溶液中 Nitrate (NO_3^-) 及 Nitrite (NO_2^-) 濃度。Ammonium (NH_4^+) 則是使用 Ion-specific electrode 來測量。有機氮 (Org-N) 之測定使用 Kjeldahl 方法測量。

(5) 短鏈脂肪酸測定

利用氣相層析儀並搭配火焰離子偵測器來分析各短鏈脂肪酸之含量變化，或視情況以毛細管電泳分析儀 (Capillary Electrophoresis, CE) 進行分析。

(6) 礦化率測定

直接以二氧化碳偵測儀監測入流及出流二氧化碳濃度。

(7) 攝氧率測定

氧氣的進流及出流濃度以氣體檢知管 (GASTEC, Japan) 偵測。

三、結果與討論

『大型』堆肥場實場 (約 1600 坪) 廢氣減除研究

1. 連續九個月操作下綜合廢氣減除

為保持該堆肥場作業環境之空氣品質，每小時持續以平均約 32 m³/min 速率抽氣，而液體培養基則固定每 12 小時噴灑一次，每次以 12 L/min 速率連續噴灑 30 分鐘。

空白貫穿公式：

$$t = \left(\frac{N_0}{C_0 V} \right) X + \frac{1}{k C_0} \left(\frac{C_0}{C_e} - 1 \right) \quad (1)$$

藉由先前本研究室所推導之公式(1)，我們可以利用實場之進氣流速與平均測得濃度進行修正，估算後得到各種臭味物質之飽和貫穿時間。

A. 氨氣去除研究

由公式(1)換算，我們計算出氨氣貫穿時間約為 18 天。圖 3 為實場連續操作九個月，系統對氨氣之去除效率和進氣濃度兩者的關係變化。由實驗結果得知，在連續九個月操作期間，反應器出氣口的氨氣濃度皆低於 3.5 ppm，此現象表示系統中所植種的異營性氨氧化菌代謝氨氣能力良好且穩定。九個月連續實場操作，去除效率平均可達 95% 以上 (氨氣進氣濃度範圍為 10~100 ppm)，且系統只需前兩段反應槽便可達到 95% 以上去除率。

B. 硫化氫去除研究

由公式(1)換算，我們計算出氨氣貫穿時間約為 18 天。系統連續操作九個月，尚未在反應器第一段出氣口處偵測到硫化氫氣體穿透，代表所植種之異營性硫氧化菌已發揮其高代謝能力。由此結果可明顯得知，本研究只需利用第一段反應槽即可達到 100% 除硫效率，代表此系統對低濃度硫化氫 (<5 ppm) 有極佳的除臭效果。

C. 有機胺去除研究

由公式(1)換算，我們計算出有機胺貫穿時間約為 16 天。圖 4 為實場連續操作九個月，系統對有機胺之去除效率和進氣濃度兩者的關係變化。由實驗結果得知，在連續操作九個月期間，除在第 3 天於反應器出氣口處偵測到較明顯的出氣濃度 (3.5 ppm) 外 (因進氣濃度高達 220 ppm)，在其他操作時間下，出口處僅偵測到微量的有機胺濃度 (0.5~2.0 ppm)，此現象表示所植種的有機胺除臭菌代謝有機胺能力良好，且可代謝較高濃度的有機胺。九個月連續操作，去除效率平均可達 92% 以上 (有機胺進氣濃度範圍為 10~220 ppm)，且系統只需前兩段反應槽便可達到 86% 以上去除率。

D. 有機硫去除研究

由公式(1)換算，我們計算出有機硫貫穿時間約為 25 天。由實驗結果得知，系統在連

續操作九個月期間，尚未在反應器第一段出氣口處偵測到任何微量三甲基硫醇氣體，系統只需利用第一段反應槽即可達到 100% 去除效率，代表此系統對三甲基硫醇 (0~3 ppm) 有極佳的除臭效果。

E. 短鏈脂肪酸去除研究

由公式(1)換算，我們計算出短鏈脂肪酸貫穿時間約為 44 天。系統連續操作九個月，在反應器第一段出氣口處尚未偵測到任何乙酸氣體，代表所植種之短鏈脂肪酸除臭菌已發揮其高代謝能力，且只需利用第一段生物反應器系統即可達到 100% 去除效率，此系統對低濃度乙酸 (<5 ppm) 有極佳的除臭效果。

2. 礦化率和攝氧率分析

系統經連續操作九個月，二氧化碳的進流濃度範圍約為 650~1800 ppm (平均濃度 975 ± 318 ppm)，出流濃度隨流經反應槽體的滯留時間增加而遞增，愈接近出氣口處之二氧化碳濃度愈高，代表反應槽內之微生物確實持續在進行氧化降解反應。而氧氣進出流濃度並無重大變化，皆維持在 19-20%，提供系統內微生物所需之足夠氧氣量。

3. 系統 pH 變化

圖 5 為九個月連續實場操作下儲存槽中營養液之 pH 變化。連續操作九個月，儲存槽內的循環水 pH 變化不大 (pH=6.8~7.8)，不因實場的複雜臭氣成分導致 pH 隨操作時間延長而大幅變動 (進流的胺類遠高於硫類和酸性化合物)，系統無須添加額外的酸或鹼，這代表系統內的緩衝溶液確實發揮穩定酸鹼的能力，系統內不因九個月長期連續操作引進大量鹼性氣體 (胺類) 而造成系統鹼性化。此舉符合經濟效益 (降低成本)，這也是目前一般傳統生物濾床所沒有的優點。

4. 系統壓損變化

圖 6 為兩個月連續實場操作下系統氣體進流和出流之壓差變化。從反應器取樣口接出管線並配合壓差計測定進流和出流間的壓力差，並以每公尺濾料所產生的水柱差 (mm H₂O/m) 表示。由圖 6 可得知系統在連續九個月操作，系統壓差變化穩定，介於 30~45 mm H₂O/m 之間。

5. 空氣對流循環系統

設置空氣對流循環系統，在堆肥場內選定三處具代表性位置 (進料區-堆肥場前段、堆肥區-堆肥場中段、成品區-堆肥場後段) 偵測其溫度與臭氣濃度變化，結果發現，空氣對流循環系統未啟動時，當堆肥場大門關閉時，場內接近密閉狀態，各點溫度變化並無明顯差異，臭氣濃度以堆肥區較高。當堆肥場大門開啟時，由於外界空氣交換，成品區之

溫度會較為下降，臭氣濃度較為降低，此外其他兩點溫度變化與臭氣濃度變化差異不大。

當空氣對流循環系統開啟時，堆肥場內各點溫度差異與未啟動前差異不大，但據場內作業人員表示，若不開啟，人員會覺得悶熱，實地採樣經驗發現，對於感官感受差異較為明顯。此外，由臭氣濃度分布來看，可見此空氣對流循環系統對於濃縮進料區臭氣濃度有明顯幫助，生物除臭系統進流濃度因而提高，有效提升除臭容量。

6. 代謝產物分析

監測數個月代謝產物結果發現，循環水原先的 NH_4^+ 濃度偏高，表示氨氧化菌尚未開始作用，而後 NO_3^- 開始提升，表示氨氧化菌能夠利用 NH_4^+ 進行氧化，有效達到氨及有機胺去除。硫類代謝產物分析方面，發現主要產物為 SO_4^{2-} ，表示硫類化合物皆能被微生物有效利用。

四、結論

(1) 成果

1. 已完成實場大型生物除臭系統之設計、施工、改良與試車
2. 已完成實場大型生物除臭系統去除實場綜合廢氣之研究
3. 已完成堆肥場大型實場規模生物反應器系統對綜合廢氣突增負荷與不連續操作（停工效應）之應變性評估
4. 已完成堆肥場大型實場規模生物反應器系統除臭過程，污染物與菌相結構之關聯性分析
5. 已建立中、大型堆肥場實廠去除氨氣、硫化氫、有機硫、有機胺及短鏈脂肪酸等微生物菌相資料庫
6. 已建立大型堆肥場整廠除臭設計之規範與方案，且便同時考慮換氣率等工安問題

(2) 貢獻

1. 預期可有效解決目前堆肥場臭氣逸散問題。
2. 成果將可進一步轉移至禽畜業或相關行業提供其處理含硫、胺及短鏈脂肪酸等綜合廢氣。
3. 可使參與人員同時獲得工程與生物技術雙重訓練，有助於環境生物技術工程化發展與應用。
4. 將成為具競爭力之空氣污染防制技術，除可提高市場佔有率，增加環保生物技術產值外，同時可協助更多之中小企業進行污染防制工作，達成環境保護與增加市場產值的良性循環。
5. 本實場大型生物除臭系統經設計與工程改良，經實場實際操作評估後，預期可申請 2~3 件國內、外專利。

6. 可完成技術轉移給合作業者，使此技術更落實應用於其它各種相關環保產業。
7. 本技術可應用範圍請見以下表一。

表一 可應用之產業別與製程

產業別/製程	製程廢氣	污水處理廢氣
堆肥場	○	
畜殖業(養豬/雞/牛/鹿/)	○(固液分離槽)	○(厭氧處理廢氣)
禽畜化製廠	○	○
肥料製造業	○	○
掩埋場	○	○
皮革工廠	○	○
魚產下腳料	○	
飼料製造廠	○	

五、已技轉之技術轉移內容

過去本團隊已技轉紀錄

技術名稱	技轉對象	有效年限
以生物處理技術之廢氣處理系統及方法	清華科技檢驗股份有限公司	2年(92~93年)
以生物處理技術之廢氣處理系統及方法	拜爾特生物科技股份有限公司(清華科技檢驗股份有限公司)	1年(93年)
以生物處理技術之廢氣處理系統及方法	清華科技檢驗股份有限公司	2.5年(94~96年)
以生物技術去除臭味與有機污染物之系統開發	拜爾特生物科技股份有限公司	2.5年(94~96年)

本計劃執行所需技術及使用之專利，皆衍生自過去執行國科會農業國家型計劃(88~90年)成果，因此無須另外專利授權即可使用，專利之相關資訊如下表所示。

專利名稱	發明人	申請人	申請日期	專利號	申請國家
以生物處理技術之廢氣處理系統及方法	曾慶平，鍾竺均	國立交通大學	2003/4/29	I225425	中華民國
可提高廢氣處理效率之生物濾料製作法	曾慶平，鍾竺均	國立交通大學	2002/3/29	I261528	中華民國
去除硫化物與資源再生之系統 (申請中)	曾慶平，鍾竺均	國立交通大學	2005/03/04	094106511 (申請號)	中華民國
System and Process For Treating Waste Gas Employing Biotreatment Technology (申請中)	Tseng, Ching-Ping Chung, Ying-Chien	國立交通大學	2004/04/15	APN/825545	美國

由實驗室規模放大至工廠所面臨智財權之歸屬問題，已由交大智財權中心與廠商訂定合約，依法令釐清歸屬。

其他貢獻

1. 協助合作廠商「清華科技檢驗股份有限公司」成立發展生物技術為主的『拜爾特生物科技股份有限公司』子公司，將全力發展本產學計畫產品。
2. 該公司於九十三年申請進入交通大學創新育成中心，費時約一年半進行相關技術移轉，在人員招募、資金籌備與技術純熟後，已於九十五年三月進駐竹南科學園區。
3. 藉由此研究計畫之執行可增加培植企業研發潛力與人才的機會，訓練「清華」公司員工，並培育研究生進入生物科技產業界服務。
4. 藉由此研究計畫之執行可增進產品附加價值，以減少堆肥臭味去除減少工安問題，並發展便宜的除臭技術以增加企業競爭力，再透過臭味濃度與成分監測，提供堆肥製程之相關建議或改良。
5. 藉由此研究計畫之執行可增加該廠區之管理服務績效，以提昇廠區與場內之工安品質，增加員工之工作情緒和安全性。
6. 藉由此研究計畫之執行將技術指標提升，整體去除率以達 95% 以上為目標。
7. 藉由此研究計畫之執行改善堆肥場傳統之臭氣處理技術以提高除臭效益，除可增加堆肥品質外，亦可增加員工之健康指標、符合經濟效益 (成本較低)。
8. 藉由此研究計畫之成功執行，將可實務應用在其他臭氣衍生產業 (如表一所示)，具有極大發展潛力。
9. 協助合作廠商清華科技檢驗股份有限公司與拜爾特生物科技股份有限公司以計畫名稱 - 「以生物技術去除臭味與有機污染物之系統開發計畫」向經濟部工業局設置之「農業生技產業化技術推廣計畫」申請 94 年度計畫經費，通過審查補助。

六、具代表性成果圖片(至少三張)

<p>圖片一</p> 	<p>請將圖片以附檔寄送</p> <p>中文說明：生物除臭反應器</p> <p>英文說明：A bioreactor for odor removal</p>
<p>圖片二</p> 	<p>請將圖片以附檔寄送</p> <p>中文說明：自動化水循環系統</p> <p>英文說明：An automatic system for water recycle</p>
<p>圖片三</p> 	<p>請將圖片以附檔寄送</p> <p>中文說明：堆肥場內空氣整流系統</p> <p>英文說明：A convection system for air rectifying</p>
<p>圖片四：</p> 	<p>請將圖片以附檔寄送</p> <p>中文說明：生物除臭系統與傳統木屑脫臭法之比較</p> <p>英文說明：Comparison of biosystem and matchwood for odor removal</p>

七、參考文獻

- [1] 楊奇儒，臭味物質控制技術介紹，化工技術，第 7 卷，第 6 期，264-278 頁，1999 年。
- [2] E.G. Hammond, C. Fedler and G.A. Juck, Identification of dust-borne odour in swine confinement facilities, Transaction of the ASAE, 22, 1158, 1988.
- [3] C.L. Barth, F.L. Elliott and S.W. Melvin, Using odour control technology to support animal agriculture, Translation of the ASAE, 22, 1186, 1979.
- [4] S.P.P. Ottengraf, Exhaust gas purification, In: odour prevention and control of organic sludge and livestock farming, Applied Science Publishers, England, 425, 1986.
- [5] 吳俊輝，廢氣生物濾床處理技術，工業污染防治，第 46 期，91-92 頁，民國 82 年。
- [6] 吳俊耀，廢氣生物濾床處理技術，工業污染防治，第 46 期，93-105 頁，民國 82 年。

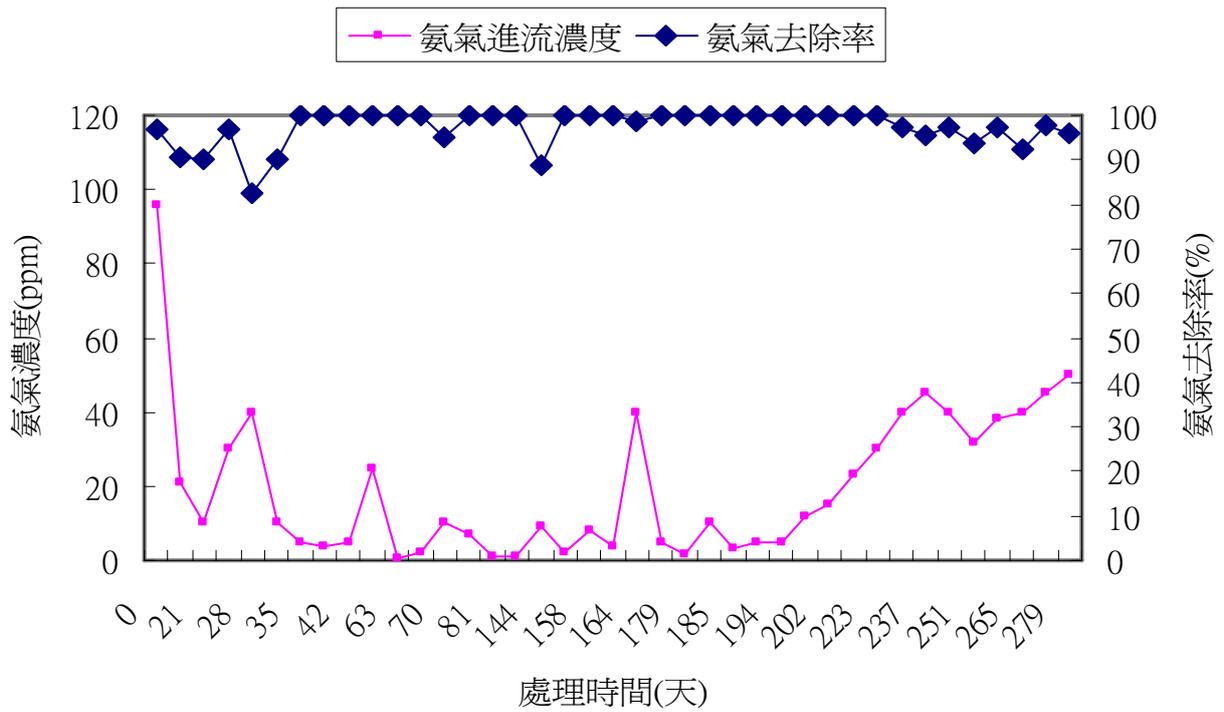


圖 3 大型實場生物除臭系統去除氨氣效率

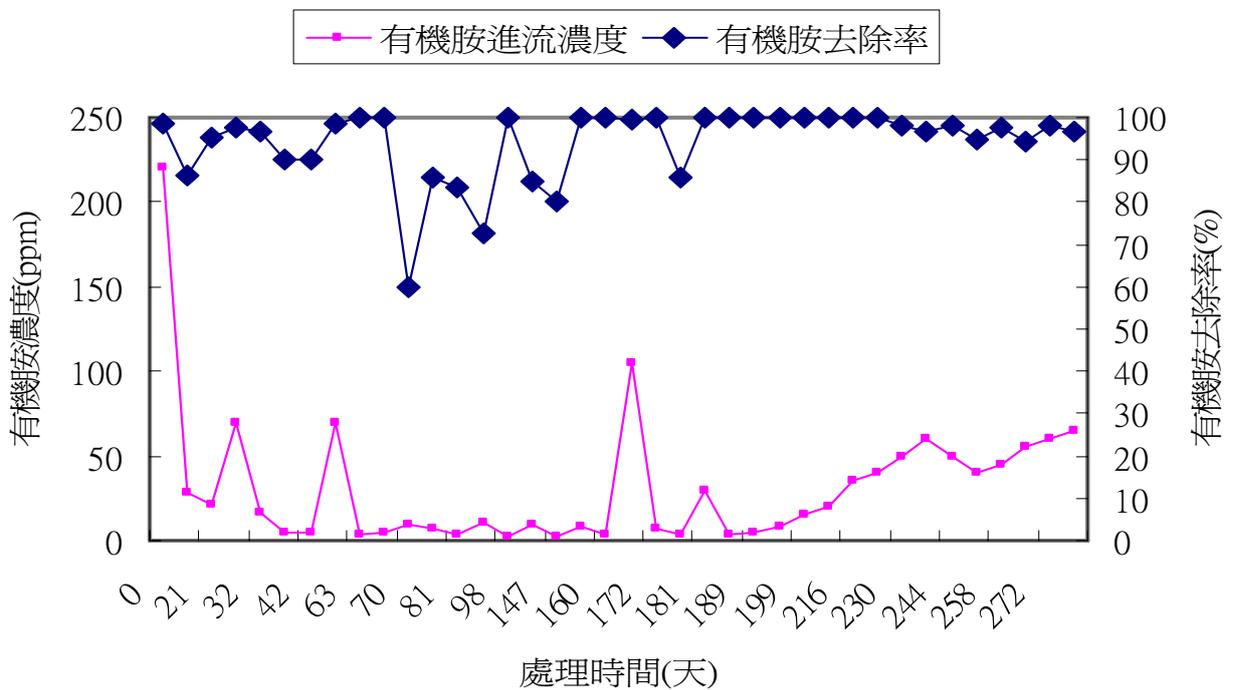


圖 4 大型實場生物除臭系統去除有機胺效率

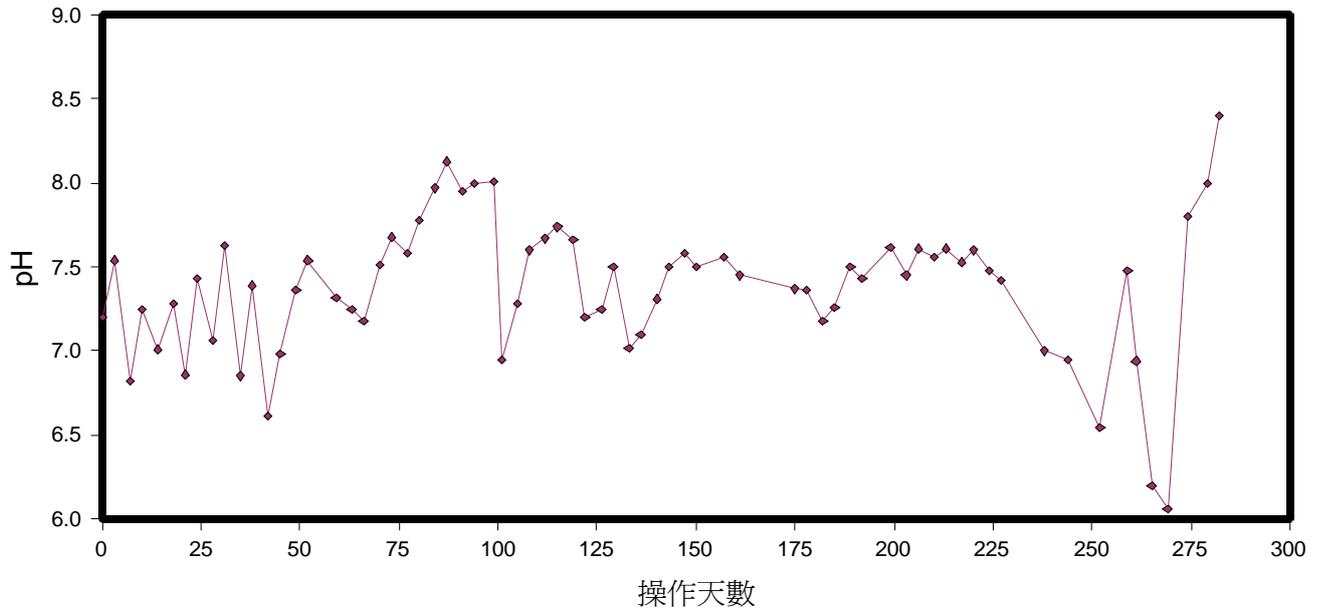


圖 5 大型實場生物除臭系統循環水酸鹼值變化

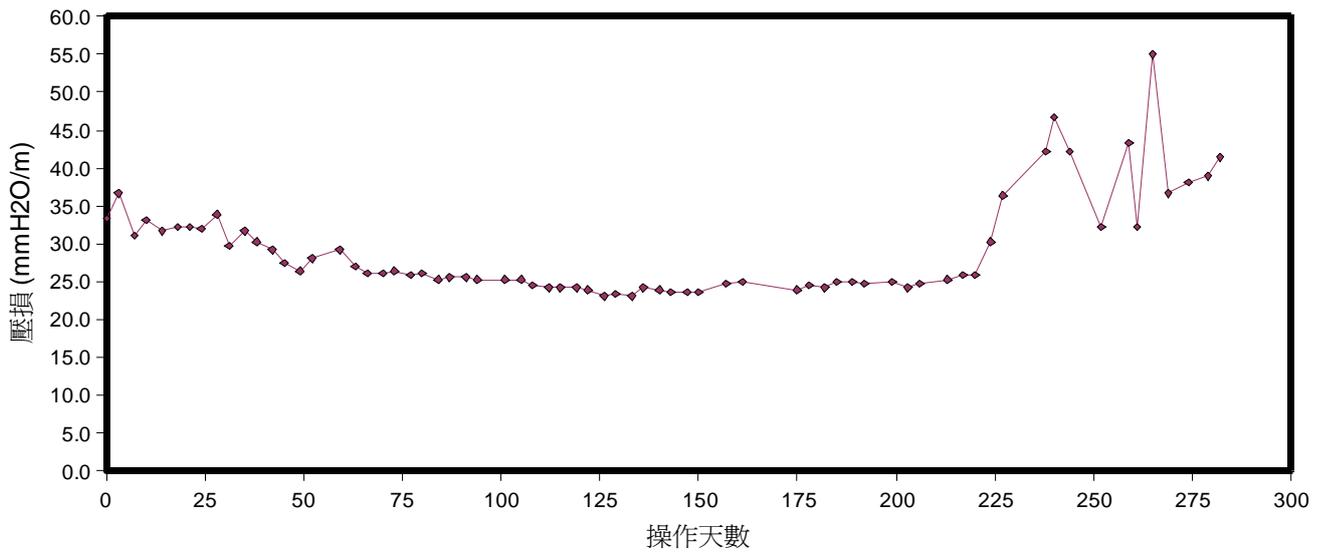


圖 6 大型實場生物除臭系統壓損變化

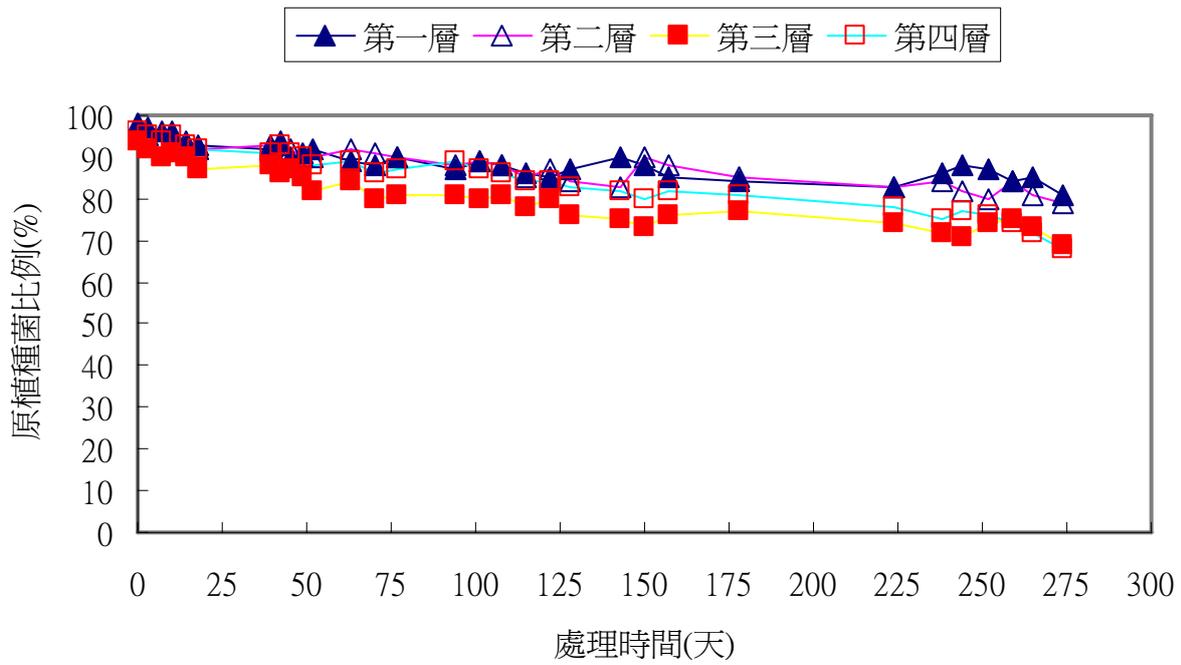


圖 7 大型實場生物除臭系統各層原植種菌數比例變化

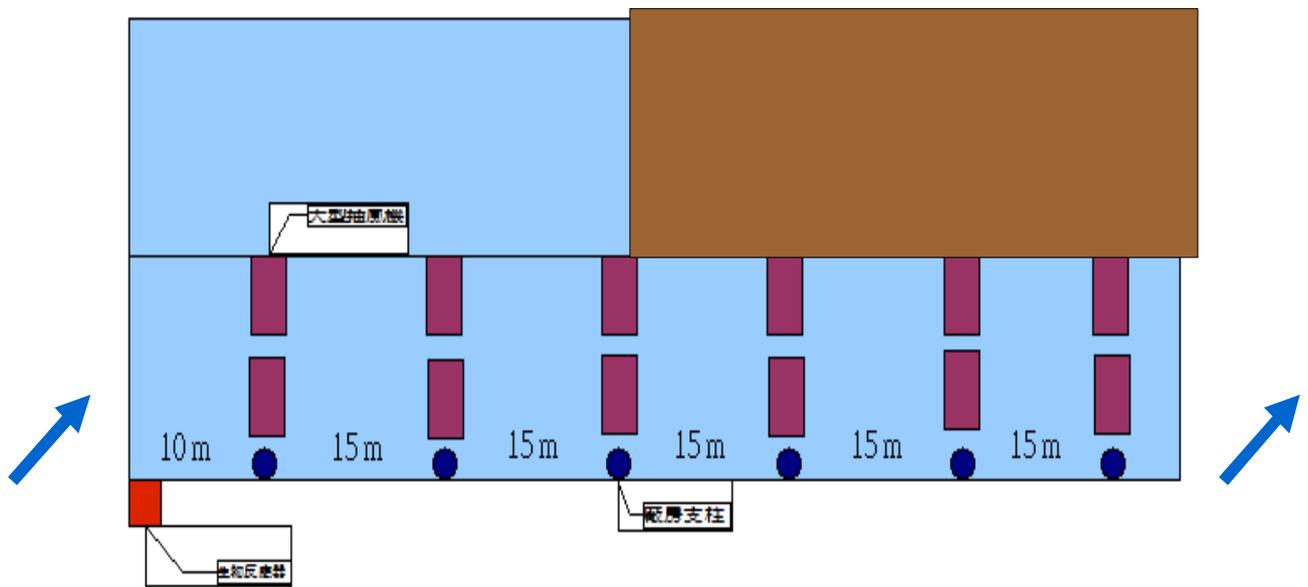


圖 8 大型實場空氣對流循環系統架設示意圖

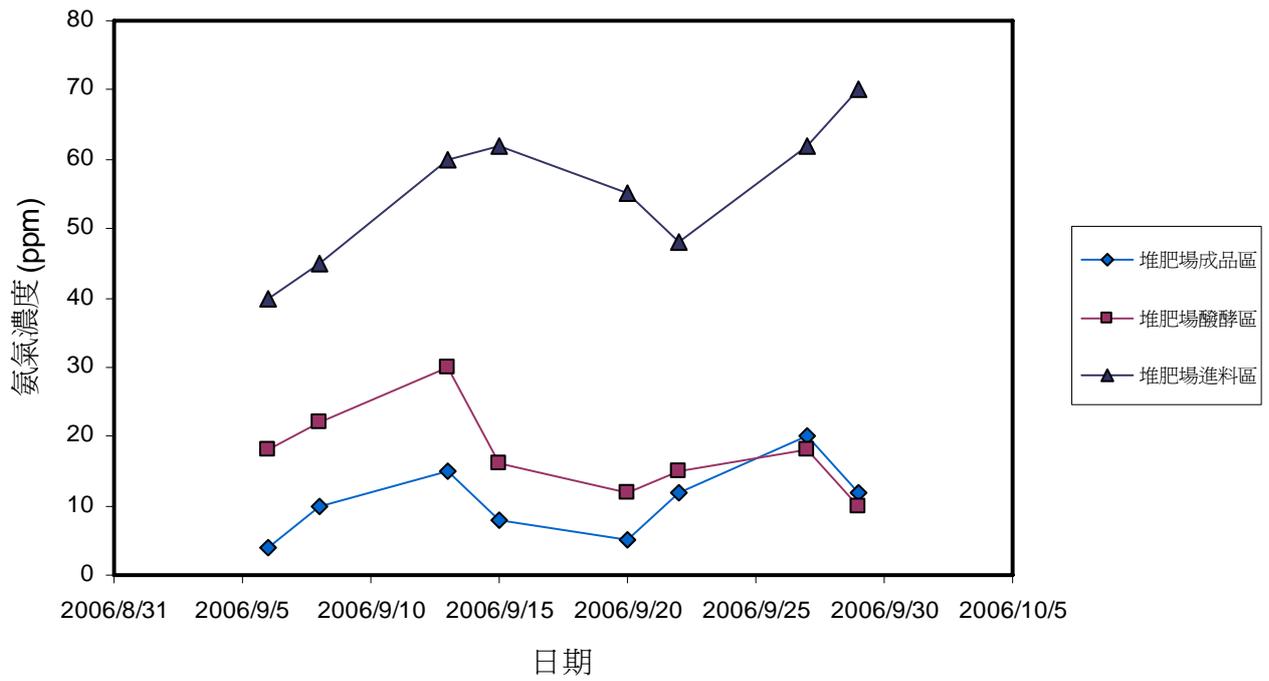


圖 9 大型實場空氣對流循環系統開機時氨氣濃度變化

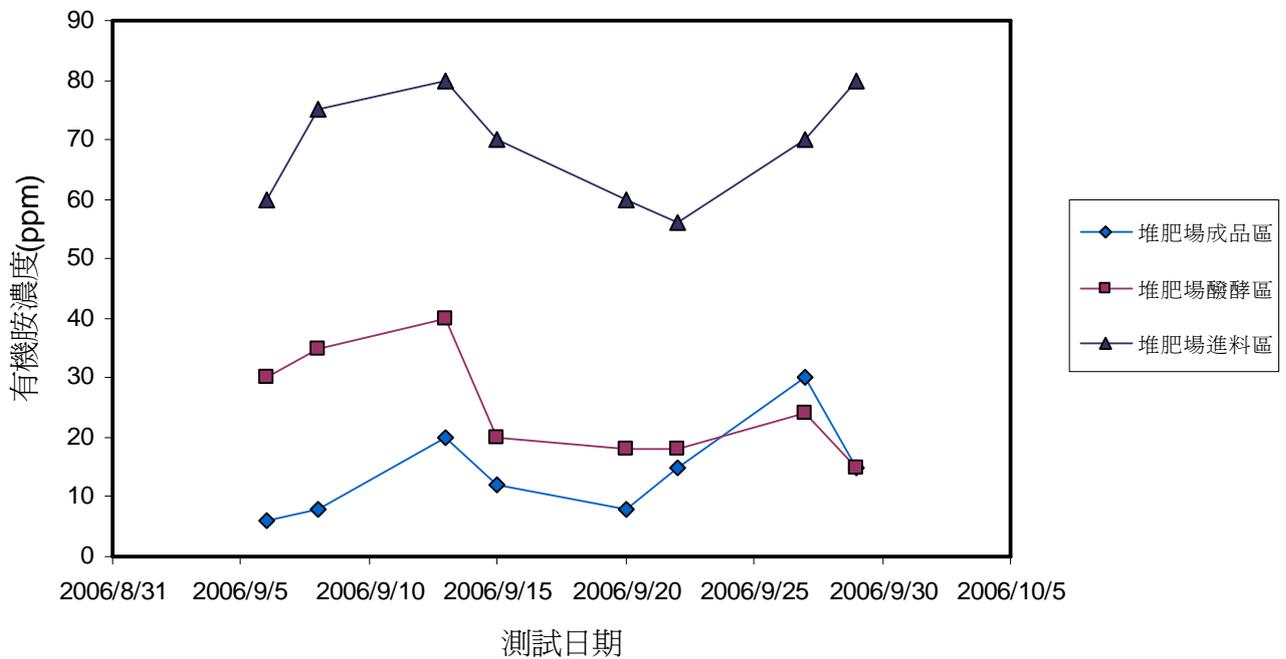


圖 10 大型實場空氣對流循環系統開機時有機胺濃度變化