

2025年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號	200003
參展科別	環境工程
作品名稱	禽畜糞堆肥除臭與氨氣資源化
得獎獎項	四等獎

就讀學校	國立中山大學附屬國光高級中學
指導教師	黃翠瑩
作者姓名	黃詠靖

關鍵詞 堆肥、木黴菌、稀硫酸水洗

作者簡介



從小家庭生活的薰陶，以及父母工作的耳濡目染下，長期接觸科學研究，並進而產生興趣，常常將研究與生活融為一體。在成長過程中，常常歷經須長時間專注於某件事上，不免也更常遭遇橫亙在前的挫折與瓶頸，體認出先靜心思考去定義問題，才是解決問題的不二法門。也深刻體認出唯有具備多元且韌性的特質，才有能量迎接未來各式挑戰。之後將秉持不怕失敗、能歸納經驗，及時調整方向，並堅持到最後的精神，持續人生的旅途。

研究報告封面

2025 年臺灣國際科學展覽

研究報告

科別：環境學科(含衛工、環工、環境管理)

作品名稱：禽畜糞堆肥除臭與氨氣資源化

關鍵詞：堆肥、木黴菌、稀硫酸水洗（最多三個）

編號：

（編號由國立臺灣科學教育館統一填列）

禽畜糞堆肥除臭與氨氣資源化

目錄

(本作品說明書中所有圖片均屬自行拍攝與製作)

摘要	1
壹、研究動機	1
貳、研究目的	2
參、研究設備及器材	2
一、量測儀器與設備	2
二、堆肥管試驗設備	3
三、堆肥箱試驗設備	3
四、稀硫酸水洗試驗設備	4
五、異味污染物分析設備	4
肆、研究過程或方法	5
一、研究架構	5
二、檢測及分析方法	6
三、木黴菌添加比例	6
四、稀硫酸水洗試驗	10
伍、研究結果	12
一、堆肥管排氣異味與木黴菌比例	12
二、堆肥箱排氣異味與木黴菌比例	14
三、氨氣去除率與吸收液 pH 值	20
四、氨氣去除率與吸收液量	21
陸、討論	24
一、堆肥管試驗之結果討論	24
二、堆肥箱試驗之結果討論	24
三、氨氣以稀硫酸水洗之資源化結果討論	24
柒、結論	25
一、堆肥添加木黴菌的影響	25
二、氨氣去除率與吸收液 pH 值	25
三、應用潛力	26
四、後續研究	26
五、願景與藍圖	26
捌、參考資料及其他	26

摘要

禽畜糞堆肥常伴隨氨氣排放而有異味問題。目前成本低、培養易的木黴菌已廣泛用在堆肥中來加速發酵。此外，部分業者會將含氨臭的氣體蒐集再以稀硫酸水洗，產物硫酸銨可作為氮肥，但多被排棄。本研究結合木黴菌添加與排氣稀硫酸水洗，可縮短堆肥期程，更將氨氣肥料化，以(1)木黴菌合適添加劑量、(2)稀硫酸水洗參數等二項為試驗主軸。結果顯示：(1)添加 2/100 木黴菌可使堆肥成品中總氮增加 13%，減少氨排放；(2)含氨排氣經 pH 6-7 稀硫酸水洗，98%的氨氣轉化成含約 1,400 mg/L 之硫酸銨溶液，氮含量為 300 mg/L，相當於沼渣沼液農地施灌水準。

Composting of poultry and livestock manure often has odor problems associated with ammonia emissions. At present, Trichoderma, which is low-cost and easy to cultivate, has been widely used in compost to accelerate fermentation. In addition, some operators will collect gas containing ammonia odor and wash it with dilute sulfuric acid. The product ammonium sulfate can be used as nitrogen fertilizer, but it is mostly discarded. This study combines the addition of Trichoderma and exhaust dilute sulfuric acid water washing, which can shorten the composting period and turn ammonia into fertilizer. The test focuses on (1) the appropriate additive amount of Trichoderma and (2) dilute sulfuric acid water washing parameters. The results show that: (1) adding 2/100 Trichoderma can increase the total nitrogen in the finished compost product by 13% and reduce ammonia emissions; (2) the ammonia-containing exhaust gas is washed with dilute sulfuric acid at pH 6-7, and 98% of the ammonia gas is converted into The ammonium sulfate solution contains approximately 1,400 mg/L and the nitrogen content is 300 mg/L, which is equivalent to the level of agricultural land irrigation using biogas residue and biogas slurry.

壹、研究動機

鄉下外公家旁邊緊鄰養蛋雞場，只要是下雨過後再太陽曝曬，雞糞味道臭氣沖天。引導我思考是否有解決的方式，經上網收集資料，了解大部份雞糞都送至堆肥場，妥善處理後可作為肥料施用在農地上，減少農藥使用與購買成本。以資源循環再利用的概念，此法不僅有助處理大量的禽畜糞便，更使原本看似無用的排泄物重新回到價值鏈的源頭而產生效益。

根據循環農業科技推動方向資料(莊老達，2023)，2040 年循環農業政策將推動 1,000 萬公噸農業剩餘資源再利用，將剩餘資源飼料化、肥料化、能源化、材料化，以達成農業部門零廢棄目標，將循環農業科技推動方向朝向能源化與材料化等加值應用模式發展。

堆肥發酵過程的氮循環會產生溫室氣體(Bao et al., 2022)，若在厭氧狀態釋出氧化亞氮，

好氧狀態釋出氨。屬於臭味成分的氨在目前的減碳氛圍下，含有 3 個氫原子的氨儼然是無碳燃料的代名詞。目前台灣地區所採取的堆肥空污防制方法有：(1)抽排氣稀硫酸水洗法，(2)抽排氣次氯酸噴霧除臭法，(3)周界次氯酸噴霧除臭法，以及(4)抽排氣木屑脫臭法等末段處理方法。此外，還有在堆肥過程加入除臭微生物(主要為木黴菌)之堆肥調整方式，功能是在加速發酵，減少氨損失及臭味產生。結合木黴菌與農業剩餘資源如動物糞便、蔗渣、木屑等物質共同發酵，可產製新型生物性堆肥、抑菌介質等，除可改善堆肥介質品質外，並能誘發多種有益微生物，能與植物根系共生，進而促進養份吸收能力，可達到促進植物生長目的。

木黴菌屬於絲狀真菌類，是目前生物防治應用最普遍的真菌菌種。農業部臺中區農業改良場研究員陳俊位長期投入微生物研究，篩選純化出木黴菌系列菌株(*Trichoderma asperellum* 及 *T. asperelloides*)，並利用這些菌株研發多項農業生技產品，如生物性堆肥、抑菌介質、功能性微生物製劑等，在田間運用成效顯著。身為自然界中出色的分解者，木黴菌能將動物糞便、菇類木屑等剩餘物質轉換成營養堆肥，使棄置的農業副產物搖身一變，成為循環再生的友善堆肥。除了太空包跟雞糞，農業剩餘物像是蝦殼、蔗渣、牛糞、豬糞、粗糠等等，都可以拿應用。比如彰化王功有很多雞場，可用香菇木屑或木耳製成的墊料來除臭。那些混合墊料的糞便清出來後，又做成肥料再生利用，增進農業廢棄物處理的效用，落實循環經濟的宗旨(豐年雜誌，2021 年 8 月)。

目前木黴菌已廣泛應用在台灣農業，具有成本低、培養容易及抗病性強的優點，相關研究顯示其具有加速堆肥反應的特性。本研究的動機就是將這二項優勢相互結合，縮短堆肥期程以減輕異味排放的衝擊，更可將異味主要成份氨氣進一步肥料化。相關試驗可依據先前所學的氮循環、弱酸與弱鹼、解離常數等生物與化學的領域知識進一步學以致用。

貳、研究目的

本研究目的之一為確認在堆肥原料中添加木黴菌除臭對除臭效果之影響，建議添加劑量；之二為確認稀硫酸水洗法的明確操作條件，建議經濟有效之處理條件。

研究項目為：

- 一、探討堆肥原料添加不同比例木黴菌對異味產出的影響；
- 二、探討吸收液 pH 值對氨氣去除率的影響。

參、研究設備及器材

- 一、量測儀器與設備

風速計、數位式溫度錶、酸鹼度計、分光光度計、電子分析天平、氣體偵測器、電磁加熱攪拌器、烘箱及破碎機等，照片及型號規格如表 3-1 及圖 3-1 所示。

表 3-1：使用儀器型號及用途(資料來源：表 3-1 作者自行整理)

項目	型號	用途
風速計	PROVA/AVM-03	堆肥箱排氣管風速量測
數位式溫度錶	宇鋒電機/MODEL YF-160A/TYPE-K	堆肥箱排氣溫度量測
酸鹼度計	SUNTEX/pH TS-210	稀硫酸水 pH 調整
分光光度計	Thermo Scientific/GENESYS 20	量測硝酸鹽、亞硝酸鹽及氨
電子分析天平	sartorius/BSA224S-CW	堆肥樣品稱重
氣體偵測器	德爾格 Dräger X-am7000	測氨氣
電磁加熱攪拌器	SUNTEX/SH-301	稀硫酸溶液攪拌用
烘箱	PRECISION OVEN	堆肥樣品烘乾
破碎機	磨豆機 PEARL HORSE SHW-299-B	堆肥樣品磨碎



圖 3-1：儀器照片(資料來源：圖 3-1 作者自行拍攝)

二、堆肥管試驗設備

堆肥管為不銹鋼製之網管(高 21 cm、試驗填充高 20 cm、內徑 13 cm，填充體積 2.65 L)，裝於塑膠材質之有蓋密閉收集盒(長 30.2 cm、寬 22.5 cm、高 32 cm，體積 22 L)中收集

排出氨氣，另有溫度計、鏟子、電子秤，照片如圖 3-2。



圖 3-2：堆肥管設備及儀器(資料來源：圖 3-2 作者自行拍攝)

三、堆肥箱試驗設備

堆肥箱為 200 L 塑膠箱(長 68 cm、寬 48 cm、高 60 cm)，底部設置多孔管並連通送風機，可將空氣注入堆肥箱進行喜氣發酵，設備照片如圖 3-3 所示。



圖 3-3：箱型堆肥設備(資料來源：圖 3-3 作者自行拍攝)

四、稀硫酸水洗試驗設備

氣體幫浦可將含氨氣體注入衝擊瓶中進行吸收，設備照片如圖 3-4 所示。

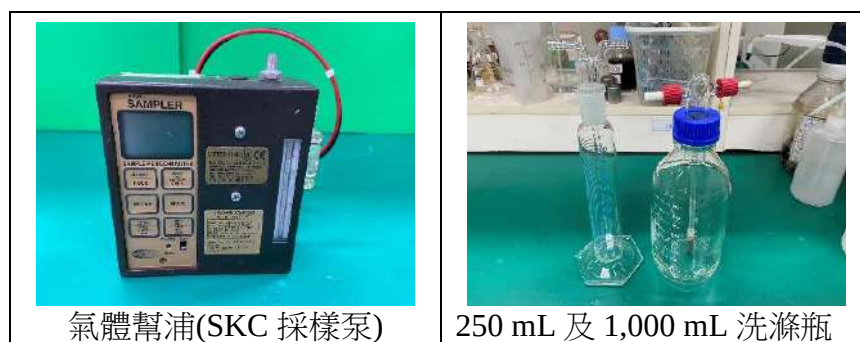


圖 3-4：稀硫酸水洗試驗使用之設備及器材(資料來源：圖 3-4 作者自行拍攝)

五、異味污染物分析設備

利用採樣袋及採樣管收集氣樣，以玻璃針筒抽取定量氣樣注入已充入定量稀釋空氣之嗅袋。空氣鋼瓶與氨氣鋼瓶分別供應稀釋氣體與採樣袋/嗅袋的清洗氣體，照片如圖 3-5。



圖 3-5：異味污染分析設備及器材(資料來源：圖 3-5 作者自行拍攝)

肆、研究過程或方法

一、研究架構

本研究架構主要分為木黴菌添加比例與稀硫酸水洗參數二項主軸，如圖 4-1 所示：

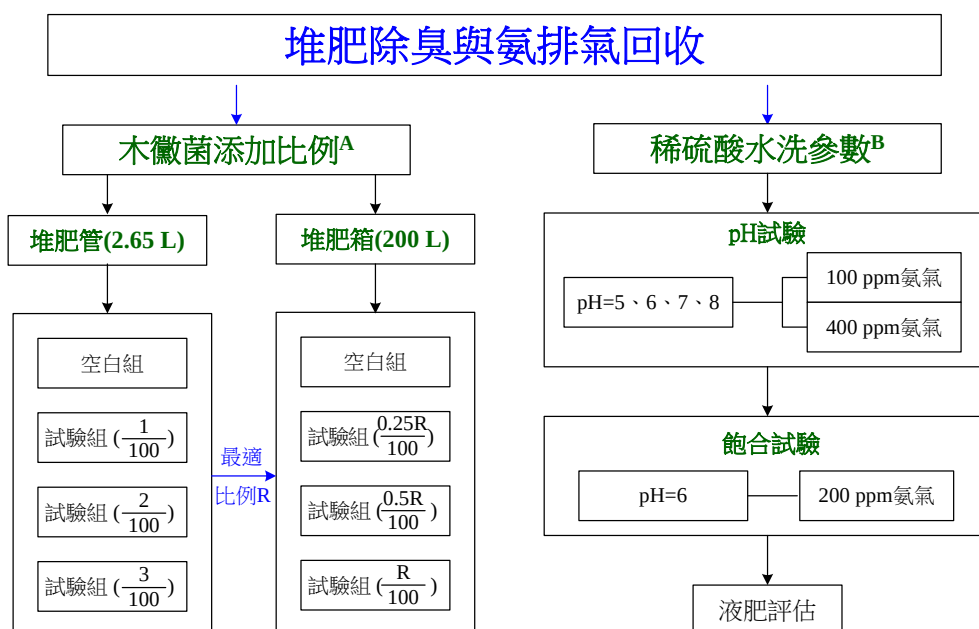


圖 4-1：研究架構(資料來源：圖 4-1 作者自行繪製)

備註：

A：堆肥場先使用市售 1 kg 木黴菌粉劑施用於 5-10 t 堆肥混合材進行發酵，半成品時再追加

1 kg 木黴菌，依此計算劑量為 0.1-0.4 g 木黴菌/kg 堆肥。本實驗劑量為 0、0.5、1.0 及 1.5 g 木黴菌/kg 堆肥，實驗木黴菌含量為 0.05 g/mL，換算添加量為 0、10、20 及 30 mL 活化液，即空白組、木黴菌組 10/1,000、20/1,000 及 30/1,000 mL/g (1/100、2/100、3/100)。

B：一般堆肥供氣方式有自動化機械攪拌、鼓風機通氣及人工鏟裝等，會造成不同程度的氨氣逸散。堆肥區上方氨氣最高濃度範圍 100-400 ppm，故稀硫酸吸收試驗的進氣氨選用 100 及 400 ppm，另因現場堆肥區上方平均值約 200 ppm，故飽合試驗設定為 200 ppm。此外，文獻得知氨氣容易被稀硫酸吸收，故試驗吸收液 pH 為 5、6、7 及 8 之氨吸收效率，以選定最適操作 pH；最後以 pH 6 的吸收液進行飽合吸收試驗，確定吸收之氣液比參數。

R：堆肥管試驗結果中，最適的木黴菌添加比例。

(一)堆肥試驗

- 1.以堆肥管測試添加不同比例木黴菌對堆肥過程總氮損失及異味污染物的影響，
- 2.以堆肥箱驗證最適比例木黴菌之堆肥過程總氮損失及異味污染物的影響。

(二)稀硫酸水洗試驗

- 1.不同吸收液 pH 的試驗，
- 2.飽和試驗。

二、檢測及分析方法

檢測及分析以採用環境部公告標準方法為主，整理如表 4-1。

表 4-1：各試驗分析項目及方法(資料來源：表 4-1 作者自行整理)

堆肥試驗			
分析項目	分析方法	分析項目	分析方法
水分	NIEA R213.21C/烘乾秤重	亞硝酸鹽氮	NIEA W418.54C/儀器分析
總氮	NIEA W423.52C/儀器分析	氨氣	檢知管測定
凱氏氮	NIEA W451.52A/儀器分析	異味分析	NIEA A201.14A/官能測定
硝酸鹽氮	NIEA W419.51A/儀器分析	溫度	溫度計量測
水中氨氮	Hach Method 8038/儀器分析	氣體取樣	NIEA A201.14A/抽氣裝袋
稀硫酸水洗試驗			
分析項目	分析方法	分析項目	分析方法
pH	pH 儀器測定	異味分析	NIEA A201.14A/官能測定
氨氣	檢知管測定、儀器分析	氨氮	Hach Method 8038/儀器分析

氨氣濃度檢知管屬於快速檢測裝置，檢知管內試劑與氨接觸後會反應改變顏色，藉由檢知管刻度量化氨氣濃度，其反應式： $2\text{NH}_3 + \text{H}_3\text{PO}_4 \rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ (淡紫色→淡黃色)。

異味分析依循環境部標準檢測方法 NIEA A201.14A，方法主要是將有異味之氣體樣本裝入某個臭味袋中並以標準方法中所明列的稀釋倍數以定量乾淨空氣進行稀釋，同時與 2 個內裝乾淨空氣的臭味袋給 6 名合格嗅覺判定員以嗅覺判斷那個臭味袋裝有異味氣體，若正確聞出就再進行稀釋，最終再平均計算嗅覺判定員可以聞出之稀釋倍數，結果表示為異味污染物濃度。

三、木黴菌添加比例

本試驗主軸為不同添加比例木黴菌對異味的影響。

(一)配製增殖強化木黴菌

為配製本試驗所需要的木黴菌活化液，參考高雄市第 58 屆中小學科學展覽會木黴菌之增殖及其應用於禽畜糞堆肥之研究報告(簡綵彤，2018)，其菌量為一般市售產品 50-60 倍，以市售木黴菌加工活化使其增殖後之活化液。取 1 L 無菌玻璃血清瓶，內裝 0.4 L 去離子水，依表 4-2 木黴菌、糖蜜、牛奶及尿素，再定量至 0.5 L。經 24 小時曝氣好氧活化後之木黴菌含量(0.05 g 木黴菌/mL)與文獻相當，圖 4-2 為配製增殖強化木黴菌過程。

表 4-2：增殖強化木黴菌之營養鹽添加量(資料來源：表 4-2 作者自行製表)

物質/條件	添加量(文獻)	添加量(本研究)
木黴菌(g)	50	25
糖蜜(mL)	50	25
牛奶(g)	25	12.5
尿素(g)	25	12.5
曝氣量(L/min)	2.5	2.5
曝氣時間(小時)	24	24
水量(L)	1	0.5



圖 4-2：配製增殖強化木黴菌過程(資料來源：圖 4-2 作者自行拍攝)

(二)堆肥管試驗

已混合生雞糞及稻殼之糞肥取自南部某有機質肥料場，試驗參數為空白組、添加木黴菌

/未發酵堆肥重量比 1/100、2/100、3/100，共 4 組，如圖 4-3。將 7 kg 上述未發酵堆肥填充至堆肥管後置入密閉收集盒。每日先量測盒內氨氣及翻堆前後堆肥溫度(圖 4-4)，說明如下：

- 1.待 1-3 天，由密閉收集盒頂部小孔，利用 10 mL 或 100 mL 針筒取樣，量測氨氣。
- 2.氨氣量測後開啟密閉收集盒，量測堆肥中心溫度。
- 3.溫度量測後，倒出翻堆，再回填於堆肥管，再量測堆肥中心溫度。



圖 4-3：堆肥管設備(資料來源：圖 4-3 作者自行拍攝)

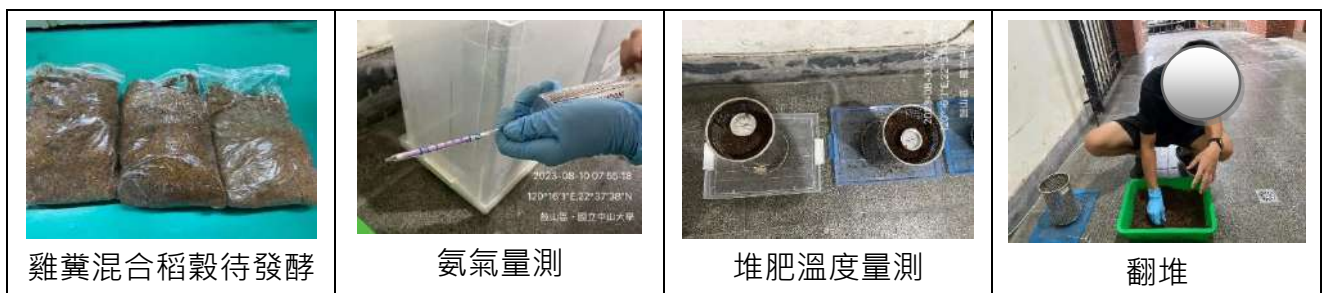


圖 4-4：試驗過程照片(資料來源：圖 4-4 作者自行拍攝)

(三)堆肥箱試驗

使用相同的堆肥原料，依堆肥管試驗結果所得到的最適比例 R/100，再細分為空白組、0.25R/100、0.5R/100、R/100，共 4 組，如圖 4-5。試驗步驟如下：

- 1.每組秤取 120 kg 未發酵堆肥，參照表 4-3 箱型堆肥木黴菌添加量及未發酵堆肥量進行配製，混合均勻後置入堆肥箱並蓋上蓋子。
- 2.利用定時器設定送風機啟動關閉時間，送風 10 min、停 110 min，送風時量測風速，每個堆肥箱進氣端均有加裝球閥控制開度以調整進氣量，可以控制送風量。



圖 4-5：堆肥箱試驗(資料來源：圖 4-5 作者自行拍攝)

表 4-3：堆肥箱木黴菌活化液添加量及未發酵堆肥量(資料來源：表 4-3 作者自行製表)

組別	(1)-空白組	(2)-試驗組	(3)-試驗組	(4)-試驗組
桶子編號	1	2	3	4
木黴菌活化液添加量(mL)/堆肥量(kg)	0	0.25R/100	0.5R/100	R/100
堆肥箱空重(kg)	7.5	7.5	7.5	7.5
堆肥箱空重+糞(kg)	127.5	127.5	127.5	127.5
未發酵堆肥量(kg)	120	120	120	120
木黴菌活化液添加量(L)	0	0.6	1.2	2.4
去離子水(L)	2.4	1.8	1.2	0

3.堆肥箱代表性量測選定

(1)排氣氨濃度量測時間：以第 1 日送風時，每分鐘利用氨氣檢知管(3M 測定濃度範圍 10-1,000 ppm)在堆肥箱頂部排氣管連續量測氨濃度，以氨濃度達穩定點之時間為後續氨濃度量測時間點。

(2)排氣溫度量測時間：以第 1 日送風時，每分鐘在堆肥箱頂部排氣管連續量測排氣溫度，以溫度達穩定點之時間為後續風溫量測時間點。

(3)堆肥溫度量測位置：待 24 小時後的第 2 日，打開堆肥箱頂蓋量測內部的溫度，測點分佈為填充體積 68 cm×48 cm×40 cm 等距切分為 4×4×3 區塊，並量取節點溫度，再以最高溫度為代表，如圖 4-6。

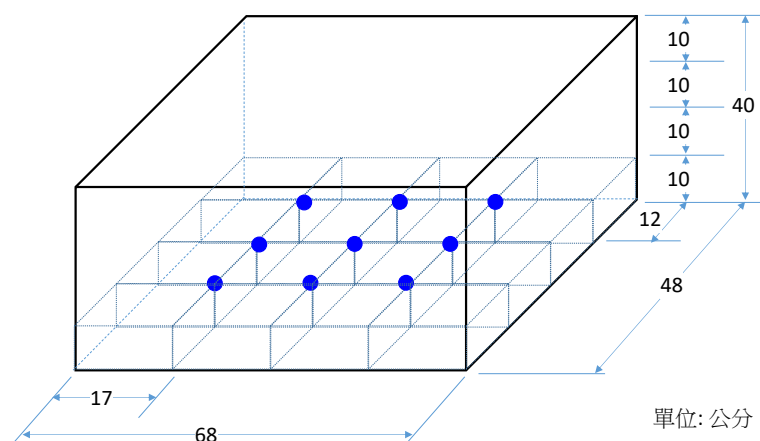


圖 4-6：堆肥箱溫度量測點(資料來源：圖 4-6 作者自行繪製)

4.每日量測數據如下：

- (1)記錄環境溫度。
- (2)送風機未啟動時，量測堆肥箱內溫度。
- (3)送風機啟動後 5 min，量測排氣風速、風溫、氨氣濃度。

- (4)停止送風後量測堆肥槽內溫度。
- 5.視發酵情況每 7-10 日進行翻堆。
- 6.同上時間點進行異味採樣，堆肥初期排氣中若含有大量水氣，可接冷凝瓶先去除水氣再導入 3 L 採氣袋收集氣體進行異味分析，如圖 4-7。

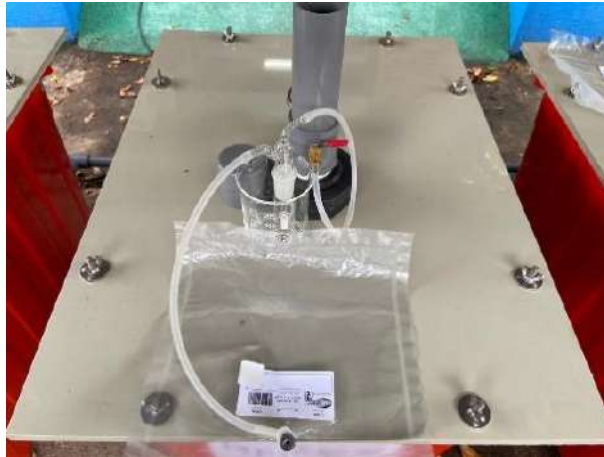


圖 4-7：堆肥初期異味採樣(資料來源：圖 4-7 作者自行拍攝)

四、稀硫酸水洗試驗

本主軸為測試最適氨水洗回收參數。

(一)洗滌水 pH 的影響試驗

圖 4-8 為水洗設備示意，吸收液 pH 分別調整為 5、6、7、8，試驗進氣氨氣濃度分別為 100 及 400 ppm。試驗步驟如下：

- 1.以真空泵將堆肥箱排氣導入 50 L 試驗氨氣儲存袋，並利用檢知管量測濃度，計算稀釋至試驗濃度所需空氣量後再以真空泵注入。
- 2.5 L 塑膠量筒中取約 1 L 去離子水加入磁石，置於攪拌機上，利用稀硫酸及氫氧化鈉調整吸收液 pH 值。
- 3.取 500 mL 上述吸收液置入 1 L 洗滌瓶，同時再取 300 mL 吸收液分析氨氮濃度。
- 4.採樣袋與洗滌瓶分別連接於 SKC 採樣泵進氣端與排氣端，流量設定為 1 L/min，試驗 20 min。
- 5.每 5 min 利用檢知管量測排氣氨氣濃度。
- 6.試驗後量測吸收液 pH 值，並取 300 mL 分析水中氨氮濃度。

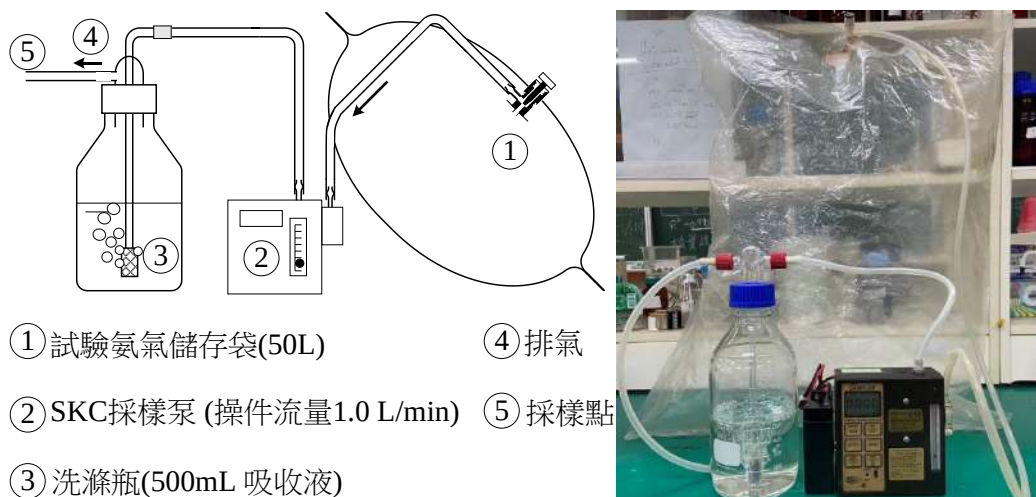


圖 4-8：稀硫酸水洗設備示意圖及照片(資料來源：圖 4-8 作者自行繪製及拍攝)

(二)飽和試驗

圖 4-9 為稀硫酸水洗飽合試驗設備，以 pH 為 6 進行 420 min 吸收試驗，步驟如下：

- 1.以真空泵將堆肥箱排氣導入 50 L 試驗氨氣儲存袋，並利用檢知管量測濃度，計算稀釋至試驗濃度所需空氣量後再以真空泵注入。
2. 5 L 塑膠量筒中取約 0.5 L 去離子水加入磁石，置於攪拌機上，利用稀硫酸調整吸收液之 pH 為 6。
- 3.取 100 mL 上述吸收液置入 250 mL 洗滌瓶，同時再取 200 mL 吸收液分析氨氮濃度。
- 4.採樣袋與洗滌瓶各連接於 SKC 採樣泵進氣與排氣端，流量為 1 L/min，試驗 420 min。
- 5.洗滌瓶排氣端管線配製 3 通閥，可同步以氣體分析儀監測氨氣濃度及異味採樣。
- 6.每 30 min 記錄排氣氨濃度及吸收液中 pH 值。
- 7.試驗後量測吸收液 pH 值，並取 300 mL 分析水中氨氮濃度。

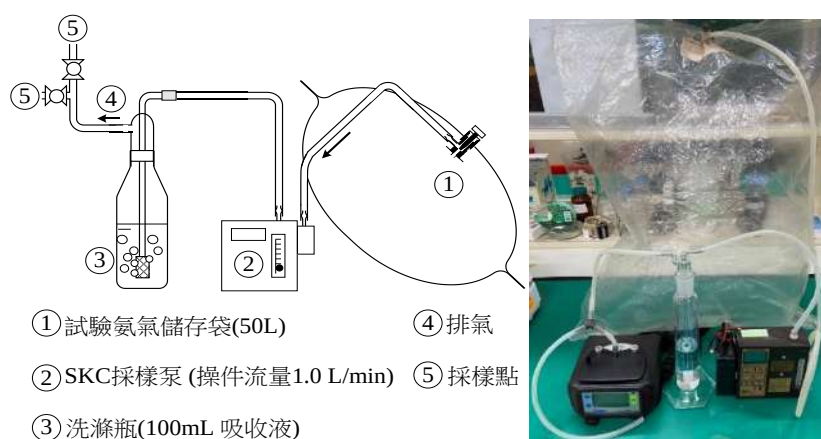


圖 4-9：稀硫酸水洗飽合試驗設備示意圖及照片(資料來源：圖 4-9 作者自行繪製及拍攝)

(三)氨氣資源化之液肥評估

經堆肥過程產生氨氣，經稀硫酸水洗吸收後為硫酸銨溶液，並與市售化學肥料比較氮素含量，評估做為液肥之可行性。圖 4-10 為堆肥產物資源化途徑。

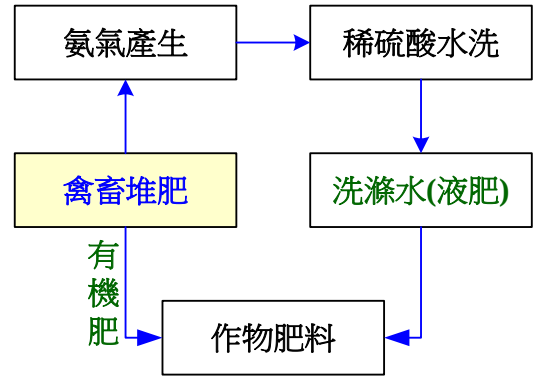


圖 4-10：堆肥產物資源化途徑(資料來源：圖 4-10 作者自行繪製)

伍、研究結果

一、堆肥管排氣異味與木黴菌比例

表 5-1 為實驗室發酵前後分析數據，表中包含有發酵前後水分、堆肥重量、總氮、木黴菌添加量及異味污染物分析數據。未發酵雞糞水分為 54.5%；發酵 30 天空白組、1/100 木黴菌組、2/100 木黴菌組及 3/100 木黴菌組，水分分別為 34.3、33.6、34.5 及 34.9%。發酵 30 日之物料乾基損失約 19.4~21.9%，平均 20.3%。

表 5-1：堆肥管發酵前後分析數據(資料來源：表 5-1 作者自行製表)

		空白組	1/100	2/100	3/100
木黴菌添加量(mL)		0	10	20	30
去離子水(mL)		30	20	10	0
發酵前	原料量(g，濕基)	1,144	1,115	1,230	1,177
	原料量(g，乾基)	520	507	559	535
	水分(%)	54.5	54.5	54.5	54.5
	總氮(TN)(%)	3.66	3.66	3.66	3.66
發酵後 (30 日)	堆肥量(g，濕基)	618	614	680	662
	堆肥量(g，乾基)	406	408	445	431
	水分(%)	34.3	33.6	34.5	34.9
	總氮(TN) (%)	2.63	2.86	3.17	2.73
	排氣異味污染物	1,740	309	232	309
發酵損失 (乾基)	質量(%)	21.9	19.5	20.4	19.4
	總氮 TN(%)	43.9	37.1	31.0	39.9

(一)堆肥管溫度量測結果

經統計整理逐日的翻堆前後之中心溫度，如圖 5-1。空白組、1/100、2/100 及 3/100 木黴菌組，翻堆前中心溫度範圍為 30~35、31~35、30~38 及 30~35°C，翻堆後為 29~34、30~34、29~35 及 29~34°C。

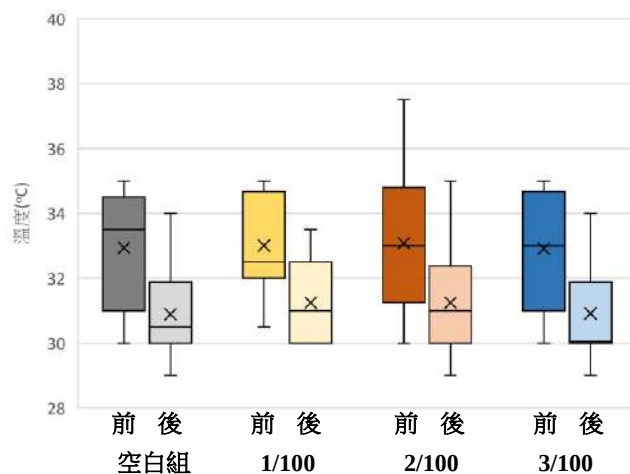


圖 5-1：翻堆前後堆肥溫度關係(資料來源：圖 5-1 作者自行繪製)

(二)氣相氨氣量測結果

圖 5-2 及圖 5-3 為密閉盒內堆肥管氣相中氨氣濃度與發酵天數及排氣中總氮量。

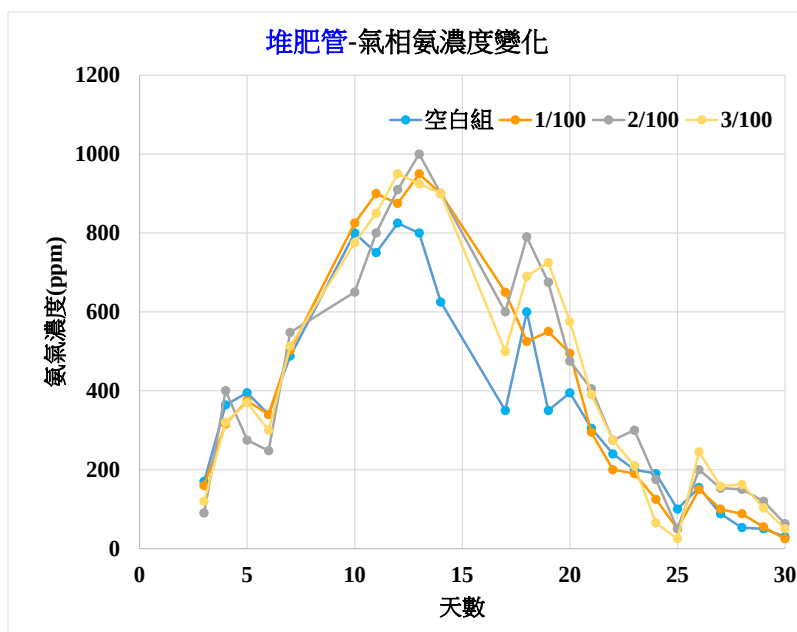


圖 5-2：密閉盒內堆肥管氣相中氨氣濃度(資料來源：圖 5-2 作者自行繪製)

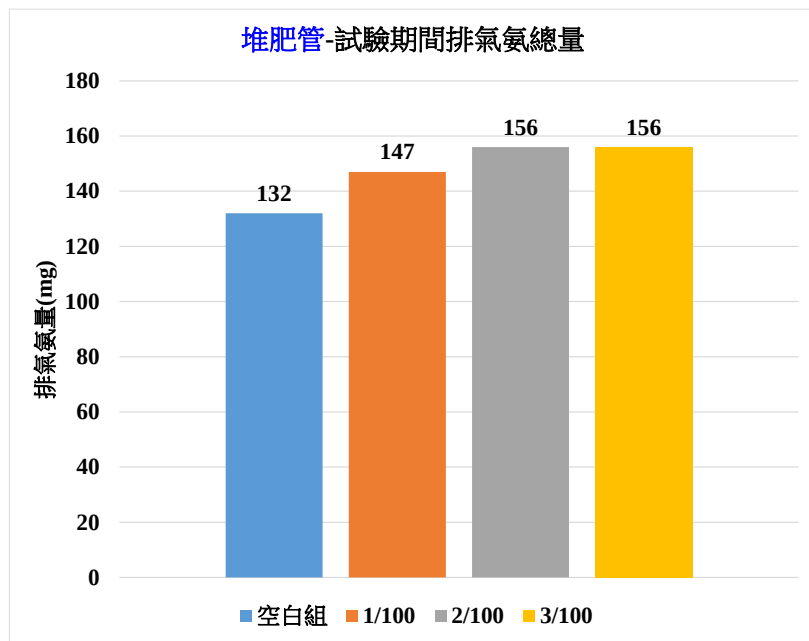


圖 5-3：密閉盒內堆肥管氣相中氨量(資料來源：圖 5-3 作者自行繪製)

(三)異味污染物分析

堆肥 27 天時取密閉盒空間氣體，進行異味分析，表 5-1 為分析結果。空白組、1/100、2/100 及 3/100 木黴菌組，異味污染物分別為 1,740、309、232 及 309。

(四)堆肥中總氮分析

發酵前後取樣品，風乾後破碎，利用四分法將風乾樣品等分成四等份後，再自各等份中取一定量的樣品，進行總氮(TN) (包含凱氏氮(TKN)、亞硝酸鹽氮($\text{NO}_2\text{-N}$)及硝酸鹽氮($\text{NO}_3\text{-N}$))分析。表 5-1 為堆肥管發酵前後總氮分析數據；未發酵堆肥、空白組、1/100、2/100 及 3/100，TN 以乾基計算分別為 3.66、2.63、2.86、3.17 及 2.73%。發酵損失總氮空白組、1/100、2/100 及 3/100 分別為 43.9、37.1、31.0 及 39.9%。

二、堆肥箱排氣異味與木黴菌比例

(一)先期量測結果

堆肥箱試驗時會量測排氣氨濃度與排氣溫度，且鼓風機送風運轉 10 min，為了讓其量測時機點具代性，先了解排氣氨濃度與溫度隨著送風時間的變化。同樣地，因堆肥箱體積為堆肥管 75 倍，也需先量測內部的溫度分佈。數據如下

1.排氣氨濃度量測時間

因送風時間為 10 min，了解開始送風過程氨氣濃度變化，堆肥第 1 天期間原進行每分鐘量測，最初因為作業時間不及，調整修正後改採每 2 分鐘量測一次為可行的時距。後又因不同稀釋倍數及不同刻度範圍，導致量測結果無規則性，再經多次嘗試，必須採相同刻度範圍

及相同稀釋倍數，結果顯示如圖 5-4 為排氣氨濃度與時間變化。

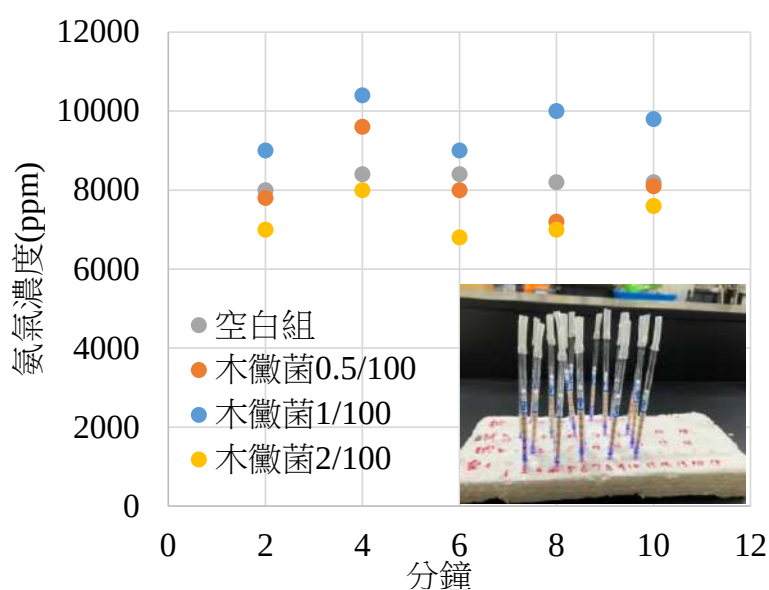


圖 5-4：排氣氨濃度與時間變化(資料來源：圖 5-4 作者自行繪製及拍攝)

數據顯示：(1)空白組氨氣濃度範圍為 8,000-8,400 ppm，平均 8,240 ppm；(2)試驗組氨氣濃度範圍為 7,200-9,600 ppm，平均 8,140 ppm；(3)試驗組氨氣濃度範圍為 9,000-10,400 ppm，平均 9,640 ppm、(4)試驗組氨氣濃度範圍為 6,800-8,000 ppm，平均 7,280 ppm。排氣 2-10 min 內之氨濃度為穩定狀態，故設定送風機起動後 5 min，可量測氨氣濃度。

2.排氣溫度量測時間

因送風時間為 10 min，每分鐘量測排氣風溫，圖 5-5 為送風時間 10 min 排氣溫度變化，啟動送風機後約 2 min 後至 10 min 間，排氣溫度差值為正負 1，故送風機啟動後 3-10 min，可量測排氣風溫，本研究設定 5 min 量測。

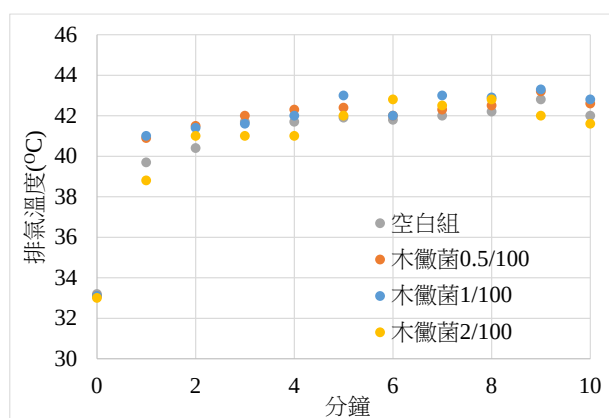


圖 5-5：送風時間 10 min 排氣溫度變化(資料來源：圖 5-5 作者自行繪製)

3.堆肥溫度量測位置

為了解箱型堆肥箱溫度量測時的位置，待堆肥穩定 1 天後，第 2 天開蓋量測不同區塊溫度，結果如圖 5-6，以離底部 20 cm 之中間處溫度 42°C 最高，故溫度量測點設定於中間點。

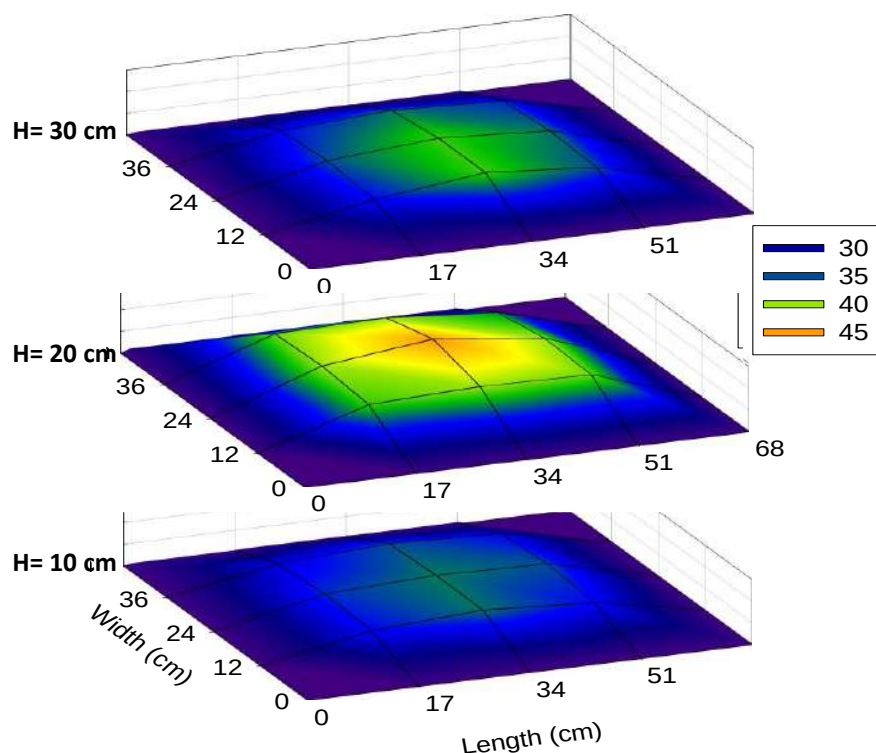


圖 5-6：堆肥箱橫縱剖面溫度量測(資料來源：圖 5-6 作者自行繪製)

(二)堆肥逐日溫度變化

堆肥過程中心每日記錄送風前後堆肥中心溫度，如圖 5-7 所示。空白組、0.5/100、1/100 及 2/100 木黴菌組在送風前後溫度差異不大，顯示因送風所損失的熱量影響不大。空白組最初 44.0°C，第三天達到最高溫 59.0°C 後就緩步下降，第 48 天降到 31.0°C；0.5/100 木黴菌組最初 43.5°C，第三天達到最高溫 57.5°C 後也逐步下降，第 44 天降到 31.0°C；1/100 木黴菌組最初 43.5°C，第三天達到最高溫 58.0°C 後下降，第 50 天降到 31.0°C；2/100 木黴菌組最初 44.5°C，第三天達到最高溫 57.5°C 後下降，第 48 天降到 31.0°C。

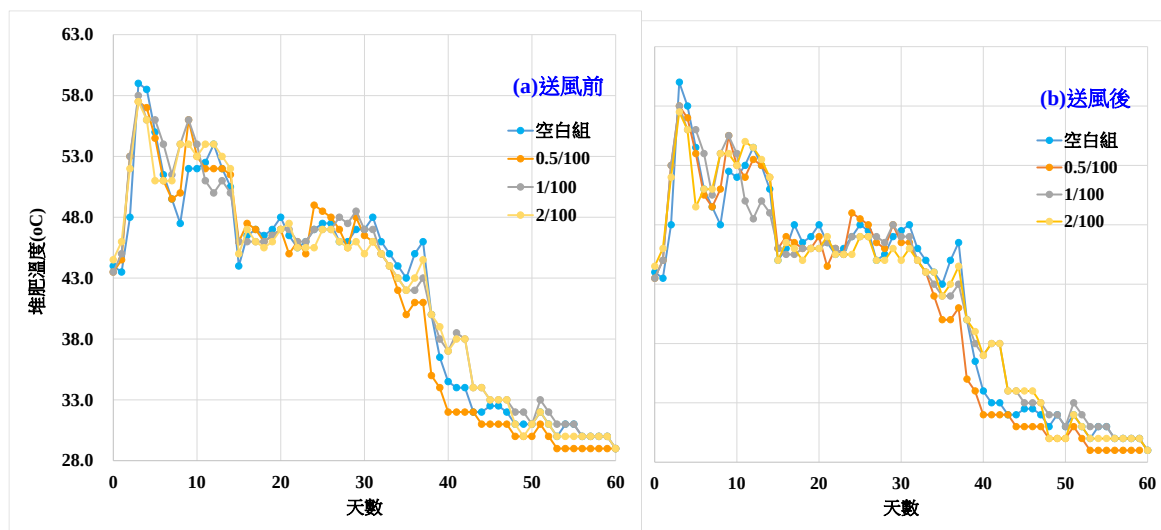


圖 5-7：堆肥箱送風前後溫度逐日變化趨勢(資料來源：圖 5-7 作者自行繪製)

(三)氨氣逐日濃度變化

於堆肥箱上方量測氨氣濃度結果如圖 5-8，第 17 天前有加木黴菌組之堆肥氨氣濃度為 19,500~27,000 ppm，高於空白組 15,500 ppm；第 17 天後有加木黴菌組之堆肥氨氣濃度為 7,000~9,500 ppm，低於空白組 10,250 ppm。將氨氣逐日濃度與當日所量測的排氣風量及風溫，可算出當日排出氨重，加總 60 日的氨重則為發酵總排出氨量。

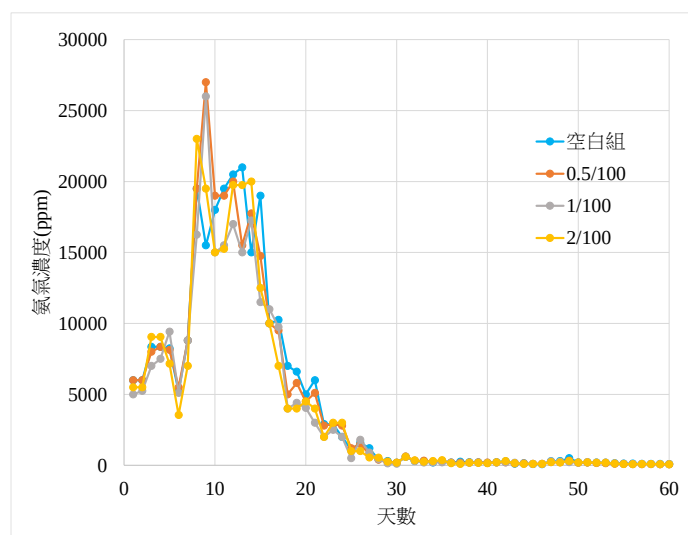


圖 5-8：堆肥箱氨氣濃度(資料來源：圖 5-8 作者自行繪製)

以空白組堆肥第 1 天的氨重為例計算過程如下：

氨分子量	=	17.031g/mol
氨氣濃度	=	6,000 ppm
排氣風溫	=	39°C
氨氣濃度	=	氨氣濃度×分子量/(0.0821×(273+排氣風溫))

	=	$6,000 \text{ ppm} \times 17 \text{ g/mol} / (0.0821 \times (273+39)) = 3,981 \text{ mg/m}^3$
每 2 小時內通氣時間	=	10 min
每日通氣時間	=	$10 \times (24/2) = 120 \text{ min}$
排氣管直徑	=	0.05 m
排氣風速	=	0.5 m/s
排氣風量	=	(半徑 ² × π)×風速
	=	$(0.025^2 \times 3.14) \text{ m}^2 \times 0.5 \text{ m/s} \times 60 \text{ s/min} \times 120 \text{ min} = 7.065 \text{ m}^3$
第 1 天氨重	=	氨氣濃度×排氣風量
	=	$3,981 \text{ mg/m}^3 \times 7.065 \text{ m}^3 \times 10^{-3} \text{ g/mg} = 28.1 \text{ g}$

依上述計算方式，堆肥 60 日氨重，空白組、0.5/100 木黴菌組、1/100 木黴菌組及 2/100 木黴菌組分別為 1,239、1,234、1,101 及 1,144 g，如圖 5-9 所示，總量差異不太。但以圖 5-10 中，第 7-19 天木黴菌組的氨釋出累積量較空白組高，驗證木黴菌能加速發酵。

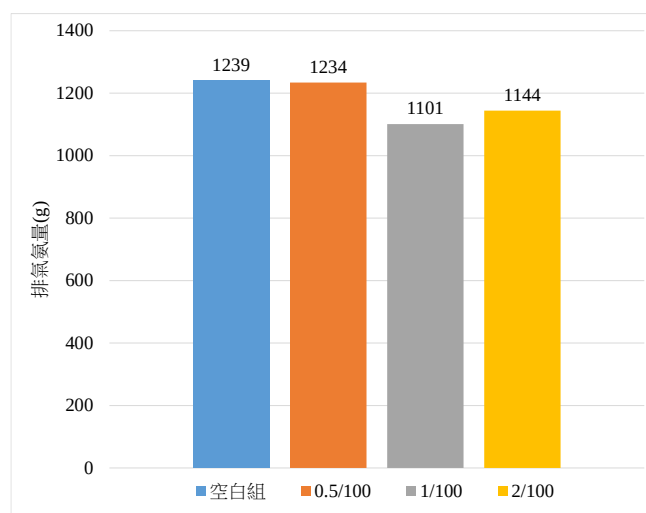


圖 5-9：堆肥箱氨氣總量(資料來源：圖 5-9 作者自行繪製)

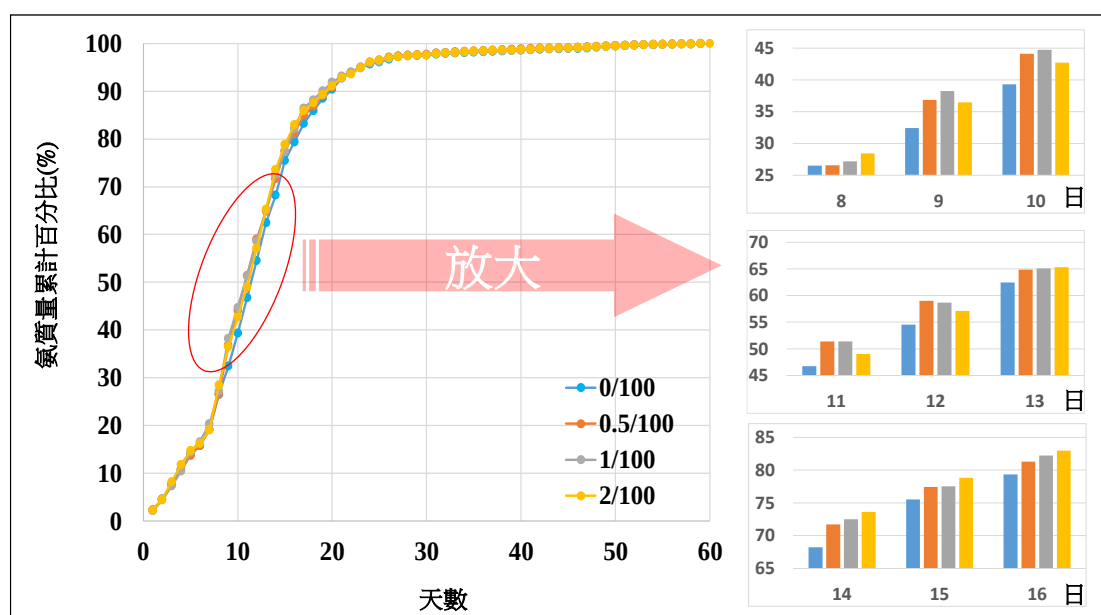


圖 5-10：堆肥箱氨逐日釋出累計質量(資料來源：圖 5-10 作者自行繪製)

(四)異味污染物分析

表 5-2 為不同堆肥天數之排氣異味，堆肥第 6 天時，空白組、0.5/100、1/100 及 2/100，排氣異味分別為 30,900、13,030、41,200 及 309,000；第 28 天時，空白組、0.5/100、1/100 及 2/100 組分別為 1300、733、733 及 977。以第 6 天測值為基準，第 60 天的異味降低率分別為 97.6、98.7、99.8 及 100%。

表 5-2：不同堆肥天數之異味污染物(資料來源：表 5-2 作者自行製表)

日期	08/31	09/22	10/04	10/19	10/24
堆肥天數	6	28	40	55	60
空白組	30,900	1,300	550	3,090	733
0.5/100	13,030	733	309	977	174
1/100	41,200	733	232	98	98
2/100	309,000	977	309	<55	<55

(五)堆肥中總氮分析

發酵前後取樣品，風乾後破碎，利用四分法將風乾樣品等分成四等份後，再自各等份中取一定量的樣品，進行分析。表 5-3 為堆肥箱發酵前原料 TN 分析結果為 3.59%，發酵後之空白組、0.5/100、1/100 及 2/100 分別為 2.74、2.86、2.78 及 2.84%。

表 5-3：堆肥箱發酵前後總氮分析數據(資料來源：表 5-3 作者自行製表)

項目\組別	原料	空白組	0.5/100	1/100	2/100
木黴菌/堆肥量	0	0	0.5/100	1/100	2/100
發酵天數	0	60	60	60	60
重量(g)	0.5	0.5025	0.5033	0.504	0.5035
風乾後水分(%)	11.19	11.32	11.15	10.72	10.57
樣品乾重(g)	0.444	0.446	0.447	0.450	0.450
TKN(mg/L)	159	122	128	125	128
NO ₂ ⁻ -N(mg/L)	ND	ND	ND	ND	ND
NO ₃ ⁻ -N(mg/L)	ND	ND	ND	ND	ND
TKN(mg)[1]	15.94	12.20	12.80	12.50	12.80
NO ₂ ⁻ -N(mg)[1]	0	0	0	0	0
NO ₃ ⁻ -N(mg)[1]	0	0	0	0	0
TN(mg)[2]	15.939	12.20	12.80	12.50	12.80
TN(mg/g)乾基[3]	35.89	27.38	28.62	27.78	28.43
TN(%)乾基[4]	3.59	2.74	2.86	2.78	2.84

ND (not detected)：濃度低於方法偵測極限。

[1] $TKN(mg) = TKN(mg/L) \times \text{消化液 } 100 \text{ mL} \times 1 \text{ L} / 10^3 \text{ mL}$

[2] $TN(mg) = TKN(mg) + NO_2^- - N(mg) + NO_3^- - N(mg)$

[3] $TN(mg/g) \text{乾基} = TN(mg) / \text{樣品乾重}(g)$

$$[4] \text{ TN}(\%) \text{乾基} = \text{TN}(\text{mg/g}) \text{乾基} \times 1 \text{ g} / 10^3 \text{ mg} \times 100\%$$

表 5-4 為堆肥箱發酵前後計算乾基質量總氮損失量及百分比，依空白組、0.5/100、1/100 及 2/100，分別為 20.27、18.92、14.91 及 17.11%。發酵總氮損失方面，空白組、0.5/100、1/100 及 2/100 分別為 39.1、35.4、34.1 及 34.4%。未發酵雞糞水分為 63%；發酵 60 天空白組、0.5/100、1/100 及 2/100 木黴菌組，水分別為 39、39、38 及 37%。

表 5-4：堆肥箱發酵前後分析數據(資料來源：表 5-4 作者自行製表)

			空白組	0.5/100	1/100	2/100
木黴菌添加量(L)			0	0.6	1.2	2.4
去離子水(L)			2.4	1.8	1.2	0
發酵前	原料量(kg，濕基)		120	120	120	120
	原料量(kg，乾基)		44.4	44.4	45.6	45.6
	水分(%)		63	63	62	62
	總氮(TN)	(mg/g)	35.9	35.9	35.9	35.9
		(%)	3.59	3.59	3.59	3.59
發酵後 (60 日)	堆肥量(kg，濕基)		58	59	62.5	60
	堆肥量(kg，乾基)		35.4	36.0	38.8	37.8
	水分(%)		39	39	38	37
	總氮(TN)	(mg/g)	27.4	28.6	27.8	28.4
		(%)	2.74	2.86	2.78	2.84
發酵損失 (乾基)	質量	(%)	20.27	18.92	14.91	17.11
	總氮 TN	(%)	39.1	35.4	34.1	34.4

三、氨氣去除率與吸收液 pH 值

進氣氨氣濃度分別調整為 100 及 400 ppm，洗滌吸收液 pH 調整為 5、6、7 及 8，通氣量為 1 L/min，吸收液為 0.5 L，進行 15-20 min 洗滌試驗，實驗前後量測 pH 值的變化，如表 5-5。表 5-6 為其去除效率，氨氣去除率均維持 98%以上。

表 5-5：洗滌試驗前後 pH 值(資料來源：表 5-5 作者自行製表)

進氣氨濃度(ppm)			
100		400	
洗滌前 pH	洗滌後 pH	洗滌前 pH	洗滌後 pH
5.00	7.16	5.02	6.87
6.01	7.34	6.02	7.08
7.04	7.62	7.00	7.54
8.01	7.97	8.01	7.54

表 5-6：不同 pH 及氨氣濃度去除效率(資料來源：表 5-6 作者自行製表)

試驗時間(min)	進氣氨濃度 100 ppm 在下列 pH 值之氨去除%				進氣氨濃度 400 ppm 在下列 pH 值之氨去除%			
	pH=5	pH=6	pH=7	pH=8	pH=5	pH=6	pH=7	pH=8
1	99.0	99.8	99.8	99.0	99.9	100.0	99.8	99.8
5	99.0	99.8	99.8	99.0	99.9	100.0	99.8	99.8
10	99.0	99.8	99.8	98.0	99.9	100.0	99.8	99.8
15	99.0	99.8	99.8	98.0	99.9	100.0	99.8	99.8
20	99.0	99.8	99.8		99.9	100.0	99.8	

氣相中氨氣在洗滌過程會傳輸至液相中，所以氣相損失的氨量應該會接近吸收液中所增加的氨量，表 5-7 為氣液氨質量計算。

表 5-7：氨之氣液質量平衡(資料來源：表 5-7 作者自行製表)

說明	氣相						液相				小計
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	(k)
pH	試驗時間	氨減少		抽氣流量	總氣量	去除氨量	吸收液量	NH ₃ -N	NH ₃ -N 增重	NH ₃ 增重	氣液平衡
	min	ppm	mg/m ³	L/min	L	mg	L	mg/L	mg	mg	mg
5	20	99.0	68.7	1	20	1.37	0.5	1.98	0.99	1.20	0.17
6	20	99.8	69.2	1	20	1.38	0.5	2.40	1.20	1.46	-0.07
7	20	99.8	69.2	1	20	1.38	0.5	2.40	1.20	1.46	-0.07
8	15	98.5	68.3	1	15	1.03	0.5	1.68	0.84	1.02	0.01
5	20	400	277	1	20	5.54	0.5	8.98	4.49	5.45	0.09
6	20	400	278	1	20	5.55	0.5	9.13	4.57	5.54	0.01
	(c)氨減少(mg/m ³)=(b)×17/24.5@25°C (e)總氣量(L)=(a)×(d) (f)去除氨量(mg)=(c)×(e)×1 m ³ /10 ³ L						(i) NH ₃ -N 增重(mg)=(g)×(h) (j) NH ₃ 增重(mg)=(i)×17/14 (k)氣液平衡(mg)=(f)-(j)				

以氨進氣 100 ppm 與 pH=5 為例說明：氨氣去除率 99%，故可以去除 99 ppm 的氨氣，換算為 mg/m³ 再乘上總氣量為損失氨氣重。分析實驗前後吸收液中氨氮濃度，可計算出吸收液中增加的氨氮濃度，乘上吸收液體積量為液相中增加的氨氮。

四、氨氣去除率與吸收液量

(一)洗滌 380 min 試驗

進氣氨氣濃度調整為 200 ppm，洗滌吸收液 pH 調整為 6，吸收液體積為 0.1 L，以 1 L/min 連續通氣 380 min 洗滌試驗，表 5-8 為試驗過程排氣異味與氨濃度，前 100 min 時，異味<55 與氨濃度≤2 ppm，之後隨著洗滌時間增加，異味污染物值也增加，洗滌 200、260 及

380 min 時之異味分別上升至 98、131 及 232；氨濃度則上升至 28、40、59 ppm。

表 5-8：試驗過程排氣異味污染物(資料來源：表 5-8 作者自行製表)

洗滌時間(min)	1	60	100	150	200	260	380
排氣異味	<55	<55	<55	55	98	131	232
排氣氨濃度(ppm)	0	0	2	15	28	40	59

(二)洗滌 420 min 試驗

進氣氨氣濃度仍為 200 ppm、洗滌吸收液 pH=6、吸收液為 0.1 L 與通氣量為 1 L/min 再進行一次長(420 min)時間試驗，每 30 min 量測排氣氨濃度及吸收液中 pH 值。試驗結果如表 5-9 及圖 5-11，當洗滌時間 180 min，pH 升至 8.20，排氣中氨氣濃度增加至 9 ppm，出口濃度已近進口濃度之 5%，即效率 95%；當洗滌時間 300 min，pH 再升至 8.45，排氣中氨氣濃度增加至 20 ppm，出口濃度已達進口濃度 10%，即效率 90%。當洗滌時間最後 420 min，pH 再升至 8.53，排氣中氨氣濃度增加至 32 ppm，效率已降至 84%。

表 5-9：420 min 洗滌試驗吸收液 pH 與排氣氨濃度及去除率(資料來源：表 5-9 作者自行製表)

洗滌時間 (min)	吸收液		氣體		
	pH	Temp (°C)	進氣氨濃度 (ppm)	排氣氨濃度 (ppm)	去除率 (%)
0	6.07	27.0	200	0	100
30	6.80	25.7		3	98.5
60	7.09	25.3		3	98.5
90	7.44	25.1		3	98.5
120	7.70	25.0		4	98.0
150	7.99	24.9		5	97.5
180	8.20	24.9		9	95.5
210	8.16	24.7		9	95.5
240	8.27	24.6		13	93.5
270	8.38	24.6		18	91.0
300	8.45	24.9		20	90.0
330	8.50	24.5		25	87.5
360	8.52	24.5		26	87.0
390	8.53	24.6		29	85.5
420	8.53	24.6		32	84.0

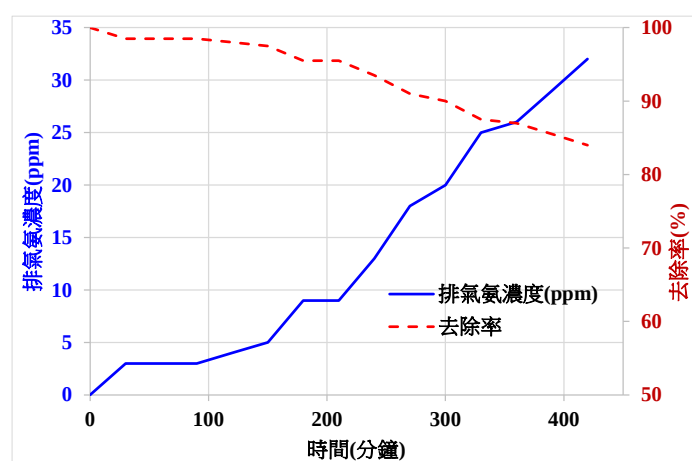


圖 5-11：420 min 洗滌試驗氨去除率與排氣氨濃度逐時變化(資料來源：圖 5-11 作者自行繪製)

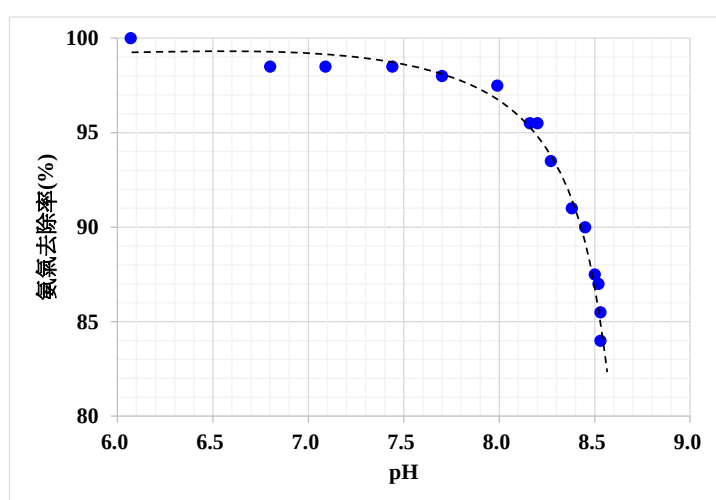


圖 5-12：420 min 吸收水 pH 與氨氣去除率之對應關係(資料來源：圖 5-12 作者自行繪製)

由圖 5-12 之吸收水 pH 與氨氣去除率之對應關係發現，pH<7.5 均可維持 98% 以上的去除效率；當 pH>8，氨氣去除率急遽下降。

(三) 氨氣資源化之液肥評估

現在以洗滌後水中氨氮(NH₃-N)濃度 300 mg/L 相當於 1,414 mg/L 硫酸銨，可當作液肥再利用，以雲林某堆肥場洗滌設備條件計算，若以每週更換一次吸收液，每週可產生 8.1 kg 氮素(如下計算)，此與硫酸銨肥料 40 kg/包(單價 305 元)含氮素 8.4 kg 相當。

硫酸銨(NH ₄) ₂ SO ₄ 分子量	=	132.14 g/mol
實場排氣風量	=	343 m ³ /min
實場吸收液量	=	27 m ³
洗滌液中硫酸銨濃度	=	1,414 mg/L×27 m ³ ×10 ³ L/m ³ ×(kg/10 ⁶ mg)
	=	38.2 kg
氮素	=	38.2 kg×28/132 = 8.1 kg

陸、討論

一、堆肥管試驗結果討論

空白組及各木黴菌添加試驗組，翻堆後溫降一致，而且隔日回溫也趨一致，顯示木黴菌不會改變堆肥的最高溫度。

木黴菌添加組相較空白組，氨的濃度高於空白組，且由腐熟期程 30 日之氨釋出總量也高於空白組，顯示較多的有機氮分解成氨，此趨勢與木黴菌可以促進有機物之分解不謀而合。

發酵 30 日之物料乾基損失約 19.4~21.9%，平均 20.3%，與 Breitenbeck and David (2004) 中乾基減量範圍 11.5-31.4% (平均 19.4%) 接近。堆肥前後乾基總氮(TN)損失 31.0-43.9%，堆肥管發酵過程中未加入木黴菌總氮損失最大。

空白組、1/100 木黴菌組、2/100 木黴菌組及 3/100 木黴菌組，排氣異味濃度分別為 1,740、309、232 及 309，添加木黴菌使排氣異味污染物大幅降低。

二、堆肥箱試驗結果討論

堆肥逐日溫度變化：四組送風前後溫度差異一致，以 0.5/100 木黴菌組降溫速率最快。

氨氣逐日濃度變化：堆肥 60 日之氨重，空白組、0.5/100 木黴菌組、1/100 木黴菌組及 2/100 木黴菌組分別為 1,239、1,234、1,101 及 1,144g，四組氨氣總量相近，所以可知木黴菌加速發酵反應，讓氨氣提早釋出。

異味污染物分析：異味污染物變化與發酵過程排氣氨的趨勢一致，木黴菌組前期較高，後期更低，以第 6 天測值為基準，第 60 天的異味降低率分別為 97.6、98.7、99.8 及 100%，添加木黴菌使排氣異味污染物大幅降低。

堆肥中總氮：發酵前原料 TN 分析結果為 3.59%，發酵後之空白組、0.5/100、1/100 及 2/100 分別為 2.74、2.86、2.78 及 2.84%，乾基質量總氮損失量及百分比，依空白組、0.5/100、1/100 及 2/100，分別為 20.27、18.92、14.91 及 17.11%。堆肥前後乾基總氮(TN)損失空白組、0.5/100、1/100 及 2/100 分別為 39.1、35.4、34.1 及 34.4%；堆肥箱發酵過程中未加入木黴菌總氮損失最大。

三、氨氣以稀硫酸水洗之資源化結果討論

洗滌吸收液 pH 調整為 5、6、7 及 8 時，氨氣去除率均維持 98% 以上。洗滌 380 min 試驗，前 100 min 時，異味污染物均 < 55，洗滌 200、260 及 380 min 時之異味值分別為 98、131 及 232，隨著洗滌時間增加，排氣異味污染物值也增加。

洗滌 420 min 試驗，開始試驗至洗滌時間 180 min，pH 升至 8.20，排氣中氨氣濃度增加至 9 ppm，出口濃度已近進口濃度 5%，即效率 95%；當洗滌時間 300 min，pH 再升至 8.45，排氣中氨氣濃度增加至 20 ppm，出口氣體氨濃度已達進口濃度 10%，即效率 90%；當洗滌時間最後 420 min，pH 再升至 8.53，排氣中氨氣濃度增加至 32 ppm，效率已降至 84%。洗滌時間增加、pH 值隨著增加、排氨也增加，去除效果則下降。pH<7.5 均可維持 98% 以上的去除效率；當 pH>8，氨氣去除率急遽下降。

液肥評估，本研究產出硫酸銨溶液 pH 約 7-8，若施灌於農地可避免及減緩土壤酸化，優於使用酸性的硫酸銨化肥。以雲林該堆肥場每週可排出 27 m³ 吸收液(8.1 kg 氮素)，足以供應鄰近施作大蒜半公頃每期作(120 天)所需氮肥(260 kg/ha-期)。

柒、結論

本研究獲得二大結論：

一、堆肥添加木黴菌的影響

- (一)堆肥管的空白組總氮損失量(乾基)為 43.9%，而添加木黴菌的 1/100、2/100 及 3/100 三組，其總氮損失量(乾基)僅有 37.1、31.0 及 39.9%，添加木黴菌有助於降低堆肥發酵過程總氮損失。
- (二)堆肥管的空白組排氣異味污染物為 1,740，而添加木黴菌的 1/100、2/100 及 3/100 三組，其異味污染物僅有 309、232 及 309，添加木黴菌有助於減輕排氣異味。
- (三)堆肥箱 60 日發酵所排出的氨重，空白組、0.5/100、1/100 及 2/100 四組分別為 1,239、1,234、1,101 及 1,144 g，總量相近，可知木黴菌加速發酵反應，讓氨氣提早釋出。
- (四)堆肥箱異味污染物分析與排氣氨的趨勢一致，木黴菌組前期較高而後期更低，第 60 天的異味相對於第 6 天之去除率分別為 97.6、98.7、99.8 及 100%。
- (五)堆肥箱發酵過程中未加入木黴菌總氮損失最大為 39.1%，而木黴菌組 0.5/100、1/100 及 2/100 分別為 35.4%、34.1%及 34.4%。以 1/100 與 2/100 二組在總氮損失與異味去除率相近，以經濟成本考量建議添加量為 1/100。

二、氨氣去除率與吸收液 pH 值

- (一)氨氣濃度分別為 100 及 400 ppm 時，硫酸溶液吸收液在起始 pH 分別為 5、6、7 及 8 的水洗條件，氨氣最小去除率均可以達 98% 以上。
- (二)以氨氣濃度為 200 ppm，隨著洗滌時間增加，pH 增加，反之氨去除率則下降。如起始 pH 值為 6，氨去除率為 100%；2 小時 pH 上升到 7.70，氨去除率為 98%；7 小時 pH 上

升到 8.53，氨去除率為 84%。

(三)氨氣的洗滌試驗，吸收液 pH<7.5 可維持 98%以上的去除效率；當 pH>8，氨氣去除率急遽下降。

三、應用潛力

本研究成果證明木黴菌可以加速禽畜糞堆肥反應縮短時程，其效益不僅可以除臭，更可以減少溫室氣體排放及曝氣用電；針對無法避免的氨排放提供解決對策，如用稀硫酸水吸收氨氣，轉化成硫酸銨用做肥料回歸農地再利用。

四、後續研究

堆肥發酵程序排氣中除了會有氨氣產生，也會產生氧化亞氮，氧化亞氮為溫室氣體，對環境影響大，續而研究如何調整好氧堆肥送氣量，減少氧化亞氮的產生。

五、願景與藍圖

本研究已經確認利用木黴菌生物法可以加速發酵的過程，所以可以減少發酵過程送風與翻堆的電力消耗達到減碳及減少溫室氣體氧化亞氮(暖化潛勢 CO₂ 的 298)的排放。此外，也可以用硫酸水洗與 pH 控制提高氨的收集效率，把用水洗產物硫酸銨溶液取代化學肥料。另外，利用堆肥場廠房屋頂鋪設太陽能板產出綠電，供作氨氣吸收的能源。

捌、參考資料及其他

1. Bao, J. F., Lv, Y. F., Qv, M. X., Li, Z., Li, T.R., Li, S. A., Zhu, L. D. (2022). Evaluation of key microbial community succession and enzyme activities of nitrogen transformation in pig manure composting process through multi angle analysis. *Bioresource Technology, Volume 362*(127797), 1-10.
2. Breitenbeck, G. A. and David Schellinger. (2004). Calculating the Reduction in Material Mass And Volume during Composting. *Compost Science & Utilization*, 12(4), 365-371.
3. 陳俊位、鄧雅靜、蔡宜峯(2014)，木黴菌在作物病害防治的開發與應用，農業生物資材產業發展研討會專刊，特刊第 121 號，87-115。
4. 周明顯、張筱瑜、黃柏仁(2005)：畜牧場及堆肥場臭味控制技術手冊，國立中山大學，94-農管-4.10-牧-04。
5. 陳明晉、廖秋榮、蔡宜峰(2005)，堆肥技術與設備手冊及案例彙編，經濟部工業局，財團法人台灣綠色生產力基金會。
6. 莊老達(2023 年 11 月 7 日)。循環農業策略規劃。載於黃振芳(主持人)，112 年循環農業政策與策略專題演講。農業部畜產試驗所，臺南，臺灣。
7. 豐年雜誌((2021 年 8 月)。「綠忍者」木黴菌的萬用分解術！當肥料農藥還能對抗環境逆境(<https://www.agriharvest.tw/archives/64864>)。

8. 簡綵彤(2018)，木黴菌之增殖及其應用於禽畜糞堆肥之研究報告，高雄市第 58 屆中小學科學展覽會。
9. 羅秋雄(2005)，作物施肥手冊，中華協會編印，ISBN 986-00-3335-8。
10. 一般廢棄物（垃圾）水分測定方法－間接測定法(NIEA R213.21C)
11. 水中總氮檢測方法(NIEA W423.53C)
12. 水中凱氏氮檢測方法(NIEA W451.52A)
13. 水中亞硝酸鹽氮檢測方法－比色法(NIEA W418.54C)
14. 水中硝酸鹽氮檢測方法－分光光度計法(NIEA W419.51A)
15. 異味污染物官能測定法－三點比較式嗅袋法(NIEA A201.14A)
16. 水中氨氮檢測方法-Hach Method 8038
17. 水之氫離子濃度指數(pH 值)測定方法－電極法(NIEA W424.53A)

【評語】 200003

本研究探討添加木黴菌去除堆肥異味與減少氮損失之效能，並評估其產物硫酸銨溶液作為液肥使用之可行性。研究動機與目的明確，實驗設計與數據呈現有條理，成果內容豐富。可進一步討論產出液肥之品質與未來應用性，使研究內容更為完整。