

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生物科

030308

「蚓」出生機

學校名稱：雲林縣私立揚子高級中學(附設國中)

作者： 國三 陳玉蓁 國三 陳雅琳 國一 陳儷文	指導老師： 陳尚民 黃宏銘
---	-----------------------------

關鍵詞：蚓糞、EM 菌(Effective Microorganisms)、
木黴菌(Trichoderma)

要

本研究以不同微生物發酵方式(EM 菌(Effective Microorganisms)、枯草桿菌(*Bacillus subtilis*)、蔡十八菌、木黴菌(*Trichoderma*))養殖蚯蚓，並固定牛糞、紙污泥與太空包與其他輔料(米糠、蔗渣、果皮、腐葉)成分(原料來自雲林縣工、農業廢棄物)，並用本土種的掘穴環爪蚓(*Perionyx excavates*)分解，以室內分層式堆肥採收蚓糞，再用機械篩選出高純度蚓糞；以雲林縣農作物：小白菜(西螺鎮)、香瓜(二崙鄉)、番茄(口湖鄉)為實驗作物，探討蚓糞當有機肥，作物生長與甜度變化；並將蚓糞與剩料(純度較低)運用於雞場除臭功能，經實驗結果顯示，蚓糞用於農作物與除臭皆有顯著的效果呈現。

壹、研究動機

生長在雲林縣這塊土地上，充滿了濃濃的鄉村與農業氣息，父親從事農耕與養殖蚯蚓行業，本人為家裡年紀最小的孩子，較年長之兄姊們皆離開雲林縣到外地工作，年邁之父親並不期待女兒身的我，會接下衣鉢從事農業。其實從小在父親身邊一同養殖蚯蚓，本人還真的對農業充滿憧憬，縱使兄姊們離去，鄉村人口老化，皆無法減低我對農業之興趣，不但如此本人內心充滿著雄心壯志，早就立下目標，要用蚯蚓帶動雲林縣的農業經濟，讓台灣農業創下另一個輝煌史蹟。光說不練怎行呢？正好我校有位熱心幫學生科展的老師，本人把想法與計畫跟老師討論，透過老師找到願意支援科展的家長，提供農舍作為場地，加上父親養殖技術、幾位有興趣的學長和同學，分成國中組與高中組兩隊，開始了我們復興雲林農業之大計，相信未來本團隊一定會讓雲林農業在台灣甚至全世界發光發熱。



貳、研究目的

本研究針對蚯蚓實驗目的分為下列幾點：

- 一、選擇本土種掘穴環爪蚓(*Perionyx excavates*)進行實驗。
- 二、以牛糞堆肥為基底，搭配太空包、紙污泥、米糠、蔗渣、果皮與爛葉。
- 三、加入不同微生物做發酵媒介分解農業廢棄物，並轉換生產有機蚓糞。
- 四、利用蚓糞種植小白菜、香瓜、高麗菜與番茄，探討發芽率、成長速度與甜度。
- 五、利用有機蚓糞殘料鋪設於雞場底部，提供雞隻養分並兼具除臭效果。

參、研究設備及器材

表 1. 研究設備及其用途

			
1-1 筆記本、筆	1-2 數位相機	1-3 筆記型電腦	1-4 電子顯微鏡
			
1-5 甜度計	1-6 微量天平	1-7 印度藍蚯蚓	1-8 農舍
			
1-9 EM 菌	1-10 木黴菌	1-11 甘蔗渣	1-12 果皮
			
1-13 牛糞	1-14 紙污泥	1-15 米糠	1-16 太空包
			
1-17 鏟子	1-18 手套	1-19 白菜種子	1-20 香瓜種子
			
1-21 番茄種子	1-22 PH 測量計	1-23 稻梗	1-24 塑膠箱
			
1-25 空氣品質偵測計	1-26 灑水設備	1-27 苗盆	1-28 保麗龍箱

肆、研究過程與方法

一、研究流程

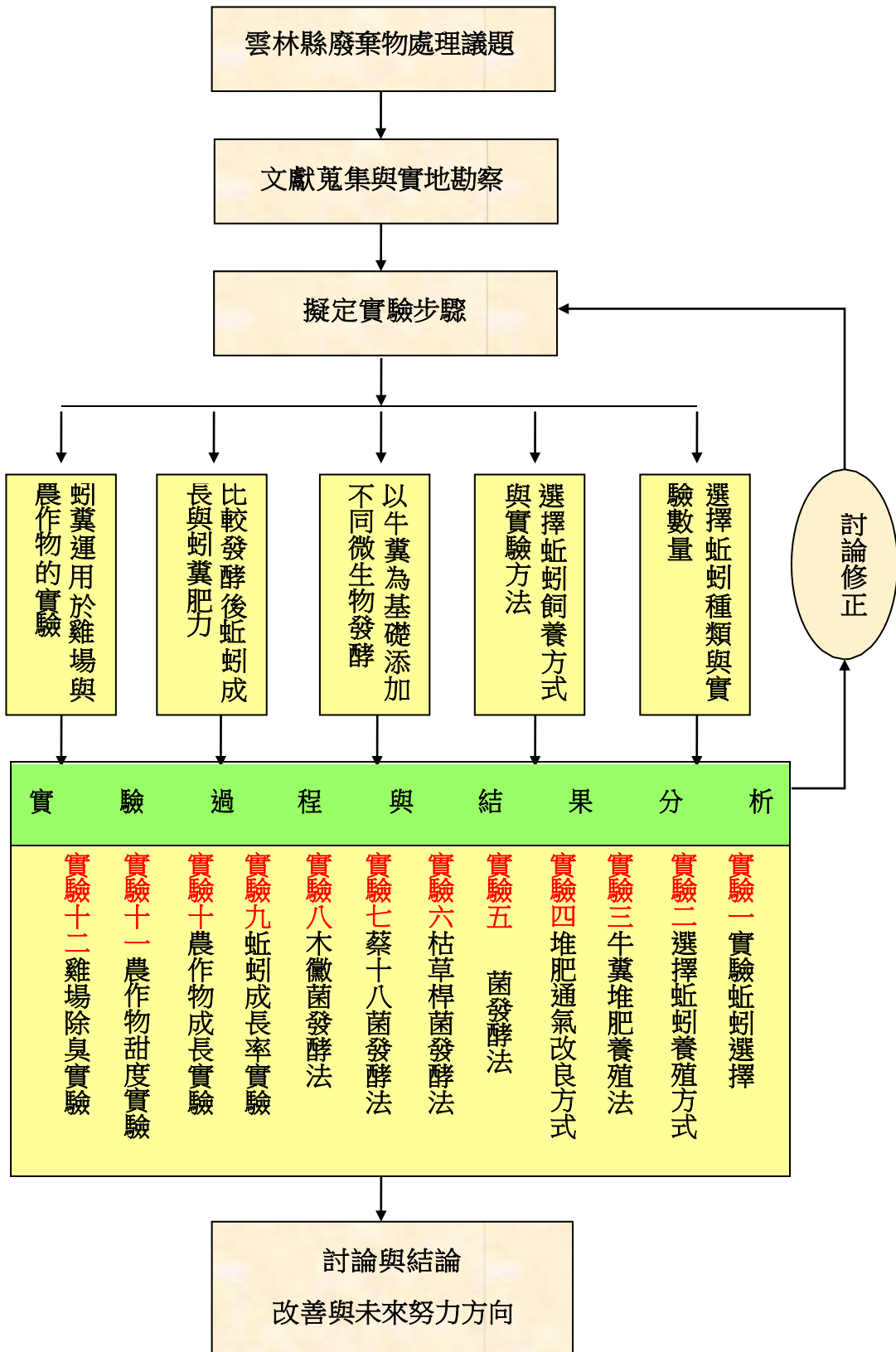


圖 1 研究流程圖

二、文獻蒐集與實地勘察

本研究分高中部與國中部進行，本團隊為國中部，與高中學長協調結果，本團隊在此章節以實地勘察統計為主，文獻蒐集由兩隊整理後，撰寫方式各自不同，以下為本團隊文獻蒐集與實地勘查結果。

(一) 文獻蒐集

Suthar (2009b)：指出所有品種之蚯蚓以 *E. fetida* 的品種蚯蚓比其他品種蚯蚓在水分、pH 值、EC 值與溫度等具有最高的容忍度。早期台灣引進紅蚯蚓作為飼養飼料到現今已被馴化，由於它亦屬於 *E. fetida* 的品種蚯蚓，因此目前台灣所進行之蚓糞堆肥化多以台灣本土馴化之紅蚯蚓 (太平二號) 製作蚓糞堆肥。

Yadav 等人 (2011)：指出，重金屬於堆肥化過程中因部分有機質分解而釋出 CO₂，致使乾物重下降而導致濃縮效應的產生，故會增高堆肥產物之重金屬含量。隨著蚓糞堆肥化時間的增長，金屬離子藉蚯蚓皮膚的接觸與蚯蚓攝食累積至蚯蚓體中，會降低有機廢棄物中重金屬含量，然蚓糞堆肥化過程中重金屬含量變化仍需視有機物分解與蚯蚓累積量而定。

邱郡鈴(2014)：探討蚯蚓在污土壤中受毒性之影響，是否添加分解菌進行對照。結果顯示，蚯蚓之存活率受污染濃度影響：污染濃度越高者，存活率越低。由對照組也發現當添加分解菌時會影響蚯蚓之存活，且在低濃度污染狀態時產生較佳效果。

林旻韻(2015)：不同有機廢棄物之蚓糞堆肥化過程中的成分特性與蚯蚓生長變化論文，使用 *Eisenia fetider*(歐洲紅蚯蚓)比較好氧堆肥和蚓糞堆肥處理的異同；並偵測不同食材在分批餵食下對蚓糞堆肥化中養分含量及蚯蚓生殖生長的影響。結果顯示，蚓糞堆肥化處理者之養分含量顯著低於好氧堆肥化者，但因蚓糞堆肥的 EC 值及重金屬含量相對較低，故較不易造成不利作物生長的風險。

農業新知與技術期刊(2015)：使用的堆肥蚯蚓為紅蚯蚓 (*Eisenia fetider*) 改變餵食材料，配合小白菜種子發芽率，探討蚓糞堆肥對農作物的影響，下表為該篇期刊蚓糞堆資料整理。

表 2. 蚓糞堆肥品質分析

飼食材料	比例	原料	蚓糞	小白菜種子發芽率 (%)
		碳氮比	碳氮比	
牛糞		48.9 a	16.6a	96ab
豬糞		22.1b	13.6e	93bc
食物污泥		6.51e	11.4f	89c
牛糞：菇包	(1:1)	21.3b	15.4bc	100a
豬糞：菇包	(1:1)	12.6d	14.3d	96ab
食物污泥：菇包	(1:1)	21.9b	15.1c	95abc
牛糞：食物污：泥菇包	(1:1：2)	22.3b	16.2a	100a
豬糞：食物污：泥菇包	(1:1：2)	18.1c	15.6b	96ab

資料整理：農業技術期刊(黃瑞彰等，2003)

(二) 實地勘察

本研究實地勘察分成兩個部分，分別是全台蚯蚓養殖場與雲林縣工、農業廢棄物地點，主要用意為參考不同蚯蚓養殖方式與找尋雲林縣適合研究的工、農業廢棄物，並讓本團隊認知雲林縣農業的需求，如何有效利用周邊資源，改善環境與農民生活品質，並創造新財富。

(1) 蚯蚓養殖場

本團隊由網路資訊與 facebook 中搜尋資料，將台灣從北到南蚯蚓養殖場，做詳盡調查，除電話訪談外，亦到現地觀察，聆聽養殖者的經驗與問題，作為研究借鏡，並感受養殖者的心聲。其中養殖場中印象最深刻者，除父親的養殖場外，另有兩家是本團隊收穫最多者；桃園弘鼎生物科技的徐老闆，以牛糞室內箱養法，將一分地(近 300 坪)，高密度繁殖，另一家為雲林縣蟲心開屎蚯蚓養殖場，王老闆原本為管樂隊社團指導老師，雖養殖不到一年，憑著自創的農舍蚯蚓養殖法，蚓糞產量已直逼全台之冠，以下為本團隊造訪之蚯蚓養殖場整理：

表 3. 台灣蚯蚓養殖場位置與養殖方式

公司名稱	地點	蚯蚓種類	養殖方式
大台北蚯蚓養殖場	台北市	Eisenia abdrei	菇包堆肥養殖法
達爾文蚯蚓養殖公司	桃園市	Eisenia abdrei	菇包堆肥養殖法
弘鼎生技有限公司	桃園市	Eisenia abdrei	牛糞堆肥箱養法
鴻興生物科技公司	苗栗縣	Eisenia abdrei	菇包堆肥養殖法
吳國周(蚯蚓繁殖場)	南投縣	Eisenia abdrei	菇包堆肥養殖法
蟲心開屎蚯蚓養殖場	雲林縣	Eudrilus eugeniae	牛糞堆肥養殖法
東勢陳家蚯蚓養殖場	雲林縣	Eisenia abdrei	菇包木箱養殖法
台南蚯蚓養殖推廣中心	台南市	Eisenia abdrei	菇包帆布箱養法
鉅龍蚯蚓養殖場	台南市	Eisenia abdrei	菇包堆肥養殖法
阿明蚯蚓養殖場	高雄市	Eisenia abdrei	菇包堆肥養殖法

資料整理：本研究訪查

(2)雲林縣農業廢棄物

本研究基於安全考量，由老師與父親陪同，走訪雲林縣可能提供工、農業廢棄物的地區，並徵求業者同意與協助，獲得以下資訊：

表 4. 雲林縣農業廢棄物種類與地點

名稱	地址	廢棄物種類
豐榮合作農場堆肥場	雲林縣崙背鄉豐榮村 193-10 號	牛糞、果皮
油車合作農場堆肥場	雲林縣莿桐鄉六合村新興路 10-16 號	牛糞、米糠
虎尾糖廠	雲林縣虎尾鎮中山路 2 號	蔗渣
一般農戶	雲林縣本校附近田埂	稻梗
學生家長	雲林縣東勢地區	牛糞
雲林縣製菇業工會	雲林縣斗六市保長路 44 號	太空包
陳耀坤雞場	雲林縣古坑鄉永昌村光興路 112 號	雞糞
凱員造紙廠有限公司	雲林縣斗六市工業區	紙污泥

三、實驗過程

本團隊主要著重於蚯蚓堆肥養殖方式改良，有別於高中組學長之多樣式養殖實驗，同時本團隊亦將蚯蚓分解後剩餘的殘渣，運用於養雞場除臭方式，其效果十分顯著，蚓糞則以白菜、香瓜與番茄作為試驗農作物。以下為本實驗流程：

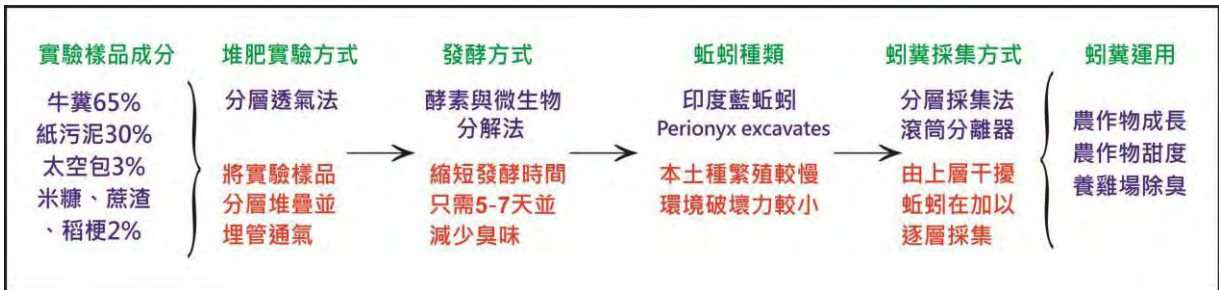


圖 2. 實驗步驟流程圖

(一) 實驗一：實驗蚯蚓選擇

本研究參考台灣蚯蚓養殖場，為區分高中組學長實驗性質(高中組選用安卓愛勝蚓(*Eisenia abdrei*)，俗稱「歐洲紅蚯蚓」、尤金真蚓(*Eudrilus eugeniae*)，俗稱「非洲夜蚯蚓」)，本團隊(國中組)選用掘穴環爪蚓(*Perionyx excavates*)，俗稱「印度藍蚯蚓」，此蚯蚓在日治時期已經引進台灣，成為台灣的本土種，其繁殖沒有安卓愛勝蚓(*Eisenia abdrei*)快，因此不受蚯蚓繁殖場的青睞，考量其為本土種，較不影響環境生態，本團隊欣然接受挑戰。掘穴環爪蚓(*Perionyx excavates*) 體長 5-18 公分；環帶分布於第 13-17 節，寬 0.2-0.5 公分；體色多呈現粉紅、深紅、紅紫或紫藍，體色會產生藍紫色反光，行動快速，夜間出土亂走。

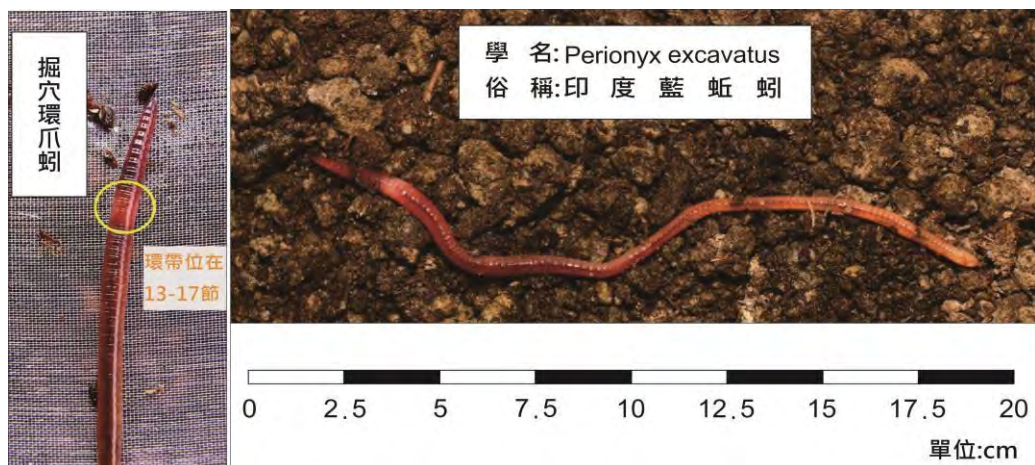


圖 3. 實驗蚯蚓物種

(二)實驗二：選擇蚯蚓養殖方式

本研究使用場地為學校附近農舍，有別於高中組與父親養殖場的方式，本團隊著重於室內堆肥式養殖法，其原因有幾點：

(1) 設備需求較少

比較箱養法，本團隊嘗試過後，發覺木箱與塑膠箱成本不廉，若大量運用會增加蚯蚓飼養成本，當然最低成本的是露天養殖，雖然蚯蚓不怕水(許多人有錯誤的謬思，認為下雨天蚯蚓從地下爬出是水的關係，水只是間接，其實是土壤空氣減少所致)。考量夏、秋颱風肆虐情形，若用露天養殖可能會血本無歸，以致實驗中斷。

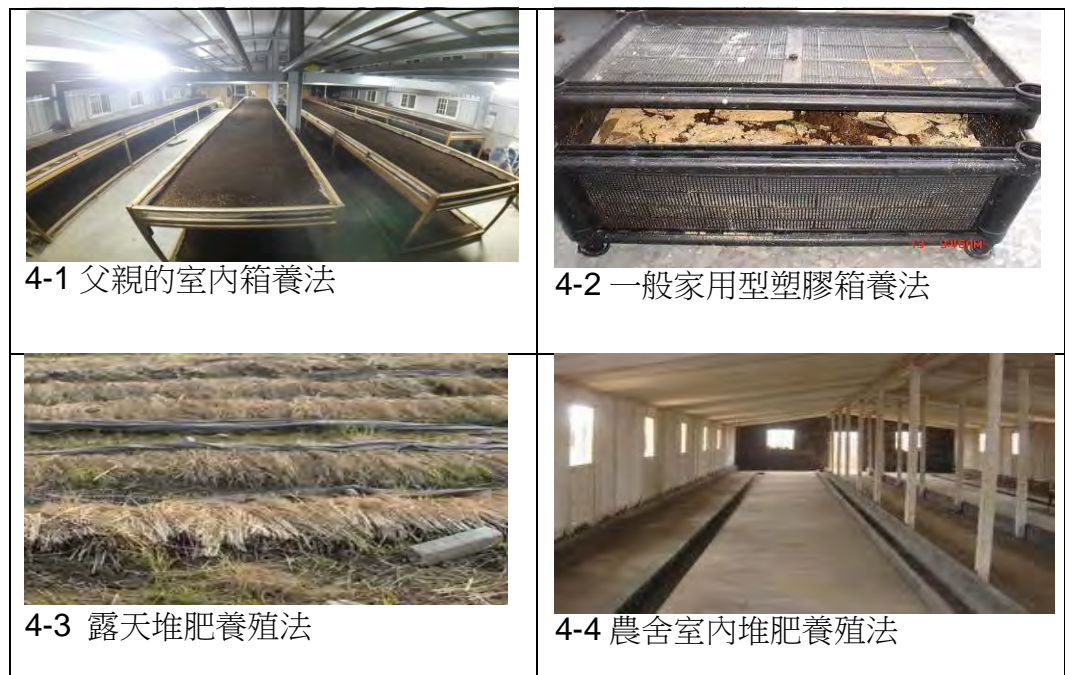


圖 4.蚯蚓養殖方式比較

(2) 進料方便減少人力成本

將工、農業廢棄物直接鋪於農舍地表，較一箱箱裝填容易，且省時又省力，雖然箱養堆疊方式，較節省空間，搬運與給料卻較繁瑣，露天養殖則容易受天候或外來因素影響，不但較難控制實驗因子，蚯蚓容易跑光或群體死亡。

(三)實驗三：牛糞堆肥養殖法

本研究參照蚯蚓養殖文章與高中部學長實驗，決定以牛糞 65%混合紙污泥 25%、太空包 8%為基底，再配合 2%不同時期的輔料(米糠、蔗渣、稻梗)，開始嘗試掘穴環爪蚓(*Perionyx excavates*)養殖。

首先將牛糞堆成長 2 公尺、寬 1 公尺、厚 35 公分的糞堆。每天用鐵耙疏鬆最上面的牛糞，約疏鬆到一定程度厚約 5-8 公分，約晒到半乾時，即可放入掘穴環爪蚓(*Perionyx excavates*)。每堆糞置入 5 公斤蚯蚓產卵繭，每隔 3 週收取一次蚓糞及卵繭。在養殖期發現蚯蚓糞幹了要及時噴水,並按清水或洗米水或煮飯的米湯 1:5 的比例混合後噴灑。一般每隔 3-5 天噴一次。按以上方法養出的蚯蚓生長快,產出的蚓繭多而且大。注意禽畜糞一定要發酵或曬乾後拌成含水量 60%左右才可用來養蚯蚓。



圖 5.牛糞堆肥養殖蚯蚓情形

經分析結果，本研究使用之工、農業廢棄物，符合國家農業肥料安全規章範圍，唯一爭議點是紙污泥，屬於工業廢棄物範圍，法規明定工業廢棄物尚不能使用於農業肥料製成，在國外紙污泥已經可以使用在農業肥料上，我國則需更多繁瑣的行政流程，才能通過使用，若農業政策與法規能再更便民些，相信願意從事農業的青年學子會更多。



圖 6. 牛糞堆肥與紙污泥 SGS 檢驗

本研究送檢 SGS 認證之造紙污泥、牛糞與太空包，期檢驗結果如下所示：

表 5. 實驗樣品成份分析

材料名稱	造紙污泥	牛糞	太空包
蒐集地點	凱員造紙廠(雲林)	學生家長(雲林)	製菇工會(雲林)
分析項目			
總固體物(g/kg)	356.8	468.1	895.2
比重 (g/cm ³)	0.5	0.8	0.3
pH	7.0	6.6	10.8
總凱氏氮(g/kg)	284.0	104.0	530.0
C/N ratio	23.6	11.5	88.3
總磷(g/kg)	3.0	8.0	-
總鉀(g/kg)	3.0	14.0	-
總鈣(g/kg)	150.0	6.0	-
總鎂(g/kg)	5.0	3.0	-
總銅(mg/kg)	66.0	21.0	-
總鋅(mg/kg)	139.0	74.0	-
總鎳(mg/kg)	Nd.	1.0	-
總鎘(mg/kg)	5.0	9.0	-
總鉻(mg/kg)	11.0	8.0	-
總鉛(mg/kg)	22.0	18.0	-

資料來源：本研究送檢結果

(四)實驗四：改良式通氣堆肥法

本研究比較傳統發酵方式(一般堆肥)與微生物發酵(蚯蚓處理)的差別，得到結果如下所示：

表 6、傳統堆肥與蚯蚓處理方式比較

項目	傳統發酵與一般堆肥	微生物發酵與蚯蚓處理
處理溫度	堆肥效率 55~60 °C 最佳	溫度範圍需限制在 20~29°C
處理時間	介於 120~180 天	介於 21~40 天
堆肥衛生	具有嗜熱期高溫進行病原菌及寄生蟲消除	無
堆肥粒徑	粒徑大較不均質	粒徑小較為均質
臭味控制	嗜熱期易產生，氨氣的揮發，需加以密閉控制	蚓糞具除臭功能，堆肥環境可採開放式
土壤酶活性	一般	較佳
氮、磷、鉀有效性	一般	較佳

資料來源：本研究彙整

由上述比較可知，微生物發酵與蚯蚓處理法，較傳統發酵與一般堆肥更省時、無臭，擁有較佳的活性與氮、磷、鉀有效性，容易讓植物吸收。

唯獨蚯蚓是生物活體，需要氧氣，因此通氣成為重要因子之一，蚯蚓大多棲息在 10-20 公分土壤深處或堆肥層中，蚯蚓的食物大多為工、農業廢棄物或經腐熟發酵後之物質。這類物質會被土壤中的厭氣微生物分解成二氧化碳和氮，均會消耗土壤中的氧氣，影響蚯蚓的呼吸作用。為了提高蚯蚓的養殖密度、克服供氧不足，本實驗在養殖點的地下埋設有許多細孔的管子，採用通氣再加濕的養殖方法可以獲得較高的產量和經濟效益(蚯蚓一般是利用溶解於體表的水中氧氣進行呼吸。蚯蚓的體表必須經常處於濕潤的狀態)。本研究通氣量以長 2 公尺、寬 1 公尺、厚 35 公分的牛糞堆做實驗範圍，於初始蚯蚓植入密度為 4.5 (kg/m²)，參考禽畜糞好氧堆肥之一般通氣量的設計範圍 (0.05 ~ 0.3 m³ air/m³-compost-min) 作為依據做設計：

表 6. 改良式通氣堆肥法步驟

步驟	方法
步驟一	將牛糞混合層底部鋪設通氣管。
步驟二	調整通氣量於 0.05~0.3 m ³ air/m ³ -compost-min 之範圍內，將溫度維持在 20-29°C 之間。
步驟三	每日觀察溫度及通氣量，並取出 105g 材料量測及紀錄 pH 值及水分。根據結果將水分控制在 60~65%。
步驟四	將材料放入蚯蚓飼養槽後，分別於每組取出部份材料混合成一個 600g 樣本。
步驟五	將樣本送至土壤肥力中心進行物理及化學性質之分析。

資料來源：本研究實驗所得

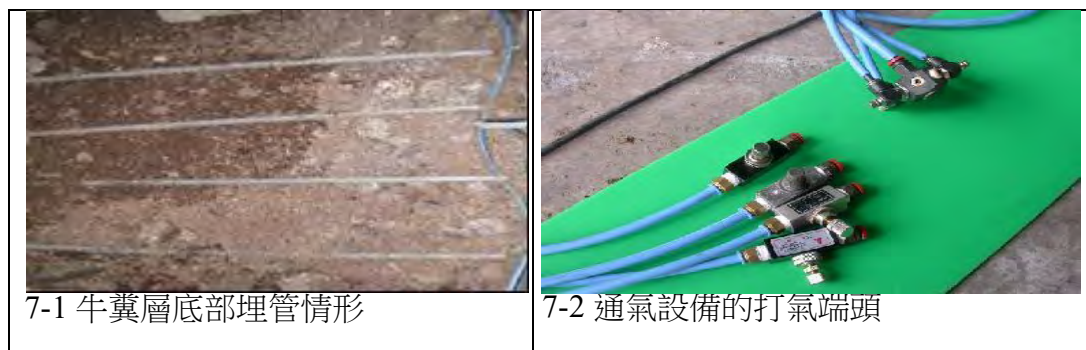


圖 7. 改良式通氣埋管過程

(五) 實驗五：EM 菌微生物發酵法

蚯蚓養殖過程中，蚯蚓處理廢棄物，發酵階段是關鍵，如果廢棄物發酵不完全，易產生有害氣體，可能使蚯蚓逃逸甚至死亡。牛糞養殖蚯蚓，有文獻記載可用新鮮牛糞，不用發酵直接分解，本團隊嘗試結果，初步認為蚯蚓可以分解新鮮牛糞，只是飼養階段蚯蚓的密度與成長量，遲遲無法增加。因此本研究添加不同微生物促使廢料快速發酵。本研究實驗微生物中，首先探討的為 EM 菌(Effective Microorganisms)，這是農業與畜牧最常使用的菌種群，因用途廣泛，常被運用於土壤改良、增強牲畜抵抗力與減少植物病蟲害的用途。

(1) EM 菌名稱由來

EM 菌並非單一菌種，Effective Microorganisms 的縮寫，可見其為效能型的微生物群。主要是將自然界中五大類益菌全部融合；分別為乳酸、光合、酵母、革蘭氏陽性放線、發酵系的絲狀菌群。

(2) EM 菌培養與發酵方式

本研究按牛糞 500：EM 菌 1：蜜糖 1：水 25（以牛糞濕度增減水量）的比例混合拌勻，密閉發酵 7-10 天後與蚯蚓同時放入飼養盆中，每日用水噴灑表面，水分掌握在 50-60%之間，每週翻料 1 次，保持牛糞疏鬆均勻。過程中本研究用玉米粉加 10%果皮（蘋果、香蕉、梨及爛菜等）進行發酵後餵食蚯蚓，可加快蚯蚓的成長速度，過程如下所示：

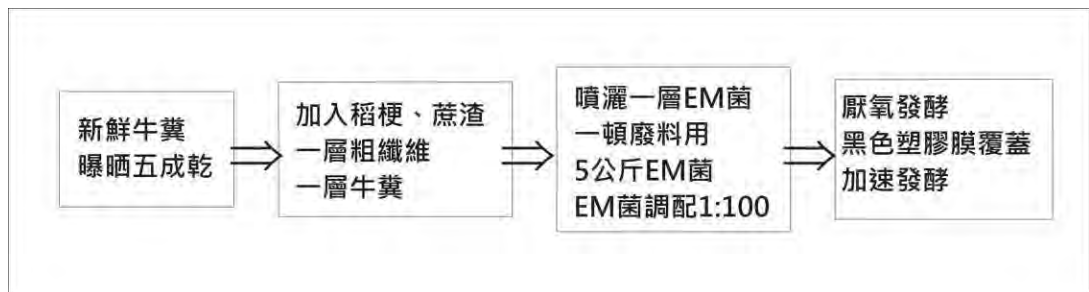


圖 8. EM 菌發酵流程

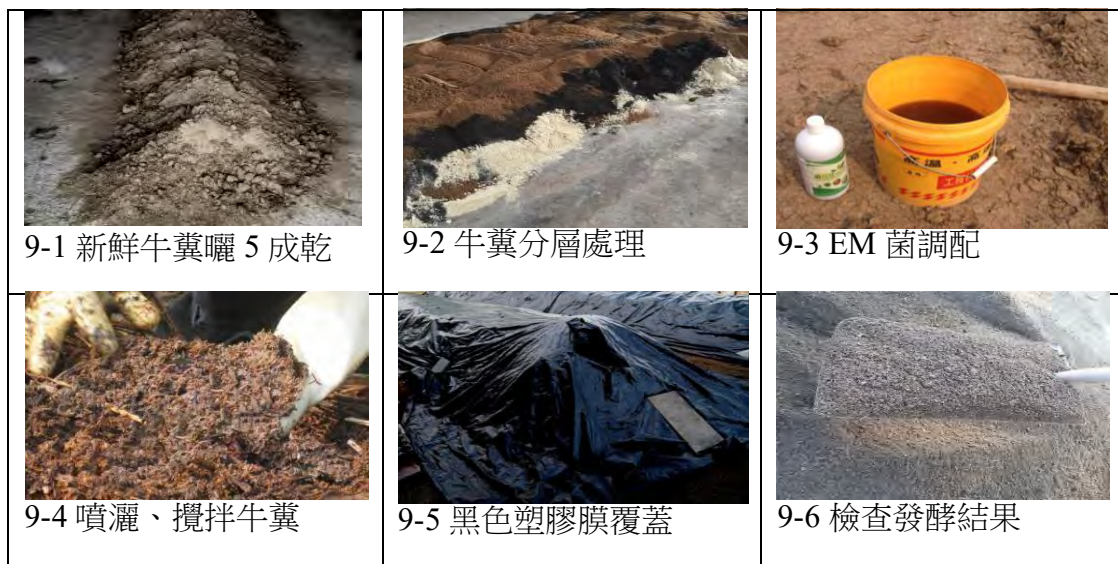


圖 9. EM 菌發酵過程照片

(六)實驗六：枯草桿菌發酵法

枯草桿菌(*Bacillus subtilis*) 屬於芽孢桿菌屬(*Bacillus*)為革蘭氏陽性菌，通常在人體、土壤與植物表層皆有發現，可產生澱粉分解酵素、蛋白質分解酵素、脂肪分解酵素、纖維素分解酵素及其他種類的分解酵素，還能淨化水質。

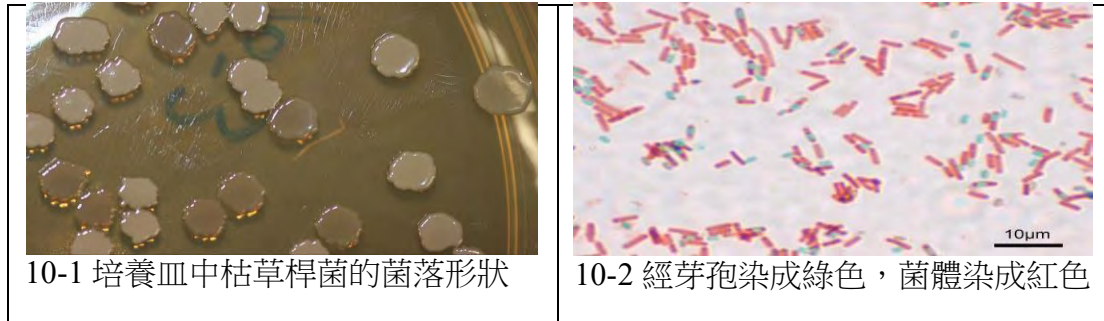


圖 10. 枯草桿菌(*Bacillus subtilis*)型態

(1) 枯草桿菌用途

本研究彙整枯草桿菌用途，凡食品(動物飼料)、發酵之酵素、醫學研究皆能運用，若用於土壤傳播性病害，其本身多種抗生物質與酵素對炭疽病菌、立枯絲核菌、镰胞菌、菌核病菌、等細菌都有拮抗能力。

(2) 枯草桿菌培養與發酵方式

本研究參考坊間培養方式，自行調配比例，以枯草桿菌 7.5mg、糖蜜 1.8kg、30~37°C 水 30 公升、新鮮米糠 10kg、麻油粕 6kg，混合成膏狀，常攪拌避免固、液分離，再準備消毒後的水桶，加半滿清水，添加總水量 5% 至 10% 的糖蜜，用力攪勻再加枯草桿菌種(1/3000)及魚精(1/500)。



圖 11. 枯草桿菌種類與培養過程

(七) 實驗七：蔡十八菌發酵法

(1) 蔡十八菌名稱由來與功能

蔡十八菌是由中興大學蔡東纂提出(最早是由美國人發現)，又名谷特菌是一種放射菌(Actinobacteria)，屬單一菌種，是蔡教授研究線蟲病害時，發現其有良好的抑制效果，且發現其產生有效胺基酸達 17 種，可以提供植物養分，且對開根效果奇佳，能讓植物頭好壯壯，猶如 18 歲青年般，因此取名為蔡十八菌。

(2) 蔡十八菌培養與發酵方式

本研究參考使用說明書，自行依需求調配，配方為：谷特菌 150g、二級砂糖 60Kg、黃豆粉 60Kg、水 600 公升，混合發酵 10 天後，可分解出 17 種胺基酸和蛋白質分解酵素；施用時牛糞時稀釋 50 -100 倍，再輔以「生物鈣」，同樣以黑色塑膠膜覆蓋，一週後再放入蚯蚓飼養。



圖 12. 枯草桿菌種類與培養過程

(八) 實驗八：木黴菌發酵法

(1) 木黴菌屬性與用途

木黴菌 (Trichoderma) 普遍存在土壤、空氣、植物殘骸枯枝落葉及各種醱酵物上的腐生性真菌，屬於絲狀真菌類，(Harman et al. 2004)提出木黴菌 (Trichoderma)可以用來抑制或防治作物病原菌，其用途大致可分成：抗生素(antibiosis)的產生、營養競爭(competition)、超寄生(hyperparasitism)、細胞壁分解酵素。

(2) 木黴菌培養與發酵方式

本研究調查結果發現木黴菌培養方式有四種，各自有不同的功能與成效，以下為本研究整理：

表 7. 不同配方的木黴菌培養

培養方式	配方內容
氮、磷、鉀 均衡	豆粉 700g、米糠 700g、海鳥糞 700g、海草粉 300g、奶粉 300g、骨粉 700g，、蛋殼 10 顆、黑糖 1.5kg。
高氮素	豆粉 1kg、米糠 1kg、海鳥糞 300g、海草粉 300g、蛋殼 10 顆、黑糖 1.5kg。
高磷素	米糠 1kg、海鳥糞 1kg、海草粉 300g、奶粉 300g、蛋殼 5 顆、黑糖 1.5kg。
高鉀素	米糠 300g、海鳥糞 700g、海草粉 300g、r 奶粉 300g、骨粉 1.5kg、蛋殼 20 顆、黑糖 1.5kg。

資料來源：本研究彙整

本研究基於實驗考量，選擇氮、磷、鉀均衡配方，使用方式為先將新鮮牛糞曬成 5 成乾，再將木黴菌稀釋 100 倍均勻混合到牛糞堆肥中，同樣以黑色塑膠膜覆蓋，一週後檢視其發酵程度，到達所需腐熟度，再放入蚯蚓飼養。

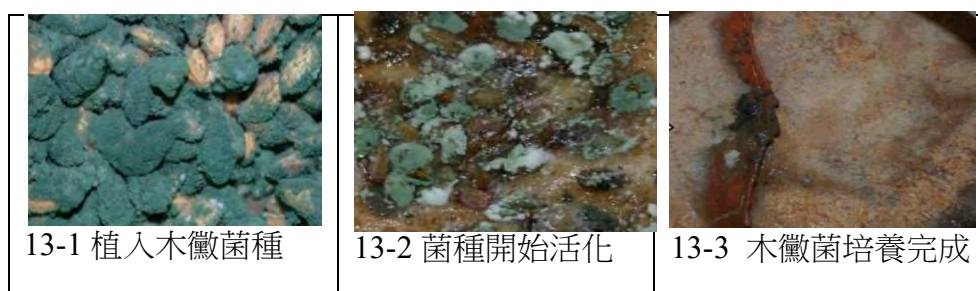


圖 13. 木黴菌培養與發酵過程

(九) 實驗九：蚯蚓成長率實驗

本研究先揀選卵繭，控制蚯蚓實驗蚯蚓孵化時間相近，以相同長 60cm、寬 50cm、高 20cm 的數個木箱，一組箱子用雲林縣現地土壤當對照組，另四組則放入不同微生物發酵的牛糞當實驗組，在箱內分別飼養 50 隻蚯蚓，約 2 個月後，再每週從各箱內隨機挑 10 隻蚯蚓量測其重量；持續 1 個月，之後再過 2 個月，約蚯蚓出生後 5 個月，量測箱內的蚯蚓密度。
















組別	2 個月	3 個月	5 個月
現地土壤 (對照組)			
EM 菌 (實驗組)			
枯草桿菌 (實驗組)			
蔡十八菌 (實驗組)			
木黴菌 (實驗組)			

圖 14. 蚯蚓成長率實驗過程

(十) 實驗十：農作物成長實驗

本研究應用雲林縣當地盛產的農作物做實驗，分別為小白菜(西螺鎮)、香瓜(二崙鄉)、番茄(口湖鄉)。對照組為雲林縣當地土壤與一般有機肥，實驗組則是在不同微生物(EM 菌、枯草桿菌、蔡十八菌與木黴菌)發酵後的蚓糞堆肥。由種子播撒，並觀察紀錄其成長過程變化。

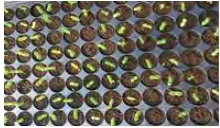











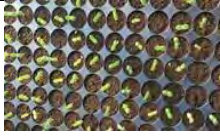










組別	小白菜(西螺鎮)	香瓜(二崙鄉)	番茄(口湖鄉)
現地土壤 (對照組)			
EM 菌 (實驗組)			
枯草桿菌 (實驗組)			
蔡十八菌 (實驗組)			
木黴菌 (實驗組)			

圖 15. 農作物成長實驗過程

(十一) 實驗十一：農作物甜度實驗

將實驗農作物香瓜、番茄成長後果實，各取 10 顆作甜度測試，對照組依舊是現地土壤與有機肥，實驗組則是不同微生物(EM 菌、枯草桿菌、蔡十八菌與木黴菌)發酵後的蚓糞堆肥，測試過程如下：

組別	香瓜		番茄	
現地土壤 (對照組)				
EM 菌 (實驗組)				






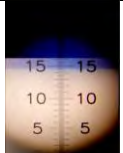






枯草桿菌 (實驗組)				
蔡十八菌 (實驗組)				
木黴菌 (實驗組)				

圖 16. 農作物甜度實驗過程

(十二) 實驗十二：雞場除臭實驗

本研究以雲林縣古坑的養雞場做實驗，選擇原因為雞隻體積小，研究範圍也較小，本研究以雞場養雛雞的場房，選擇五組直徑為 3 公尺的圓面積(一組對照組與四組實驗組)，各放入 100 隻雛雞。對照組依照雞場平日狀況，底部未鋪設任何物質；實驗組則各鋪上後 5 公分不同微生物發酵，由蚯蚓分解後剩餘殘料，每週固定時間，測一次空氣品質，連續觀察 1 個月。

養雞場的臭味來源與雞糞乾濕情形、是否發酵有關，一般而言，發酵中的濕雞糞，臭味濃度最高，臭味成分含有氨、胺類與硫化物，雞糞乾時，會形成粉塵，臭味雖然較淡，卻會隨風飄散，擴大影響範圍，因此雞場需有防粉塵處理，一般雞舍為半封閉式或封閉水簾式建築，配合抽氣過濾設施。



17-1 五組實驗小雞場房

17-2 實驗組底部鋪料情形

圖 17. 雞場除臭實驗過程

本研究使用型號 T300-AQ 攜帶式空氣品質偵測器，可偵測煙味、煙霧、天然瓦斯(沼氣、甲烷)、桶裝瓦斯(丙烷)、一氧化碳、酒精等碳氫化合物氣體，對禽畜養殖場的空氣品質監測效果顯著，其原理是感應空氣中的碳氫化合物、尤其是氫氣，得以顯示空氣品質綜合指標 CIAQ (Composite Index of Air Quality)，一般而言，CIAQ 數值愈低，空氣品質愈佳，以下為各環境的 CIAQ 指標數值：

表 8. T300-AQ 的環境 CIAQ 指標

環境與場合	GT300-AQ 的 CIAQ 指標
室外無污染新鮮空氣或零級空氣	1
家居室內	1- 8
超市、便利商店	10 - 20
辦公室	5 - 20
市區車道邊或公車站	10 - 30
地下停車場或車行地下道	10 - 40
醫院或病房	15 - 25
機場吸煙區	30 - 90
香火鼎盛的廟中	30 - 50
禽畜飼養場	50 - 100
口臭(約連續 5 秒的吹氣量測)	20 - 35
露天污水溝	20 - 40

伍、研究結果

本團隊是以本土種掘穴環爪蚓(*Perionyx excavates*)為實驗物種，其俗稱「印度藍蚯蚓」，固定牛糞堆肥(牛糞 65%混合紙污泥 25%、太空包 8%為基底，再配合 2%不同時期的輔料)，分別加入不同發酵菌種(EM 菌(*Effective Microorganisms*)、枯草桿菌(*Bacillus subtilis*)、蔡十八菌、木黴菌(*Trichoderma*))當實驗組，對照組則是雲林縣現地土壤與一般有機肥(高溫發酵)，最後利用雞場實驗，以雛雞為實驗物種，探討蚓糞除臭效能。本研究實驗變因如下所示：

表 9. 本研究實驗變因

實驗變因種類	內容說明
控制變因	<ol style="list-style-type: none"> 1. 實驗物種相同(掘穴環爪蚓、雞隻) 2. 工、農業廢棄物的配方比例 3. 實驗場地與實驗面積 4. 相同實驗器材與實驗時間
操作變因	<ol style="list-style-type: none"> 1. 不同種類的微生物(EM、枯草、蔡十八、木黴菌) 2. 不同種類的農作物 3. 不同種類微生物發酵的蚯蚓糞
應變變因	<ol style="list-style-type: none"> 1. 堆肥的肥力(含水率、總凱氏氮、總磷等) 2. 蚯蚓的生長量與密度 3. 農作物的成長率與甜度 4. 雞場的空氣品質 CIAQ 指標

本研究主要是探討微生物發酵法運用於蚯蚓養殖、蚓糞處理與雞場除臭議題，高中組的學長們則偏向搭配不同廢棄物蚓糞的肥力議題，指導老師讓我們國中組朝不同方向延伸，著重於蚓糞後續的應用。以下為本實驗項目分析結果：

一、含水率(moistures)

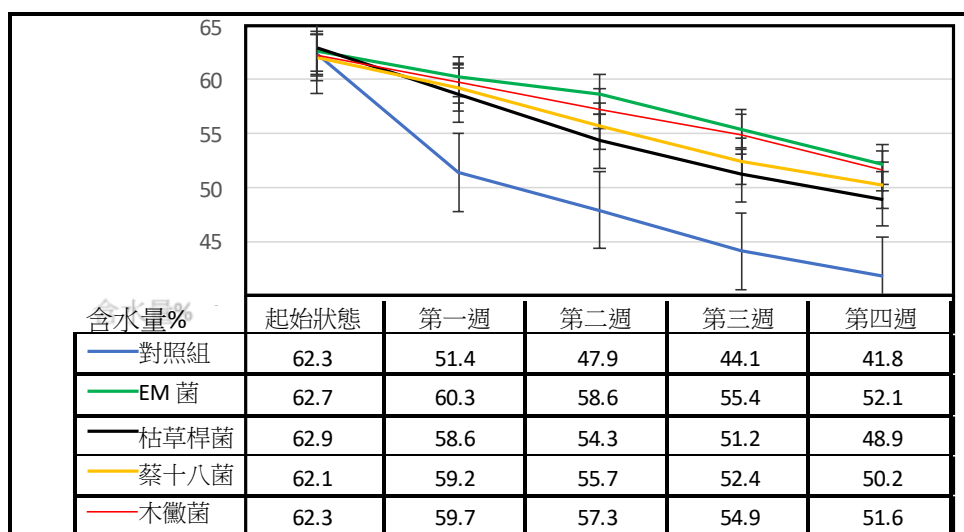
本研究將實驗樣本置於研究室內，不加水狀態下放四個星期，觀察含水率變化，本研究以微生物發酵製作蚓糞堆肥，原料新鮮牛糞需先曬乾至 50~60%，這樣微生物才能發揮最好的功效，含水率若少於 45~50%會微生物反應速率會下降，若低於 10~15%時微生物代謝將停止。含水率超過 70-80%，氧氣供應量不足，好氧微生物生長停滯(優勢菌)，厭氧菌生長繁殖，嚴重時產生厭氣醱酵，產生氮氣與甲烷等溫室氣體，造成環境污染。以下為實驗步驟：(此步驟與老師、學長研究產生)

取乾淨稱量瓶及瓶蓋置於烘箱內，以 $105 \pm 5^\circ\text{C}$ 乾燥 1 小時，然後蓋上蓋子移至乾燥器內冷卻至少 45 分鐘，測定加蓋稱量瓶的重量 (m_0)，精稱至 10 mg。稱取 30 至 40 g 實驗樣本置入稱量瓶中，精稱內含樣品之加蓋稱量瓶重量 (m_1)，精稱至 10 mg。

$$\text{水分含量 } w_{\text{H}_2\text{O}} ((m/m)\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_0} \times 100$$

m_0 ：含蓋稱量瓶空重 (g) m_1 ：含蓋稱量瓶及樣品重 (g) m_2 ：含蓋稱量瓶及烘乾樣品重 (g)

表 10. 微生物發酵含水率分析



二、總凱氏氮(Total Kjeldahl method)

本研究的對照組與高中學長不同，除現地土壤外還添加一般有機肥，因此總凱氏氮量結果與學長不同，礙於儀器與設備，本團隊亦委託嘉南藥理科技大學-環境工程與科學系檢驗，其檢驗步驟如下：(參照高中學長檢驗模式)

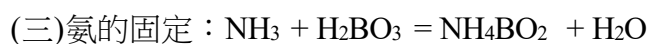
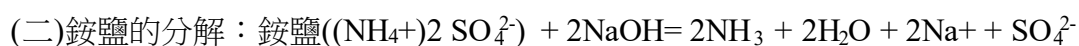
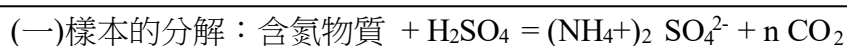
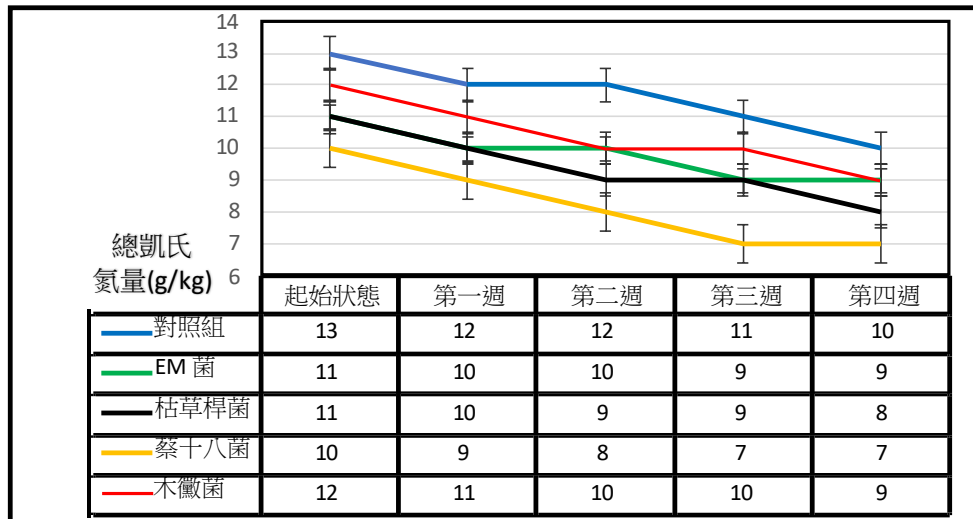


表 11. 微生物發酵總凱氏氮分析



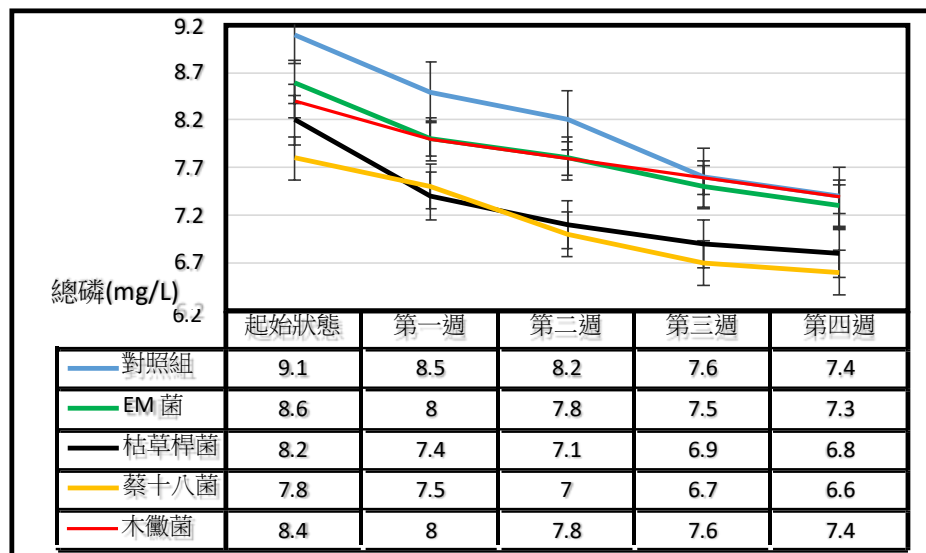
三、總磷量(Total Phosphorus)

本團隊與學長研究，共同委託嘉南藥理科技大學-環境工程與科學系檢定，總磷量(Total Phosphorus)用鉬酸銨分光光度法檢定，用過硫酸鉀為氧化劑，將未經過濾的樣品消解，用鉬酸銨分光光度測定總磷的方法。總磷包括溶解的、顆粒的、有機的和無機磷。總磷含量以 P 計：

$$\text{總磷酸鹽 (P, mg/L)} = m/v$$

m：試樣測得含磷(P)量 μg ； v：測定用試樣體積 ml。

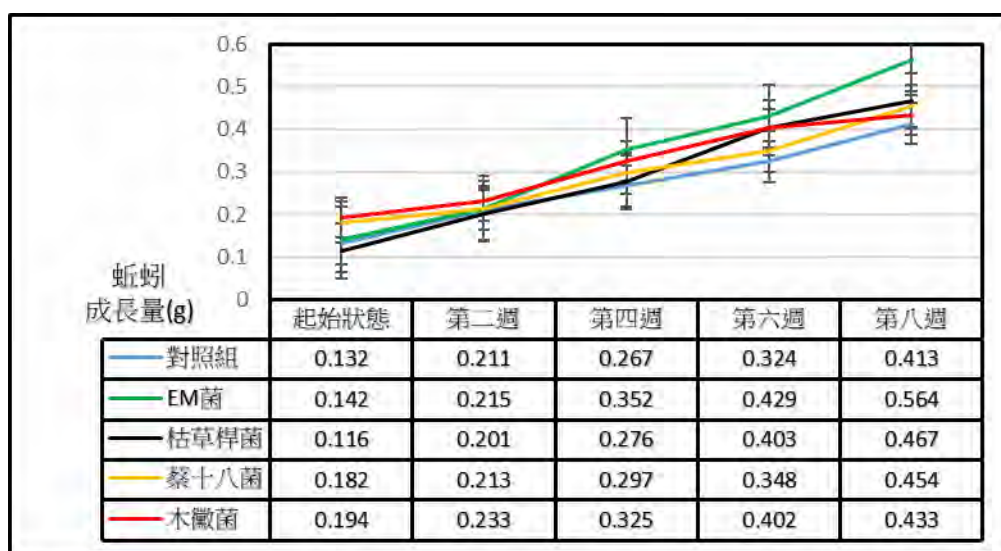
表 12. 微生物發酵總磷量分析



四、蚯蚓生長量(earthworm Volume growth)

本研究將蚯蚓生長量時間拉長成兩個月，這樣可以讓幼蚓轉成蚓，可了解成蚓重量，實驗方式為蚯蚓用去離子的蒸餾水洗去表層污垢，準備無菌培養皿，放入沾水的濾紙，將蚯蚓放在濾紙上，保持其濕潤，再用無菌鋁箔紙戳洞包覆住，隔天待蚯蚓把體內排泄物清除，再用微量天平測量其重量，本實驗每件樣品挑 10 隻蚯蚓秤重量取平均值。

表 13. 微生物發酵實驗蚯蚓成長量分析

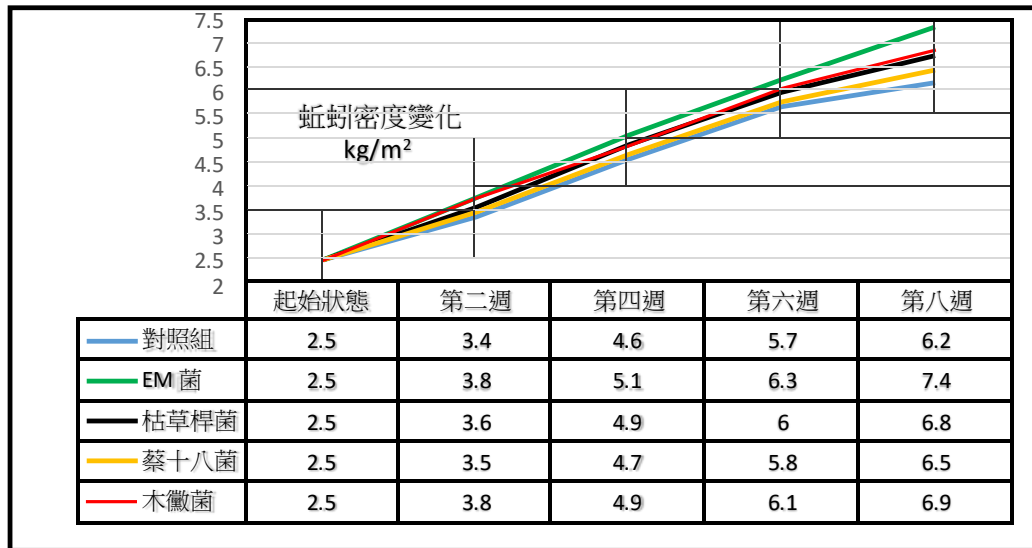


五、實驗蚯蚓密度變化(earthworm density fluctuation)

本研究修正蚯蚓密度變化觀測時間，考慮蚯蚓繁殖速度，將時間拉長成兩個月，每兩週觀察一次，本團隊設定初始蚯蚓植入密度為 2.5 (kg/m²) 在表面積 0.04πm² 及材料重量 5 公斤 (濕重) 的圓形飼養槽內，藉由蚯蚓植入重量差異，形成初始蚯蚓植入密度差異，探討蚯蚓密度變化其方法如下：

$$\text{初始蚯蚓植入密度(單位)} = \frac{\text{初始投入蚯蚓飼養量}}{\text{積}} \quad (\text{kg/m}^2) \quad \text{飼養箱表面}$$

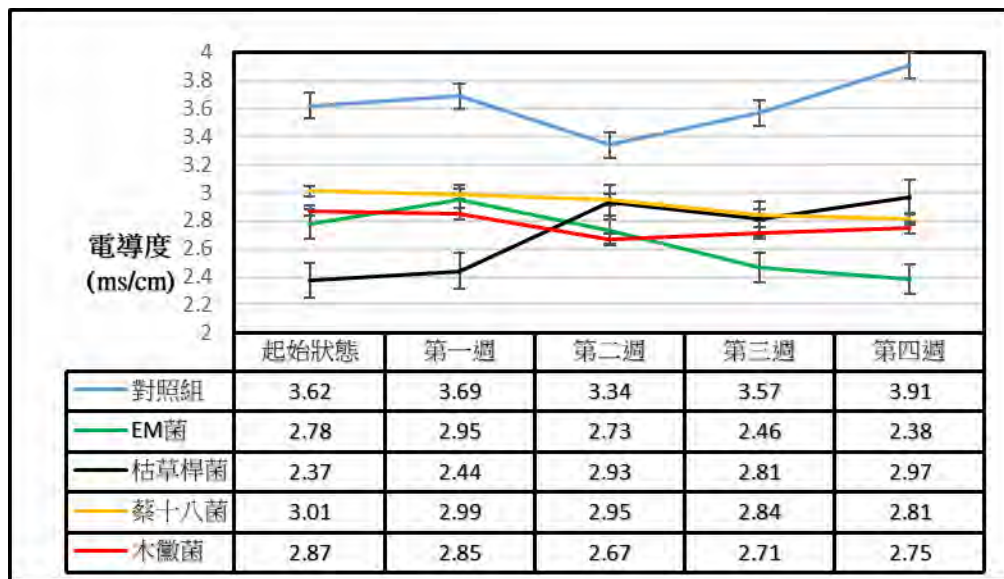
表 14. 微生物發酵實驗蚯蚓密度變化分析



六、電導度(Conductivity)

本研究測試電導度原因為其影響農作物生長因子，電導度代表樣品中水溶性鹽類的濃度，若濃度過高，易造成「鹽害」，對蚯蚓與農作物的生長皆有害。實驗方式 1：5 之比例加入去離子水，置於往覆式震盪機以 140rpm 震盪 1 小時，以 Whatman No.5 濾紙過濾後，再去測試其電導度。

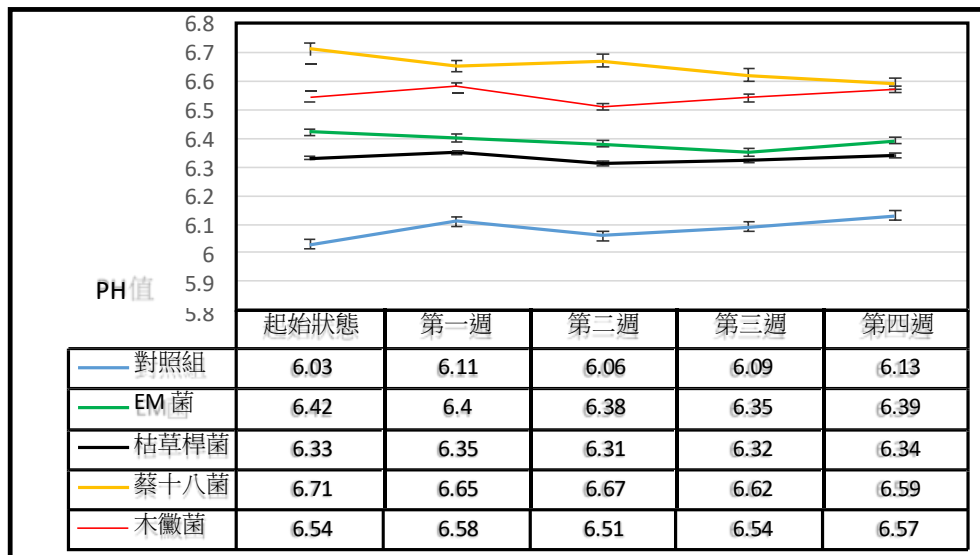
表 15. 微生物發酵實驗電導度分析



七、pH 值(ph value)

一般植物承受的 PH 值為 5.0-7.0 之間，本研究測定 pH 值為方式為先將樣品風乾過篩處理後，秤取 20g 樣品於 50 mL 燒杯內，加入 20 mL 試劑水蓋上錶玻璃，並且持續攪拌懸浮液 5 分鐘。靜置懸浮液約 1 小時再用 pH 測定儀測定。

表 16. 實驗樣品 PH 值分析



八、小白菜、香瓜與番茄生長量(Volume growth)

本研究測量農作物的生長量，小白菜生長週期約 1 個月；香瓜生長週期約 2 個月，番茄則需要 3 個月週期。本研究任挑選 10 棵蔬果，每週秤重取平均值(未含果實)，依照採收時間分成 1-3 個月觀察，以下為本實驗結果：

表 17. 實驗小白菜成長量分析

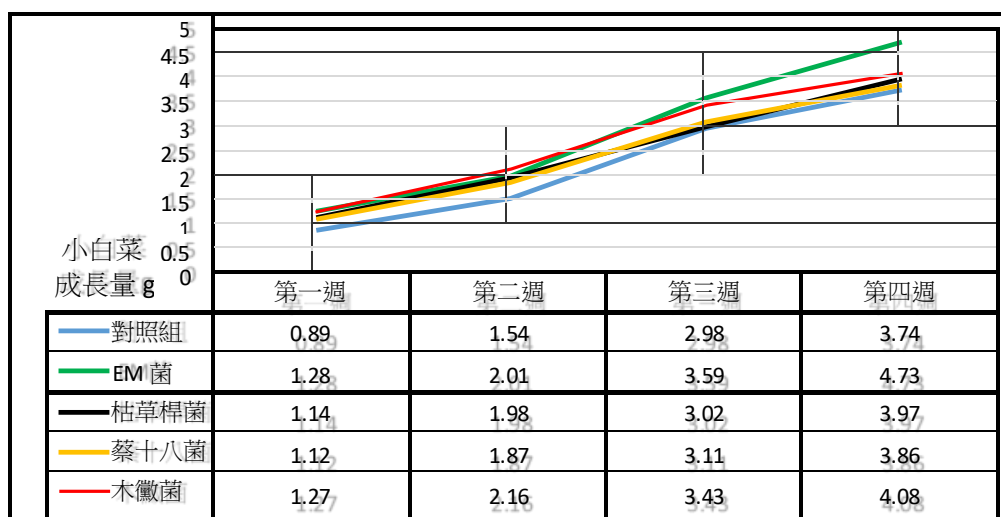


表 18. 實驗香瓜成長量分析

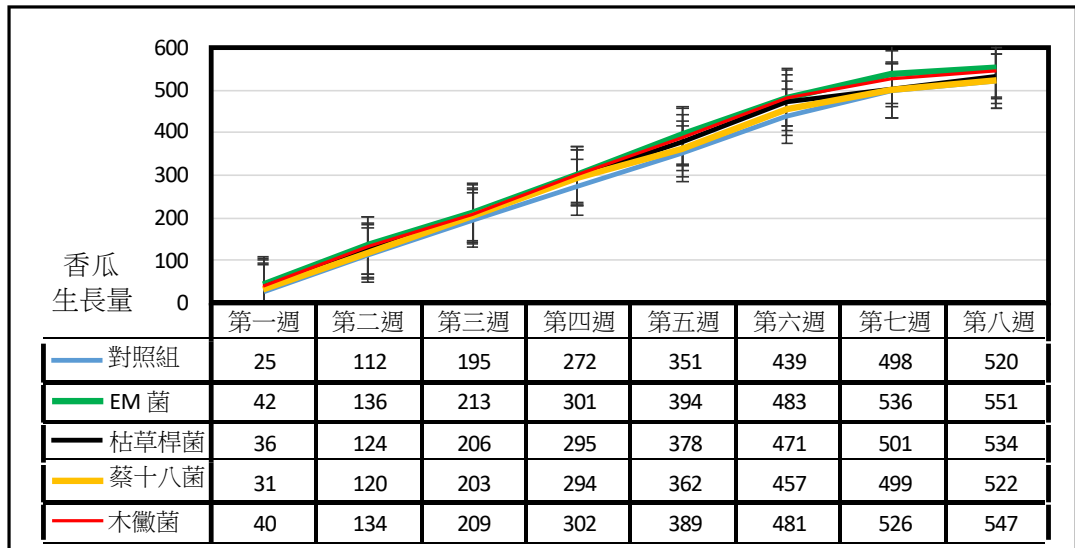
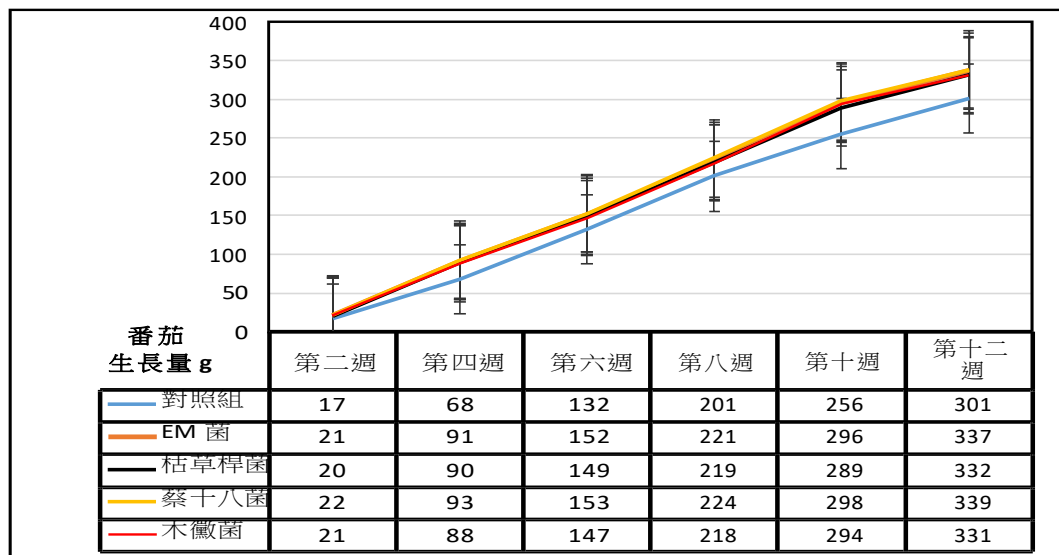


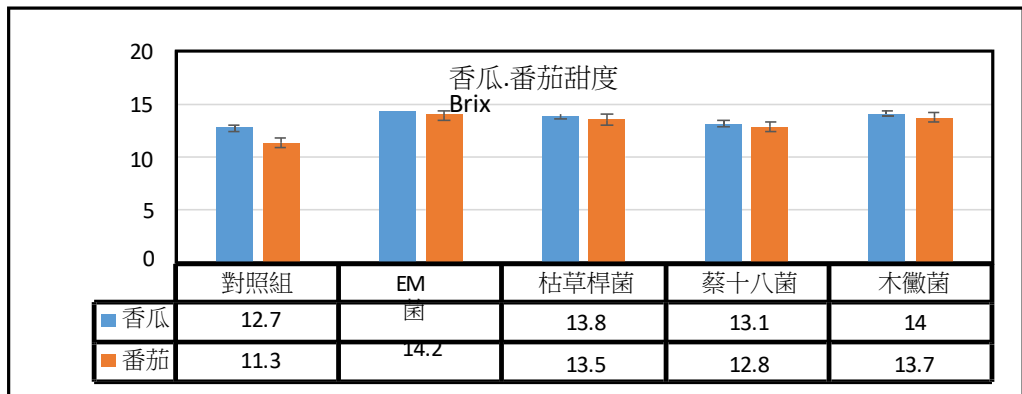
表 19. 實驗番茄成長量分析



九、香瓜與番茄甜度(Sweetness)

本研究將結果實後的香瓜與番茄切開，利用甜度計測量果實(單位為 Brix 是 100 克溶液裡面所含所有溶解物質的濃度，比較實驗組與對照組甜度的差異。結果如下所示：

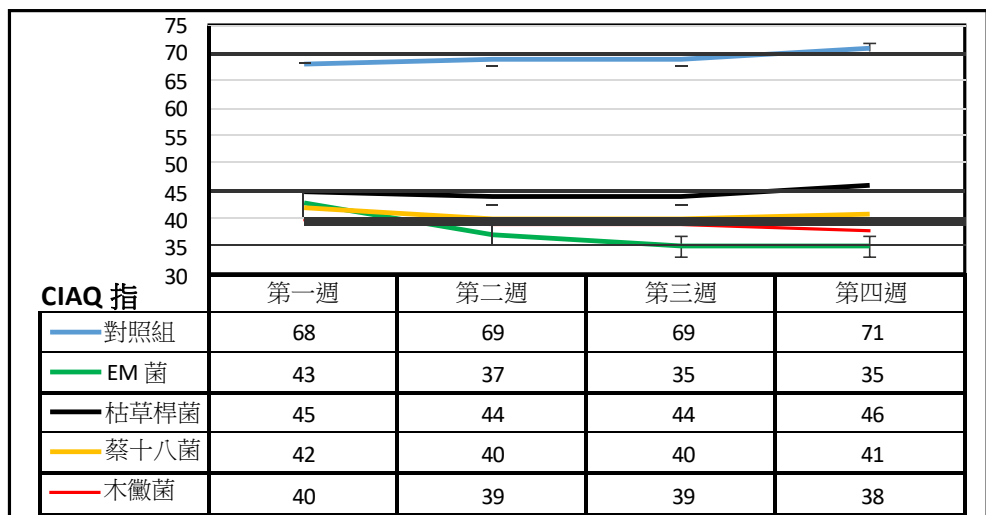
表 20. 香瓜與番茄甜度分析



十、環境空氣品質(ambient air quality)

本研究以型號 T300-AQ 攜帶施空氣品質偵測器，檢測環境空氣品質，偵測器顯示數值為 CIAQ(Composite Index of Air Quality)指標，實驗觀察 1 個月時間。

表 21. 香瓜與番茄甜度分析



陸、討論

一、含水率與保水度

由研究結果顯示，添加不同微生物產生的蚓糞有機肥，其含水率隨時間下降的速率較對照組的一般有機肥緩，表示微生物發酵過後較易保水。

二、總凱氏氮與總磷量

研究結果中，可知發酵後的蚯蚓堆肥反而比一般堆肥所含養分更少，但一般堆肥處理過程為高溫發酵，有益農作物的微生物無法存活，就算肥力較高，農作物也無法直接吸收，反而肥力較低的蚓糞，含有多樣益菌，農作物較容易吸收。

三、蚯蚓生長量與密度

本實驗結果顯示，由 EM 菌發酵過後的堆肥，蚯蚓生長與密度最高，對照組的一般堆肥則成長速度最慢，可見微生物對蚯蚓生長與繁衍有顯著影響。

四、電導度與 PH 值

由實驗結果顯示，土壤與一般有機肥導電度較佳，容易造成鹽鹼化情形，PH 值則是無論對照組或實驗組皆落在 5.0-7.0 間，皆適合農作物生長。

五、農作物生長量與甜度

實驗結果顯示，蚓糞有機肥在農作物生長與甜度，效果顯著優於一般有機肥，尤其是用 EM 菌發酵後的蚓糞堆肥，農作物生長量與甜度效果最佳，似乎葉菜類的小白菜用蚓糞堆肥種植，比香瓜、番茄的生長量又更高。

六、空氣品質與雞場除臭

本研究結果顯示，雞場底部未鋪設任何蚓糞殘料，其空氣品質遠較鋪設蚓糞殘料的實驗組差，表示蚓糞殘料有非常好的除臭效果，可以將空氣品質提升一倍以上，建議禽畜養殖鋪設一層蚓糞殘料，可有效減少臭味發生。

七、農業經濟效益

蚓糞每公斤 15-20 元，每公噸 15000-20000 元，2 分地的農場 1 個月可量產 20 噸蚓糞，扣除成本運費，1 個月利潤為 20-30 萬元，條件是蚓糞可以完全銷售才有，所以農業經濟還需良好的銷售管道，且活蚯蚓 1 台斤 350 元，1 噸可賣 50-60 萬元，繁殖蚯蚓也有很高的利潤。

八、工、農業廢棄物處理與土壤改良

這是養殖蚯蚓最主要的原因，每年台灣工、農業廢棄物都會造成嚴重的環保問題，且曾經被污染的土地要復原，也需要很長的時間與經費，蚯蚓卻能輕易將廢棄物化成黃金(有機肥)，更能將荒地變良田。

柒、結論

雲林是我們的家鄉，我們愛護與珍惜家鄉每一塊土地的人、事、物，農業是民生最重要之產業，環境的維護才能讓在人們能永續經營，本團隊是三個熱愛家鄉與農業的女孩，家中皆為務農，身為雲林的一份子，決定挑起重責大任，用我們雙手與熱情，為雲林農業注入一股新動力。蚯蚓在這片土地上，正如達爾文所說是世上最重要的生物，本團隊一步步揭開蚯蚓奧秘，發現蚯蚓糞為活的有機肥料，裡面有益於農作物的微生物多不可數，比任何一種肥料更能讓農作物吸收，且更能抵抗農業病害；蚯蚓對土壤的改良功不可沒，用在禽畜飼養場的除臭與禽畜健康上，效果更是顯著，未來我們將更致力於雲林縣工、農業廢棄物透過蚯蚓轉化的產品，提高雲林縣農業經濟，甚至其他有益於環境與人類生活的方式，最後能在國中三年級時順利完成科展，在此感謝所有支持我們的老師、同學與家人。

捌、參考資料及其他

1. Suthar, S.,2009, “Bioremediation of agriculture wastes through vermicomposting,” *Bioremediation journal*, Vol. 78, No. 1, pp. 1428-1439.
2. Anoop Yadav, Garg, V. K., 2011, “Recycling of organic wastes by employing *Eisenia fetida*,” *Bioresource Technology*, Vol. 102, No. 3, pp. 2874-2880.
3. 邱郡鈴(2014)。利用蚯蚓對柴油污染土進行復育之研究，崑山科技大學環境科學碩士論文。
4. 林旻頡(2015)。不同有機廢棄物之蚓糞堆肥化過程中的成分特性與蚯蚓生長變化，國立中興大學土壤環境科學系碩士論文。
5. 黃瑞彰、江汶錦、潘佳辰等(2015)。「點糞成金~蚓糞堆肥應用」，農業新知與技術期刊第9期。

【評語】 030308

1. 本研究作品係利用微生物群發酵方式養殖掘穴環爪蚓，並將蚓糞與剩料運用於農作物的栽培與畜牧除臭。作品適切地結合學校與家園特色加以設計實驗，內容具鄉土教材性及實用價值。然而，研究過程多採用現成業界方法或使用商業產品，較似操作型研究，新穎性較不足。
2. 研究材料具鄉土性，蚯蚓也是重要的環境指標生物。較可惜的是，本研究雖具有應用價值，但在背後的原理探討部分，則較少著墨（應用 > 學理）。蚓糞生產及蚯蚓繁殖雖具有經濟效益，然此研究的結果並無法支持其對經濟具有影響之潛力。
3. 研究設備 1-4 為普通的正立式顯微鏡，非「電子顯微鏡」。種名的學名書寫原則要將英文以義大利斜體字方式表示。相關性的比較上宜用統計分析以釐清各處理組別之間是否有顯著差異，方能增加論證的說服力。
4. 在報告書的結果段落，只呈現圖表，對結果沒有多所闡述或說明。實驗組及對照組需要有重覆的實驗，例如對照組(現地

土壤)三重覆，其他四種菌的實驗組各三重覆。此外，農作物甜度實驗應包含發酵土的對照組，以明確蚓糞土的功效。

5. 研究目的應清楚說明欲探討的目標及變因，研究目的一選擇掘穴環爪蚓、二堆肥基底～不太算是目的。
6. 材料方法中，實驗一「選擇蚯蚓」似乎稱不上實驗，只是為了與學長做的區隔，而非實驗；實驗二「選擇蚯蚓養殖方式」實際上只有一種養殖方式；實驗三～八等都有這個問題，這些並不是「實驗方法」，而是說明而已。
7. 整份報告出現太多「學長」的研究發現，缺乏自己的發展及論述。
8. 對作品內容了解，但要注意口頭報告的時間掌握。

作品海報

微生物發酵法運用於蚯蚓養殖、 蚓糞處理與雞場除臭之研究

摘要

本研究以不同微生物發酵方式(EM 菌(Effective Microorganisms)、枯草桿菌(Bacillus subtilis)、聚十八鹵、木黴菌(Trichoderma))養殖蚯蚓，並固定牛糞、紙污泥與太空包其他補料(米糠、蔗渣、果皮、腐葉)成分(原料來自雲林縣工、農業廢棄物)，並用本土種的掘穴蚯蚓(Perionyx excavates)分解，以室內分層式堆肥採取收糞，再用機械篩選出高純度蚓糞；以雲林縣產作物：小白菜(高麗菜)、香瓜(二萵)、番瓜(山藷)為實驗作物，探討蚓糞當有機肥，作物生長與甜度變化，並將蚓糞與肥料(純度較低)運用於雞場除臭功能，經實驗結果顯示，蚓糞用於農作物與除臭皆有顯著的效果呈現。

壹、研究動機

生長在雲林縣這塊土地上，充滿了濃厚的鄉村與農業氣息，父親從事農耕與養殖蚯蚓行業，本人為家裡年紀最小的孩子，較年長之兄姊們皆離開雲林到外地工作，年邁之父親並不期待女兒身的工作，會接下父姊這筆遺產。其實從小在父親身邊一同養殖蚯蚓，本人還真的對農業充滿憧憬，縱使兄弟們離去，鄉村人口老化，皆無法降低我對農業的興趣，不但如此本人內心充滿雄心壯志，早就立下目標，要用蚯蚓帶動雲林縣的農業經濟，讓 台灣農業創下另一個輝煌史蹟。光說不練怎麼行呢？正好我有一位熱心幫學生科展的老師，本人把想法與計畫跟老師討論，透過老師找到願意支援科展的家長，提供農舍作為場地，加上父親養殖經驗，幾位有興趣的學長和同學，分成中組與高中組兩隊，開始了我們與雲林農業之大計，相信未來本團隊一定會讓雲林農業在台灣甚至全世界發光發熱。

貳、研究目的

- 本研究針對蚯蚓實驗目的分為下列幾點：
- 一、選擇本土種掘穴蚯蚓(Perionyx excavates)進行實驗。
 - 二、以牛糞堆肥為基底，搭配太空包、紙污泥、米糠、蔗渣、果皮與腐葉。
 - 三、加入不同微生物發酵雞糞及農業廢棄物，並轉換生產有機肥料。
 - 四、利用蚓糞種植小白菜、香瓜、高麗菜與番茄，探討發芽率、成長速度與甜度。
 - 五、利用有機肥料鋪設於雞場底部，提供雞糞養分並兼具除臭效果。

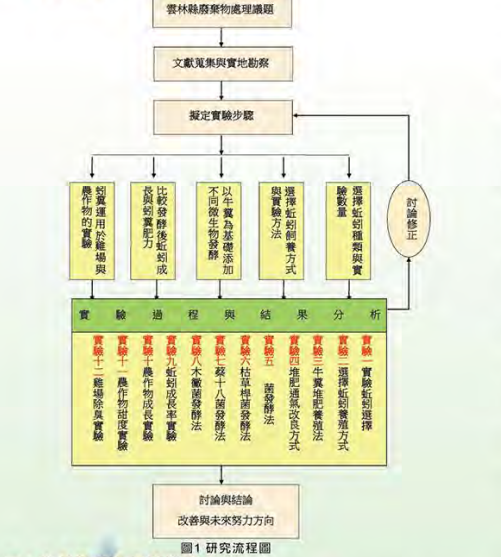
參、研究設備及器材

表 1. 研究設備及其用途

圖號	器材名稱	圖號	器材名稱	圖號	器材名稱
1-1	筆記本、筆	1-2	數位磅秤	1-3	筆記型電腦
1-4	磅秤天平	1-7	印度蚯蚓	1-8	農畝
1-11	雞場	1-12	廢皮	1-13	專業
1-16	太空包	1-17	鏟子	1-18	紙污泥
1-21	發芽種子	1-22	PH 測試計	1-23	剪髮
1-26	噴水壺	1-27	篩網	1-28	保鮮膜
1-5	塑膠計	1-6	電子秤	1-9	EM 菌
1-10	木製篩	1-14	電子秤	1-15	木製篩
1-19	自來水	1-20	香瓜種子	1-24	塑膠箱
1-25	空氣品質測試計	1-29	雞糞	1-30	雞糞

肆、研究過程與方法

一、研究流程



二、文獻蒐集與實地勘察

本研究分高中組與國中部進行，本團隊為國中部，與高中學長協同結果，本團隊在此章節以實地勘察為主，文獻蒐集由兩隊整理後，撰寫方式各自不同，以下為本團隊文獻蒐集與實地勘察結果。

(一) 文獻蒐集

Suiter (2009B)：指出所有品種之蚯蚓以 *E. fetida* 的品種蚯蚓比其他品種蚯蚓在水分、pH 值、EC 值與溫度等具有最高的容度。早期台灣引進蚯蚓作為飼養肥料到現今已被馴化，由於它亦屬於 *E. fetida* 的品種蚯蚓，因此目前台灣所進行之蚓糞堆肥多以以台灣本土馴化之紅蚯蚓(太平二號)製作成堆肥。

Yadav 等人 (2011)：指出，重金屬堆肥化過程中因部分有機質分解而釋出 CO₂，致使乾物量下降而導致濃縮效應的產生，故會增加堆肥產物之重金屬含量。隨著蚓糞堆肥化時間的增長，金屬離子種蚯蚓皮層的接觸與蚯蚓攝食累積至蚯蚓體中，會降低有機廢棄物中重金屬含量，然蚓糞堆肥化過程中重金屬離子化仍需視有機物分解與蚯蚓累積而定。

邱毅 (2014)：探討蚯蚓在污土中受毒性之影響，是否添加分解菌進行對照。結果顯示，蚯蚓之存活率受污染濃度影響，污染濃度越高者，存活率越低。由對照組也發現當添加分解菌時會影響蚯蚓之存活，且在低濃度污染狀態時產生較佳效果。

林昱潔 (2015)：不同有機廢棄物之蚓糞堆肥化過程中的成分特性與蚯蚓生長變化

論文，使用 *Eisenia fetider*(歐洲紅蚯蚓)比較好氧堆肥和蚓糞堆肥處理的異同；並預測不同食材在分批處理下對蚓糞堆肥化中氮含量及蚯蚓生長的影響。結果顯示，蚓糞堆肥化處理者之養分含量顯著低於好氧堆肥者，但因蚓糞堆肥的 EC 值及重金屬含量相對較低，故較不易造成不利作物生長的風險。

農業新知與技術期刊(2015)：使用的堆肥蚯蚓為紅蚯蚓 (*Eisenia fetida*) 改變農食材料，配合小白菜種子發芽率，探討蚓糞堆肥對農作物的影響，下表為該為期刊蚓糞堆肥資料整理。

表 2. 蚓糞堆肥品質分析

農食材料	比例	蚓糞		小白菜種子發芽率 (%)
		碳氮比	碳氮比	
牛糞	48.9 a	16.6 a	96ab	
豬糞	22.1 b	13.6 e	93bc	
食物污泥	6.5 e	11.4 f	89c	
牛糞：菇包	(1:1)	21.3 b	15.4bc	
豬糞：菇包	(1:1)	12.6 d	14.3 b	
食物污泥：菇包	(1:1)	21.9 b	15.1 c	
牛糞：食物污：泥菇包	(1:1:2)	22.3 b	16.2 a	
豬糞：食物污：泥菇包	(1:1:2)	18.1 c	15.6 b	

資料整理：農業技術期刊(黃煒彰等, 2003)

(二) 實地勘察

本團隊分兩隊實地勘察分成兩個部分，分別是全台蚯蚓養殖場與雲林縣工、農業廢棄物地點，主要用途為參考不同蚯蚓養殖方式與尋找雲林縣適合研究的工、農業廢棄物，並讓本團隊了解雲林縣農產品的需求，如何有效利用農產品資源，改善環境與農民生活品質，並創造新財富。

(1) 蚯蚓養殖場

本團隊由網路資訊與 Facebook 中搜尋資料，將台灣從北到南蚯蚓養殖場，做詳細調查，除電話訪談外，亦到現場觀察，將養殖者的經驗與問題，作為研究借鏡，並感受養殖者的心聲。其中養殖場中印象最深刻者，除父親的養殖場外，另有兩家是本團隊收穫最多者，桃園弘鼎生物科技之徐金龍，以牛糞室內箱式法，將一分地(近 300 坪)，高密度繁殖，另一家為雲林縣雲林縣開屏蚯蚓養殖場，王老師原本為管理隊師指導老師，雖養殖不到一年，憑著自創的農舍蚯蚓養殖法，蚓糞產量已直逼全台灣之冠，以下為本團隊實地之蚯蚓養殖場位置與養殖方式。

公司名稱	地點	蚯蚓種類	養殖方式
大台北蚯蚓養殖場	台北市	<i>Eisenia abdei</i>	菇包堆肥養殖法
達爾文蚯蚓養殖場	桃園市	<i>Eisenia abdei</i>	菇包堆肥養殖法
弘鼎生物科技	桃園市	<i>Eisenia abdei</i>	牛糞堆肥箱式法
鴻興生物科技	苗栗縣	<i>Eisenia abdei</i>	菇包堆肥養殖法
吳國周(蚯蚓繁殖場)	南投縣	<i>Eisenia abdei</i>	菇包堆肥養殖法
逸心開屏蚯蚓養殖場	雲林縣	<i>Eudrilus eugeniae</i>	牛糞堆肥養殖法
東陽陳家蚯蚓養殖場	雲林縣	<i>Eisenia abdei</i>	菇包箱式養殖法
台南蚯蚓養殖推廣中心	台南市	<i>Eisenia abdei</i>	菇包帆布養殖法
鉅能蚯蚓養殖場	台南市	<i>Eisenia abdei</i>	菇包堆肥養殖法
阿明蚯蚓養殖場	高雄市	<i>Eisenia abdei</i>	菇包堆肥養殖法

資料整理：本研究訪查

(2) 雲林縣農業廢棄物

本研究基於安全考量，由老師與父親陪同，走訪雲林縣可能提供工、農業廢棄物的地區，並徵求業者同意與協助，獲得以下資訊：

表 4. 雲林縣農業廢棄物種類與地點

名稱	地址	廢棄物種類
豐樂合作農場堆肥場	雲林縣高南鄉豐樂村 193-10 號	牛糞、果皮
油車合作農場堆肥場	雲林縣新鄉六村新興路 10-16 號	牛糞、米糠
虎尾豬糞	雲林縣虎尾鎮中山路 2 號	豬糞
一般農戶	雲林縣本校附近田埕	雞糞
專業農	雲林縣東勢地區	牛糞
雲林製鞋縫衣工會	雲林縣斗六市保長路 44 號	太空包
陳瑞坤堆肥場	雲林縣古坑鄉水田村光興路 112 號	雞糞
凱員造紙廠有限公司	雲林縣斗六市工業區	紙污泥

三、實驗過程

本團隊主要著重於蚯蚓堆肥養殖方式改良，有別於高中組學長之多樣式養殖實驗，同時本團隊亦將蚯蚓分解後剩餘的殘渣，運用於雞糞堆肥與方式，其效果十分顯著，蚓糞則以白菜、香瓜與番茄作為試驗農作物。以下為本實驗流程：



圖 2. 實驗步驟流程图

(一) 實驗一：實驗蚯蚓選擇

本研究參考台灣蚯蚓養殖場，為區分高中組學長實驗性質(高中組選用安卑亞 勝蚓(*Eisenia abdei*)，俗稱「歐洲紅蚯蚓」、尤金貞蚓(*Eudrilus eugeniae*)，俗稱「非洲夜蚯蚓」)，本團隊(國中組)選用掘穴蚯蚓(*Perionyx excavates*)，俗稱「印度蚯蚓」。此蚯蚓在日治時期已經引進台灣，成為台灣的本土種。其繁殖沒有安卑亞勝蚓(*Eisenia abdei*)快，因此不受蚯蚓繁殖場的中斷，考量其為本土種，較不影響環境生態，本團隊欣然接受挑戰。掘穴蚯蚓(*Perionyx excavates*)體長 5-18 公分，環帶分佈於第 13-17 節，寬 0.2-0.5 公分；體色多呈現粉紅、深紅、紅紫或紫藍，體色會產生藍紫色反光，行動快速，夜間出土亂走。

圖 3. 實驗蚯蚓物種

(二) 實驗二：選擇蚯蚓養殖方式

本研究使用場地為學校附近農舍，有別於高中組與父親養殖場的方式，本團隊著重於室內堆肥式養殖法，其原因有幾點：

1. 設備需求較少
- 比較箱式法，本團隊嘗試過後，發覺木製與塑膠桶成本不廉，若大量運用會增加蚯蚓飼養成本，當然最低成本的是露天養殖，雖然蚯蚓不怕水(許多人有的誤解，認為下雨天蚯蚓從地下爬出是水的關係，水只是間接，其 實土壤空氣減少所致)。考慮養殖、稍風風肆虐情形，若用露天養殖可能會水牛無歸，以資實驗中斷。



圖 4. 蚯蚓養殖方式比較

(2) 進料方便減少人力成本

將工、農業廢棄物直接鋪於農舍地表，較一箱箱裝填容易，且省時又省力，雖然箱裝堆肥方式，較節省空間，搬運與給料卻較麻煩，需天候則容易受天候或外來因素影響，不但較難控制養殖因數，蚯蚓容易跑光或群體死亡。

(三) 實驗三：牛糞堆肥養殖法

本研究參考蚯蚓養殖場文章與高中組學長實驗，決定以牛糞 65% 混合紙污泥 25%、太空包 8% 為基底，再配合 2% 不同時期的補料(米糠、蔗渣、剪髮)，開始嘗試掘穴蚯蚓(*Perionyx excavates*)養殖。

首先將牛糞堆肥長 2 公尺、寬 1 公尺、厚 35 公分的糞堆。每天用鐵絲篩最上面的牛糞，約篩積到一定程度厚約 5-8 公分，約晒到半乾時，即可放入掘穴蚯蚓(*Perionyx excavates*)。每堆糞重 5.5 公斤蚯蚓產量，每隔 3 天收取一次 蚓糞及卵團。在養殖期發現蚯蚓要及及時噴水，並按清水或洗米水或噴水。一次 1.5 的比例混合噴水。一般每隔 3-5 天噴一次。按以上方法養出的蚯蚓生長快，產出的蚓糞多而且大。注意產糞者一定要發酵或曬乾後拌成含水 60% 左右才可用來養蚯蚓。



圖 5. 牛糞堆肥養殖蚯蚓情形

經分析結果，本研究使用之工、農業廢棄物，符合國家農業肥料安全規範，唯一爭議點是紙污泥，屬於工業廢棄物範圍，法規明定工業廢棄物尚不能使用於農業肥料製成，在國外紙污泥已經可以使用在農業肥料上，我國則需更多繁瑣的行政流程，才能通關使用，若農業政策與法規能再更便民些，相信願意從事農業的青年學子會更多。



圖 6. 牛糞堆肥與紙污泥 SGS 檢驗

本研究送檢 SGS 認證之連紙污泥、牛糞與木空包，期檢驗結果如下所示：

材料名稱	連紙污泥	牛糞	木空包
產地	凱員造林區(雲林)	學生家長(雲林)	製袋工廠(雲林)
總固體物(g/kg)	356.8	468.1	895.2
比重 (g/cm ³)	0.5	0.8	0.3
pH	7.0	6.6	10.8
總氮(g/kg)	284.0	104.0	530.0
C/N ratio	23.6	11.5	88.3
總磷(g/kg)	3.0	8.0	-
總鈣(g/kg)	150.0	6.0	-
總鎂(g/kg)	5.0	3.0	-
總鋅(mg/kg)	66.0	21.0	-
總鉀(mg/kg)	139.0	74.0	-
總銅(mg/kg)	Nd.	1.0	-
總鐵(mg/kg)	5.0	9.0	-
總錳(mg/kg)	11.0	8.0	-
總鋁(mg/kg)	22.0	18.0	-

資料來源：本研究送檢結果

(四) 實驗四：改良式通氣堆肥法

本研究比較傳統發酵方式(一般堆肥)與微生物發酵(蚯蚓處理)的差別，得到結果如下所示：

項目	傳統堆肥與一般堆肥	微生物發酵與蚯蚓處理
處理溫度	堆肥效率 55-60 °C 最佳	溫度範圍限制在 20~29°C
處理時間	介於 120-180 天	介於 21-40 天
堆肥衛生	具有嗜熱高溫進行病原菌及寄生蟲消除	無
堆肥產量	產量較不均質	產量較均質
臭味控制	嗜熱期易產生，氮氣的揮發，需加以密封控制	較佳
土壤淨化性	一般	較佳
氮、磷、鉀有效性	一般	較佳

由上述比較可知，微生物發酵與蚯蚓處理法，較傳統堆肥與一般堆肥更省時、無臭、擁有較佳的活性與氮、磷、鉀有效性，容易讓植物吸收。

蚯蚓是生物活體，需要氧氣，因此通氣成為重要因素之一，蚯蚓大多棲息在 10-20 公分土壤深處或堆肥層中，蚯蚓的食物大多為工、農業廢棄物或經腐熟發酵後之物質。這類物質會被土壤中的厭氧微生物分解成二氧化碳和氣，均會消耗土壤中的氧氣，影響蚯蚓的呼吸作用。為了提高蚯蚓的養料密度、克服供氧不足，本實驗在養料堆的頂上設置有許多細孔的管子，採用通氣再加濕的養料方法可以獲得較高的產量和經濟效益(蚯蚓一般是利用溶解於體表的水中氧氣進行呼吸。蚯蚓的體表必須經常處於溼潤的狀態)。本研究通氣層以長 2 公尺、寬 1 公尺、厚 35 公分的牛糞堆做實驗範圍，於初始蚯蚓植入密度為 4.5 (kg/m²)，參考畜產 糞好氧堆肥之一般通氣量的設計範圍 (0.05 ~ 0.3 m³ air/m³ compost-min) 作為依據做設計：

步驟	方法
步驟一	將牛糞混合腐熟堆肥裝滿通氣管。
步驟二	調整通氣管於 0.05-0.3 m ³ air/m ³ compost-min 之範圍內，將通氣管埋於 20-29°C 之間。
步驟三	每日觀察溫度及通氣量，並取出 105g 材料測劑及紀錄 pH 值及水分。根據濕度將水分控制在 60~65%。
步驟四	將材料放入蚯蚓篩網後，分別於每組取出部份材料做含氮量、含磷量、含鉀量。
步驟五	將樣品送至土壤肥力中心進行物理及化學性質之分析。

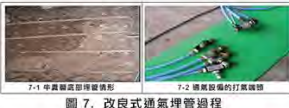


圖 7. 改良式通氣堆肥過程

(五) 實驗五：EM 菌微生物發酵法

蚯蚓養殖過程中，蚯蚓處理廢棄物，發酵階段是關鍵，如果廢棄物發酵不完全，易產生有臭氣體，可能使蚯蚓逃逸甚至死亡。牛糞養殖蚯蚓，有文獻記載可用新鮮牛糞，不用發酵直接分發，本團隊嘗試結果，初步認為蚯蚓可以分解新鮮牛糞，只是前期階段蚯蚓的密度與成長量，遲遲無法增加。因此本研究 添加不同微生物促進蚯蚓快速發酵。本研究實驗過程中，首先探討的為 EM 菌 (Effective Microorganisms)，這是農業與畜牧最常用到的菌種群，因用途廣泛，常被運用於土壤改良、增強牲畜抵抗力與減少植物病毒病的用途。

(1) EM 菌名稱由來
EM 菌並非單一菌種，Effective Microorganisms 的縮寫，可見其為效能型的微生物群。主要是將自然界中五大類益菌全部融合：分別為乳酸、光合、酵母、革蘭氏陽性放線、發酵酶的結核菌群。

(2) EM 菌培養與發酵方式
本研究按 500g EM 菌 1 : 蜜糖 1 : 水 25 (以牛糞溫度減水重量) 的比例混合拌勻，密封發酵 7-10 天後與蚯蚓同時放入飼養盆中，每日用水噴灑表面，水分掌握在 50-60% 之間，每週翻料 1 次，保持牛糞濕潤均勻。過程中本研究用玉米粉加 10% 果皮 (蘋果、香蕉、梨及鳳梨等) 進行發酵後飼養蚯蚓，可加快蚯蚓的成長速度。過程如下所示：



圖 8. EM 菌發酵流程



圖 9. EM 菌發酵過程照片

(六) 實驗六：枯草桿菌發酵法

枯草桿菌(Bacillus subtilis) 屬於芽孢桿菌(Bacillus)為革蘭氏陽性菌，通常在人體、土壤與植物表面皆有發現，可產生澱粉分解酵素、蛋白質分解酵素、脂肪分解酵素、纖維素分解酵素及其他種類的分解酵素，還能淨化水質。

(1) 枯草桿菌用途

本研究實驗枯草桿菌用途，凡食品(動物飼料)、發酵之酵素、醫學研究 皆能運用，若用於土壤傳播性病害，其本身多種抗生物質與酵素對炭疽菌、立枯絲核菌、鐮菌、菌核病、等菌都有拮抗能力。

(2) 枯草桿菌培養與發酵方式

本研究參考坊間培養方式，自行調配比例，以枯草桿菌 7.5mg、糖蜜 1.8kg、30-37°C 水 30 公升、新鮮米糠 10kg、麻油粕 6kg，混合成膏狀，常攪拌避免固、液分離，再準備消毒後的水桶，加半滿清水，添加總水量 5% 至 10% 的糖蜜，用力攪勻再加枯草桿菌(1/3000)及魚精(1/500)。

(七) 實驗七：蔡十八菌發酵法

蔡十八菌名稱由來與功能
蔡十八菌是由中興大學蔡東蒙提出(最早是由美國人發現)，又名谷特菌是一種放線菌(Actinobacteria)，屬革蘭氏菌種，是蔡教授研究絲蟲病害時，發現其有良好的抑制效果，且發現其產生有效殺菌素 17 種，可以提供植物養分，且對開根效果奇佳，能讓植物種好壯壯，猶如 18 歲青年般，因此取名為 蔡十八。

(2) 蔡十八菌培養與發酵方式

本研究參考說明書，自行依需求調配，配方式：谷特菌 150g、二級砂糖 60kg、黃豆粉 60kg、水 600 公升，混合發酵 10 天後，可分解出 17 種胺基酸和蛋白質分解酵素；施用時需同時稀釋 50-100 倍，再輔以「生物鈣」，同時以黑色塑膠膜覆蓋，一週後再放入蚯蚓飼養。



圖 12. 枯草桿菌種類與培養過程

(八) 實驗八：木黴菌發酵法

(1) 木黴菌屬性與用途
木黴菌 (Trichoderma) 普遍存在土壤、空氣、植物殘骸枯枝落葉及各種腐敗物上的原生性真菌，屬於絲狀真菌類，(Harman et al. 2004) 提出木黴菌 (Trichoderma) 可以用來抑制或防治作物病原菌，其用途大致可分成：抗生素(antibiosis) 的產生、營養競爭(competition)、超寄生 (hyperparasitism)、細胞壁分解酵素。

(2) 木黴菌培養與發酵方式

本研究調查結果發現木黴菌培養方式有四種，各自有不同的功能與成效，以下為本研究整理：

培養方式	配方內容
高氮系	豆粉 700g、米糠 700g、海鳥糞 700g、海草粉 300g、奶粉 300g、骨粉 700g、蛋殼 10 顆、黑糖 1.5kg。
高磷系	豆粉 1kg、米糠 1kg、海鳥糞 300g、海草粉 300g、蛋殼 10 顆、黑糖 1.5kg。
高鈣系	米糠 1kg、海鳥糞 1kg、海草粉 300g、奶粉 300g、蛋殼 10 顆、黑糖 1.5kg。
高鉀系	米糠 300g、海鳥糞 700g、海草粉 300g、r 奶粉 300g、骨粉 1.5kg、蛋殼 20 顆、黑糖 1.5kg。

資料來源：本研究實驗

本研究基於實驗考量，選擇氮、磷、鉀平衡配方，使用方式為先將新鮮牛糞曬成 5 成乾，再將木黴菌稀釋 100 倍均勻混合到牛糞堆中，同樣以黑色塑膠膜覆蓋，一週後檢視其發酵程度，到達所需腐熟度，再放入蚯蚓飼養。



圖 13. 木黴菌培養與發酵過程

(九) 實驗九：蚯蚓成長率實驗

本研究先採選卵菌，控制蚯蚓實驗蚯蚓孵化時間相近，以相同長 60cm、寬 50cm、高 20cm 的數個木箱，一組箱子用雲林縣當地盛產的農作物做實驗，另四組則放入不同微生物發酵的牛糞實驗組，在箱內分別飼養 50 隻蚯蚓，約 2 個月後，再每週從各箱內隨機挑 10 隻蚯蚓測量其重量；持續 1 個月，之後再過 2 個月，約蚯蚓出生後 5 個月，量測箱內的蚯蚓密度。

組別	2 個月	3 個月	5 個月
現地土壤 (對照組)			
EM 菌 (實驗組)			
枯草桿菌 (實驗組)			
蔡十八菌 (實驗組)			
木黴菌 (實驗組)			

圖 14. 蚯蚓成長率實驗過程

(十) 實驗十：農作物成長實驗

本研究應用雲林縣當地盛產的農作物做實驗，分別為小白菜(西螺鄉)、西瓜(二崙鄉)、番茄(口湖鄉)。對照組為雲林縣當地土壤與一般有機肥，實驗組則是在不同微生物(EM 菌、枯草桿菌、蔡十八菌與木黴菌)發酵後的肥料堆肥。由種子播種，並觀察紀錄其成長過程變化。

組別	小白菜(西螺鄉)	西瓜(二崙鄉)	番茄(口湖鄉)
現地土壤 (對照組)			
EM 菌 (實驗組)			
枯草桿菌 (實驗組)			
蔡十八菌 (實驗組)			
木黴菌 (實驗組)			

圖 15. 農作物成長實驗過程

(十一) 實驗十一：農作物甜度實驗

將實驗農作物西瓜、番茄成長後果實，各取 10 顆作甜度測試，對照組依舊是現地土壤與有機肥，實驗組則是不同微生物(EM 菌、枯草桿菌、蔡十八菌與木黴菌)發酵後的肥料堆肥，測試過程如下：

組別	西瓜	番茄
現地土壤 (對照組)		
EM 菌 (實驗組)		
枯草桿菌 (實驗組)		
蔡十八菌 (實驗組)		
木黴菌 (實驗組)		

圖 16. 農作物甜度實驗過程

(十二) 實驗十二：雞場除臭實驗

本研究以雲林縣古坑的雞場做實驗，選擇原因為雞舍種類小，研究範圍也較小，本研究以雞場養雞的場房，選擇五組直徑為 3 公尺的圓面積(一組對照組與四組實驗組)，各放入 100 隻雞。對照組依照雞場平日狀況，底部不鋪設任何物質；實驗組則各鋪上後 5 公分不同微生物發酵，由蚯蚓分解後剩餘殘料，每週固定時間，測一次空氣品質，連續觀察 1 個月。



圖 17. 雞場除臭實驗過程

