中華民國第 57 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高級中等學校組　環境學科

第三名

052606

「蚯」山之功，「蚓」以為榮

學校名稱：雲林縣私立揚子高級中學

作者：	指導老師：
高一 鄭浩祥 高一 廖繹翔 高一 丁聖哲	陳尚民 黃琪騰

關鍵詞：EM 菌(Effective Microerganisms)、木黴菌(Trichoderma)、工農業廢棄物

摘要

本研究以自行設計的蚯蚓飼養箱，配合箱養法與廢棄羊舍分層堆肥法，將雲林縣的工、農業廢棄物，包含紙污泥、牛糞、雞糞、蔗渣、稻梗與太空包，以微生物 EM 菌、木黴菌(Trichoderma)發酵，再加入安卓愛勝蚓（Eisenia andrei）、尤金真蚓（Eudrilus eugeniae）分解，之後以自行改良之滾筒式蚯蚓分離器，將蚓糞、蚯蚓與卵繭分離；蚓糞再處理成有機肥料，種植豆類與蔬菜，其結果顯示，廢棄物分解成蚓糞後，微生物與酵素量增加，對於農作物成長助益良多。

壹、研究動機

台灣的土地本被外國人稱作淨土，然而現在身在此地的我們卻不再去理會，任憑工廠、農場的廢棄物排放，造成了許多環保與工安事件，若我們不再去理會土地承受的傷害，遲早會受到土地的反撲，形成難以挽回的災害。我本身長大的環境就是農業之家，自幼耳濡目染了許多技術與知識，當然還有一些不知是否真實的傳言，所以我想去證實問題的真偽，蚯蚓孕育著土壤的靈魂，蚯蚓的功能性帶給土壤更多的活力，而蚯蚓聽說也能夠帶給遭受污染的土地獲得更多的力量重生，像是賦予人們不需要的廢料成為人人稱羨的肥料，或是讓受重金屬迫害的土地獲得更好的利用方式，不過沒做過沒有人會懂，我們想靠自己的雙手來明白這些事情的真偽，並達到更好的方式來處理土地的問題和廢料的轉化。

貳、研究目的

本研究針對蚯蚓實驗目的分為下列幾點：

一、選擇微生物與蚯蚓種類進行實驗

二、以微生物(EM菌、木黴菌)做前處理分解工、農業廢棄物

三、再利用蚯蚓處理工、農業廢棄物(例如:廢棄太空包、紙污泥、動物糞便、蔗渣)

四、分析經蚯蚓處理過的物質與處理前有何不同

五、實驗組經交叉配對之後找出最佳組合

參、研究設備及器材

表 1、研究設備及其用途

編號	物品	數量	用途
一	筆記本、筆	1 本 2 支	實驗日記，紀錄觀察結果
二	數位相機	2 台	拍攝實驗過程
三	筆記型電腦	1 部	撰寫與製作電子檔
四	電子顯微鏡	1 台	觀察微生物
五	超純水製造機	1 台	實驗用水
六	微量天平	1 台	測劑量
七	各式蚯蚓	5 公斤	實驗生物
八	木箱	5 個	蚯蚓養殖
九	EM 菌	2 公升	發酵分解用
十	木黴菌	5 公升	發酵分解用
十一	甘蔗渣	15 公斤	農業廢棄物
十二	雞糞	5 公斤	農業廢棄物
十三	牛糞	5 公斤	農業廢棄物
十四	紙污泥	15 公斤	造紙廢棄物
十五	廢棄太空包	200 袋	蚯蚓繁衍用
十六	米糠	10 公升	蚯蚓營養補充劑
十七	灑水器	2 瓶	水分補充
十八	鑷子	2 支	蚯蚓移動用
十九	手套	數只	實驗用
二十	白菜種子	5 包	發芽率實驗
二十一	PH 測量計	2 支	測酸鹼
二十二	解剖刀	1 支	蚯蚓解剖

肆、研究過程與方法

一、研究流程

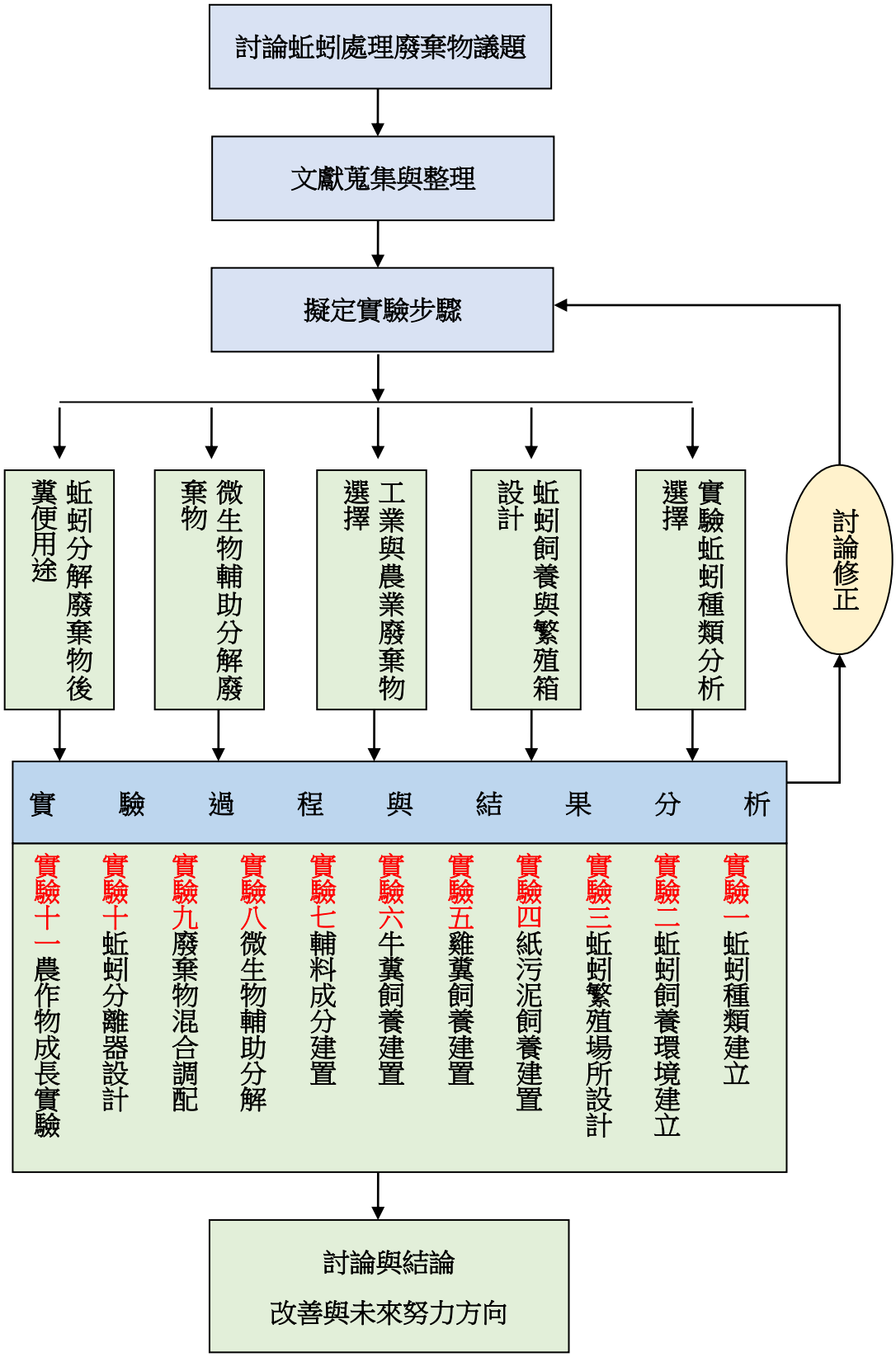


圖1 研究流程圖

二、文獻蒐集

本研究文獻蒐集繁多，整理出數篇與本實驗較相關的研究作探討，以下為本研究彙整後的文獻資料：

<u>農業新知與技術期刊(2015)</u>：在第 9 期「點糞成金~蚓糞堆肥應用」提及蚯蚓處理堆肥過程中，某些有害性物質也可以被微生物所分解，完熟後的堆肥為極佳的肥料及土壤改良劑。期刊使用的堆肥蚯蚓為紅蚯蚓 (Eisenia fetider) ，研究結果顯示蚓糞堆肥的重要功能，下表為該篇期刊蚓糞堆肥品質分析。

表 1 蚓糞堆肥品質分析。資料整理：農業技術期刊(黃瑞彰等，2003)

餵食材料	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(w/w1:1)	21.3b	15.4bc	100a
豬糞：菇包(w/w1:1)	12.6d	14.3d	96ab
食物污泥：菇包(w/w1:1)	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

<u>宜蘭高中石育瑋等，第 54 屆全國科展作品：</u>「蚓」藏潛機－以蚯蚓處理食品污泥的研究，分析食品污泥經蚯蚓處理過後，其所產生的蚓糞，再加上微生物的作用，能夠轉化廢棄污泥，增加其通氣及透水性，並促進碳、氮、磷等元素的循環，適合種植作物。同時白菜種子發芽率試驗，顯示處理過後污泥發芽率遠高於沒有處理過的污泥。

林凱隆(2012)：豬隻生長於飼料中添加過量的銅與鋅，造成中度到重度重金屬汙染的豬糞 (Li et al., 2009)。若用蚯蚓分解汙染的豬糞同時會改變其物理與化學特性 (顏偉益，2010;Li et al., 2009)，並能吸附並累積重金屬於組織內 (Li et al., 2010)，因此若要更進一步的利用蚓糞與蚯蚓，也須考量其中所含的重金屬含量是否超標，故本研究也同時測定蚯蚓與蚓糞中的重金屬含量，以評估兩者的使用安全性，以確保資源循環型農業的友善利用。蚯蚓能耐受許多重金屬 (Li et al., 2010),以及多種化學汙染物,並累積於組織內,且不會有影響 (Sheppard et al., 1997),且能累積特別高的 Zn 與 Cd,因此能使被汙染的土壤解毒 (Sinha et al., 2002)。

顏偉益(2010)：若妥善處理農業廢棄物則能轉化為農業生產系統中的所需的養分，氮、磷、鉀,與能量 (C) 之來源，蚯蚓堆肥是另一將有機廢棄物分解並轉化成安定的堆肥的非高溫處理的過程 (non-thermophilic)，因此可減少氮藉由氨的形式揮發 (Dominguez et al., 2000),而能產生比傳統堆肥更好的有機肥，也可處理多種有機廢棄物 (Garg et al., 2008)符合環保系統(ecologically sound system) 方式 (Atiyeh et al., 2000),在加拿大、美國、日本等國家被廣為使用 (Sinha et al., 2002;Ghosh, 2004;Mainoo,2007)。

表 2 蚯蚓處理廢棄物所加入蓬鬆材料彙整(本研究整理)

有機廢棄物種類	蓬鬆材種類	蚯蚓種類	參考文獻
造紙污泥	乳牛糞	E.anderei	Elvira.,et al(1996)
玉米殘渣	牛糞	E.fetida,P.excavatus	Bansal and Kapoor(2000)
家庭廢棄物	乳牛糞	P.excavatus,P.sansibaricus	Suthar and Singh(2007b)
樹枝	乳牛糞	E.fetida,P.excavatus,Dichogaster bolaui	Manna.,et al(2007b)
廚餘	剪草屑、碎紙屑、乳牛糞	Lumbricus rubellus,E.fetida,L.mauritii	Nair.,et al(2007b)
紡織污泥	豬糞	E.fetida	Garg and Kaushik(2005)
下水道污泥	乳牛糞、蔗渣	E.fetida	Suthar(2006)
蒸餾酒廠污泥	乳牛糞	E.fetida, P.excavatus	Suthar(2008c)

三、實驗過程

本研究經文獻蒐集討論後，決定以工業廢棄物造紙污泥、農業廢棄物雞糞、牛糞與糖廠生產廢棄物蔗渣做實驗題材，利用米糠、太空包當輔料，再將造紙污泥、雞糞、蔗渣(放入牛糞部分輔料為稻梗，只要將新鮮牛糞)加入 EM 菌、木黴菌發酵前處理，之後安卓愛勝蚓（Eisenia andrei）處理造紙污泥、雞糞、蔗渣；尤金真蚓（Eudrilus eugeniae）處理牛糞，最終使用本研究與蚯蚓養殖家長自行改良的蚯蚓分離器，將蚯蚓、卵繭與蚓糞分離。

本研究將後期分離出的蚯蚓糞便，變成有機肥，運用在農作物的發芽、成長階段，以實驗觀察其發芽率與成長過程，並探討蚯蚓糞便對土壤改良、農作物產量的直接影響程度。以下為本研究實驗步驟流程：

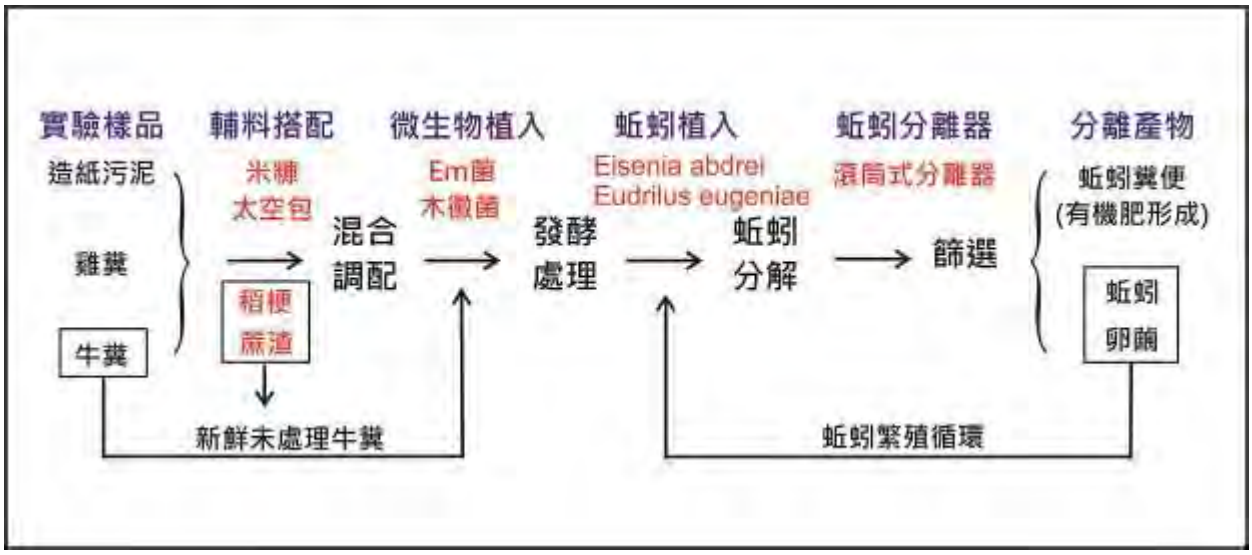


圖 2 本研究實驗步驟流程圖

(一)<u>實驗一：蚯蚓種類建立</u>

本研究本想用台灣野外採集蚯蚓做實驗品種，嘗試過後才知若要採集一定數量蚯蚓做實驗，將是非常困難的挑戰，且還須將不同種類蚯蚓分離，辨認蚯蚓種類；經本團隊與老師商量過後，決定向農委會與學校販賣蚯蚓的家長購買，經觀察與篩選結果，本研究初步選擇太平二號的三種蚯蚓做實驗物種依據，以下為三種蚯蚓的比較：

表 3 太平二號蚯蚓種類(資料來源：整理自博客新聞網)

中文名	安卓愛勝蚓	掘穴環爪蚓	尤金真蚓
俗名	歐洲紅蚯蚓	印度藍蚯蚓	非洲夜蚯蚓
學名	Eisenia abdrei	Perionyx excavatus	Eudrilus eugeniae
科名	Lumbriciade	Megascolecidae	Eudrilidae
體態	體長 5-10 公分，環帶寬 0.4-0.7 公分	體長 5-18 公分，環帶寬 0.2-0.5 公分	體長 25-40 公分，環帶寬 0.4-0.8 公分
體色	體色均勻呈現鮮紅或暗紅，尾部常為黃色	多呈現粉紅、深紅、紅紫或紫藍，體色會產生藍紫色反光	背面紅褐或藍紫色，尾部末端較淡，藍或綠色反光
血管	外觀見不到	可見，尾部更明顯	外觀見不到
環帶	馬鞍型始於 24-27 節，長 8 節	環型位於 13-17 節	環型且膨大始於 13-15 節，於 18 節終止
行動	緩慢	快速，夜間出土亂走	夜間出土亂走
養殖	最普遍，分布於各養殖場	為養殖場中混雜出現	近年引進混養
外來種	1980 年引進的外來種	台灣有可視為本土種	原產非洲

以下為本研究預選用之太平二號的三種蚯蚓比較圖，分別是安卓愛勝蚓（Eisenia andrei）、掘穴環爪蚓（Perionyx excavatus）、以及尤金真蚓（Eudrilus eugeniae），由外觀與體長有顯著的差異。由於實驗場址限制，本團隊揀選安卓愛勝蚓（Eisenia andrei）與尤金真蚓（Eudrilus eugeniae）作為實驗物種。

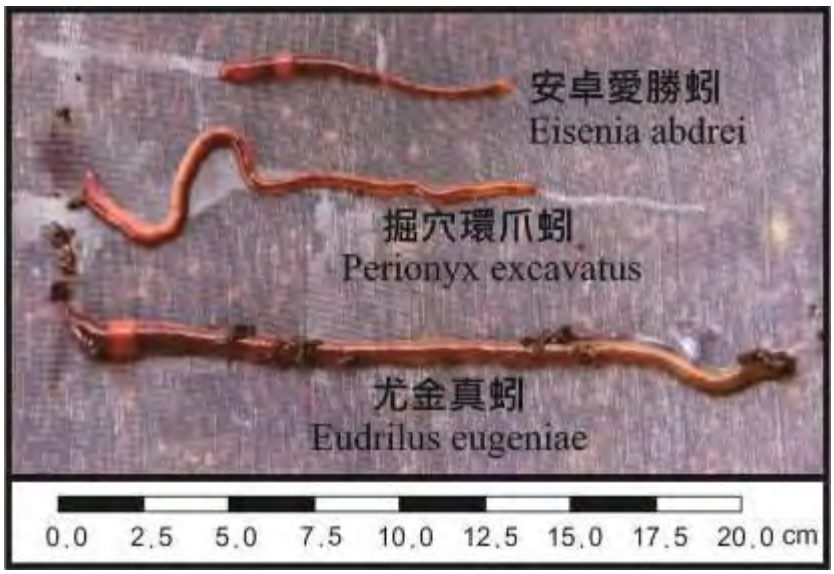


圖 3 太平二號蚯蚓比較圖

(二)實驗二：蚯蚓飼養環境建立

蚯蚓飼養的方式大致可以整理成以下四種方式：

表 3 蚯蚓養殖方式(資料來源：本研究整理)

養殖方式	內容
箱養法	可用箱、筐、盆、罐、桶等多種容器，在良好的養殖條件下，每年可增殖 200~500 倍
土坑、磚池露天培育法	可在樹蔭下選擇適當的地方挖坑、砌池，深度為 50~60 公分，先在坑底或池底加一層 10 公分厚的泥土
肥堆養殖法	溫度適宜的季節，可在寬 1~1.5 公尺、高 0.6 公尺、長 3~10 公尺經過發酵、腐熟的肥堆中，直接放入蚯蚓。
田間、果園養殖法	選擇地勢較平坦，能夠灌溉、排水的田與果園，挖掘寬 10 公分、深 20~25 公分的溝槽，再將腐熟的有機物放置其中，上面鋪蓋泥土 10~15 公分，既可放入蚯蚓進行培育。

本研究考量實驗需求，將場地區分成兩種。一為實驗室內飼養，採體型較小的安卓愛勝蚓（Eisenia andrei）為實驗生物，這種蚯蚓食性廣，繁殖率高，適應性強，生活週期短，在台灣野外無法適應高濕熱環境，因此非常適合室內研

究與飼養，不適合放養，因台灣野外無法生存，對本土種不具威脅性，只要體重 0.4 克即達到性成熟，可以全年產卵。成蚓體長 5-10 公分，喜棲息於腐殖豐富的土表層。

另一為利用荒廢的羊舍整理成實驗場地，選擇體型較大的尤金真蚓（Eudrilus eugeniae）為實驗生物，此種蚯蚓對有機物分解能力強，大量的牛糞需要大空間，亦不適合在研究室內，體型大食量亦大，分解的速度快，唯獨此種冬天活動力會減弱，需防風與低溫，此種蚯蚓野外適應力強，雖目前開放進口，難免會對本土種造成衝擊，本研究只限制此種蚯蚓於荒廢羊舍內，絕不會放養於野外。以下為本實驗選擇的實驗場地。

4-1 安卓愛勝蚓群聚情形

4-2 尤金真蚓餵食牛糞情形

圖 4 安卓愛勝蚓與尤金真蚓飼養過程

(三)<u>實驗三：蚯蚓繁殖場所設計</u>

本研究實驗室內採箱養法，以自製木箱鋪上不透水的透明塑膠層，加上用過的農業廢棄物太空包內材質(含玉米粉、木屑等)當居住介質飼養，剛開始摸索期，本研究以多孔型的黑色塑膠箱飼養，沒幾天後蚯蚓全數消失，在地上還能找到蚯蚓乾枯的屍體，所幸有飼養蚯蚓販賣的家長，提供本研究想法，才將飼養箱設計成淺木箱，上部邊緣有數公分遮板，防止蚯蚓爬出，以下為本實驗繁殖箱製作與改進過程：

(1) 多孔型塑膠繁殖箱

本研究當初設計理念認為蚯蚓處理有機廢棄物，需在通風且散熱良好的環境下進行，因此設計多孔型塑膠繁殖箱，由園藝店購買適合空隙之塑膠網，配合腳架卡榫，將繁殖箱進行組合和堆疊，且質輕攜帶方便， 看似非常實用。

無奈試養之後才發覺，孔隙多為致命的缺點，雖能通風，卻無法有效控制水分，導致蚯蚓居住介質太空包玉米粉木屑過乾，缺水而爬出箱外死亡。

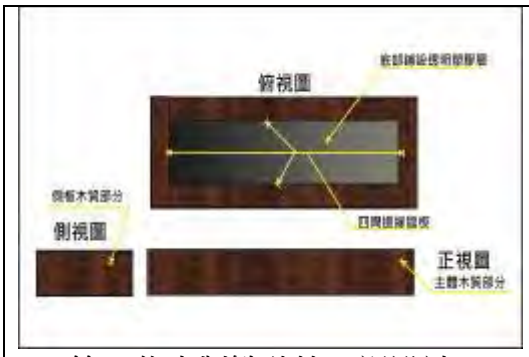
5-1 第一代多孔型塑膠繁殖箱

5-2 地板遍布蚯蚓乾枯的屍體

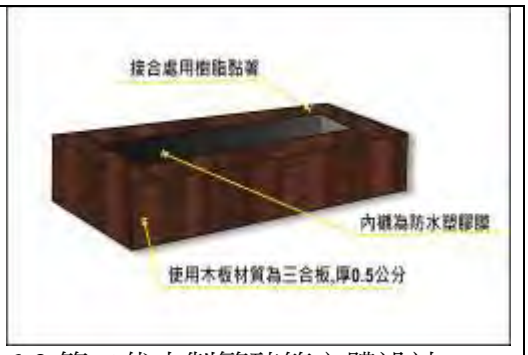
圖 5 多孔型塑膠繁殖箱飼養過程

(2) 自製蚯蚓繁殖箱

經過一次挫折後，本團隊請教販賣蚯蚓的家長，外加與老師商討對策後，決定改採自製方式，事先規劃出設計圖，試做後再嘗試讓蚯蚓居住，以下為本實驗初步設計與立體圖。



6-1 第二代木製繁殖箱三視設計



6-2 第二代木製繁殖箱立體設計

圖 6 蚯蚓繁殖箱製作設計

設計圖決定後，本研究到木材行與五金行籌備所須材料，並開始製作蚯蚓繁殖箱，製作過程經同學與老師幫忙，順利完成數箱，如下所示：

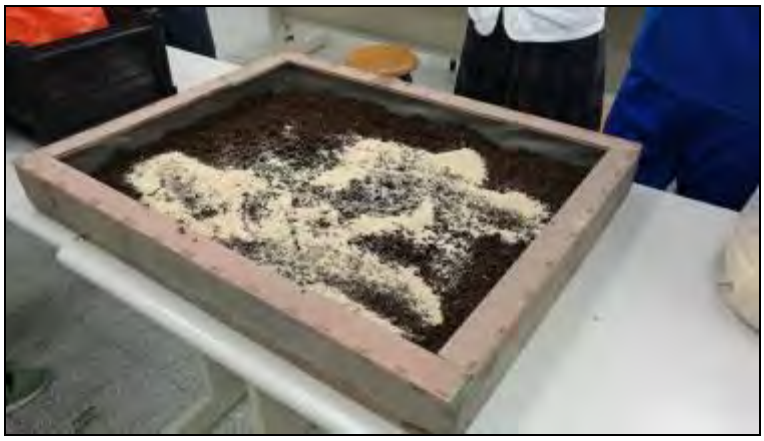


圖 7 蚯蚓繁殖箱製作實體完成圖

(3) 荒廢羊舍飼養法

本研究由家長提供學校附近的廢棄羊舍，非常適合堆肥法，羊舍佔地 821 坪約 2.8 分地，建築物約 500 坪，本研究透過崙背乳牛養殖戶幫助，將 1.5 噸重的牛糞，放置在寬 2 公尺、高 0.5 公尺、長 20 公尺的廠房內，經過微生物發酵、再將牛糞、乾稻草、蔗渣堆疊，交叉分層依序鋪上，這樣剩餘發酵物質，較不會產生燜熱而殺死蚯蚓，肥堆上再用乾稻草遮蓋，以防曝曬和水分散失過快，羊舍四周挖排水溝防止積水，在濕度、溫度適宜，養料充足的情況下，蚯蚓生長繁殖較佳。

8-1 廢棄的羊舍內部情況

8-2 牛糞、稻草、蔗渣鋪成長條

圖 8 荒廢羊舍飼養過程

(四) 實驗四：紙污泥飼養建置

本研究透過雲林縣斗六市工業區的凱員造紙廠有限公司，取得紙污泥 50 公斤，於實驗室中以箱養法，混合少量米糠與太空包當介質，開始實驗步驟，紙污泥含水量 60%，成分大致上為樹的纖維，凱員造紙廠是利用便當紙盒的邊料，去除表層的防水塑膠膜，重新融入紙漿中生產衛生紙，產生的紙污泥委託民間焚化廠，焚燒做火力發電能源，火力發電對空氣品質影響大，且燃燒產生的二氧化碳，會增強溫室效應導致全球暖化，廠長很大力支持本實驗，期待蚯蚓處理方式能運用在紙污泥。

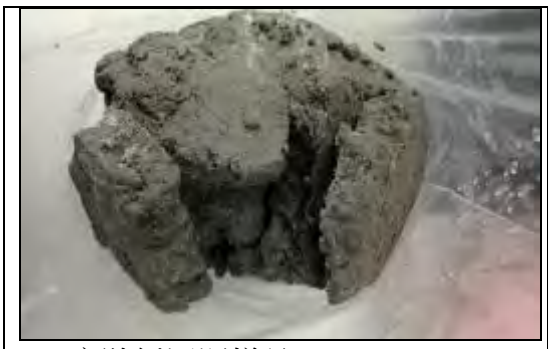
(五) 實驗五：雞糞飼養建置

本研究委託養雞的家長提供雞糞作實驗，礙於近年來禽流感盛行，實驗規模縮小以 5 公斤雞糞在實驗室中採箱養法進行。本實驗雞糞為發酵過後乾燥的實驗體，本研究請教家長，得知雞糞需添加發酵劑、主料和輔料充分混合發酵，共有三種方式：

表 4 雞糞為發酵方法

方法	內容
引導發酵法	可以先拿少部份物料與發酵劑混合均勻，然後再用這一部分物料與大量的物料混合。
活化添加法	使用前活化：將發酵劑、紅糖，水按照 1：1：20 的比例，活化 8 到 24 小時，之後可以加入適當的水與物料攪拌均勻。
精進法	活化添加法精進化，將活化液與玉米麵或麩皮等均勻混合，再與物料均勻混合。

本實驗以第一種方式，先將雞糞調配部分發酵劑，使其產生反應，之後再與大量的雞糞混合，等待發酵反映完成，再給予蚯蚓分解。



9-1 實驗紙污泥樣品

9-2 發酵過雞糞實驗樣本

圖 9 紙污泥與雞糞實驗樣品

(六) <u>實驗六：牛糞飼養建置</u>

本研究以崙背養牛戶提供的新鮮牛糞當實驗樣品，崙背本身有牛糞堆肥處理廠，屬傳統堆肥，其處理方式有五種：靜置堆肥舍式、送風堆肥舍式、箱型送風式，橫軸迴轉攪拌式，鋼板履帶攪拌式。傳統處理牛糞堆肥流程如下：

圖 10 傳統牛糞堆肥流程圖(本研究繪製)

本研究有賴於傳統牛糞堆肥處理時間冗長，因此本研究以牛糞添加稻梗、蔗渣，再利用蚯蚓處理，與傳統堆肥區比較其時間效率與處理過後肥力呈現。

11-1 新鮮牛糞外觀

11-2 廢棄羊舍牛糞堆肥

圖 11 本研究廢棄羊舍牛糞堆肥養蚯蚓情形

(七) 實驗七：輔料成分建置

本研究考量可讓蚯蚓營養平衡且又可以處理農業廢棄物原則，使用米糠與農業廢棄物太空包(當居住介質)、蔗渣、稻梗為輔料，搭配實驗樣本，再讓微生物分解，之後讓蚯蚓處理發酵產物。以下為輔料詳細說明：

(1) 米糠

米糠為稻穀脫殼後，研磨稻米的產物，主要由稻米外果皮、中果皮、交聯層、種皮及糊粉層組成，亦是碾米過程中被刨去卻是最重要的營養成分，米糠成分中油脂的含量（W）為 14%～24%；蛋白質為 12%～18%；植酸鹽為 7-11%；無氮浸出物為 28%～43%；水分為 7%～14%；灰分為 8%～12%，米糠中還富含礦物質營養素、B 族維生素和維生素 E、膳食纖維、蛋白質、氨基酸等多種營養成分，在營養學上是十分優良的原料，本實驗用途為補充蚯蚓所需養分，讓蚯蚓更健康，這樣處理廢棄物的工作會更高。。

12-1 稻穀脫殼後的粗糠

12-2 粗糠研磨後形成米糠

圖 12 本研究輔料米糠製作

(2) 太空包

本研究使用的太空包，為菇場長菇後菌絲與養分用盡之廢棄，主要用途為提供蚯蚓居住、躲藏空間，加上蚯蚓也會攝取太空包的成分，補充養分，且太空包的介質，保水度高，孔隙佳，通風良好。太空包其主要成份包含米糠、粉頭或、米粉、碳酸鈣及木屑等，外部利用聚丙烯(polypropylene)所製成耐高溫處理塑膠袋包裝，如下圖所示：

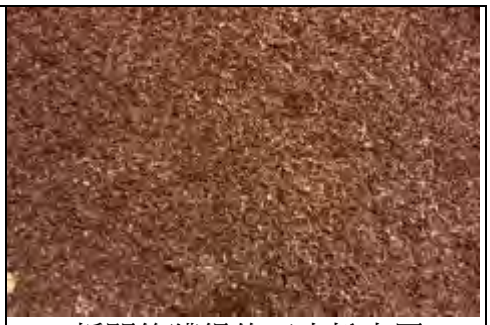
	
13-1 長菇後廢棄的太空包	13-2 拆開後獲得的玉米粉木屑

圖 13 廢棄太空包與內部材質

(3) 蔗渣

本校靠近虎尾糖廠，每當糖廠製糖過後的甘蔗渣，總是堆積如山，一部分提供所需農民免費取用，剩餘的部分則給火力發電廠成為燃燒後的能源，本研究亦基於環保觀念，索取蔗渣加入蚯蚓當輔料，本研究將蔗渣加入 EM 菌、木黴菌，前處理發酵過後，再與稻梗混合加入牛糞中，放入蚯蚓分解。

14-1 虎尾糖廠的甘蔗集中場	14-2 甘蔗壓榨後剩下的蔗渣

圖 14 本研究樣品糖廠廢棄物蔗渣產生過程

(4) 稻梗

本研究經附近農田農民同意，收集田間做為堆肥的稻梗，將其當成輔料與牛糞混合，其實稻梗製成堆肥方式有三種，包括簡易堆肥箱、簡易通風堆肥舍及自動化堆肥製造設施等。稻梗堆肥過程中，須經堆積腐熟，這樣可以避免氮素損失：堆肥材料碳氮比大時，直接施用於土壤中，在初期會造成土壤可供作物吸收及利用之有效性氮素、磷素、鉀素減少，對作物生長有礙，故需要堆積腐熟。堆肥材料碳氮比值在 30~40 之間最有利於堆肥之醱酵腐熟。

15-1 剛收割後的稻梗	15-2 處理後形成推肥的稻梗

圖 15 本研究樣品農田堆肥稻梗

(八) 實驗八：微生物輔助分解

本研究使用的微生物分解方式有兩種，分別為 EM 菌和木黴菌，以下為這兩種菌的說明：

(1) EM 菌

全文為 Effective Microerganisms 是「效能微生物群」的英文縮寫。要是將自然界中五大類益菌（包括光合菌群、乳酸菌群、酵母菌群、革蘭氏陽性放線菌群及發酵系的絲狀菌群），集合在一起，使其共生共存，形成一個強大的功能群體，生成多種抗氧化物質，提高物體的生理活動性機能，對整個地球生態發揮多種良性作用。

本研究針的 EM 菌種，買自有機農大地滿點 18 的 EM 菌種，因菌種價格不斐，本研究針對 EM 菌做繁殖，總共可以分成下列三個繁殖步驟：

1. 菌種蒐集

本研究直接使用機農大地滿點 18 的 EM 菌種，因此省去蒐集的步驟，若一般自行蒐集可採集表土，其中所含的微生物數量最多，許多倒木落葉上會有真菌生長的白色菌絲，可蒐集下方的表土。

2. 培養 EM 菌

菌與微生物普遍可以分解糖作為養分來源、發酵作用需要水分及部分維生素以利生長，因此利用便宜的糖蜜、米糠、水來培養，使 EM 菌繁殖至一定數量，培養方法：水 20 公升、 糖蜜 1 公升、米糠 100 公克、EM 菌 0.1 公升，大約一星期可以養成，若繁殖成功，EM 菌微生物會起泡泡呈現乳白色厚的菌絲。

3. 分解有機物

EM 菌可以分解各種有機物作為植物的養分來源， 也就是所謂有機肥。在稻田中可用稻梗或菜園割下的雜草，也可利用 EM 菌種另外製作不同成分的肥料。

16-1 本研究使用的 EM 菌種

16-2 自行繁殖 EM 菌情形

圖 16 EM 菌種類與種繁殖過程

(2) 木黴菌

木黴菌 (Trichoderma) 是在環境中常見的群生黴菌，在土壤、空氣與植物的各部份甚至是真菌子實體上都可發現它們的存在蹤跡。由於它生長迅速，分泌多種酵素分解纖維素、木質素等，用途很廣，用來製作堆肥，可以快速分解物質，加速堆肥的腐熟過程，並減少異味發生。

本研究使用的木黴菌為 TCT301 廚餘專用菌種，一樣使用糖蜜、米糠與水來培養，培養方法：水 20 公升、 糖蜜 1 公升、米糠 100 公克、木黴菌 200 克，大約 5-8 天可養成。

17-1 木黴菌種類

17-2 木黴菌培養過程

圖 17 本研究使用的菌種與培養情形

(九) <u>實驗九：廢棄物混合調配</u>

本研究探討蚯蚓為雜食性，主要攝取土壤中菌類、微生物、昆蟲屍體以及腐爛的植物碎片等。因此本研究嘗試將有機牛糞與紙污泥依糞料占 70%，紙污泥 30%混搭，加上輔料稻梗與蔗渣，添加 EM 菌與木黴菌(Trichoderma)，等待發酵時間一個禮拜，再讓蚯蚓分解。

圖 18 牛糞混合紙污泥實驗

(十) 實驗十：蚯蚓分離器設計

本研究之工、農業廢棄物以蚯蚓分解後，須將蚯蚓、卵繭與蚓糞分離出來，與飼養蚯蚓的家長研究結果，配合指導老師共同設計並製作蚯蚓分離器，本團隊以滾筒產生離心力方式，將荷重與粒徑不同的蚓糞、蚯蚓與卵繭分離，調整滾筒到適當轉速，可將蚯蚓與卵繭分出掉落到底板層回收，蚓糞則大部分留在滾筒內。以下為本研究設計圖與製作成品：

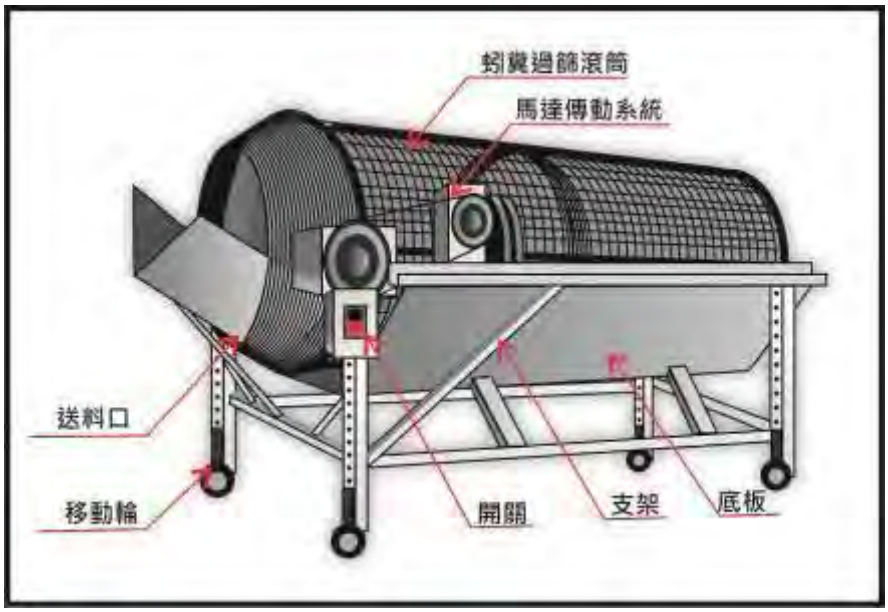


圖 19 蚯蚓分離器設計初稿

圖 20 蚯蚓分離器第一代製作完成

本研究嘗試自行設計完成之蚯蚓分離器，運作後確實能將蚓糞分離，唯獨蚯蚓在滾筒內旋轉，部分蚯蚓黏膜受損產生一定比例的死亡率，本團隊討論過後，決定在蚓糞分離前多一道手續，藉此修正降低蚯蚓傷亡數。

本研究方式為食物誘導法，當廢棄物分解完畢，食物銳減，此時蚯蚓勢必找尋新的食物區，因此只要再將處理分解後的廢棄物旁，放置未處理的廢棄物食材，靜靜等候 3 天，絕大多數蚯蚓會受到食物誘惑，而紛紛離開無食物的分解廢棄物，投向新食物來源，本方法測試過後效果極佳。

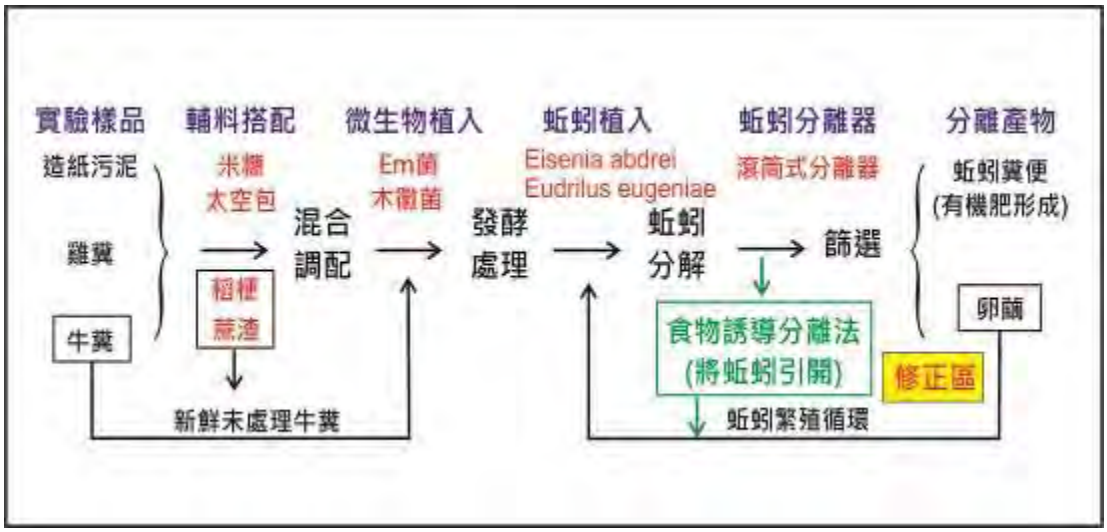


圖 21 本研究修正後的實驗流程

22-1 蚓糞分離後收集成盒

22-2 蚯蚓紛紛移動到食物區過程

圖 22 蚓糞分離過程與食物誘導法

(十一) 實驗十一：農作物成長

本研究的利用蚯蚓分解後的蚓糞，種植小白菜觀察其發芽與成長情形，本研究將可能影響到白菜成長的因子作分析，包含蚯蚓生長線與蚓糞的含水率、總氮、總磷、pH 值、電導度、吸水能力、發芽率，做全面分析。

23-1 本研究用的白菜種子	23-2 蚓糞試種小白菜過程

圖 23 農作物成長實驗

伍、研究結果

本團隊與指導老師商討過後，決定以安卓愛勝蚓（Eisenia andrei）當對照組 (以雲林縣的農田土壤為基底，模擬自然環境)，以安卓愛勝蚓（Eisenia andrei）的紙污泥(工業廢棄物)、雞糞和尤金真蚓（Eudrilus eugeniae）的牛糞、牛糞+紙污泥(混合調配)為實驗組做分析。紙污泥、雞糞的輔料為米糠、太空包；牛糞、(牛糞+紙污泥)的輔料為稻梗、蔗渣。以下為本實驗分析項目的結果：

一、含水率(moistures)

堆肥製程之混合物含水率最好保持在 50~60% 之間，含水率若少於 45~50%會抑制生化反應速率，若低於 10~15%時微生物代謝將停止。相對地，含水率過高時，會導致堆肥環境氧氣供應量不足的現象，直接影響好氧細菌、真菌及放射菌等堆肥優勢菌種之生長，使嫌氣菌生長繁殖，嚴重時產生厭氣醱酵，產生有害物質及氣體，使有機物分解停頓。以下為本研究實驗樣本在不加水狀態下至於研究室內，放四個星期的含水率，本研究含水率檢定方式：

取乾淨稱量瓶及瓶蓋置於烘箱內，以 105 ± 5℃ 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。

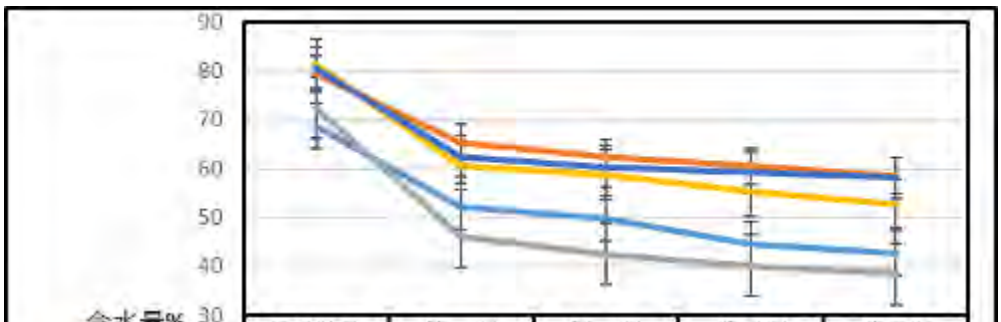
$$\text{水分含量 } w_{H_2O}(\%(m/m)) = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_0} \times 100$$

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 5　實驗樣品含水率分析



	起始狀態	第一週	第二週	第三週	第四週
對照組	68.7	52.3	49.8	44.5	42.7
紙污泥	79.4	65.4	62.3	60.5	58.6
雞糞	72.5	46.1	42.5	40.2	38.4
牛糞	81.3	60.7	58.7	55.4	52.8
牛糞+紙污泥	80.6	62.5	60.4	59.2	58.1

二、總凱氏氮(Total Kjeldahl method)

本研究以總凱氏氮量測量樣品含氮量，礙於儀器與設備，本團隊將樣品每次檢驗取 100mg 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：

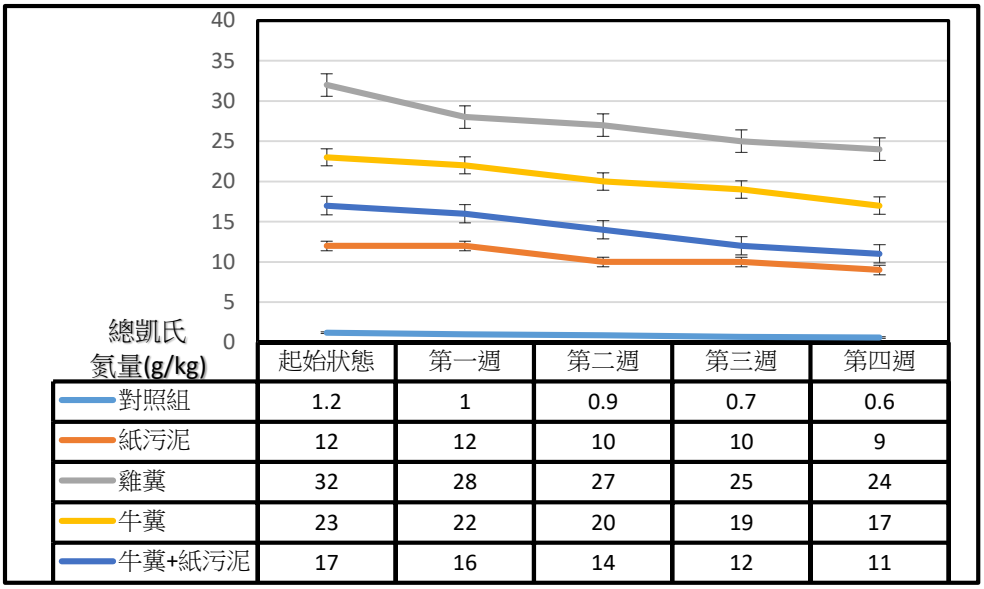
(一)樣本的分解：含氮物質 $+ H_2SO_4 = (NH_4+)_2\ SO_4^{2-} + n\ CO_2$

(二)銨鹽的分解：銨鹽$((NH_4+)2\ SO_4^{2-}) + 2NaOH = 2NH_3 + 2H_2O + 2Na+ + SO_4^{2-}$

(三)氨的固定：$NH_3 + H_2BO_3 = NH_4BO_2 + H_2O$

(四)反滴定 $B(OH)_3 + H_2O + Na_2CO_3 \rightarrow NaHCO_3(aq) + NaB(OH)_4(aq) + CO_2(g) + H_2O$

表 6　實驗樣品總凱氏氮分析



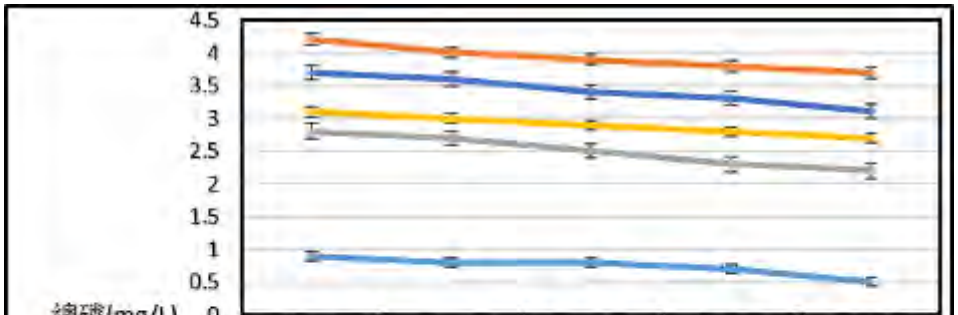
	起始狀態	第一週	第二週	第三週	第四週
對照組	1.2	1	0.9	0.7	0.6
紙污泥	12	12	10	10	9
雞糞	32	28	27	25	24
牛糞	23	22	20	19	17
牛糞+紙污泥	17	16	14	12	11

三、總磷量(Total Phosphorus)

本研究總磷量(Total Phosphorus)，亦委託嘉南藥理科技大學-環境工程與科學系檢定，總磷量以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：　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 7　實驗樣品總磷量分析

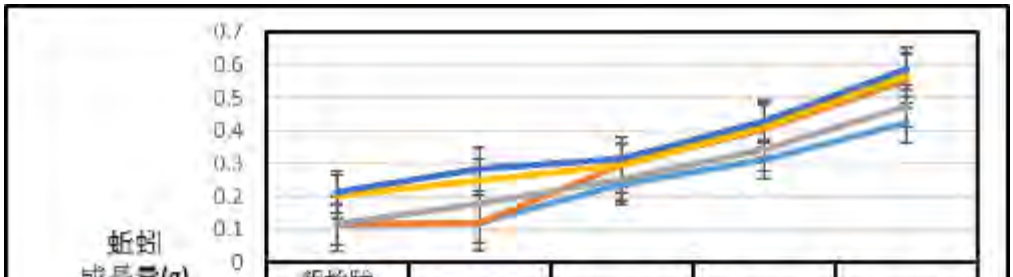


	起始狀態	第一週	第二週	第三週	第四週
對照組	0.9	0.8	0.8	0.7	0.5
紙污泥	4.2	4	3.9	3.8	3.7
雞糞	2.8	2.7	2.5	2.3	2.2
牛糞	3.1	3	2.9	2.8	2.7
牛糞+紙污泥	3.7	3.6	3.4	3.3	3.1

四、蚯蚓生長量(earthworm Volume growth)

本研究測量蚯蚓方式先用去離子水清洗蚯蚓表面至乾淨，再放入沾有水的衛生紙培養皿，保持其濕潤，再用鋁箔紙戳洞包覆住，隔天待蚯蚓把體內排泄物清除，則可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 8　實驗蚯蚓成長量分析

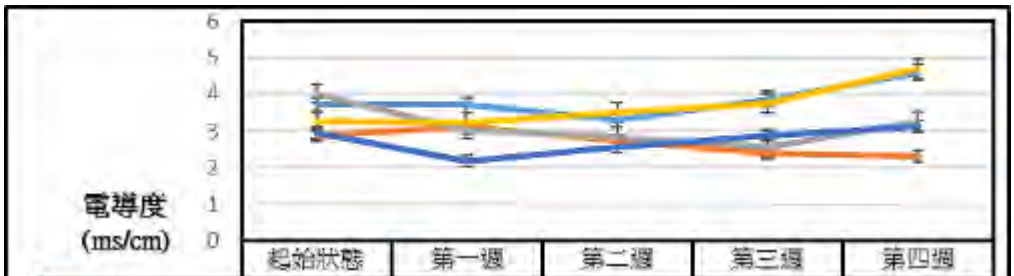


	起始狀態	第一週	第二週	第三週	第四週
對照組	0.112	0.119	0.237	0.313	0.424
紙污泥	0.118	0.121	0.294	0.406	0.551
雞糞	0.115	0.179	0.251	0.342	0.475
牛糞	0.201	0.247	0.295	0.413	0.569

五、電導度(Conductivity)

電導度代表樣品中水溶性鹽類的濃度。電導度過高，易造成「鹽害」，對蚯蚓與農作物的生長皆不利。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。

表 9　實驗樣品電導度分析

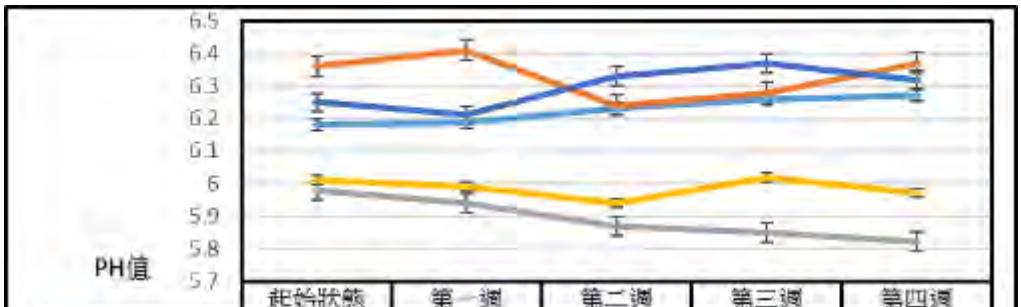


	起始狀態	第一週	第二週	第三週	第四週
對照組	3.71	3.71	3.3	3.86	4.6
紙污泥	2.88	3.12	2.74	2.37	2.32
雞糞	4.01	3.02	2.84	2.55	3.26
牛糞	3.26	3.21	3.51	3.75	4.7
牛糞+紙污泥	2.94	2.18	2.56	2.87	3.12

六、pH 值(ph value)

pH 值攸關養分在樣本中的有效性、作物的適宜性與微生物的活性，一般農作物 PH 值只能維持在 5.0-7.0 之間，太酸或太鹼皆對作物與生物有極大傷害，為樣本測試化學性質中重要的檢測項目。本研究測定 pH 值方式為，先將樣品風乾過篩處理後，秤取 20 g 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。依樣本性質可額外加入更多試劑水，並記錄加入之水量。靜置懸浮液約 1 小時，使懸浮液的大部分固體沉澱，必要時利用過濾或離心取得水相層，用 pH 測定儀測定其 pH 值。

表 10　實驗樣品 PH 值分析



	起始狀態	第一週	第二週	第三週	第四週
對照組	6.18	6.19	6.23	6.26	6.27
紙污泥	6.36	6.41	6.24	6.28	6.37
雞糞	5.98	5.94	5.87	5.85	5.82
牛糞	6.01	5.99	5.94	6.02	5.97
牛糞+紙污泥	6.25	6.21	6.33	6.37	6.32

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

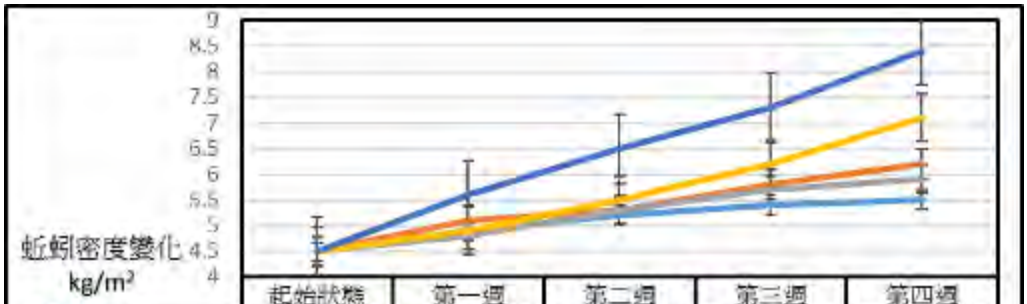
本實驗蚯蚓密度變化的操作因子，針對初始蚯蚓植入密度及蚯蚓餵食負荷進行測試，其方法如下：

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

$$\text{蚯蚓餵食負荷(單位)} = \frac{\text{初始投入堆肥材料重量(溼重)}}{\text{初始投入蚯蚓重量}x\text{飼養天數}} \ (\text{kg-feed/kg-worm/day})$$

本研究設定條件，初始蚯蚓植入密度為 4.5（kg/m^2)在表面積 0.16m^2 及材料重量 10 公斤（濕重）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，探討蚯蚓對堆肥材料的影響。

表 11 實驗蚯蚓密度變化分析

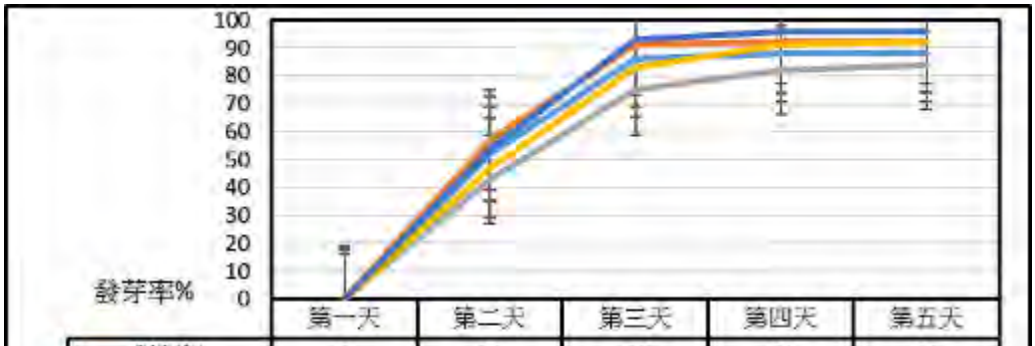


	起始狀態	第一週	第二週	第三週	第四週
對照組	4.5	4.9	5.2	5.4	5.5
紙污泥	4.5	5.1	5.3	5.8	6.2
雞糞	4.5	4.8	5.3	5.7	5.9
牛糞	4.5	4.9	5.5	6.2	7.1
牛糞+紙污泥	4.5	5.6	6.5	7.3	8.4

八、發芽率(germination rate)

本研究將實驗樣品，分裝在 100 格的塑膠植苗盆內，各植入 100 顆小白菜種子，放入植物生長箱內觀察五天，監測其發芽率與速度。

表 12 小白菜發芽率分析



	第一天	第二天	第三天	第四天	第五天
對照組	0	52	86	88	88
紙污泥	0	57	91	92	92
雞糞	0	43	75	82	84
牛糞	0	47	83	91	92
牛糞+紙污泥	0	54	93	96	96

陸、討論

本研究分成下列幾個部分討論：

一、 實驗樣品(工、農業廢棄物)部分：

本研究將雲林縣工、農業廢棄物，重新運用微生物發酵與蚯蚓分解方式，形成蚓糞的有機肥料，以下為各樣品分析：

(一) 造紙污泥

含水率高對種子發芽有助益，含磷量高可能為製紙時的添加物所致，含氮量偏低，對植物成長所需的養分不足，紙污泥的纖維素多適合微生物木黴菌與蚯蚓分解，蚯蚓成長量良好，PH 值介於 6.24-6.41 間適合水稻、蔬果等種植，因營養分不足，導致蚯蚓繁殖密度偏低。

(二) 雞糞

本研究最初使用新鮮雞糞，混合 EM 菌、木黴菌發酵，供給蚯蚓分解，卻出現一定比例的死亡率，討論結果認定雞為雜食性，糞便中有不少的害菌，抑制 EM 菌、木黴菌發酵，益菌無法順利孳生，因此本研究改採脫水曬乾後的雞糞，蚯蚓分解效果明顯增加，雞糞的 PH 值 5.85-5.98 適合梅、薑、蒜類與水果種植。

(三) 牛糞

本研究牛糞是採廢棄羊舍堆肥法分解，樣品用新鮮溼牛糞，混合 EM 菌、木黴菌發酵，PH 值介於 5.94-6.02 間，適合的農作物較多，豆類、水果、桃、薑皆能種植；實驗過程發現新鮮牛糞會長菇，經比對為「卵孢原球蓋菇」（Protostropharia ovalispora），可製成迷幻藥，同時本團隊亦發現，若是用堆肥法飼養蚯蚓，不需經過發酵蚯蚓竟然也能存活分解牛糞，當然發酵過後蚯蚓成長較佳，下次科展將深入研究牛糞。

(四) 牛糞+紙污泥

考量牛糞含氮與養分較高(動物性)，將其與紙污泥纖維素高(植物性)結合，參考農試所的研究，以 70%牛糞+30%紙污泥，混合做實驗，其各項結果皆優良，尤其是在蚯蚓密度變化方面，結果顯著超過其他組別，蚯蚓繁殖與增加的速度暴增，小白菜發芽率亦最高。

二、 輔料部分：

本研究以米糠、太空包、蔗渣與稻梗當實驗輔料，所有材料皆為農業廢棄物，卻能發揮極大效果，以下為各輔料討論：

(一) 米糠

營養成分極高，本研究將安卓愛勝蚓（Eisenia andrei）分解紙污泥、雞糞時，補充實驗樣品營養不足的區塊，安卓愛勝蚓（Eisenia andrei）個體小，野外適應力極低，較適合實驗室眷養，在實驗室內配合米糠補充，其存活與繁殖力皆不錯。

(二) 太空包

蚯蚓分解時最需要注意樣品的通氣量，太空包的木屑粗，能有產生良好的通氣，適合蚯蚓居住與隱藏，本研究實驗中發現，廢棄的太空包潛藏許多生機，常常出現獨角仙與鍬形蟲幼蟲(俗稱雞母蟲)，在細微觀察亦發現紅色與白色蠕蟲，對蚯蚓分解並沒有直接影響。

(三) 蔗渣

本實驗原將蔗渣設置為主要實驗樣品，經測試後發現若單獨使用大量蔗渣讓蚯蚓分解，其效率不佳且有一定比例的死亡率，混合在牛糞中當輔料的觀察結果，蚯蚓能接受混合後的蔗渣，因此才將其定義成輔料。

(四) 稻梗

稻梗的用途為增加牛糞堆肥的通氣量，不至於讓堆肥產生發酵高熱而悶死蚯蚓，同時也可以增加牛糞的堆積厚度，在混合情形下蚯蚓亦能分解稻梗。

三、微生物部分

本研究使用 EM 菌和木黴菌當發酵處理的微生物，EM 菌屬綜合型菌種，集合數十種益菌共生之下分解樣本，而木黴菌則是專門分解纖維部分，且降低發酵時的臭味。

比對傳統堆肥法，往往發酵時間皆超過 3 個月，且易發生惡臭，時間長會產生大量 N_2O，若在厭氧下更會產生 CH_4，會加劇全球暖化，且腐熟後還要高溫殺菌，既浪費時間又消耗成本，更加不環保。本實驗發酵時間只需 1 星期，過程中監測空氣品質並無大量 N_2O 逸出，且通氣量良好無 CH_4 產生，時間短、效果佳又環保。

四、蚯蚓分離器

本研究參考外國的蚯蚓分離技術，設計第一代自製型蚯蚓分離器，幸虧指導老師具有機械技術與飼養蚯蚓的父親共同合作下，只用二手零件拼裝與焊接出成品，在本研究反覆操作之下，得出較適合的分離轉速，唯獨機器是第一代，蚓糞輸送方面須靠人力，分離後也必須用人力裝填到塑膠盆內。

五、食物誘導法

此法為本研究自行發現，當食物誘導法可行時，心想這樣可以省去蚯蚓分離器部份，之後仔細考量此法，雖然可以減少蚯蚓損傷，卻需花上 2~3 天，大量生產時會增加成本，但若將蚯蚓損傷成本考量進去，似乎還是有助於經濟效益，唯獨蚯蚓的卵繭無法用此法，因此還是需要蚯蚓分離器取出卵繭。本研究下一步將針對蚯蚓產卵的性質做研究，嘗試固定蚯蚓產卵範圍，若可行則真的可以排除蚯蚓分離器。

六、發芽率

蚓糞為天然有機肥料中，公認最有潛力的產物，本實驗亦發現蚓糞對農作物發芽率有助益。目前蚓糞有機肥料價格居高，一般農夫不會多付成本購買，如何價低蚓糞的成本推廣給農夫是需要克服的議題。

柒、結論

身為農業大縣的雲林人，如何讓家鄉永續經營是本團隊努力之目標，本研究致力於解決雲林工、農業廢棄物，化作能造福土地的天然有機肥料，目前已有些許成果，運用本團隊的蚯蚓分解程序與生態系統彼此制衡方式，外加一點機械常識與勇於挑戰的三位年輕學子的心，成功解決傳統堆肥造成的空氣污染與全球暖化。

今後本團隊下次主題，將朝向如何將雲林縣沿海地帶的鹽鹼土，化作良田美景，有效增加蚓糞的產量，降低成本讓人人都買得起這麼好的天然有機肥料，甚至將蚯蚓推廣到生物科技領域，跨足醫療與美容事業，讓雲林縣在世界的舞台發光發熱。

捌、參考資料及其他

1. 顏偉益(2010)。**評估有機廢棄物的特性對蚯蚓生長生殖及蚯蚓糞肥的影響**，中興大學土壤環境科學系碩士論文。
2. 林凱隆(2012)。**畜產廢棄物堆肥處理**，國立宜蘭大學環境工程系碩士論文。
3. 林叡呈(2012)。**蚓糞堆肥與禽畜糞堆肥之單獨或混合施用對甘藍生育及土壤肥力之影響**，國立中興大學土壤環境科學系碩士論文。
4. 石育瑋等(2014) 。**「蚓」藏潛機－以蚯蚓處理食品污泥的研究**，國立宜蘭高中第54屆全國科展作品。
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】052606

1. 本研究以自行設計的蚯蚓飼養箱，配合室內箱養法與在廢棄羊舍大規模分層堆肥法，將工、農業廢棄物以微生物發酵，以自行改良之滾筒式蚯蚓分離器,將蚓糞、蚯蚓與卵繭分離；蚓糞再處理成有機肥料，種植豆類與蔬菜，其結果顯示，廢棄物分解成蚓糞後，微生物與酵素量增加，具有資源循環與環境保護的優點，且對農作物成長助益良多。

2. 本作品優點為實驗器材大多自己設計，具有創意性，研究動機與目的明確，研究設計具體，可行性與應用性佳。而探討分離出的蚯蚓糞便，變成有機肥，再運用在農作物的發芽、成長階段，觀察其發芽率與成長過程，及蚯蚓糞便對土壤改良、農作物產量的直接影響程度。實驗變因包括汙泥與農業廢棄物種類、蚯蚓成長量、蚯蚓密度變化等，並量測含水率、總凱氏氮、總磷量、電導度、pH 值。

3. 後續建議結果討論宜針對實驗變因深入探討，加強與類似參考文獻的比較，以實驗過程紀錄的環境物理條件如氣溫、濕度、其他翻堆頻率，可以提供控制操作條件，而化學分析的數據可作為實驗成果以佐證其論點，尋求各種適宜配方提供不同農作物生長需求，將操作經驗加上科學研究證明為具有環保的應用技術。

作品海報

蚯蚓處理紙污泥、工農業廢棄物與蚯蚓糞便運用

摘 要

本研究以自行設計的蚯蚓飼養箱，配合箱養法與廢棄半舍分層堆肥法，將農林縣的工、農業廢棄物，包含紙污泥、牛糞、雞糞、蔗渣、稻穗與大空包，以微生物EM菌、木黴菌(Trichoderma)發酵，再加入安卓愛勝蚓(Eisenia andrei)、尤金真蚓(Eudrilus eugeniae)分解，之後以自行改良之混菌式蚯蚓分離器，將蚓糞、蚯蚓與卵餅分離；蚓糞再處理成有機肥料，種植豆類與蔬菜，其結果顯示，廢棄物分解成蚓糞後，微生物與酵素量增加，對於農作物成長助益良多。

壹、研究動機

台灣的土地本被外國人稱作淨土。然而現在身在此地的我們卻不再去理會，任憑工廠、農場的廢棄物排放，造成了許多環保與工安事件。若我們不再去理會土地承受的傷害，還早會受到土地的反撲，形成難以挽回的災害。我本身長大的環境就是農業之家，自幼耳濡目染了許多技術與知識，當然還有一些不知是否真實的傳言。所以我想去證實問題的真偽。蚯蚓孕育著土壤的靈魂，蚯蚓的功能性帶給土壤更多的活力，而蚯蚓糞比能夠帶給遭受污染的土地獲得更多的力量重生，像是眾手人們不需要的廢料成為人人稱羨的肥料。或是讓受重金屬迫害的土地獲得更好的利用方式，不過沒做過沒有人會懂。我們想教自己的雙手來明白這些事情的真偽，並讓到更好的方式來處理土地的問題和廢料的轉化。

貳、研究目的

本研究針對蚯蚓實驗目的分為下列幾點：

一、選擇微生物與蚯蚓種類進行實驗。

二、以微生物(EM菌、木黴菌)做前處理分解工、農業廢棄物。

三、再利用蚯蚓處理工、農業廢棄物(例如:廢棄太空包、紙污泥、動物糞便、蔗渣)。

四、分析經蚯蚓處理過的物質與處理前有何不同。

五、實驗組經交叉配對之後找出最佳組合。

參、研究設備及器材

表1、研究設備及其用途

編號	物品	數量	用途
一	筆記本、筆	1 本 2 支	實驗日記，記錄觀察結果
二	數位相機	2 台	拍攝實驗過程
三	筆記型電腦	1 部	撰寫與製作電子檔
四	電子顯微鏡	1 台	觀察微生物
五	超純水製造機	1 台	實驗用水
六	微量天平	1 台	秤側量
七	各式酒精	5 公斤	殺菌生物
八	木箱	5 個	蚯蚓實驗
九	EM 菌	2 公升	發酵分解用
十	木黴菌	5 公升	發酵分解用
十一	甘蔗渣	15 公斤	農業廢棄物
十二	雞糞	5 公斤	農業廢棄物
十三	牛糞	5 公斤	農業廢棄物
十四	紙污泥	15 公斤	造紙廢棄物
十五	廢棄太空包	200 袋	蚯蚓繁衍用
十六	米糠	10 公升	蚯蚓營養補充劑
十七	灑水器	2 瓶	水分補充
十八	鑷子	2 支	蚯蚓移動用
十九	手套	數只	實驗用
二十	白菜種子	5 包	發芽率實驗
二十一	PH 測量計	2 支	測酸鹼
二十二	解剖刀	1 支	蚯蚓解剖

肆、研究過程與方法

一、研究流程圖：

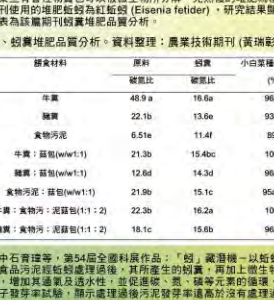


圖1. 研究流程圖

二、文獻蒐集：

本研究文獻蒐集繁多，整理出數篇與本實驗較相關的研究作探討，以下為本研究參整後的文獻資料：

農業新知與技術期刊(2015)：在第9期「點實成金-蚓糞堆肥應用」提及蚯蚓處理堆肥過程中，某些有害性物質也可以被微生物所分解，完熟後的堆肥為穩定的肥料及土壤改良劑。期刊使用的堆肥蚯蚓為紅蚯蚓 (Eisenia fetider)，研究結果顯示蚓糞堆肥的重要功能，下表為該篇期刊蚓糞堆肥品質分析。

表1、蚓糞堆肥品質分析。資料整理：農業技術期刊 (黃琳彰等，2003)

酸食材料	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
雞糞	22.1b	13.6e	93bc
食物污泥	6.51e	11.4f	89c
牛糞：蚯蚓(w/w1:1)	21.3b	15.4bc	100a
雞糞：蚯蚓(w/w1:1)	12.8d	14.3d	96ab
食物污泥：蚯蚓(w/w1:1)	21.9b	15.1c	95abc
牛糞：食物污：泥蚯蚓(1:1：2)	22.3b	16.2a	100a
雞糞：食物污：泥蚯蚓(1:1：2)	18.1c	15.6b	96ab

宣顯華中石育達等，第54屆全國科展作品：「蚓」藏潛機－以蚯蚓處理食品污泥的研究，分析食品污泥經蚯蚓處理過後，其所產生的蚓糞，再加上微生物的作用，能夠轉化廢棄污泥，增加其通氣及透水性，並促進碳、氮、磷等元素的循環，適合種植作物。同時白菜種子發芽率試驗，顯示處理過後污泥發芽率遠高於沒有處理過的污泥。

林凱隆(2012)：雞糞生長於與料中添加過量的銅與鋅，造成中度到重度重金屬汙染的雞糞 (Li et al., 2009)。若用蚯蚓分解汙染的雞糞同時會改變其物理與化學特性 (顏傳益，2010;Li et al., 2009)，並能吸附並累積重金屬於組織內 (Li et al., 2010)，因此若要更進一步的利用蚓糞與蚯蚓，也須考量其中所含的重金屬含量是否超標，故本研究也同時測定蚯蚓與蚓糞中的重金屬含量。以評估兩者的使用安全性，以確保資源循環型農業的友善利用。蚯蚓能夠吸收許多重金屬 (Li et al., 2010),以及赤糞化學汙染物，並累積於組織內，且不會有影響 (Sheppard et al., 1997)，且能累積特別重的 Zn 與 Cd，因此能使被汙染的土壤解毒 (Sinha et al., 2002)。

顏傳益(2010)：若妥善處理農業廢棄物則能轉化為農業生產系統中的所需的養分，氮、磷、鉀、與能量 (C) 之來源，蚯蚓堆肥是另一將有機廢棄物分解並轉化成安定的堆肥的非高溫處理的過程 (non-thermophilic)，因此可減少氮碳由氨的形式揮發 (Dominguez et al., 2000),而能產生比傳統堆肥更好的有機肥，也可處理多種有機廢棄物 (Garg et al., 2008) 符合環保系統(ecologically sound system) 方式 (Atiyeh et al., 2000).在加拿大、英國、日本等國家被農為使用 (Sinha et al., 2002;Ghosh, 2004;Mainoo,2007)。

表2、蚯蚓處理廢棄物所加入篩選材料彙整(本研究整理)

有機廢棄物種類	篩選材種類	蚯蚓種類	參考文獻
造紙污泥	乳牛糞	E.andorei	Elvira,et al(1996)
玉米稈渣	牛糞	E.fetida,P.excavatus	Bansal and Kapoor(2000)
家庭廢棄物	乳牛糞	P.excavatus,P.sansibaricus	Suthar and Singh(2007b)
樹枝	乳牛糞	E.fetida,P.excavatus,Dichogaster bolsui	Manna,.et al(2007b)
酒糟	豬草屑、鋸屑、乳牛糞	Lumbricus rubellus,E.fetida,L.mauritii	Nair.,et al(2007b)
紙廠污泥	雞糞	E.fetida	Garg and Kaushik(2005)
下水道污泥	乳牛糞+蔗渣	E.fetida	Suthar(2006)
廚餘酒糟污泥	乳牛糞	E.fetida, P.excavatus	Suthar(2008c)

三、實驗過程：

本研究經文獻蒐集討論後，決定以工業廢棄物造紙污泥、農業廢棄物雞糞、牛糞與糖廠生產廢棄物蔗渣做實驗題材，利用米糠、太空包當輔料，再將造紙污泥、雞糞、蔗渣(放入牛糞部分輔料為稻穗，只要將新鮮牛糞)加入EM菌、木黴菌發酵前處理，之後安卓愛勝蚓(Eisenia andrei)處理造紙污泥、雞糞、蔗渣；尤金真蚓(Eudrilus eugeniae)處理牛糞，最終使用本研究與蚯蚓繁殖家具自行改良的蚯蚓分離器，將蚯蚓、卵餅與蚓糞分離。

本研究將後期分離出的蚯蚓糞便，撒成有機肥，運用在農作物的發芽、成長階段，以實驗觀察其發芽率與成長過程，並探討蚯蚓糞便對土壤改良、農作物產量的直接影響程度。以下為本研究實驗步驟流程：

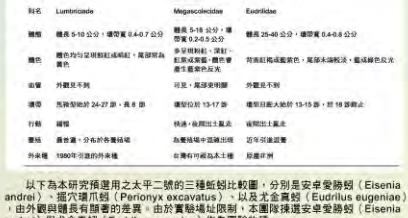


圖2. 本研究實驗步驟流程圖

(一)實驗一：蚯蚓種類建立

本研究本想用台灣野外採集蚯蚓做實驗品種。嘗試過後才知若要採集一定數量蚯蚓做實驗，將是非常困難的挑戰，且還須將不同種類蚯蚓分離，辨認蚯蚓種類；經本團隊與老師商量過後，決定向農委會與學校取買蚯蚓的家長購買，經觀察與篩選結果，本研究初步選擇太平二號的三種蚯蚓做實驗物種依據，以下為三種蚯蚓的比較：

表3、太平二號蚯蚓種類(資料來源：整理自博客新聞網)

中文名	安卓愛勝蚓	紅沟環爪蚓	尤金真蚓
俗名	歐洲紅蚯蚓	印度蓋蚯蚓	非洲蓋蚯蚓
學名	Eisenia abdrei	Perionyx excavatus	Eudrilus eugeniae
科名	Lumbricade	Megascolecidae	Eudrilidae
體型	體長 5-10 公分，體寬寬 0.4-0.7 公分	體長 5-18 公分，體寬寬 0.2-0.5 公分	體長 25-40 公分，體寬寬 0.4-0.8 公分
顏色	體色為分呈明顯紅或橘紅，尾部部為黃色	多呈明顯紅，深紅－紅黃或黃綠，體色會隨生長來的反光	背面紅褐或藍紫色，尾部未端較淺，產成綠色反光
由管	外觀見不到	可見，尾部受明顯	外觀見不到
環帶	性別發育約 24-27 節，長 8 節	環帶位於 13-17 節	環帶目前未知於 13-15 節，於 18 節觀止
行動	緩慢	快速，會開出土表面	會開出土表面
產地	歐洲，分布於各國結婚	為養殖場中常見出現	近年引進試養
外來種	1990年引進的外來種	台灣有可視為本土種	非國非洲

以下為本研究預選用之太平二號的三種蚯蚓比較圖，分別是安卓愛勝蚓（Eisenia andrei）、掘穴環爪蚓（Perionyx excavatus）、以及尤金真蚓（Eudrilus eugeniae），由外觀與體長有顯著的差異，由於實驗場地限制，本團隊挑選安卓愛勝蚓（Eisenia andrei）與尤金真蚓（Eudrilus eugeniae）作為實驗物種。

圖3. 太平二號蚯蚓比較圖

(二)實驗二：蚯蚓飼養環境建立

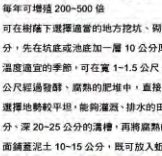
蚯蚓飼養的方式大致可以整理成以下四種方式：

表3、蚯蚓繁殖方式(資料來源：本研究整理)

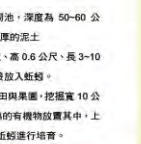
繁殖方式	內容
箱養法	可用箱、筐、盆、罐、桶等多種容器，在良好的養殖條件下，每年可增殖 200~500 倍
土坑、磚池露	可在樹蔭下選擇適當的地方挖坑、砌池，深度為 50~60 公
天培育法	分，先在坑底或池底加一層 10 公分厚的泥土
肥堆養種法	溫度適宜的季節，可在寬 1~1.5 公尺、高 0.6 公尺、長 3~10 公尺經過發酵，腐熟的肥堆中，直接放入蚯蚓。
田間、果園養	選擇地勢較平坦，能夠灌溉、排水的田與果園，挖掘寬 10 公
殖法	分、深 20~25 公分的溝槽，再將腐熟的有機物放置其中，上面鋪蓋泥土 10~15 公分，既可放入蚯蚓進行培育。

本研究考量實驗需求，將場地區分成兩種。一為實驗室內飼養，採體型較小的安卓愛勝蚓(Eisenia andrei)為實驗生物，這種蚯蚓食性廣，繁殖率高，適應性強，生活週期短，在台灣野外無法適應高溫熱環境，因此非常適合室內研究與飼養，不適合放養，因台灣野外無法生存，對本土種不具威脅性。只要體重0.4克即達到性成熟，可以全年產卵。成蚓體長5-10公分，喜棲息於腐殖豐富的土表層。

另一為利用荒廢的茅舍整理成實驗場地，選擇體型較大的尤金真蚓（Eudrilus eugeniae）為實驗生物，此種蚯蚓對有機物分解能力強，大量的牛糞需要大空間，亦不適合在研究室內，體型大食量亦大，分解的速度快，唯獨此種冬天活動力會減弱，需防風與低溫，此種蚯蚓對外邊應力強，晚日前開放溫口，雖免對本土種造成衝擊，本研究只限制此種蚯蚓於荒廢茅舍內，絕不會放養於野外。以下為本實驗選擇的實驗場地。



4-1安卓愛勝蚓群聚情形



4-2尤金真蚓飼食牛糞情形

圖4. 安卓愛勝蚓與尤金真蚓飼養過程

(三)實驗三：蚯蚓繁殖場所設計

本研究實驗室內採箱養法，以自製木箱鋪上不透水的透明塑膠層，加上用過的農業廢棄物太空包內材質(含玉米粉、木屑等)當居住分質飼養，則開始探索期，本研究以多孔型的黑色塑膠箱飼養，沒幾天後蚯蚓全數消失，在地上還能找到蚯蚓乾枯的屍體，所幸有飼養蚯蚓取實的家長，提供本研究想法，才將飼養箱設計成淺木箱，上部邊緣有數公分直板，防止蚯蚓爬出，以下為本實驗繁殖箱製作與改進過程：

(1)多孔型塑膠繁殖箱

本研究當初設計理念認為蚯蚓處理有機廢棄物，需在通風且散熱良好的環境下進行，因此設計多孔型塑膠繁殖箱，由圖藍店購買適合空隙之塑膠網，配合鋁架未裡，將繁殖箱進行組合和堆疊，且質輕遷移方便，看似非常實用。

無奈試驗之後才發覺，孔隙多為致命的缺點，雖能通風，卻無法有效控制水分，導致蚯蚓居住分質太空包玉米粉木屑過乾，缺水而使出箱外死亡。

5-1第一代多孔型塑膠繁殖箱

5-2地板邊緣板蚯蚓乾枯的屍體

圖5. 多孔型塑膠繁殖箱飼養過程

(2)自製蚯蚓繁殖箱

經過一次挫折後，本團隊請教販賣蚯蚓的家長，外加與老師商討對策後，決定改採自製方式，事先規劃出設計圖，試做後再實試讓蚯蚓居住，以下為本實驗初步設計與立體圖。

6-1第二代木製繁殖箱三視設計　6-2第二代木製繁殖箱立體設計

圖6. 蚯蚓繁殖箱製作設計

設計圖決定後，本研究到木材行與五金行買備所須材料，並開始製作蚯蚓繁殖箱，製作過程經同學與老師幫忙，順利完成數箱，如下所示：

(3)荒廢羊舍飼養法

本研究由家長提供學校附近的廢棄羊舍，非常適合堆肥法，羊舍佔地821坪約2.8分地，建築物約500坪，本研究透過省背乳牛養糞戶幫助，將1.5噸重的牛糞，放置在寬2公尺、高0.5公尺、長20公尺的廠房內，經過微生物發酵、再將牛糞、乾稻草、蔗渣堆疊，交叉分層依序鋪上，這樣剩餘發酵物質，較不會產生爛熟而殺死蚯蚓，肥堆上再用乾稻草遮蓋，以防曝曬和水分散失過快，羊舍四周挖排水溝防止積水，在濕度、溫度適宜，糞料充足的情況下，蚯蚓生長繁殖較佳。

圖7. 蚯蚓繁殖箱製作實體完成圖

8-1廢棄的羊舍內部情況

8-2牛糞、稻草、蔗渣鋪成長條

圖8. 荒廢羊舍飼養過程

(四)實驗四：紙污泥飼養建置

本研究透過雲林縣斗六市工業區的凱貴造紙廠有限公司，取得紙污泥50公斤，於實驗室中以箱養法，混合少量米糠與太空包當介質，開始實驗步驟，紙污泥含水量60%。成分大致上為樹的纖維，凱貴造紙廠是利用便當紙盒的邊料，去除表層的防水塑膠膜，重新融入紙漿中生產衛生紙，產生的紙污泥委託民間焚化廠，焚燒做火力發電能源，火力發電對空氣品質影響大，且燃燒產生的二氧化碳，會增強溫室效應導致全球暖化，廠長很大力支持本實驗，期待蚯蚓處理方式能運用在紙污泥。

(五)實驗五：雞糞飼養建置

本研究委託養雞的家長提供雞糞作實驗，礙於近年來禽流感盛行，實驗規模縮小以5公斤雞糞在實驗室中採箱養法進行。本實驗雞糞為發酵過後乾燥的實驗雞，本研究請教家長，得知雞糞需添加發酵劑、主料和輔料充分混合發酵，共有三種方式：

表4、雞糞為發酵方法

方法	內容
引導發酵法	可以先拿少部份物料與發酵劑混合均勻，然後再用這一部分物料與大量的物料混合。
活化添加法	使用前活化：將發酵劑、紅糖，水按照 1：1：20 的比例，活化 8 到 24 小時，之後可以加入適當的水與物料攪拌均勻。
精進法	活化添加法精進化，將活化液與玉米麵或麩皮等均勻混合，再與物料均勻混合。

本實驗以第一種方式，先將雞糞調配部分發酵劑，使其產生反應，之後再與大量的雞糞混合，等待發酵反映完成，再給予蚯蚓分解。

9-1實驗紙污泥樣品

9-2發酵過雞糞實驗樣本

圖9. 紙污泥與雞糞實驗樣品

(六)實驗六：牛糞飼養建置

本研究以嘉賓養牛戶提供的新鮮牛糞當實驗樣品，嘉賓本身有牛糞堆肥處理廠，屬傳統堆肥，其處理方式有五種：靜置堆肥倉式、送風堆肥倉式、箱型送風式，橫軸迴轉攪拌式，鋼板履帶攪拌式。傳統處理牛糞堆肥流程如下：

圖10. 傳統牛糞堆肥流程圖(本研究繪製)

本研究有賴於傳統牛糞堆肥處理時間冗長，因此本研究以牛糞添加稻穗、蔗渣，再利用蚯蚓處理，與傳統堆肥區比較其時間效率與處理過後肥力呈現。

11-1新鮮牛糞外觀

11-2廢棄羊舍牛糞堆肥

圖11. 本研究廢棄羊舍牛糞堆肥實驗蚯蚓情形

(七)實驗七：輔料成分建置

本研究考量可讓蚯蚓營養平衡且又可以處理農業廢棄物原則，使用米糠與農業廢棄物太空包(當屬住介質)，蔗渣、稻穗為輔料，搭配實驗樣本，再讓微生物分解，之後讓蚯蚓處理發酵產物。以下為輔料詳細說明：

(1)米糠

米糠為稻穀脫殼後，研磨稻米的產物，主要由稻米外果皮、中果皮、交聯層、種皮及糊粉層組成，亦是碾米過程中被側去卻是最重要的營養成分，米糠成分中油脂的含量（W）為14%～24%；蛋白質為12%～18%；植酸鹽為7-11%；無氮浸出物為28%～43%；水分為7%～14%；灰分為8%～12%，米糠中還富含蛋白質營養素、B族維生素和維生素E、膳食纖維、蛋白質、氨基酸等多種營養成分，在營養學上是十分優良的原料，本實驗用這為補充蚯蚓所需養分，讓蚯蚓更健康，這樣處理廢棄物的工作會更高。

12-1稻穀脫殼後的粗糠

12-2粗糠研磨後形成米糠

圖12. 本研究輔料米糠製作

(2)太空包

本研究使用的太空包，為菇場長菇後菌絲與養分用盡之廢棄，主要用途為提供蚯蚓居住、躲藏空間，加上蚯蚓也會攝取太空包的成分，補充養分。且太空包的介質，保水度高，孔隙佳，通氣良好。太空包其主要成份包含米糠、粉頭糠、米粉、碳酸鈣及木屑等，外部利用聚丙烯(polypropylene)所製成耐高溫處理塑膠袋包裝，如下圖所示：

13-1長菇後廢棄的太空包

13-2拆開後獲得的玉米粉木屑

圖13. 廢棄太空包與內部材質

(3)蔗渣

本校靠近虎尾糖廠，每當糖廠製機過後的甘蔗渣，總是堆積如山，一部分提供所需農民免費取用，剩餘的部分則給火力發電廠成為燃燒後的能源，本研究亦基於環保觀念，索取蔗渣加入蚯蚓當輔料，本研究將蔗渣加入EM菌、木黴菌，前處理發酵過後，再與稻穗混合加入牛糞中，放入蚯蚓分解。

14-1虎尾糖廠的甘蔗集中場

14-2甘蔗壓榨後剩下的蔗渣

圖14. 本研究樣品糖廠廢棄物蔗渣產生過程

(4)稻穗

本研究經附近農田農民同意，收集田間做為堆肥的稻穗，將其當成輔料與牛糞混合，其實稻穗製成堆肥方式有三種，包括簡易堆肥箱、簡易通風堆肥倉及自動化堆肥製造設施等。稻穗堆肥過程中，須經堆積腐熟，這樣可以避免蒸熏損失；堆肥材料碳氮比太特，直接施用於土壤中，在初期會造成土壤可供作物吸收及利用之有效性氮素、磷素、鉀素減少，對作物生長有礙，故需要堆積腐熟，堆肥材料碳氮比值在30~40之間最有利於堆肥之醱酵腐熟。

15-1開收割後的稻穗

15-2處理後形成推肥的稻穗

圖15. 本研究樣品農田堆肥稻穗

(八)實驗八：微生物輔助分解

本研究使用的微生物分解方式有兩種，分別為EM菌和木黴菌，以下為這兩種菌的說明：

(1)EM菌

全文為Effective Microorganisms是「效能微生物群」的英文縮寫，要是將自然界中五大類益菌（包括光合菌群、乳酸菌群、醱母菌群、基蘭氏陽性放線菌群及發酵系的絲狀菌群），集合在一起，使其共生共存，形成一個強大的功能群體，生成多種抗氧化物質，提高物體的生理活動性機能，對整個地球生態發揮多種良性作用。

本研究針的EM菌種，買自有機農大地滿點18的EM菌種，因菌種價格不斐，本研究針對EM菌做繁殖，總共可以分成下列三個繁殖步驟：

1.菌種蒐集

本研究直接使用機農大地滿點18的EM菌種，因此省去蒐集的步驟，若一般自行蒐集可採集表土，其中所含的微生物數量最多，許多倒木落葉上會有真菌生長的白色菌絲，可蒐集下方的表土。

16-1本研究使用的EM菌種

2.培養EM菌

菌與微生物普遍可以分解糖作為養分來源，發酵作用需要水分及部分維生素以利生長，因此利用便宜的糖蜜、米糠、水來培養，使EM菌繁殖至一定數量，培養方法：水20公升、糖蜜1公升、米糠100公克、EM菌0.1公升，大約一星期可以養成，若繁殖成功，EM菌微生物會起泡泡呈現乳白色厚的菌絲。

16-2自行繁殖EM菌情形

圖16. EM菌種類與繁殖過程

3.分解有機物

EM菌可以分解各種有機物作為植物的養分來源，也就是所謂有機肥。在稻田中可用稻穗或菜園剩下的雜草，也可利用EM菌種另外製作不同成分的肥料。

(2)木黴菌

木黴菌 (Trichoderma) 是在環境中常見的群生黴菌，在土壤、空氣與植物的各部份甚至是真菌子實體上都可發現它的防存在蹤跡，由於它生長迅速，分泌多種酵素分解纖維素，木質素等，用途很廣，用來製作堆肥，可以快速分解物質，加速堆肥的腐熟過程，並減少異味發生。

本研究使用的木黴菌為TCT301廚餘專用菌種，一樣使用糖蜜、米糠與水來培養，培養方法：水20公升、糖蜜1公升、米糠100公克、木黴菌200克，大約5-8天可蔓延。

17-1木黴菌種類

17-2木黴菌培養過程

圖17. 本研究使用的菌種與培養情形

(九)實驗九：廢棄物混合調配

本研究探討蚯蚓為雜食性，主要攝取土壤中菌類、微生物、昆蟲屍體以及腐爛的植物碎片等。因此本研究嘗試將有機牛糞與紙污泥依糞料占70%，紙污泥30%混搭，加上輔料稻穗與蔗渣，添加EM菌與木黴菌(Trichoderma)，等待發酵時間一個禮拜，再讓蚯蚓分解。

圖18. 牛糞混合紙污泥實驗

(十)實驗十：蚯蚓分離器設計

本研究之工、農業廢棄物以蚯蚓分解後，須將蚯蚓、卵繭與蚓糞分離出來，與飼養蚯蚓的家長研討結果，配合指導老師共同設計並製作蚯蚓分離器，本團隊以滾筒產生離心力方式，將荷重與粒徑不同的蚓糞、蚯蚓與卵繭分離，調整滾筒到適當轉速，可將蚯蚓與卵繭分出掉落到底板層回收，蚓糞則大部分留在滾筒內。以下為本研究設計圖與製作成品：

圖19. 蚯蚓分離器設計初稿

圖20. 蚯蚓分離器第一代製作完成

本研究實試自行設計完成之蚯蚓分離器，運作後確實能將蚓糞分離，唯獨蚯蚓在滾筒內旋轉，部分蚯蚓點腰受損產生一定比例的死亡率，本團隊討論過後，決定在蚓糞分離前多一道手續，藉此修正降低蚯蚓傷亡數。

本研究方式為食物誘導法，當廢棄物分解完畢，食物銳減，此時蚯蚓勢必找尋新的食物區，因此只要再將處理分解後的廢棄物旁，放置未處理的廢棄物食材，靜靜等候三天，絕大多數蚯蚓會受到食物誘惑，而紛紛離開無食物的分解廢棄物，投向新食物來源，本方法測試過後效果極佳。

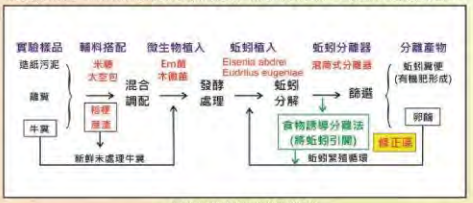


圖21. 本研究修正後的實驗流程

22-1蚓糞分離後收集成盒

22-2 蚯蚓粉粉移動到食物區過程

圖22. 蚓糞分離過程與食物誘導法

(十一)實驗十一：農作物成長

本研究的利用蚯蚓分解後的蚓糞，種植小白菜觀察其發芽與成長情形，本研究將可能影響到白菜成長的因子作分析，包含蚯蚓生長過與蚓糞的含水率、鎂意、總磷、pH值、電導度、吸水能力、發芽率，做全面分析。

23-1本研究用的白菜種子

23-2 蚓糞試種小白菜過程

圖23. 農作物成長實驗

伍、研究結果

本團隊向福壽老師商討過後，決定以安卓愛勝蚓（Eisenia andrei）當對照組（以雲林縣的農田土壤為基底，模擬自然環境），以安卓愛勝蚓（Eisenia andrei）的紙污泥(工業廢棄物)、雞糞和尤金異蚓（Eudrilus eugeniae）的牛糞、牛糞+紙污泥(混合調配)為實驗組做分析。紙污泥、雞糞的輔料為米糠、太空包；牛糞、(牛糞+紙污泥)的輔料為稻梗、蔗渣。以下為本實驗分析項目的結果：

一、含水率(moistures)

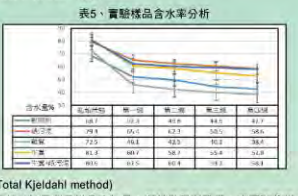
堆肥製程之混合物含水率最好保持在50~60%之間，含水率若少於45~50%會抑制生化反應速率，若低於10~15%時微生物代謝將停止。相對地，含水率過高時，會導致堆肥環境氣孔堵塞不足的現象，直接影響好氧細菌、真菌及放射菌等堆肥優勢菌種之生長，使嫌氣菌生長繁殖，厭氧時產生臭氣腐敗，產生有害物質及氣體，使有機物分解停頓。以下為本研究實驗樣本在不加水狀態下至於研究室內，放四個呈期的含水率。本研究含水率檢定方式：

取乾淨稱量瓶及瓶蓋實於烘箱內，以105±5℃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（m0），精稱至10mg。稱取30至40g實驗樣本置入稱量瓶中，精稱內含樣品之加蓋稱量瓶重量（m1），精稱至10mg。

$$\text{水分含量}\ w_{(d.b)}(\%)(m/m)) = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_0} \times 100$$

m0：含蓋稱量瓶空重（g）
m1：含蓋稱量瓶及樣品重（g）
m2：含蓋稱量瓶及烘乾樣品重（g）

表5、實驗樣品含水率分析



二、總凱氏氮(Total Kjeldahl method)

本研究以總凱氏氮量測量樣品含氮量，礙於儀器與設備，本團隊將樣品每次檢驗取100mg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：

(一)樣本的分解：含氮物質 $+ H_2SO_4 = (NH_4)_2SO_4 + + CO_2$
(二)鹼蒸的分解：鹼鹽 $(NH_4)_2SO_4 + 2NaOH = 2NH_3 + 2H_2O + 2Na^+ + SO_4^{2-}$
(三)氨的捕定：$NH_3 + H_3BO_3 = NH_4BO_2 + H_2O$
(四)反滴定：$B(OH)_3 = H_2O + NaCO_3 \rightarrow NaB(OH)_4(aq) + CO_2(g) + H_2O$

表6、實驗樣品總凱氏氮分析

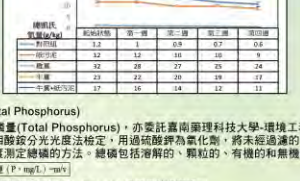
三、總磷量(Total Phosphorus)

本研究總磷量(Total Phosphorus)，亦委託嘉南藥理科技大學-環境工程與科學系檢定，總磷量以鉬酸銨分光光度法檢定，用過硫酸銨為氧化劑，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：

$$\text{總磷含量}\ (P/mg/L) = m/v$$

m：試樣測得含磷(P)量μg；　v：測定用試樣體積ml

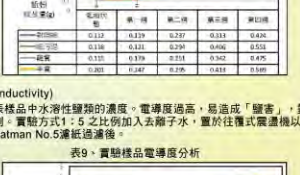
表7、實驗樣品總磷量分析



四、蚯蚓生長量(earthworm Volume growth)

本研究測量蚯蚓方式先用去離子水清洗蚯蚓表面至乾淨，再放入沾有水的衛生紙培養皿，保持其濕潤，再用鋁箔紙戳洞包覆住，隔天待蚯蚓把體內排泄物清除，則可用體重天平測量其重量，本實驗每件樣品挑10隻蚯蚓秤重量取平均值。

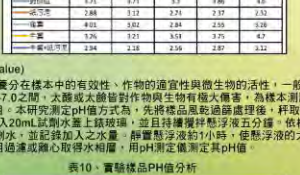
表8、實驗蚯蚓成長量分析



五、電導度(Conductivity)

電導度代表樣品中水溶性鹽類的濃度。電導度過高，易造成「鹽害」，對蚯蚓與農作物的生長皆不利。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。

表9、實驗樣品電導度分析



六、pH值(ph value)

pH值攸關養分在樣本中的有效性、作物的適宜性與微生物的活性，一般農作物PH值只能維持在5.0-7.0之間，太酸或太鹼皆對作物與生物有極大傷害，為樣本測試化學性質中重要的檢測項目。本研究測定pH值方式為，先將樣品風乾過篩處理後，秤取20g樣品於50mL燒杯內，加入20mL試劑水蓋上錶玻璃，並且持續攪拌懸浮液五分鐘。依樣本性質可額外加入更多試劑水，並記錄加入之水量。靜置懸浮液約1小時，使懸浮液的大部分固體沉澱，必要時利用過濾或離心取得水相層，用pH測定儀測定其pH值。

表10、實驗樣品PH值分析

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

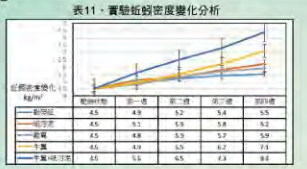
本實驗蚯蚓密度變化的操作因子，針對初始蚯蚓植入密度及蚯蚓餌食食荷進行測試，其方法如下：

$$\text{初始蚯蚓植入密度(單位)} = \frac{\text{初始投入蚯蚓總重量}}{\text{飼養箱表面積}}\ (kg/m^2)$$

$$\text{蚯蚓餌食食荷(單位)} = \frac{\text{初始投入堆肥材料重量(乾重)}}{\text{初始投入蚯蚓重量×飼養天數}}\ (kg\text{-}feed/kg\text{-}worm/day)$$

本研究設定條件，初始蚯蚓植入密度為4.5（kg/m2)在表面積0.16m2及材料重量10公斤（濕重）飼養樣內，藉由蚯蚓植入重量差異，形成初始蚯蚓植入密度差異，探討蚯蚓對堆肥材料的影響。

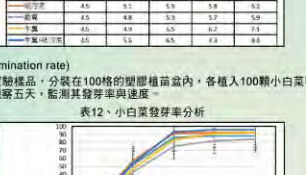
表11、實驗蚯蚓密度變化分析



八、發芽率(germination rate)

本研究將實驗樣品，分裝在100格的塑膠植苗盒內，各植入100顆小白菜種子，放入植物生長箱內觀察五天，監測其發芽率與速度。

表12、小白菜發芽率分析



陸、討論

本研究分成下列幾個部分討論：

一、實驗樣品(工、農業廢棄物)部分：

本研究將雲林縣工、農業廢棄物，重新運用微生物發酵與蚯蚓分解方式，形成蚓糞的有機肥料，以下為各樣品分析：

(一)造紙污泥

含水率高對種子發芽有助益，含磷量高可能為製紙時的添加物所致，含氮量偏低，對植物成長所需的養分不足，紙污泥的纖維素多適合微生物木質素與蚯蚓分解，蚯蚓成長量良好，PH值介於6.24-6.41間適合米粕、蔗果等種植，因營養分不足，導致蚯蚓繁殖密度偏低。

(二)雞糞

本研究是初使用新鮮雞糞，混合EM菌、木質菌發酵，供給蚯蚓分解，卻出現一定比例的死亡率，討論結果認定疑為雞食性，糞便中有不少的害菌，抑制EM菌、木質菌發酵，甚至無法順利孵生，因此本研究改採脫水曬乾後的雞糞，蚯蚓分解效果明顯增加，雞糞的PH值5.85-5.98適合梅、薑、蒜類與水果種植。

(三)牛糞

本研究牛糞是採廢棄羊舍堆肥法分解，樣品用新鮮溼牛糞，混合EM菌、木質菌發酵，PH值介於5.94-6.02間，適合的農作物較多，豆類、水果、桃、蘆笋能種植；實驗過程發現新鮮牛糞會長菇，經比對為「卵孢原球蓋菇」（Protostropharia ovalispora），可製成進幻藥，同時本團隊亦發現，若是用堆肥法飼養蚯蚓，不需經過發酵蚯蚓竟然也能存活分解牛糞，當然發酵過後蚯蚓成長較佳，下文科展將深入研究牛糞。

(四)牛糞+紙污泥

考量牛糞含氮與養分較高(動物性)，將其與紙污泥纖維素高(植物性)結合，參考農試所的研究，以70%牛糞+30%紙污泥，混合做實驗，其各項結果皆優良，尤其是在蚯蚓密度變化方面，結果顯著超過其他組別，蚯蚓繁殖與增加的速度暴增，小白菜發芽率亦最高。

二、輔料部分：

本研究以米糠、太空包、蔗渣與稻梗當實驗輔料，所有材料皆為農業廢棄物，卻能發揮極大效果，以下為各輔料討論：

(一)米糠

營養成分極高，本研究將安卓愛勝蚓(Eisenia andrei)分解紙污泥、雞糞時，補充實驗樣品營養不足的區塊，安卓愛勝蚓(Eisenia andrei)個體小，野外適應力極低，較適合實驗室營養，在實驗室內配合米糠補充，其存活與繁殖力皆不弱。

(二)太空包

蚯蚓分解時最需要注意樣品的通氣量，太空包的木屑粗，能有產生良好的通氣，適合蚯蚓居住與隱藏，本研究實驗中發現，廢棄的太空包潛藏許多生機，常常出現獨角仙與跳形蟲幼蟲(俗稱雞母蟲)，在細微觀察亦發現紅色與白色蟎蟲，對蚯蚓分解並沒有直接影響。

(三)蔗渣

本實驗原將蔗渣設置為主要實驗樣品，經測試後發現若單獨使用大量蔗渣讓蚯蚓分解，其效率不佳且有一定比例的死亡率，混合在牛糞中當輔料的觀察結果，蚯蚓能接受混合後的蔗渣，因此才將其定義成輔料。

(四)稻梗

稻梗的用途為增加牛糞堆肥的通氣量，不至於讓堆肥產生發酵高熱而悶死蚯蚓，同時也可以增加牛糞的堆積厚度，在混合情形下蚯蚓亦能分解稻梗。

三、微生物部分

本研究使用EM菌和木質菌當發酵處理的微生物，EM菌屬綜合型菌種，集合數十種益菌共生之下分解樣本，而木質菌則是專門分解纖維部分，且降低發酵時的臭味。

比對傳統堆肥法，往往發酵時間皆超過3個月，且易發生惡臭，時間長會產生大量N2O，若在厭氣下更會產生CH4，會加劇全球暖化，且熱機後還要高溫設備，耗浪費時間又消耗成本，更加不環保。本實驗發酵時間只需1星期，過程中監測空氣品質並無大量N2O逸出，且過氣量良好無CH4產生，時間短、效果佳又環保。

四、蚯蚓分離器

本研究參考外國的蚯蚓分離技術，設計第一代自製型蚯蚓分離器，幸蔚指導老師具有機械技術與飼養蚯蚓的父親共同合作下，只用二手零件拼裝與焊接出成品，在本研究反覆操作之下，得出較適合的分離轉速，唯獨機器是第一代，蚓糞輸送方面須靠人力，分離後也必須用人力裝填到塑膠盒內。

五、食物誘導法

此法為本研究自行發現，當食物誘導法可行時，心想這樣可以省去蚯蚓分離器部份，之後仔細考量此法，整然可以減少蚯蚓損傷，卻需花上2~3天，大量生產時會增加成本，但若將蚯蚓損傷成本考量進去，似乎還是有助於經濟效益，唯獨蚯蚓的卵幽無法用此法，因此還是需要蚯蚓分離器取出卵幽。本研究下一步將針對蚯蚓產卵的性質做研究，嘗試固定蚯蚓產卵範圍。若可行則真的可以排除蚯蚓分離器。

六、發芽率

蚓糞為天然有機肥料中，公認最有潛力的產物，本實驗亦發現蚓糞對農作物發芽率有助益。目前蚓糞有機肥料價格居高，一般農夫不會多付成本購買，如何儘低蚓糞的成本推廣給農夫是需要克服的議題。

柒、結論

身為農業大縣的雲林人，如何讓家鄉永續經營是本團隊努力之目標，本研究致力於解決雲林工、農業廢棄物，化作能造福土地的天然有機肥料，目前已有些許成果，運用本團隊的蚯蚓分解程序與生態系統彼此制衡方式，外加一點機械常識與勇於挑戰的三位年輕學子的心，成功解決傳統堆肥遇成的空氣污染與全球暖化。

今後本團隊下次主題，將朝向如何將雲林縣沿海地帶的鹽鹼土，化作良田美景，有效增加蚓糞的產量，降低成本讓人人都買得起這座好的天然有機肥料，甚至將蚯蚓推廣到生物科技領域，跨足醫療與美容事業，讓雲林縣在世界的舞台發光發熱。

捌、參考資料及其他

1.顏偉益(2010)。評估有機廢棄物的特性對蚯蚓生長生殖及蚯蚓糞肥的影響，中興大學土壤環境科學系碩士論文。
2.林凱隆(2012)。畜產廢棄物堆肥處理，國立宜蘭大學環境工程系碩士論文。
3.林蔚呈(2012)。蚓糞堆肥與畜糞糞堆肥之單獨或混合施用對甘藍生育及土壤肥力之影響，國立中興大學土壤環境科學系碩士論文。
4.石育瑋等(2014)。「蚓」藏潛機－以蚯蚓處理食品污泥的研究，國立宜蘭高中第54屆全國科展作品。
5.黃瑞彰、江汶諭、潘任辰等(2015)。「點糞成金~蚓糞堆肥應用」，農業新知與技術期刊第9期。