

中華民國第 54 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 生物（生命科學）科

佳作

040704

「蚓」藏潛機—以蚯蚓處理食品污泥的研究

學校名稱：國立宜蘭高級中學

作者： 高二 石育璋 高二 林太新 高二 陳奕儒	指導老師： 鄭雅玲
---	------------------

關鍵詞：蚯蚓、污泥、蚓糞

摘要

本實驗以食品工廠的廢棄活性污泥飼養蚯蚓（大平二號），並分析經蚯蚓處理過後的土壤觀察其變化趨勢並討論蚯蚓對土壤的影響。

實驗結果顯示，四週後 pH 值由弱酸性漸趨中性；總氮含量下降；總磷含量則上升；污泥內的有機碳含量下降。蚯蚓活動的孔道及蚓糞堆疊形成的非毛細管孔隙，增加土壤的通氣及透水力，以同樣條件測試，原污泥較處理過的污泥吸水時間高；小白菜種子發芽率的試驗中，處理過後污泥發芽率遠高於沒有處理過的污泥。由以上可知，蚯蚓及其所產生的蚓糞，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。讓蚯蚓轉化無直接利用價值的污泥為確實是個簡單又環保的選擇。

壹、研究動機

雨後的早晨，總能在學校中庭的泥濘中，看見許多蚯蚓爬出地面，平時也會在草地上看見蚯蚓留下一堆一堆的蚓糞。想曾經聽聞老師說，蚯蚓是大自然的耕耘者，更被達爾文譽為**世界上最有價值的動物**，能夠不斷的在土壤中挖洞，構成縱橫交錯的小地道，增加土壤的透水性。在應用生物 4-2 中談到環境污染物質對生態影響，及廢棄物如何有效處理的議題，因此我們認為**是否能利用蚯蚓處理食品工廠的廢棄污泥，將污泥轉化為適合作物種植的土壤？**如果可行，那麼處理後與處理前的土壤的特性及組成成分上又有什麼不一樣？所以我們希望藉由實驗的方式藉此深入了解蚯蚓對此的影響。

貳、研究目的

- 一、是否能利用蚯蚓，將食品工廠的廢棄污泥轉換為適合作物種植的土壤。
- 二、經過蚯蚓及微生物的轉換後，與轉換前之污泥在成分及特性上有何差別。
- 三、廢棄污泥透過蚯蚓及微生物的轉化，是否可以達成高效率低污染低成本，以利地球環境的永續發展。

參、主要研究設備及器材

大平 2 號紅蚯蚓



飼養籃



工廠廢棄污泥



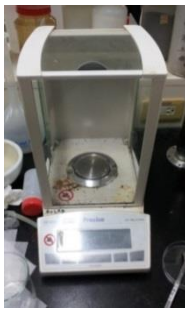
電子磅秤

高溫烘箱

鹵素水分測定儀

排煙櫃

加熱板



磁石攪拌機

恆溫震盪水槽

烤盤 x12

分光光度計



超音波清洗機

標準消化分解爐



定量吸管 pipet

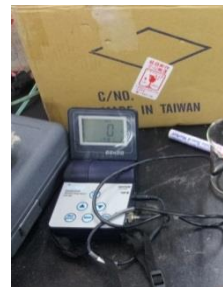
橡膠槌

凱氏蒸餾儀

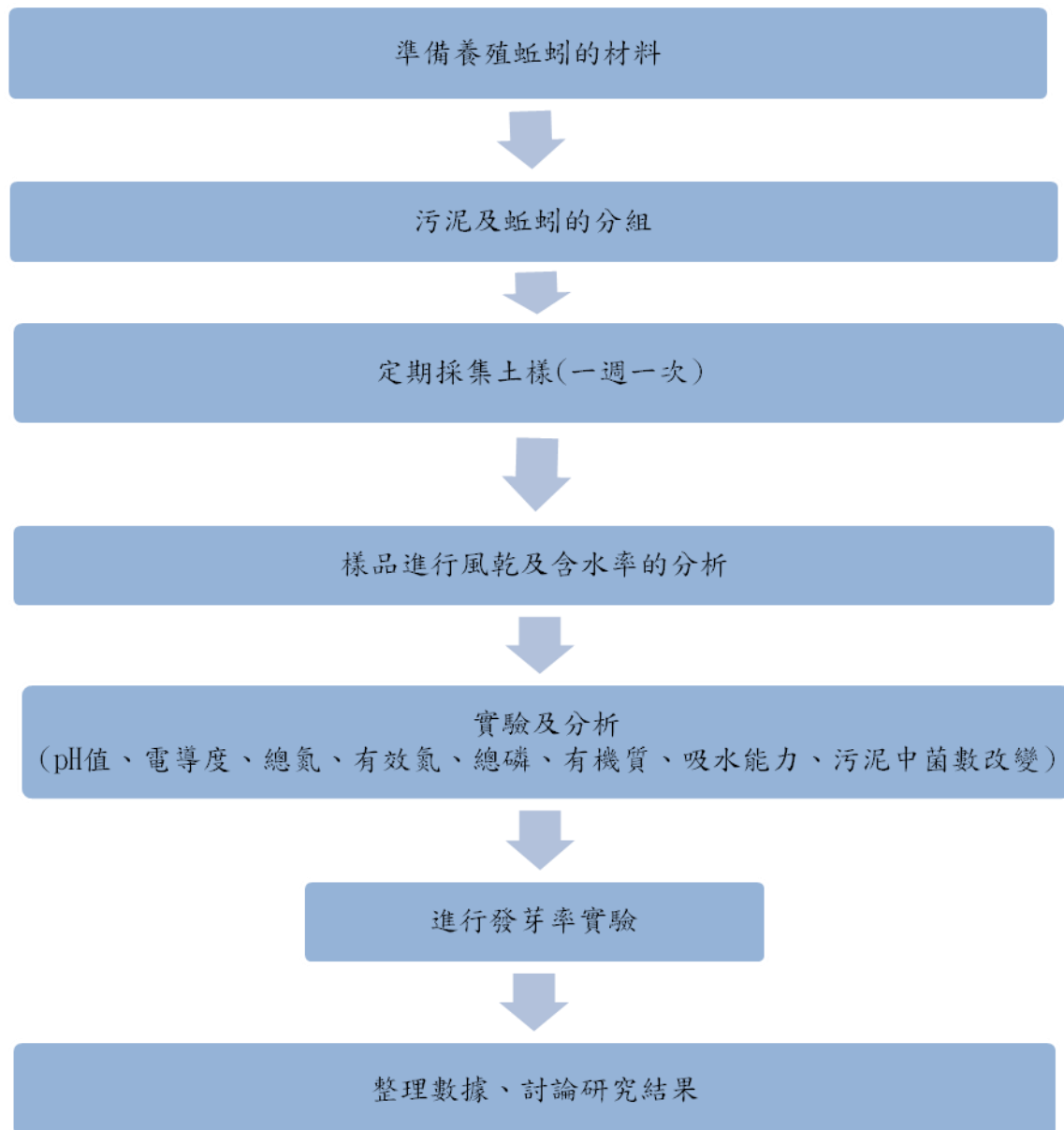
pH 計

滴定管架

電導度計



肆、研究過程或方法



一、養殖蚯蚓

準備塑膠箱，每個塑膠箱裝進五公斤的污泥(圖 1)，並秤好 40g、80g、160g 的蚯蚓(圖 2)，分別裝進塑膠箱裡(圖 3)。並把塑膠箱放進裝水的塑膠盤中，避免螞蟻、昆蟲進入影響實驗數據。再以紙板蓋上防止異物進入及陽光照入，因蚯蚓懼光。



(圖 1)



(圖 2)



(圖 3)

二、污泥來源

來自蘇澳同榮食品工廠之廢水，經處理後即成實驗中的食品污泥。

處理方法：

除渣→浮油池→儲油池→抽水井→調節槽→加入化學藥劑→加壓浮除→活性污泥反應池→終沉池→污泥脫水機→食品污泥

※除渣：利用攔污柵將大顆粒的物質攔下。

※活性污泥反應池：利用曝氣在水中加入空氣，提高溶解氧的含量，讓水中的微生物生長及分解污染物。

三、採樣

一個禮拜進行一次採樣，每次均須取樣 40g、80g、160g 蚯蚓之污泥樣品。採樣前須充分攪拌污泥(圖 4)，並仔細挑出污泥中的蚯蚓(圖 5)，避免影響實驗數據。



(圖 4)



(圖 5)

四、污泥風乾及含水率分析

採完樣品後需至實驗室風乾土壤，及馬上進行含水率分析。將每個樣品分成三份放進烤盤(圖 6)，放進烘箱設定 105°C 烘至完全乾燥(圖 7)(圖 8)，將風乾過的污泥保存於瓶中(圖 9)。取未風乾污泥 2g 放入鹵素水分測定儀進行含水率分析(圖 10)。



(圖 6)



(圖 7)



(圖 8)



(圖 9)



(圖 10)

五、pH 值之測定

1. 秤取 20g 通過 2mm 篩網的風乾土壤樣品，置於 50mL 或 100mL 燒杯內，加入 20mL 去離子水。
2. 以玻棒充分攪拌 1min。
3. 放置 30min，放置其間斷續攪拌 2 次。
4. 插入電極前再予充分攪拌，將已校正好的電極浸入土壤懸浮液中，輕輕擺動電極，去除玻璃電極表面的水膜，將電極尖端固定在水土交界面位置，待讀值達穩定，即可讀取(圖 11)。
5. 每次一個樣品後，用洗瓶輕輕將 pH 測定儀電極表面附著的土粒洗去，並用拭鏡紙或濾紙輕輕將吸附的水吸乾，再進行第二個樣品的測定。



(圖 11)

六、電導度之測定

1. 秤取經風乾過後的土壤 200g 置於 500mL 塑膠杯內，加入適量去離子水並已玻棒持續攪拌至飽和狀態，並記錄用水量。
去離子水與土壤樣品混勻後，須加蓋靜置隔夜或至少 4 小時(圖 12)。
2. 將飽和土壤樣品倒入抽氣瓷漏斗中，利用真空幫浦抽氣收集濾液於抽氣瓶內，如濾液有混濁現象，須再重新過濾。
將所抽出之濾液倒入玻璃平底試管中，再以電導度計測定之(圖 13) (圖 14)。



(圖 12)



(圖 13)



(圖 14)

七、氮之測定

(一)總氮之測定

1. 樣品消解:秤取 1.0g 土壤或有機肥料置於分解管中，加入 2mL 去離子水後靜置 30 分鐘(圖 15)，加入 1.1g 分解促進劑(硫酸鉀：硫酸銅=10：1)，加入 0.2g 水楊酸及 8mL 濃硫酸，混合均勻，靜置過夜。加入 0.3g 硫代硫酸鈉，再混合均勻；以微火加熱(100°C)，至不產生泡沫時，以每 20-30 分鐘升溫 50°C 之速度加熱至 350°C(圖 16)；以 350°C 之溫度加熱至固體分解而硫酸溶液呈醬油色(約三至四小時) (圖 17)；取出分解管，冷卻，加入 2mL 30%之過氧化氫(圖 18)，繼續以強火加熱至澄清，並使過氧化氫分解(約需 20 分鐘)；若未澄清，則重複前述步驟加入過氧化氫、加熱，至澄清為止(圖 19)；冷卻後，加入少

許去離子水使之釋出部分稀釋熱；將分解液倒入100mL 定量瓶中，並定量至100mL(圖 20)，均勻混合之，可置入塑膠瓶中儲藏待用。

2. 以蒸餾法測定總氮：將盛有 2% 20mL 硼酸溶液之 100mL 燒杯(或三角瓶)置於蒸餾裝置之冷凝管下端並將管端浸入溶液內；加 5mL 分解液入蒸餾瓶中，以少許去離子水將附著在管路上之樣品洗至蒸餾瓶中；加 10mL 40%氫氧化鈉溶液(圖 21)，再以少許去離子水將附著在管路上之氫氧化鈉溶液洗至蒸餾瓶中；加熱氫氧化鈉溶液與樣品，反應產生氨氣，以過量之硼酸溶液吸收所產生之氨(圖 22) (圖 23)，最後再以標準濃度之酸滴定氨與硼酸作用所產生之硼酸根離子() (圖 24) (圖 25) (圖 26)。此反應為當量反應，故可由標準酸之消耗量算出氨之產生量。



(圖 15)



(圖 16)



(圖 17)



(圖 18)



(圖 19)



(圖 20)



(圖 21)



(圖 22)



(圖 23)



(圖 24)



(圖 25)



(圖 26)

(二)有效氮之測定

1. 將盛有 2% 20mL 硼酸溶液之 100mL 燒杯(或三角瓶)置於蒸餾裝置之冷凝管下端並將管端浸入溶液內；加 5mL 分解液入蒸餾瓶中，以少許去離子水將附著在管路上之樣品洗至蒸餾瓶中；加 10mL 40%氫氧化鈉溶液，再以少許去離子水將附著在管路上之氫氧化鈉溶液洗至蒸餾瓶中；加 0.2g 氧化鎂粉末；進行蒸餾，以過量之硼酸溶液

吸收所產生之氨態氮，最後再以標準濃度之酸滴定銨態氮與硼酸作用所產生之硼酸根離子($\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$)。此反應為當量反應，故可由標準酸之消耗量算出氨態氮之產生量。

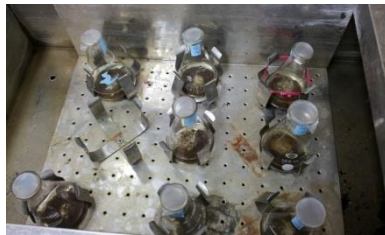
2. 將盛有 2% 20mL 硼酸溶液之 100mL 燒杯(或三角瓶)置於蒸餾裝置之冷凝管下端並將管端浸入溶液內；於前一步驟之蒸餾瓶內加 0.2g Davarda 合金粉末到蒸餾瓶中；進行蒸餾，以過量之硼酸溶液吸收所產生之硝酸態氮，最後再以標準濃度之酸滴定硝酸態氮與硼酸作用所產生之硼酸根離子($\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$)。此反應為當量反應，故可由標準酸之消耗量算出硝酸態氮之產生量。

八、總磷測定

1. 秤取 1.0g($<2\text{mm}$)的風乾土置入 125mL 錐形瓶，加入 50mL 的 1N H_2SO_4 (圖 27)並予以震盪 16 小時(圖 28)。嗣以 11700rpm, 1500Xg 離心 15 分鐘，並收集其上澄清液。
2. 磷標準曲線之製備：分別以吸量管精確吸取 2mg/L 的磷酸標準稀釋液 0、0.6、2、4、7、10mL 分別置於 6 個 25mL 定量瓶中，再徐徐加入 4mL 維他命 C 混合溶液，慢慢搖勻，再以去離子水定量至 25mL(圖 29)，其含磷量各為 0、1.2、4、8、14 及 20 μg (相當於 0、0.048、0.16、0.32、0.56 及 0.8mg/L)，靜置 30 分鐘後，以 882 或 660 μm 波長進行比色，並讀取其吸光度，嗣與已知磷濃度做一標準曲線。
3. 樣品磷濃度測定：吸取適量的土壤萃出之澄清液置入 25mL 定量瓶中，加 5 滴 0.25% p-nitrophenol，並以 5N NaOH 調整 pH 至中性(呈黃色)(圖 30)，再添加 4mL 的維他命 C 混合液，後以去離子水定量至 25mL(圖 31)。30 分鐘後，以紫外線與可見光分光光度計或可見光分光光度計以 882 或 660 μm 波長測定(圖 32)，若用光電比色計，則應選用紅色濾光片。



(圖 27)



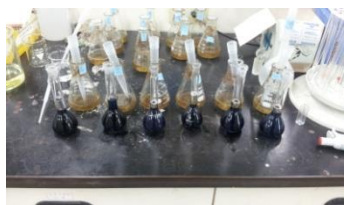
(圖 28)



(圖 29)



(圖 30)



(圖 31)



(圖 32)

九、有機碳之測定

1. 秤取 2.0000g 的風乾土壤，用坩鍋放入高溫爐中以 550°C 風乾兩小時(圖 33)。
2. 取出坩鍋待其冷卻，秤重之質量差即為有機碳重量(圖 34)。



(圖 33)



(圖 34)

十、小白菜種子發芽率實驗

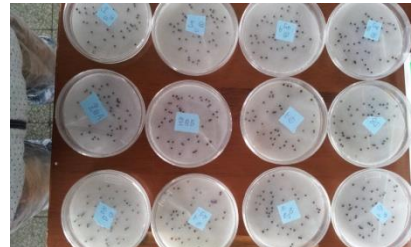
分別進行培養液培養小白菜及污泥培養小白菜之發芽率實驗，並每種蚯蚓克數做二重複，培養小白菜的發芽率須有一組空白蒸餾水對照組。培養小白菜的發芽率即每組秤取 1g 的風乾污泥，再加入以 80°C 蒸餾水 25mL，靜置三小時，取 10mL 的培養液放入培養皿。每個培養皿放入 50 顆種子(圖 35)，蓋上蓋子放置室外。每天進行觀察，於第五天時統計發芽率。種子長出兩個完整葉及根毛者才判定有發芽。



(圖 35)



(圖 36)



(圖 37)

十一、吸水能力測試

1. 秤取 50g 土壤。
2. 以濾紙鋪在瓷漏斗上，鋪上 50g 的土壤再以濾紙鋪上(圖 38)。
3. 倒入 50mL 的水並計時。
4. 計時水分被土壤完全吸收之時間(圖 39)。



(圖 38)



(圖 39)

十二、污泥中菌數測定(皆在無菌操作台內操作)

(一)總生菌數之測定

1. 取 25g 污泥加入 225mL 磷酸緩衝溶液稀釋液，經攪拌稀釋成 10 倍稀釋液。
2. 用 pipet 取正確量做一系列稀釋，一般皆以 1mL 的前稀釋液加到含有 9mL 的無菌磷酸緩衝溶液裡，均勻攪拌。使成 100 倍、1000 倍、10000 倍或更高的稀釋倍數。
3. 從各稀釋液中正確量取 0.1mL 放入平板培養基中心。
4. 以無菌的塗抹棒在培養基上前後推動，握著培養基隨著塗抹棒做前後推動，將稀釋液平均的塗抹於平板培養基上。
5. 將培養皿反轉倒置於 37°C 之培養箱中，培養 48 小時後，計算各稀釋度含有 25~250 菌落的培養皿紀錄之。

(二)大腸桿菌數之測定

1. 取 25g 污泥加入 225mL 蒸餾水，經攪拌稀釋成 10 倍稀釋液。
2. 用 pipet 取正確量做一系列稀釋，一般皆以 1mL 的前稀釋液加到含有 9mL 的蒸餾水裡，均勻攪拌。使成 100 倍、1000 倍、10000 倍或更高的稀釋倍數。
3. 將測試片揭起上層膜，使用 pipet 將 1mL 的樣品垂直低在測試片的中央處，輕輕地將上層膜緩慢蓋下，避免有氣泡產生，切勿使上層膜直接落下。
4. 靜置至少 1 分鐘以使凝膠固化，將測試片置於 37°C 之培養箱中，培養 24 小時後，計算各稀釋度含有 25~250 菌落的測試片紀錄之。

十三、蚯蚓成長率實驗

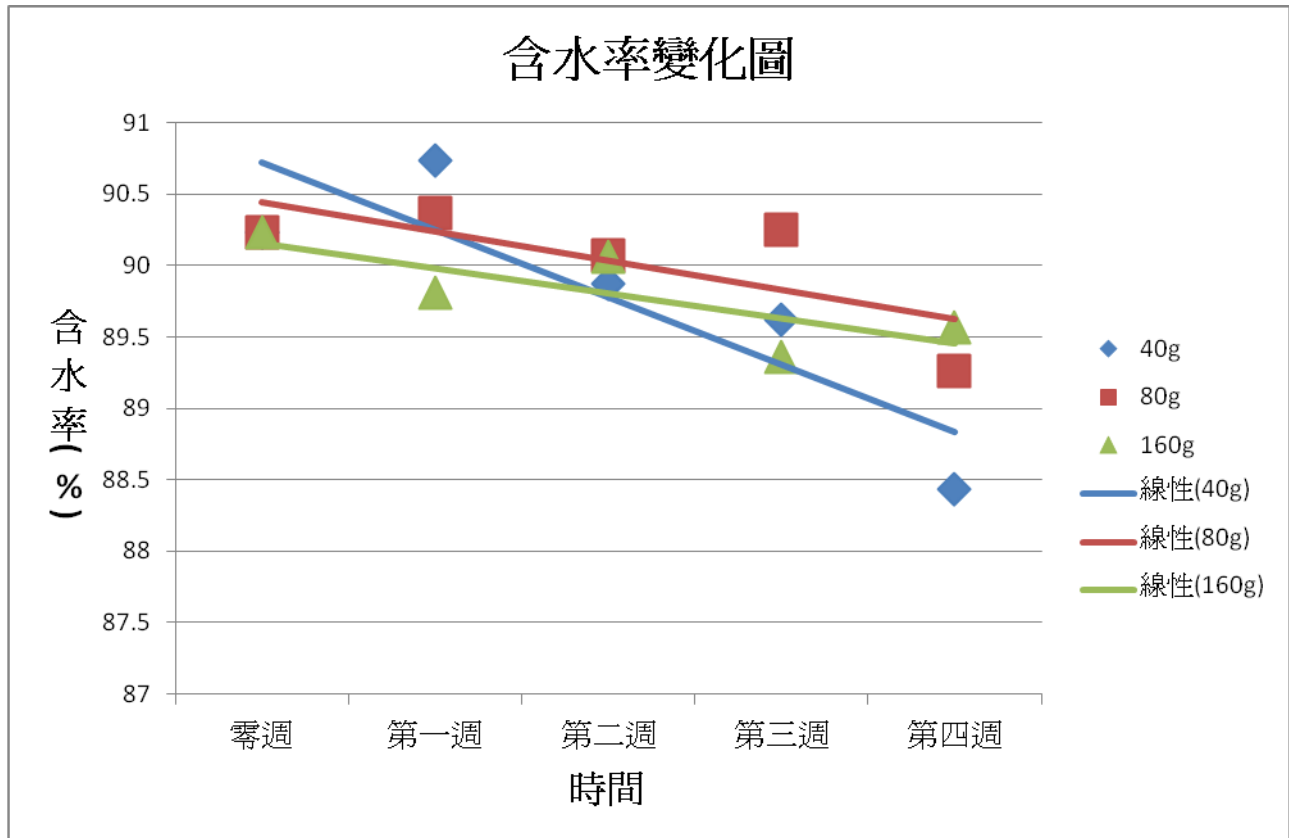
1. 抓取六隻未長出生長環的蚯蚓分別秤重，算其平均重量並記錄之。
2. 秤取 25g 原污泥裝入培養皿中，抓取六隻已秤重的蚯蚓分別放入不同培養皿養殖。
3. 每周取出蚯蚓分別秤重並記錄之。

伍、研究結果

一、含水率(%)

(表格 1)

	零週	第一週	第二週	第三週	第四週
40g 蚯蚓土樣	90.23%	90.74%	89.87%	89.62%	88.43%
80g 蚯蚓土樣	90.23%	90.37%	90.07%	90.25%	89.26%
160g 蚯蚓土樣	90.23%	89.81%	90.06%	89.36%	89.57%

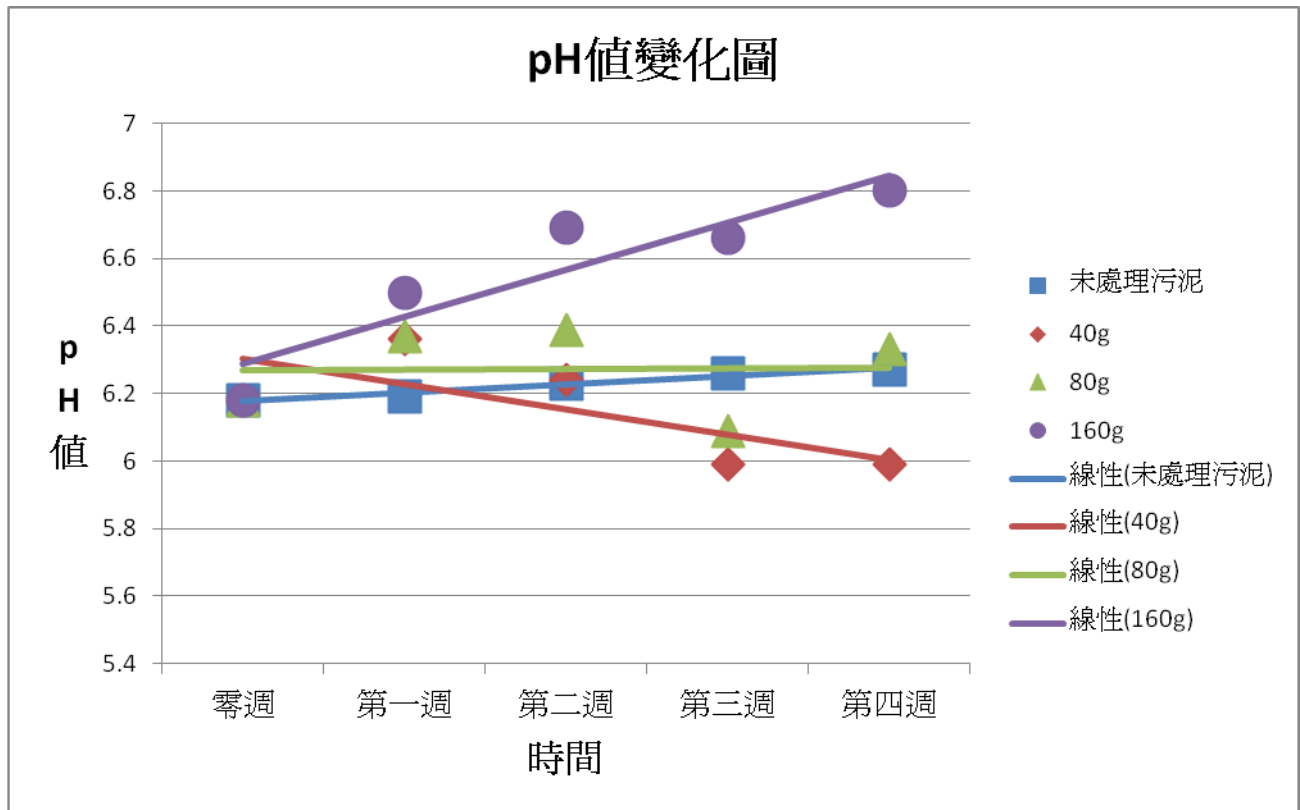


(圖 40)

二、pH 值

(表格 2)

	零週	第一週	第二週	第三週	第四週
未處理污泥	6.18	6.19	6.23	6.26	6.27
40g 蚯蚓土樣	6.18	6.36	6.24	5.99	5.99
80g 蚯蚓土樣	6.18	6.37	6.39	6.09	6.33
160g 蚯蚓土樣	6.18	6.5	6.69	6.66	6.8



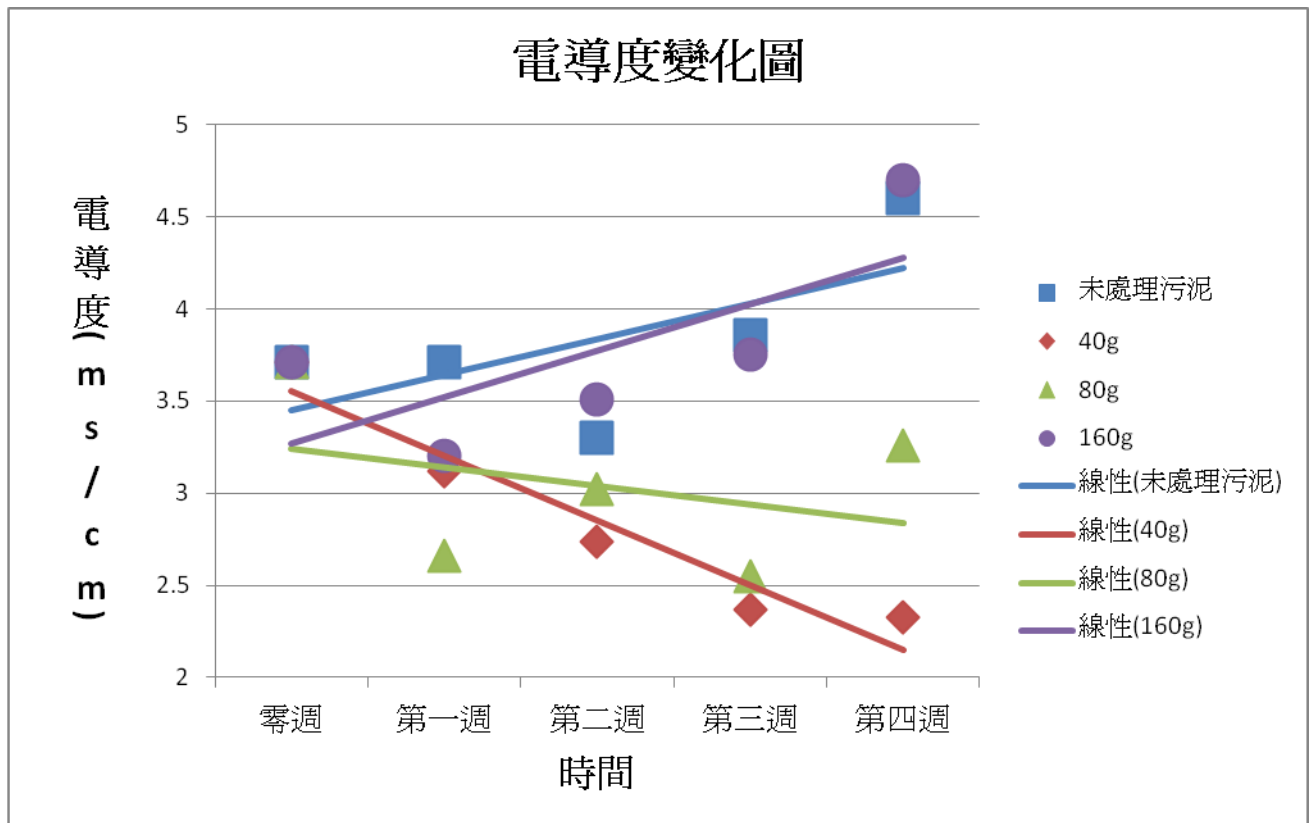
(圖 41)

三、電導度(ms/cm)

(表格 3)

	零週	第一週	第二週	第三週	第四週
未處理污泥	3.71	3.71	3.3	3.86	4.6
40g 蚯蚓土樣	3.71	3.12	2.74	2.37	2.33
80g 蚯蚓土樣	3.71	2.66	3.02	2.55	3.26
160g 蚯蚓土樣	3.71	3.20	3.51	3.75	4.70

註：單位(ms/cm)



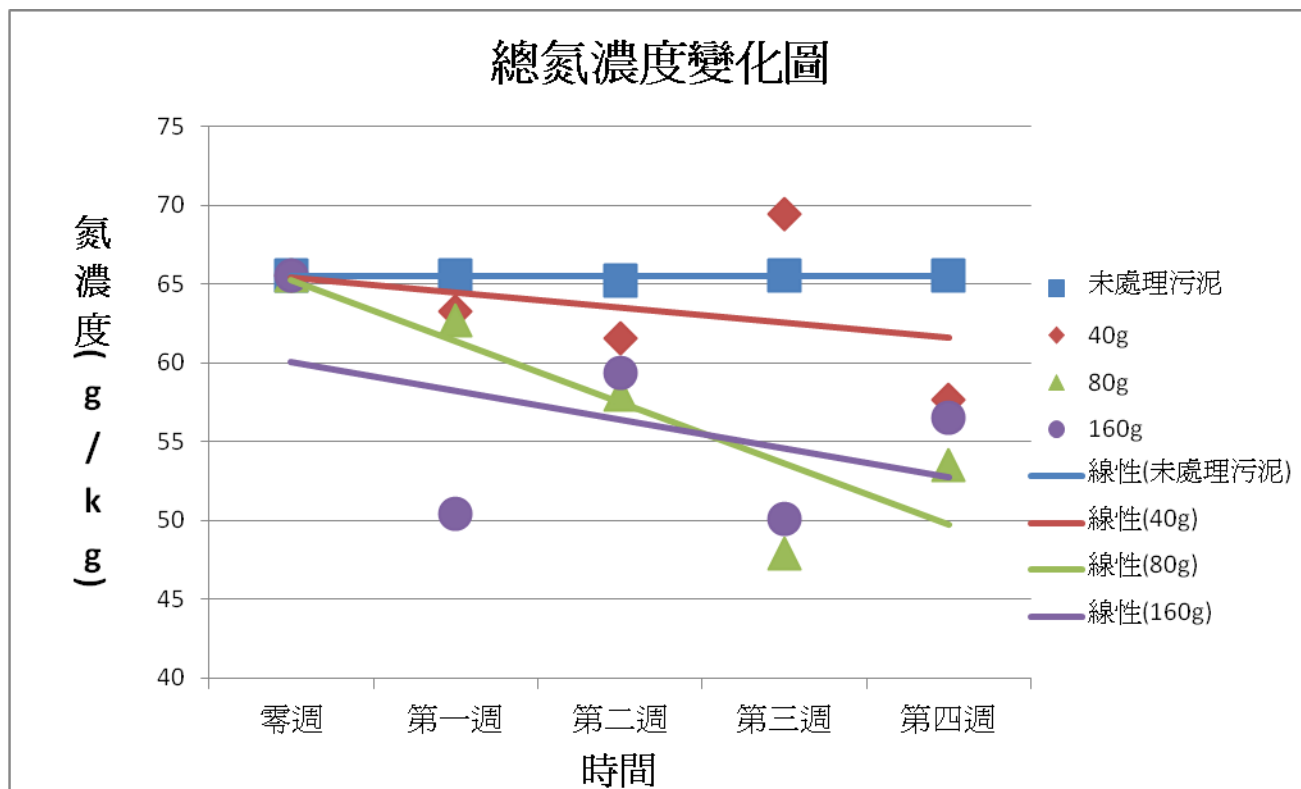
(圖 42)

四、總氮(g/kg)

(表格 4)

	零週	第一週	第二週	第三週	第四週
未處理污泥	65.52	65.52	65.24	65.52	65.52
40g 蚯蚓土樣	65.52	63.28	61.6	69.44	57.68
80g 蚯蚓土樣	65.52	62.72	57.96	47.88	53.48
160g 蚯蚓土樣	65.52	50.4	59.36	50.12	56.56

註：單位(g/kg)

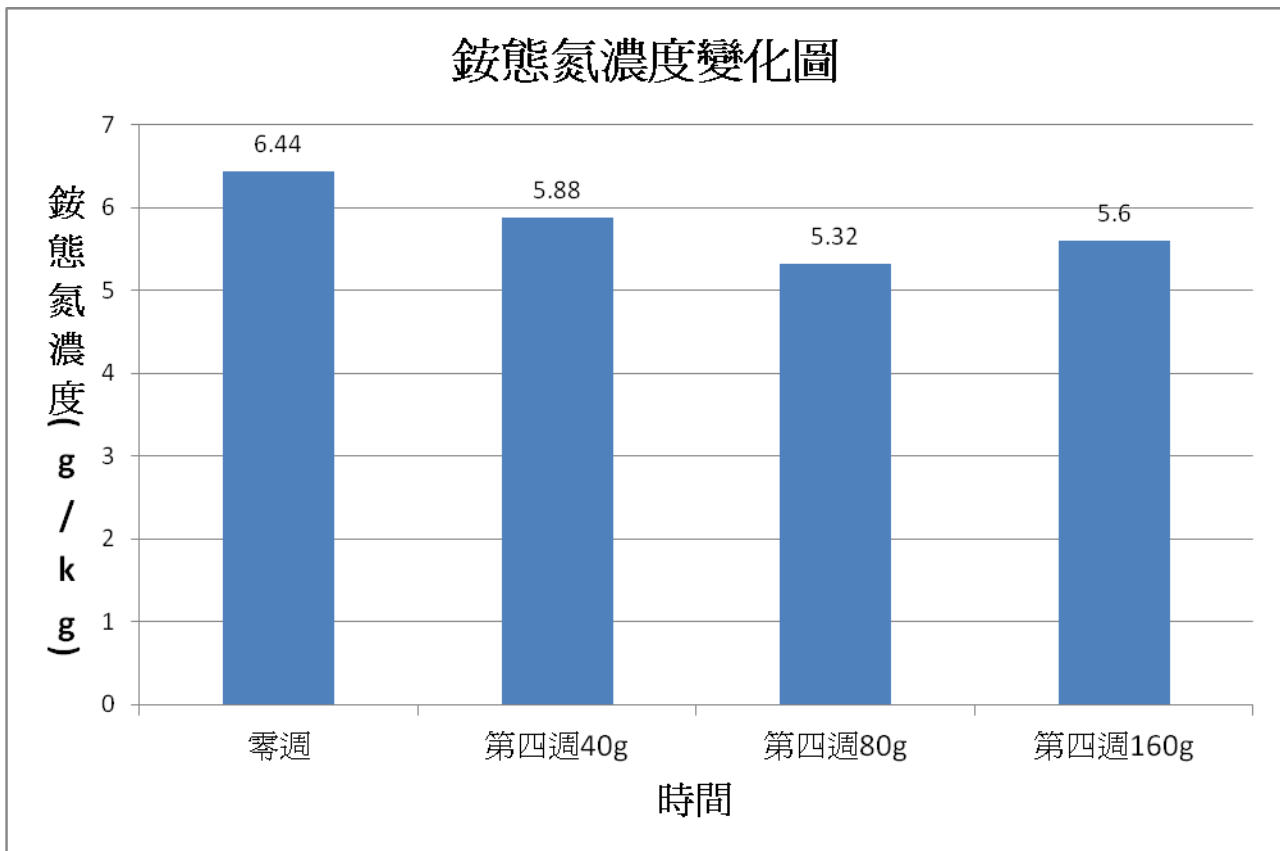


(圖 43)

(表格 5)

銨態氮	
零週	6.44
第四週 40g 蚯蚓土樣	5.88
第四週 80g 蚯蚓土樣	5.32
第四週 160g 蚯蚓土樣	5.6

註：單位(g/kg)

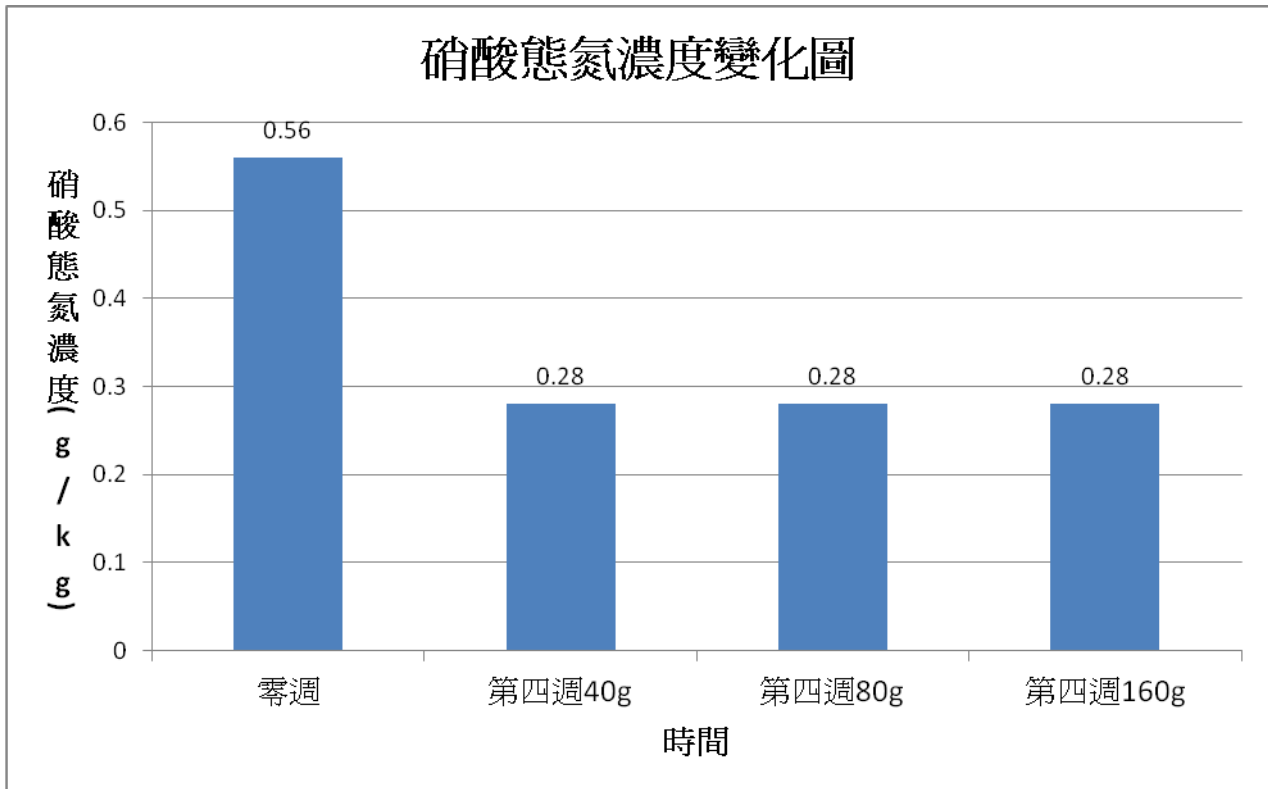


(圖 44)

(表格 6)

硝酸態氮	
零週	0.56
第四週 40g 蚯蚓土樣	0.28
第四週 80g 蚯蚓土樣	0.28
第四週 160g 蚯蚓土樣	0.28

註：單位(g/kg)

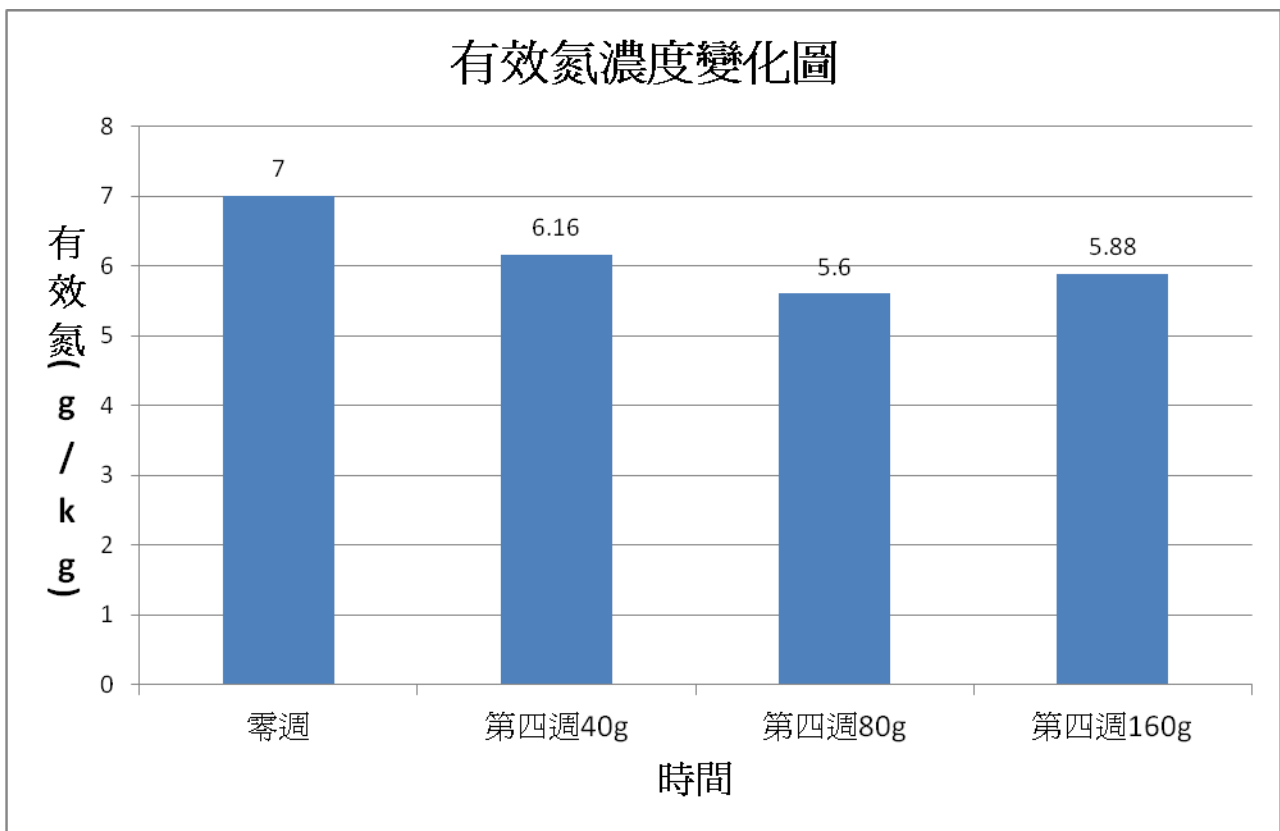


(圖 45)

(表格 7)

有效氮	
零週	7
第四週 40g 蚯蚓土樣	6.16
第四週 80g 蚯蚓土樣	5.6
第四週 160g 蚯蚓土樣	5.88

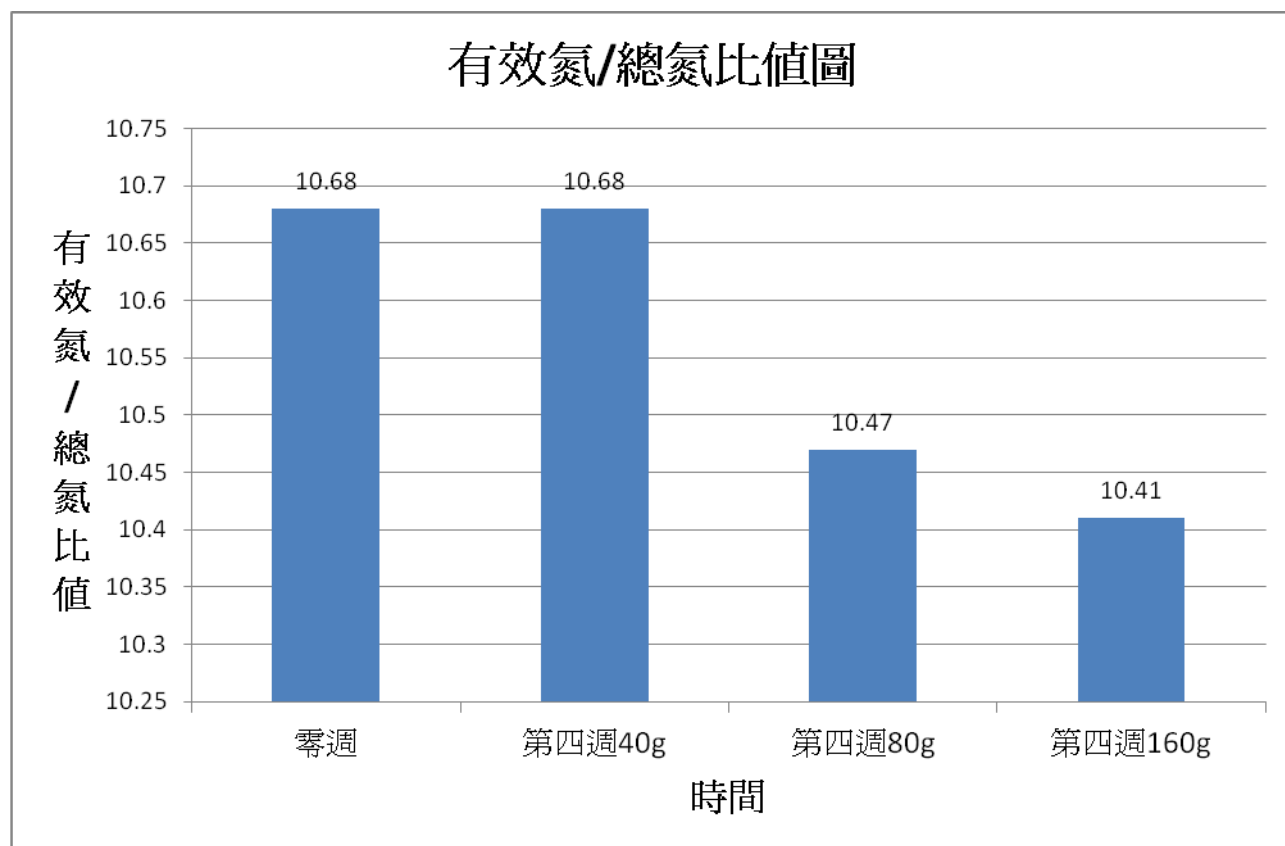
註：單位(g/kg)



(圖 46)

(表格 8)

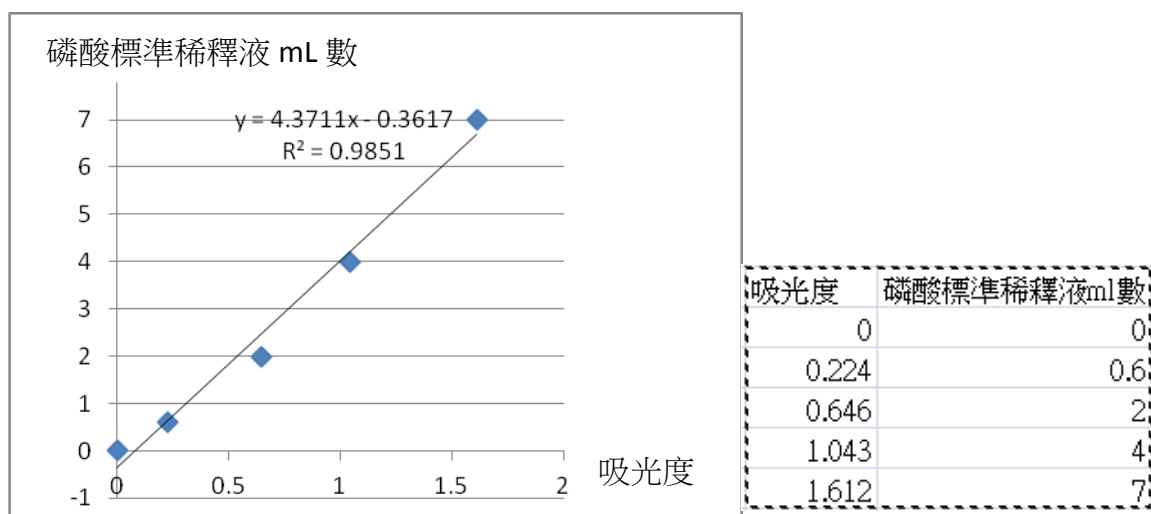
有效氮/總氮比值	
零週	10.68
第四週 40g 蚯蚓土樣	10.68
第四週 80g 蚯蚓土樣	10.47
第四週 160g 蚯蚓土樣	10.41



(圖 47)

五、總磷(mg/kg)

※磷標準曲線圖

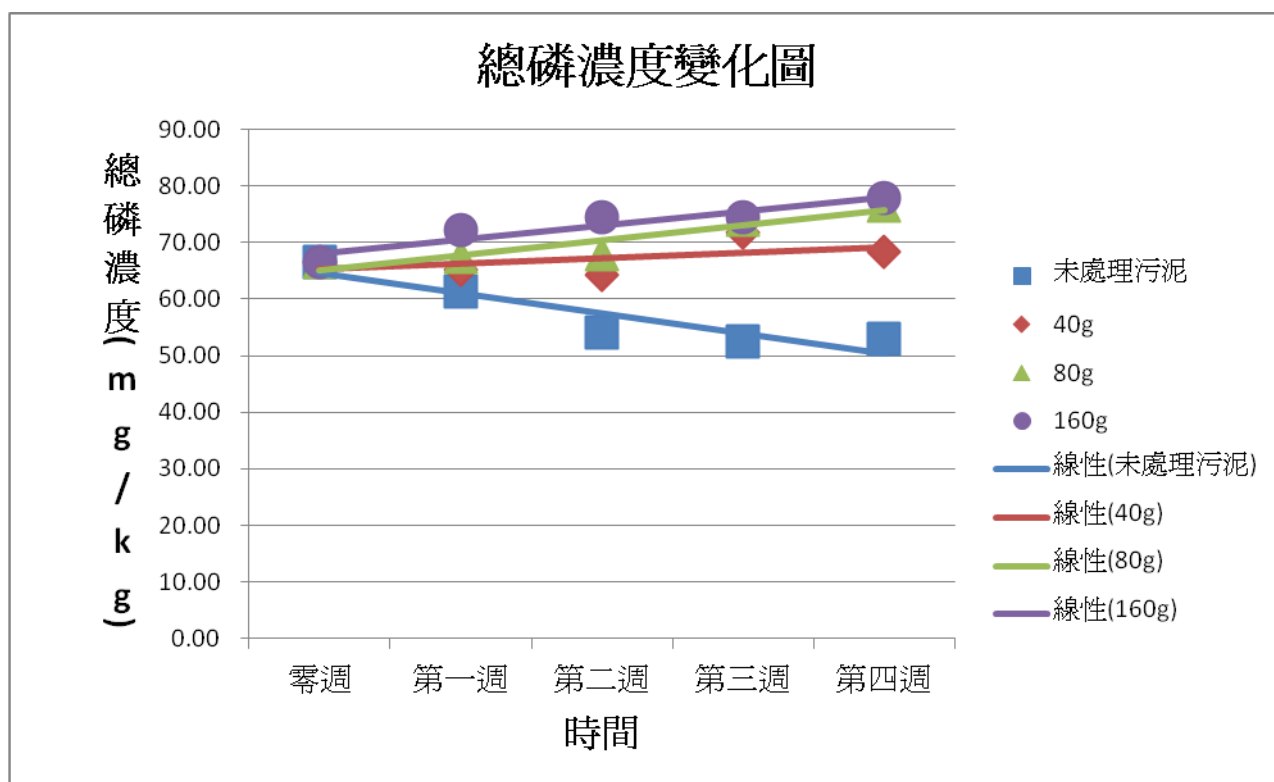


(圖 48)

(表格 9)

	零週	第一週	第二週	第三週	第四週
未處理污泥	66.55	61.42	54.19	52.49	52.92
40g 蚯蚓土樣	66.55	65.23	64.36	71.79	68.29
80g 蚯蚓土樣	66.55	67.42	67.86	73.98	76.60
160g 蚯蚓土樣	66.55	72.23	74.41	74.41	77.91

註：單位(mg/kg)



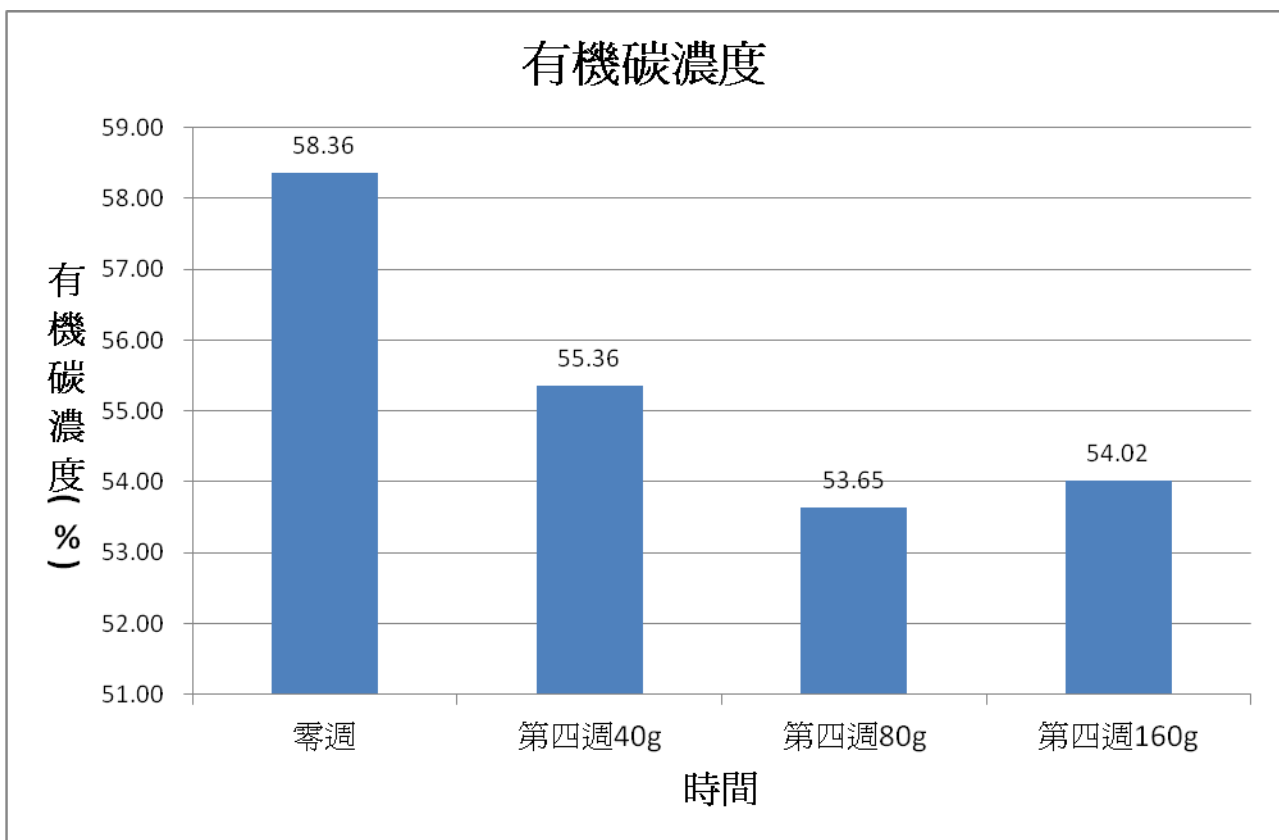
(圖 49)

六、有機碳(%)

(表格 10)

零週	58.36
第四週 40g 蚯蚓土樣	55.36
第四週 80g 蚯蚓土樣	53.65
第四週 160g 蚯蚓土樣	54.02

註：單位(%)



(圖 50)

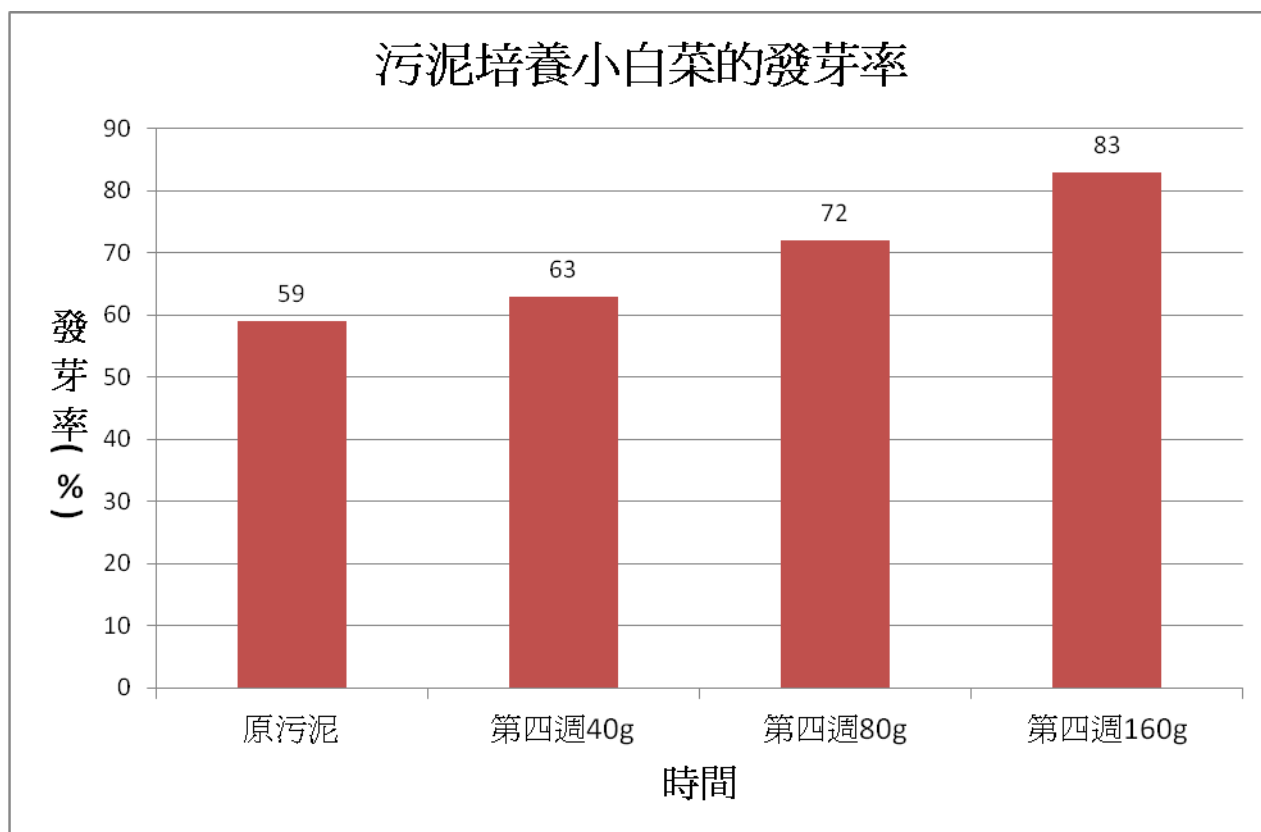
七、發芽率

1. 污泥培養小白菜的發芽率(%)

(表格 11)

平均值	
原污泥	59
第四週 40g 蚯蚓土樣	63
第四週 80g 蚯蚓土樣	72
第四週 160g 蚯蚓土樣	83

註：單位(%)



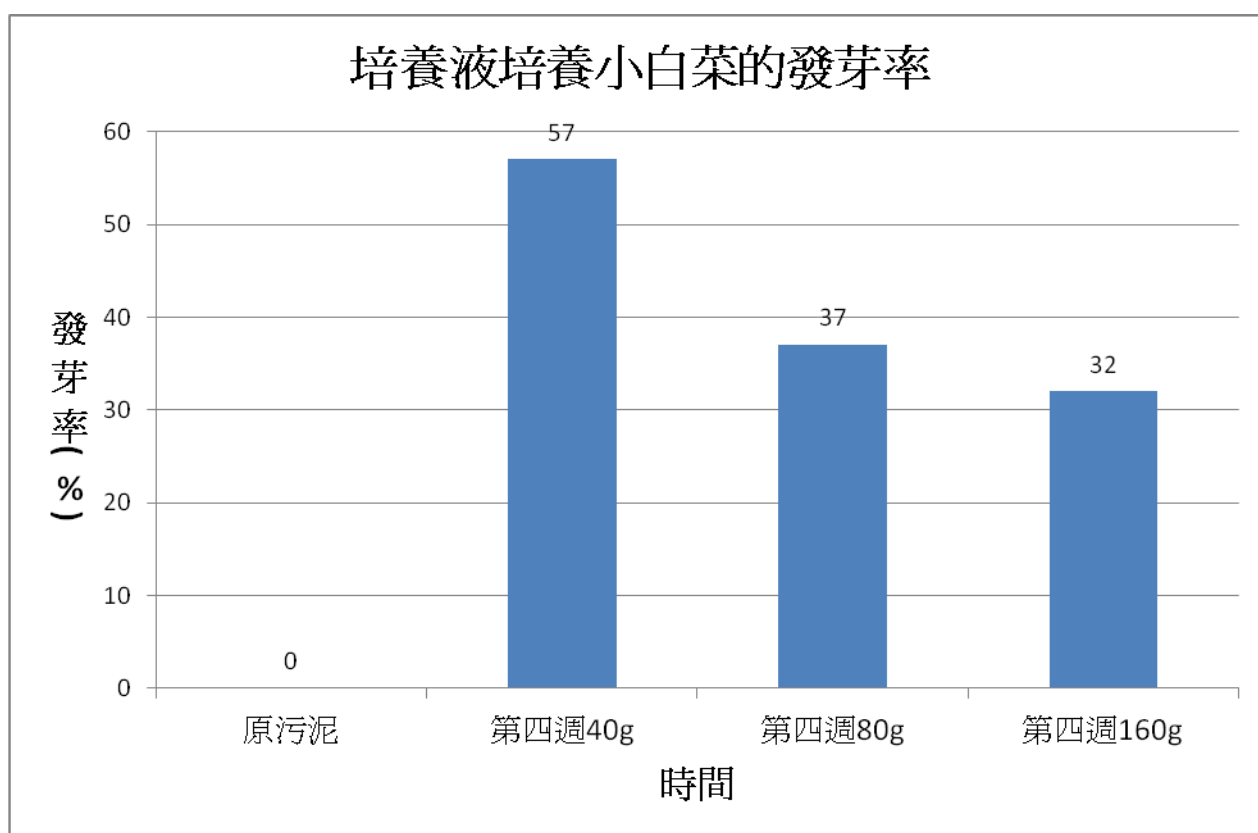
(圖 51)

2. 培養液培養小白菜的發芽率(%)

(表格 12)

平均值	
原污泥	0
第四週 40g 蚯蚓土樣	28.5
第四週 80g 蚯蚓土樣	18.5
第四週 160g 蚯蚓土樣	16

註：單位(%)



(圖 52)

八、吸水能力測試

(表格 13)

	吸水時間	透水時間
原污泥	124 秒	14 秒
第四週 40g 蚯蚓土樣	26.3 秒	13 秒
第四週 80g 蚯蚓土樣	30.6 秒	11 秒
第四週 160g 蚯蚓土樣	31.2 秒	11 秒

九、污泥中總生菌數及大腸桿菌數改變(CFU/mL)

	總生菌數	大腸桿菌數
原污泥	31600000	104000
40g 蚯蚓土樣	17000000	42500

十、蚯蚓生長線

	克
第一週	0.128
第二週	0.275
第三週	0.427

陸、討論

一、污泥的含水率變化

因在冬天飼養，故含水率的變化量不大。潮濕的土壤適合蚯蚓生活，並且不會想要逃離培養箱。若在夏天飼養，炎熱的天氣會使蚯蚓爬出土面，甚至「逃家」。

二、污泥的 pH 值變化

pH 值整體有慢慢朝向中性(6.18→接近 7)的趨勢，故可以證明蚯蚓及土壤的微生物協同作用能改善土壤的酸鹼值，以利作物的生長。而在第三週的實驗中，發現整體都有變酸的趨勢，研判是因為在第三週時蚯蚓活動範圍內的土已經幾乎被蚯蚓吃完，而最下層的土因為缺氧環境而形成類似黑膠狀的污泥(圖 53)，產生硫化氫 H_2S ，形成酸性，在取樣過程中因為充分攪拌，導致實驗結果漸趨酸性。而在第四週時因為上層的土已經被蚯蚓消化過，蚯蚓開始往原本已經酸化的下層吃，而使原本已酸化的土再次被轉化為較為中性的蚓糞，導致最後一週的數據再次趨向中性。但在第四週時的 40g pH 值卻沒有變化(5.99)，判斷應為 40g 蚯蚓並沒有將上層活動範圍的土完全吃完，因為取樣時的攪拌而使數值並沒有太大變化。



(圖 53)

三、污泥滲出液的電導度變化

電導度代表了土壤中水溶性鹽類的濃度。電導度越高代表污泥中的鹽類越多，但如果電導度太高，反而造成「鹽害」，對植物的生長不利。40 及 80g 蚯蚓處理後污泥的電導度從 3.71ms/cm 降至 2.33 及 3.26，160g 蚯蚓處理後的污泥電導度增加至 4.70ms/cm。從小白菜發芽率實驗中得知，經蚯蚓及土壤的微生物協同作用後的土壤並不會對小白菜造成鹽害，同時較高的電導度有利於植物的生長。

四、污泥的總氮和有效氮變化

(一)總氮

氮是植物施肥管理中最重要元素，對植物的生長及發育的影響也最大，其中光合作用有關的葉綠素或與生物活動有關的酵素，也都與氮有密不可分的關係，所以氮也被列在肥料三要素(氮、磷、鉀)中。未經處蚯蚓處理的污泥從實驗數據中，總氮含量並沒有明顯變化。圖 43 中的三條趨勢線都顯示總氮含量有減少的現象，總氮的含量由原污泥的 65.52 g/kg 分別降至 57.68g/kg (40g 蚯蚓)、53.48(80g 蚯蚓)及 56.56g/kg(160g 蚯蚓)，這與污泥中有機質在蚯蚓和微生物的共同作用下分解有關，隨著污泥放置時間的增加，蚯蚓和微生物作用加速了污泥中的總氮分解，另外蚯蚓活動也會造成污泥中總氮的揮發損失。實驗結果顯示不同蚯蚓重量克數下的污泥總氮變化，為 40g 這一組降低最少，越多蚯蚓克數之樣所降低越多。

(二)有效氮

有效氮是土壤中較容易被植物吸收的氮，主要為銨態氮、硝酸態氮及一些簡單的多肽組成，均為土壤肥力的重要參數。而在實驗中，測得經過蚯蚓轉化後的污泥與原污泥的有效氮含量有減少之趨勢[原污泥 7.00 g/kg、6.16 g/kg (40g 蚯蚓)、5.60 g/kg (80g 蚯蚓)、5.88 g/kg (160g 蚯蚓)]，但在總氮實驗中，發現各克數的總氮含量皆有下降的趨勢，經計算其有效氮與總氮的比值，原污泥為 10.68%、40g~160g 蚯蚓分別為 10.68%、10.47%及 10.41%，差異性均相當小，故可得知污泥中下降的氮應為植物較無法吸收的氮。

五、污泥的總磷變化

磷為植物種子萌芽、行光合作用、合成蛋白質、新陳代謝等所需的重要元素，此外，磷可促進開花及結果。從數據中可看出，第四週每種蚯蚓克數的污泥磷含量明顯都比第一次的磷含量 66.55mg/kg 要來的多，可能是蚯蚓和微生物的協同作用下，污泥中磷的濃縮。而第四週取樣的四個污泥樣品的磷含量都趨近於 70mg/kg，160g 蚯蚓的污泥從第二週取樣後數值變化不大，可以推論其總磷的含量已達穩定，5kg 的污泥已經處理的差不多了，故數值沒有太大的變化。

六、污泥的有機碳變化

土壤中的有機物質主要來源是動物和植物，當它們被分解而不能再被辨識時稱為土壤有機質。結果顯示第四週的三個樣品的有機碳含量都比最初的污泥要來的低(從 58.36%分別降低至 55.36、53.65 及 54.02%)，應為蚯蚓和微生物分解污泥中的有機質。而最初的污泥有機碳已達 58.36%，因取得污泥的工廠為食品加工工廠，污泥皆為動物性的殘留物組成的緣故。

七、發芽率

(一)污泥培養小白菜的發芽率：土壤中有機鹽類的離子是植物生長的重要角色，適當的離子能使作物生長得較好。第四週 160g 蚯蚓處理過的污泥發芽率達 83%(圖 54)，因污泥中的離子最多(電導度最高)，故發芽狀況比其他組好。

(二)培養液培養小白菜的發芽率：培養液發芽率，第四週 160g 蚯蚓處理過的培養液發芽率反而較低(圖 55)。可能是因培養液的配置過程是用 80°C 蒸餾水加入乾燥污泥中配製，因在高溫的水中，污泥中的離子會大量溶出，所以污泥電導度越高，溶出的離子也越多。第四週 160g 蚯蚓處理過的污泥電導度最高，加入 80°C 蒸餾水後的大量離子抑制了植物的生長。

(三)比較兩種發芽率實驗呈現相反的關係，原因在於高溫的水溶出大量離子釋出，因而抑制植物生長。原污泥含有不利於植物生長之物質，故大量溶出後使得萌發率為 0，故未經處理之原污泥不可直接於種植作物(圖 56)。



(圖 54)

(圖 55)

(圖 56)

八、污泥的吸水能力變化

蚯蚓在土壤中會來回穿洞，製造大大小小的天然孔道，蚯蚓活動的孔道及排出的蚓糞相互堆疊形成的非毛細管孔隙，可增加土壤的通氣及透水力，以自行設計的實驗測試證實，經過蚯蚓處理過後的污泥之吸水能力(平均約 28 秒)明顯比原污泥(124 秒)好，證明蚯蚓活動確實能增加土壤的通氣性和吸水力，而且土壤的含氧量也因此升高，這有利於好氧性微生物的生長(如：亞硝酸菌與硝酸菌)，並有助植物根部的呼吸。

九. 蚯蚓與微生物的聯合作用

蚯蚓是一種雜食性環節動物，吞食土壤後蚯蚓消化道內可分泌出多種酶，可使有機物質被分解成為利於植物吸收的低分子化合物。在這過程中包括蚯蚓砂囊的機械研磨作用，也包括腸道內的生物化學消化作用，此外還有微生物廣泛分布於蚯蚓體內與污泥中，而且在種類和數量的動態變化相當複雜。而本實驗的結果也顯示蚯蚓和微生物的協同作用對於有機質的分解以及礦物營養鹽的釋放有非常重要的影響。在污泥中總菌數及大腸桿菌數改變的實驗中，經蚯蚓處理後的污泥其總生菌數及大腸桿菌數都比原污泥要來的少(總生菌數 31600000→17000000)(大腸桿菌數 104000→42500)。同時對於土壤的改變方面除了在各元素成分上的增減之外，還大大的改變了土壤的環境及特性，並促進碳、氮、磷等循環的進行。

十. 污泥的異味消除

最初從工廠拿回來的污泥如泥巴狀般(圖 57)，帶有濃厚的腐臭味令人作嘔。經過蚯蚓幾個禮拜的處理，污泥已成土的樣子(圖 58)，不再是泥狀，而臭味也幾乎完全消失。污泥中有許多臭味因子，如有機硫化物、含氮化合物、有機酸及少數含氧碳氫化合物等，蚯蚓吞食污泥時可透過其消化道內許多的酶及微生物將這些臭味因子分解，並以蚓糞的形式排出



(圖 57)



(圖 58)



(圖 59)

柒、結論

由上述討論可以得到下列重要結論：

一、污泥中 pH 值整體有慢慢朝向中性(6.18→接近 7)的趨勢，故可以證明蚯蚓能改善土壤的酸鹼值。而蚯蚓活動達不到的範圍因為處於厭氧環境造成土壤酸化，因此在 40g 蚯蚓樣中污泥偏酸。

二、污泥中總氮含量變化，三種不同克數蚯蚓重量處理的污泥都呈現減少的趨勢。可能是蚯蚓和污泥中微生物作用加速了污泥中的全氮分解，故總氮含量下降。而 40g 重的蚯蚓數量最少，所分解的全氮也較少，所以總氮含量降低的最少。

三、污泥中總磷含量變化，三種不同克數蚯蚓重量處理的污泥都呈現增加的趨勢。可能是污泥經蚯蚓食用後，污泥量逐漸減少、濃縮效應因而增加總磷含量，第四週的樣品總磷含量差異皆不大，代表污泥中的總磷含量已趨近穩定狀態。

四、污泥中有機碳含量變化，三種不同克數蚯蚓重量處理的污泥都呈現減少的趨勢，說明蚯蚓因自身生長所需吃掉了有機碳。有機質皆被分解成腐殖質時，即可以給予植物生長的能力。

五、從污泥發芽率中明顯看出，蚯蚓處理過污泥的發芽情況比沒有處理過的污泥要好，因此能得知微生物和蚯蚓處理過的土壤有利於植物種子萌發及生長。

六、污泥的吸水能力變化，經過蚯蚓處理過後的污泥明顯比原污泥好，證明蚯蚓活動確實能增加土壤的通氣性和吸水力。

七、經 40g 蚯蚓處理過後的污泥中總生菌數及大腸桿菌數大幅下降，推論為蚯蚓在攝食污泥的過程中也吃進大量的微生物。

捌、未來展望

1. 經由實驗發現經過蚯蚓及微生物作用過的污泥對植物的發芽率有明顯幫助，期望未來能將此種方法實際應用在農業上。將各種植物所需蚯蚓及土的比例數據化，找出最有利於植物生長的蚯蚓及土的比例，並減少化學肥料的使用。
2. 我們希望能夠更進一步地探討蚯蚓是否能處理其他對環境有害的廢棄物，如含重金屬的土壤等等。
3. 我們發現蚯蚓在處理污泥的過程中，微生物也扮演著重要的角色，所以我們會繼續探討蚯蚓與微生物間的協同作用，並且對微生物進行更多地認識。

玖、參考資料及其他

1. 陳仁炫 土壤與肥料分析手冊 中華土壤肥料學會編印 2008
2. 行政院國家科學委員會
<http://web1.nsc.gov.tw/ctpd.a.aspx?xItem=14114&ctNode=76&mp=8>
3. 行政院環境保護署 環境檢驗所
http://www.niea.gov.tw/analysis/epa_www.htm
4. 維基百科
 - 蚯蚓
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%9A%AF%E8%9A%93>
 - 氮循環
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B0%AE%E5%BE%AA%E7%8E%AF>
5. 馮春 2008 城市污水處理廠污泥蚯蚓堆肥技術研究論文
6. 任淑仙 無脊椎動物學 淑馨出版社 1995 初版
7. 應用生物(全) 龍騰文化
8. 觀樹教育基金會 裡山塾環境學習中心
<http://www.kskk.org.tw/food/node/56>

【評語】 040704

運用清除者處理環污的思考方向值得嘉許，但蚯蚓品系有外來種的可能衍生性問題應列入考量。實驗方法或結果中尚有可呈現但未呈現之處，如含水量 VS 氮、磷、碳的變化，以及微生物的貢獻度(%)占整體效果的影響程度，未在資料呈現上較為可惜！