

彰化縣 114 學年度國民中小學學生獨立研究作品甄選
作品說明書

作品編號：

組別：
☐國小組
☐數學類
☒國中組
☒自然與科學類
☐人文社會類

作品名稱：

腳下的寶藏－
植物根系、淤泥、紅土與堆肥的微電力來源探究

壹、研究訓練階段

一、近二年學校獨立研究課程之規劃

(一)、本校獨立研究課程目標：

1. 早自修時間及周六早上時段，培訓科目為數學、英文自然科學、創意語文。
2. 輔導室統籌規劃結合熱心且具備相關指導經驗的教師組成各科教學團隊。
3. 學生依照自己興趣選擇數理或語文兩大領域，教師導學生從課本延伸，找尋研究題材，進行主題探究。
4. 在硬體方面提供生物、理化、地科實驗研究器材、電腦設備的使用及資訊編輯軟體。
5. 提供歷年彰化縣獨立研究之成果資料供學生參閱。

(二)、本校獨立研究課程目標：

1. 提供學生適性學習，發揮潛能。
2. 培養學生探索的精神和思維之能力。
3. 培養學生解決問題、研究問題的能力。
4. 學習科學態度和科學道德，掌握科學研究的方法。
5. 培養學生社會責任感和互助合作的精神。

二、學校如何提供該生獨立研究訓練

(一)、資優資源班的學生:藉由獨立研究課程來訓練學生的研究能力，及情意課程來培養學生的表達與溝通能力。

(二)、非資優資源班的學生:將有興趣的學生，引導適當的指導老師，指導老師利用課餘時間，團體討論尋求研究的主題及分工來進行研究課程，並指導學生撰寫研究內容與格式，學校會提供場地與相關的設備。

結語:學校希望藉由這個過程讓學生了解生活中的問題，透過創意的想法、科學的方法、嚴謹的過程來將問題解決，或者改善生活。

貳、獨立研究階段

摘要

本研究目的旨在了解不同土壤條件對土壤發電效能的影響，並探討土壤發電作為微型能源的可行性。研究將比較不同來源與性質之土壤（如一般土壤、植物根系周圍土壤、八堡圳之黑土、大肚區紅土、水溝淤土、堆肥土）在酸鹼值、含水量及電壓表現上的差異，並評估不同測量工具對電壓量測的準確性。研究得知：1. 土壤電壓除受 pH 影響外，亦與土壤顆粒分布、含水量及植物根系活動有關，為多因素共同作用的結果；2. 離子濃度與水分是影響電壓的重要因素。3. 混合堆肥能同時改善 pH 與離子條件，使土壤產生較穩定且較高的電壓。4. 三用電錶與電壓計測得電壓不同，主要因兩者內阻不同，導致在高內阻系統中產生負載效應，使量測結果出現差異。

一、研究動機

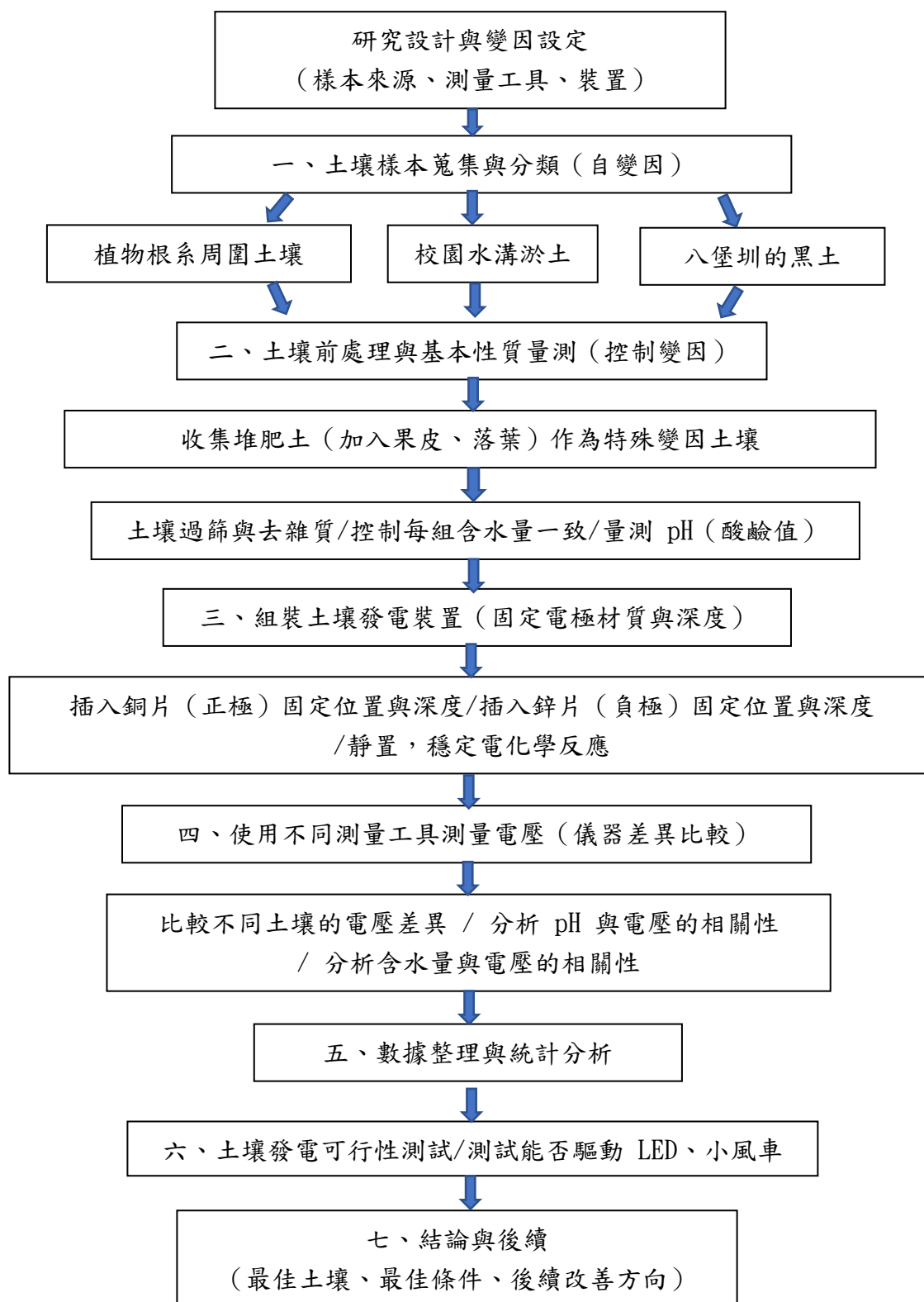
近年氣候變遷越來越嚴重，全球對能源的需求也持續上升。傳統能源會排放大量溫室氣體，再生能源雖然越來越普及，但設備成本高、受天氣影響大，也需要很多空間。於是我們開始思考：生活中是不是有一些隨手可得、對環境影響小的材料，也能產生電力呢？

我們注意到土壤裡含有很多微生物、有機質和水分，這些成分可能透過自然的化學反應產生微量電能。尤其是堆肥後的土壤，可能是一種低成本、環境友善的微電力來源。基於這個想法，我們想探討不同土壤條件對發電能力的影響，希望找到提升土壤發電效率的方法。未來，這樣的技術可能可以用在小型感測器、偏遠地區供電或環境監測上。

二、擬定正式計畫、研究問題及工作進度表

(一)、擬定正式計畫

表 2-1 正式計畫



(二)、研究問題

1. 比較不同植物根系周圍土壤的特性
2. 了解不同地點之土壤的電壓與 pH 值表現
3. 了解八堡圳之黑土電壓與 pH 值
4. 了解土壤添加酸鹼溶液後之電壓變化
5. 了解堆肥土壤的電壓輸出與酸鹼值變化
6. 比較不同測量工具取得的電壓差異
7. 綜合分析土壤發電的可行性與應用潛力

(三)、工作進度表

表 2-2 工作進度表

時間 \ 工作	9/5 ~ 9/10	9/11 ~ 9/12	9/13 ~ 9/15	9/16 ~ 9/22	9/23 ~ 9/29	9/30 ~ 10/6	10/7 ~ 10/13	10/14 ~ 10/20	10/21 ~ 10/27	10/28 ~ 11/3	11/4 ~ 11/10	11/11 ~ 11/17	11/18 ~ 11/15
擬定研究題目													
資料收集 /討論													
擬定工作計畫表 /正式計畫													
準備材料 /討論													
設計實驗內容													
正式實驗													
數據分析													
結果與 討論													
撰寫報告													

三、彙整相關文獻

(一)、土壤

土壤是由岩石經過長期的風化作用，再經過氣候、生物、地形和時間等五大因素的交互作用，最終形成可供植物生長的介質。這個過程從岩石被物理和化學作用破壞，分解成細小的顆粒，並逐漸累積有機質和礦物質，最終形成複雜的土壤結構。

1. 土壤形成的過程

(1)母岩風化：一切始於岩石，物理風化（如結冰、解凍、風吹雨淋）和化學風化（如水解、氧化還原）會使堅硬的岩石崩解成鬆散的顆粒。

(2)成土作用：

①生物作用：植物的根系和微生物的分解作用是土壤形成的重要推手，植物殘骸和動物排泄物會累積有機質，微生物將這些有機物分解成腐植質，增加土壤的養分和肥力。

②氣候影響：溫度和雨量是主要的氣候因子，高溫多雨的環境會加速風化和淋洗作用，高溫少雨則可能形成鹼性土壤。

③地形影響：坡度會影響水分的滯留和移動，平坦的地形有利於水分滲透，加速土壤的成熟；陡峭的山坡則容易被沖刷，土壤較淺薄。

④時間累積：土壤的形成是緩慢的過程，可能需要數百年才能形成一公分厚的土壤，因此時間是決定土壤發育程度的重要因素。

2. 土壤的組成

(1)礦物質：風化後的岩石顆粒是土壤的主要成分。

(2)有機質：動植物殘骸分解後形成的腐植質，能改善土壤結構並提供養分。

(3)水分與空氣：土壤孔隙中充滿了水分和空氣，這兩者對於植物的生長和養分運輸至關重要。

(二)、土壤發電原理

當把兩片浸在鹽水中的電極（不同的金屬片）連接電路，電子較活躍的一方便會放出電子。電子沿電線走向另一端電極，並為途經的裝置（例如馬達或燈泡）提供電力。當金屬片因放電而變成正電荷，帶負電荷的自由離子（負離子）便會被它吸引而在電極上聚集，如此一來，電極的正電荷便被抵消了。同樣，另一邊因吸收電子而帶負電荷的電極會吸引正離子，把負電荷抵消。因此在電種離子的抵消作用下，兩邊電極便能保持中性，電子便可以繼續流動，提供穩定的電力。鹽水能導電，因當中包含大量帶電荷的自由離子，例如由食鹽分解而來、帶負電荷的氯離子和帶正電荷的鈉離子，像鹽水這種以用自由離子來導電的物質，稱為「電解質」。

土壤電池的發電原理同上述說明，加去離子水作為溶液，是不要溶液中自由離子影響實驗結果。用鋅、銅作為電池兩極材料，以「銅」作為「正」極，「鋅」作為「負」極，所產生電壓最大。固定電池的電極插入深度，電極距離越大，電流強度反而變小，但電壓值變化不大。

(三)、三用電表與鋅銅電池

1. 三用電表（又稱萬用電表）是一種多功能電子測量儀器，主要功能是測量電壓、電流和電阻，因此得名「三用」。
2. 鋅銅電池是一種電化學電池。

表 3-1 三用電表與鋅銅電池之比較		
種類 名稱	鋅銅電池	三用電表
功能	透過化學反應將化學能轉換為電能	測量電路中的各種電學量 (電壓、電流、電阻等)
類型	化學電源、伏打電池	電子測量儀器
能量 流向	輸出電能供外部電路使用	需要外部電源(通常是內置小電池)來運行，並接收來自被測電路的訊號進行分析
用途	科學實驗(教學、研究)、小型設備的電源。	電路故障排除、電子元件測試、電氣系統維護
原理	基於鋅和銅之間自發的氧化還原反應產生電位差	內部有精密的電路和感應器，用於量化電學特性。

(四)、電壓與電位差

電壓定義，會使得帶有負電的物體被拉往高電壓的地方，帶有正電的物體被拉往低電壓的地方。也因此電流從高電壓流向低電壓(電流的方向被定義為與正電荷在電路中移動的方向相同，雖然實際上是負電荷在往反方向移動)。電壓的單位是伏特(V)，也等於焦耳/庫倫。

表 3-2 電壓與電位差	
a. 電壓與接地	b. 電流與方向

四、資料分析

(一)材料準備

			
a. 二極體 LED	b. 三用電表	C. 玻璃棒	d. 電子秤
			
e. 燒杯	f. 量筒	g. 實驗風扇組	h. pH 計
			
i. 鑷子	j. 篩子	k. 鋅銅電池	l. 電壓計
表 4-1 實驗器材表			

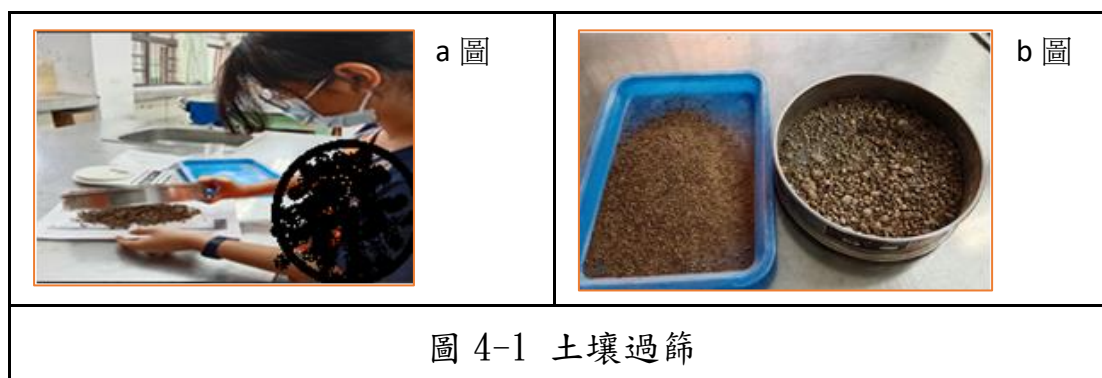
(二)、分析不同植物根系中土壤的酸鹼值、含水量、電壓。

1. 取樣：環泰步道取不同植物根部旁的土壤

表 4-2 植物根系土壤樣本與取樣處				
編號	A	B	C	D
植物名稱	茄苳樹	台灣欒樹	小葉欖仁	大花紫薇
經度	120.548469	120.547687	120.548087	120.550193
緯度	24.092861	24.092155	24.091289	24.092012
採樣照片				
行道樹				

2. 實驗步驟

- (1). 將土壤秤重後過篩(篩子:十目)，觀察顆粒大小之比例，並記錄。
- (2). 每處土壤，分別取 50 克的過篩土壤，放燒杯，然後，用試管裝水，用滴管滴水進入土壤中，直至土壤全部濕潤，記錄加入的水量。
- (3). 將步驟 2 的土壤分別加水 25 毫升，測電壓與 pH 值(每個土壤跟水的比例一樣)
- (4). 觀察有何變化和關聯。



3. 結果分析

(1) 顆粒大小之比例 (如表 4-3) 單位: 克

表 4-3 樣本土壤顆粒大小比例表格				
編號	A	B	C	D
原本的土壤	545	646	565	529
較細土壤	150	128	320	237
較粗土壤	395	518	245	292
土壤顏色	深咖啡色	咖啡色	淺黃色	咖啡色
比例(細:粗)	0.28 : 0.72	0.2 : 0.8	0.57 : 0.43	0.45 : 0.55
顆粒大小比例	0.38	0.25	1.3	0.81

由表 4-3 可知：各樣本土壤在顆粒大小分布上具有明顯差異，細顆粒含量： $C > D > A > B$ 。由顆粒細粗比例可知土壤保水能力最好的是 C；排水性最佳的是 B。

(2) 土壤最大容水量(如表 4-4)

本實驗是將相同質量 (50 g) 的土壤放入燒杯中，逐次加水並攪拌，直到土壤呈現濕潤但不積水的狀態，記錄所需的加水量作為土壤的最大容水量。因此，本實驗測得的是在攪拌條件下，土壤能吸附並保留的水量，而非自然狀態下的田間容水量。

表 4-4 土壤最大容水量分析				
編號	A	B	C	D
取土量(克)	50	50	50	50
加水量(毫升)	25	23	22	32
最大容水量%	50	46	44	64

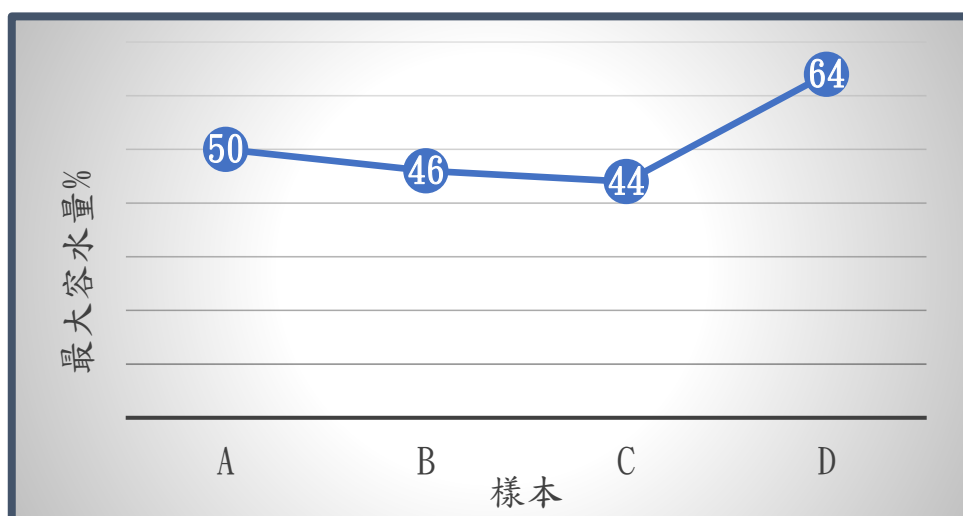


圖 4-2 最大容水量

吸水能力：D 最強，C 最弱，推測攪拌使水分進入顆粒間孔隙，D 可能具有較多可吸水的孔隙或有機質，即使顆粒略偏粗，仍能在攪拌下保留大量水分；而 C 雖細顆粒比例高，但顆粒可能過細攪拌後容易緊密堆積，減少可儲水的孔隙水分不易被吸附，反而容易流失，故顆粒大小不是唯一影響容水量的因素，跟孔隙結構與顆粒分布均勻度也會有關係。

(3)測土壤電壓(V)與 pH 值

(使用三用電表測電壓，使用 pH 計測定 pH 值)：土壤加水 25 毫升

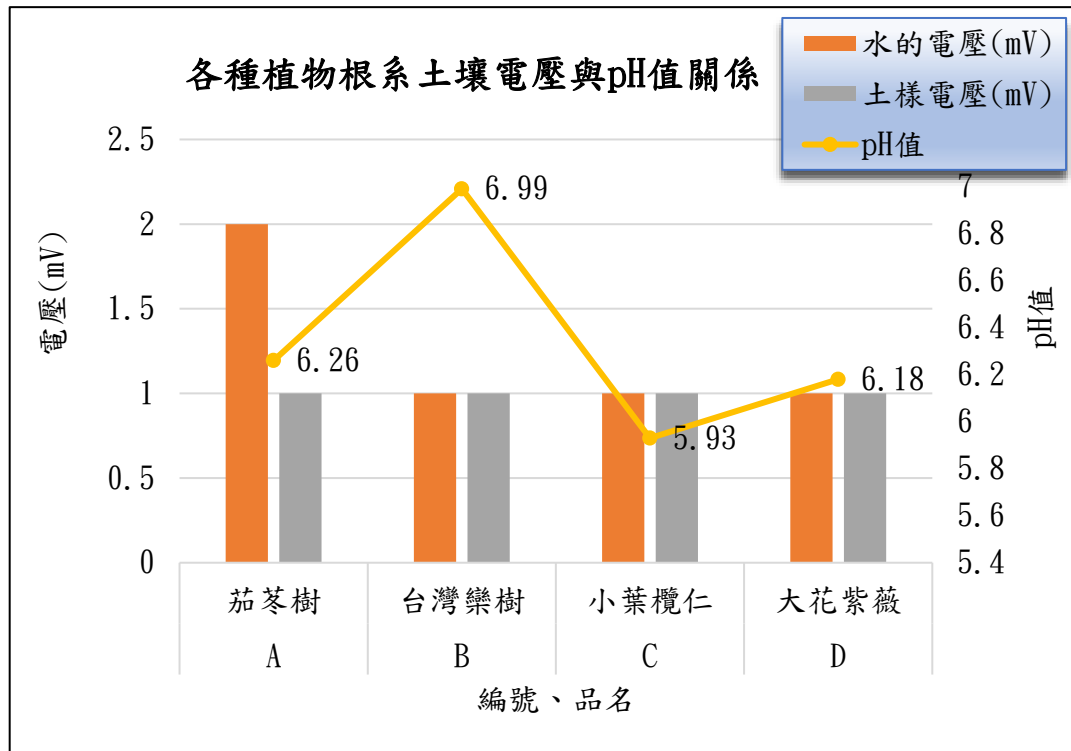


圖 4-3 各種植物根系土壤電壓與 PH 值關係

由圖可知，不同植物根系周圍的水與土壤電壓略有差異，其中茄苳樹的水電壓最高，而其餘植物皆約為 1 mV。土壤電壓在各植物間變化不大，這表示土壤本身的電壓較為穩定。pH 值介於 5.93 至 6.99 之間，皆屬微酸性至接近中性。比較結果顯示，電壓大小與 pH 值之間未呈現明顯的正相關，推測電壓變化可能主要受到水中離子濃度及植物根系活動影響，而非單由酸鹼值決定。

(三)分析校園內之水溝中的泥土與大肚區紅土之電壓與 pH 值：

本組研究環泰步道之喬木，其根系旁土壤之電壓，發現沒有預期中的好，因此進一步取校園內之水溝中的泥土，繼續作探討。

本實驗比較不同來源土壤，在原狀態、加水後（25 mL、50 mL）及靜置 3 天後 的電壓變化，並以清水作為對照組，以了解水分增加與時間對土壤電壓的影響。使用三用電表測電壓（V），取樣共五組(如表 4-5)，檢測校園內水溝中的土壤之電壓與 pH 值。

表 4-5 校園內之水溝中的泥土與大肚區紅土						
編號	E	F	G	H	I	對照
樣品名稱	乾水溝 的土	濕水溝 的土	水池 旁土	紅土	盆栽 土	水
pH 值	6.31	7.21	6.61	6.54	8.12	7.21
原電壓	0.001	0.068	0.026	0.001	0.089	0.007
(土+25ml 水) 電壓	0.027	0.020	0.013	0.006	0.033	0.007
(土+50ml 水) 電壓	0.032	0.021	0.018	0.007	0.035	0.002
(土+50ml 水) 3 天後電壓	0.036	0.022	0.022	0.012	0.045	0.008

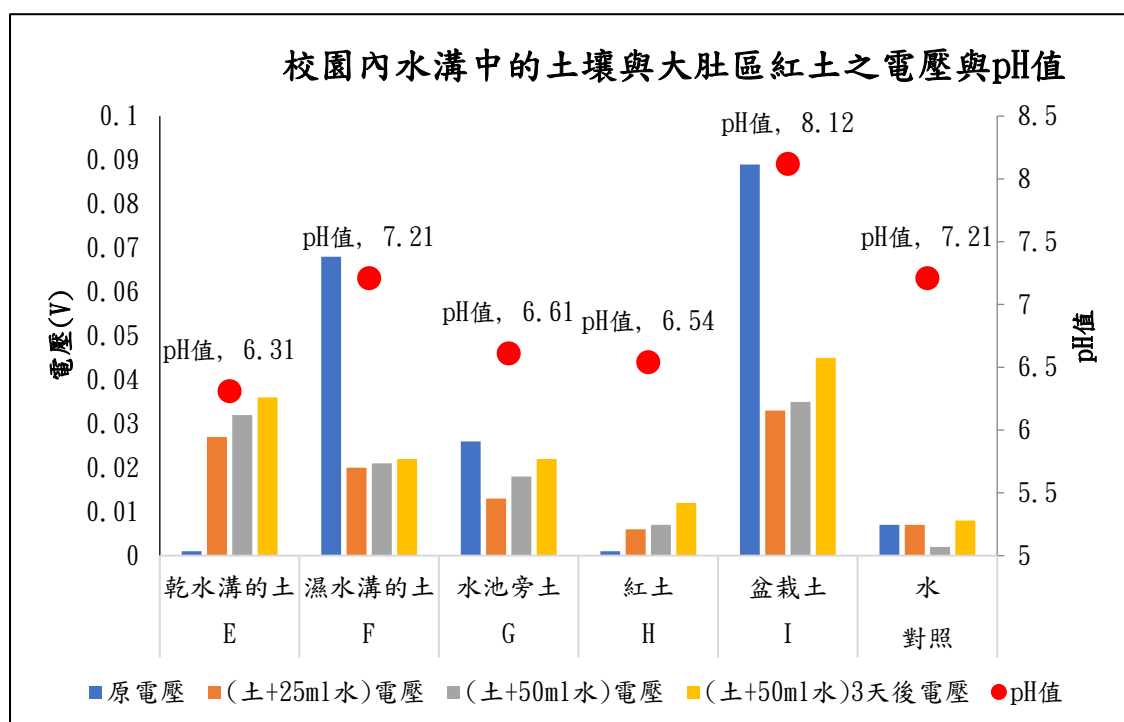


圖 4-4 校園內水溝土壤與大肚區紅土之電壓與 PH 值關係

由表 4-5、圖 4-4 可知，不同來源土壤在加水與放置時間改變後，電壓皆產生明顯變化。多數樣品在加水後電壓上升，顯示水分可促進土壤中離子的移動與電位差形成；靜置 3 天後，電壓進一步提高，推測與水分滲透及離子逐漸釋放有關。盆栽土在各階段電壓皆較高，可能因含有較多肥料或有機質。對照組水的電壓變化極小，表示電壓主要來自土壤本身，而非水。

(四)八堡圳之黑土電壓與 pH 值

本實驗比較八堡圳不同位置黑土，在原狀態、加水（25 mL、50 mL）及靜置 3 天後的電壓變化，並搭配顆粒大小與顏色，探討 水分、土壤結構與時間對電壓的影響。

表 4-6 八堡圳之黑土之電壓				
編號	1	2	3	4
座標(經度)	120.5389	120.53896	120.54323	120.54488
座標(度)	23.849136	23.846595	23.842339	23.842339
重量(g)	983	718	216	182
顆粒大小	較不平均	較大	較平均	較細
顏色	黑灰色	深灰色	深灰色	灰色
原電壓	0.042	0.06	0.046	0.03
(土+25ml 水) 電壓	0.004	0.001	0.002	0.044
(土+50ml 水) 電壓	0.01	0.004	0.003	0.058
(土+50ml 水) 3 天後電壓	0.035	0.01	0.017	0.064

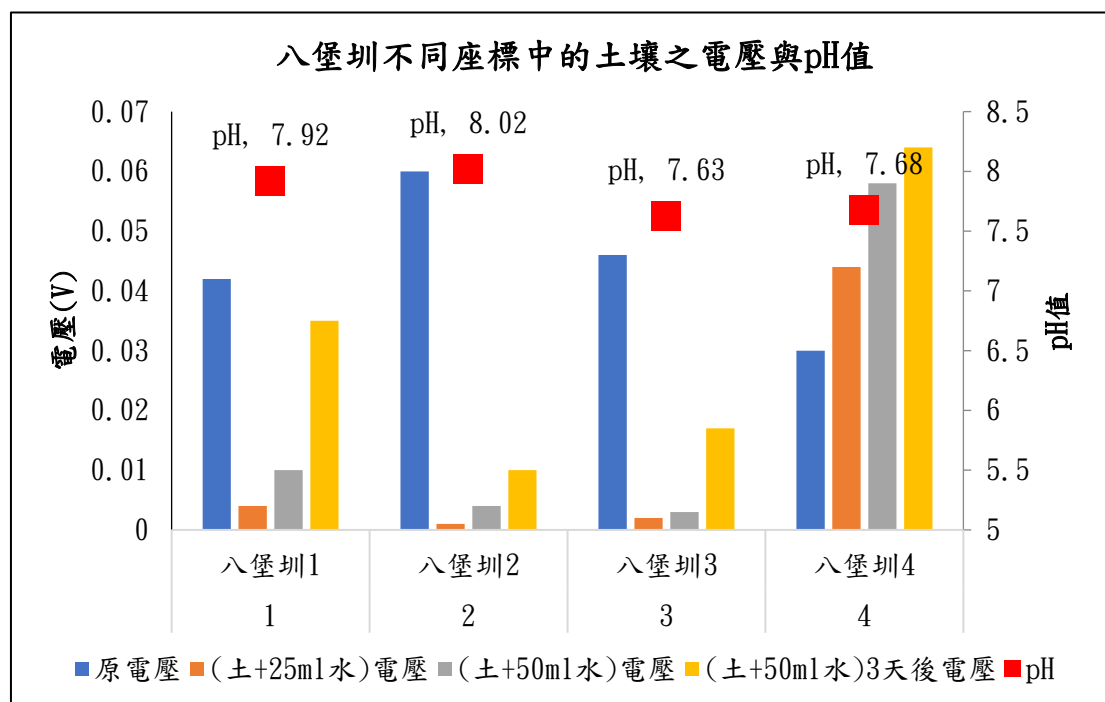


圖 4-5 八堡圳不同座標中的土壤之電壓與 PH 值

由表 4-6、圖 4-5 可知，八堡圳不同位置的黑土在加水與放置時間改變後，其電壓變化趨勢並不相同。

①原電壓（未加水）：

四個土壤樣品的原電壓約落在 0.03 – 0.06 V，八堡圳 2 的原電壓最高，pH 約介於 7.6 – 8.0（弱鹼性），表示不同座標的土壤，即使 pH 接近，仍存在電壓差異。

②加水後（+25 mL、+50 mL）

多數樣品在加水後：短時間內電壓下降，但在加 50 mL 水並放置 3 天後，電壓明顯上升，八堡圳 4 的電壓回升幅度最大，表示水分增加與時間放置，可能改善土壤中離子移動，使電化學反應更明顯。

（五）分別添加氫氧化鈉與鹽酸溶液觀察與電壓之變化

本實驗分別向樣品中加入酸性溶液（水：鹽酸 = 3：1）、鹼性溶液（水：氫氧化鈉 = 9：1），並以三用電表與銅鋅電壓計測量電壓，同時記錄 pH 值，以比較酸鹼環境對電壓的影響。

表 4-7 添加氫氧化鈉與鹽酸溶液觀察與電壓之變化					
組別(酸性液)	A1	B1	C1	D1	H1
三用電表(V)	0.016	0.014	0.025	0.02	0.032
銅鋅電壓計(V)	0.6	0.6	0.7	0.7	0.6
pH 值	2.04	2.13	1.9	2.02	2.12
組別(鹼性液)	A2	B2	C2	D2	H2
三用電表(V)	0.054	0.068	0.08	0.035	0.054
銅鋅電壓計(V)	1.2	1	1.1	1.1	1
pH 值	10.7	10.7	11.4	10.6	10.8

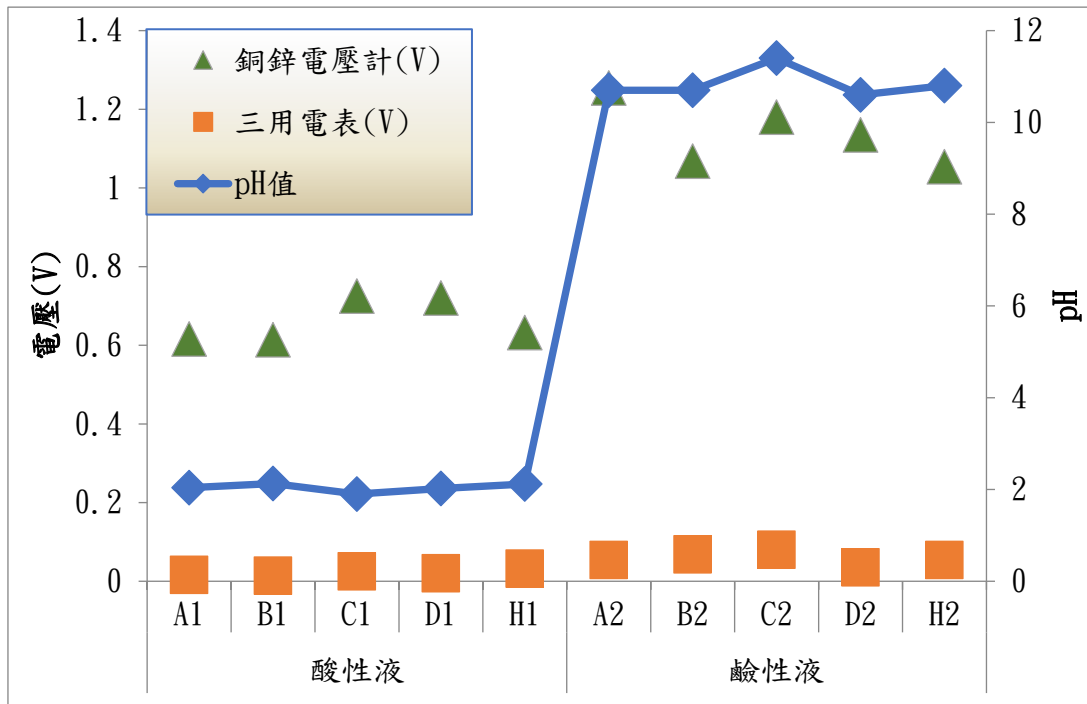


圖 4-6 添加酸鹼溶液之土壤與電壓及 PH 的關係

由表 4-7、圖 4-6 可知，土壤中加入酸液或鹼液，均會使電壓增加，陳尊賢-許正一(2002 台灣的土壤)有提到，酸性土壤會溶解土中的鐵、鋁及錳，導致溶解性的鐵、鋁及錳含量增加。而鹼性土壤的對電壓的增加由數據顯示更多；張仲明(1992，普通土壤學)也有提到，鹼土之 pH 值約在 8.5 至 10.0 之間，由於水解作用生成而生成之氫氧化鈉可溶解有機物，進而提高電導度及電壓。

(六) 堆肥之電壓與 PH 值

上述實驗之電壓未如預期，於是本組更進一步進行落葉、果皮與土壤做堆肥，想知是否有助電壓之提升。另外，也使用不同測量工具，想了解其與電壓之差異。

堆肥製作：分別取土(53 克)、水(8 克)與廚餘、落葉(8 克)秤重，然後分別鋪上一層土一層廢棄物，重複 3 次，最後密封。



表 4-8 堆肥添加物與氣味

編號	添加廚餘	堆肥外觀、氣味
G	原土	黑色、盆栽土
A	橘子	柑橘味，最香
B	香蕉	排泄物味
C	蘋果	酸味
D	西瓜	比 B 更濃的臭味
E	金露花葉	微酸，沒有很臭
F	仙丹花	微臭，嘔吐物，壞掉的乳製品味
1	西瓜皮、絲瓜皮、發財樹葉	微微臭
2	西瓜皮、絲瓜皮、榕樹葉	土味

由表 4-8 可觀察到，不同堆肥添加物會明顯影響堆肥的氣味強度與性質，氣味差異主要與添加物的含水量、糖分及分解速度有關。水果類含糖量高、含水量大，在缺氧或分解過快情況下，容易產生腐敗臭味，橘子因含有精油類物質，具有抑制異味的效果；而葉片纖維較多、分解較慢氣味較水果類溫和，若分解不完全，仍可能產生不好氣味。

混合型堆肥（1、2），加入樹葉可降低臭味，榕樹葉比例高時，氣味接近土壤，發財樹葉子水分較榕樹葉多，故增加乾燥植物材料有助於改善堆肥氣味。

2. 堆肥與電壓、PH 的關係

表 4-9 堆肥與電壓、pH				
編號	添加廚餘	電壓(V)		pH
		三用電錶	鋅銅電池電壓計	
G	原土	0.089	0.4	6.77
A	橘子	0.007	0.3	7.18
B	香蕉	0.116	0.4	7.14
C	蘋果	0.023	0.5	7.43
D	西瓜	0.022	0.4	7.43
E	金露花葉	0.022	0.2	6.8
F	仙丹花	0.007	0.2	6.63
1	西瓜皮、絲瓜皮、發財樹葉	0.075	0.5	8.23
2	西瓜皮、絲瓜皮、榕樹葉	0.109	0.3	7.87

電壓觀察：三用電錶測得的電壓普遍偏低（0.007 - 0.116 V），但香蕉(B)與混合蔬果樣品(2)較高。鋅銅電池電壓計測得的電壓差異大，最高可達 0.5 V（蘋果 C、混合樣品 1）。

整體看來，不同測量工具讀數差異明顯，顯示測量原理與內阻對結果有影響：三用電表量的是微弱電壓，內阻高測量較保守。鋅銅電池電壓計可產生小電化學反應測量值較高。

pH 觀察：原土(G)略酸性 (6.77)。加入水果（橘子、香蕉、蘋果、西瓜）大多偏鹼性 7.14 – 7.43。花葉(E、F)略偏酸性 6.63 – 6.8。混合蔬果與葉片(1、2)偏鹼，特別是樣品 1 達到 8.23。故水果、瓜果皮、發財樹、榕樹葉等添加物會讓堆肥偏鹼。

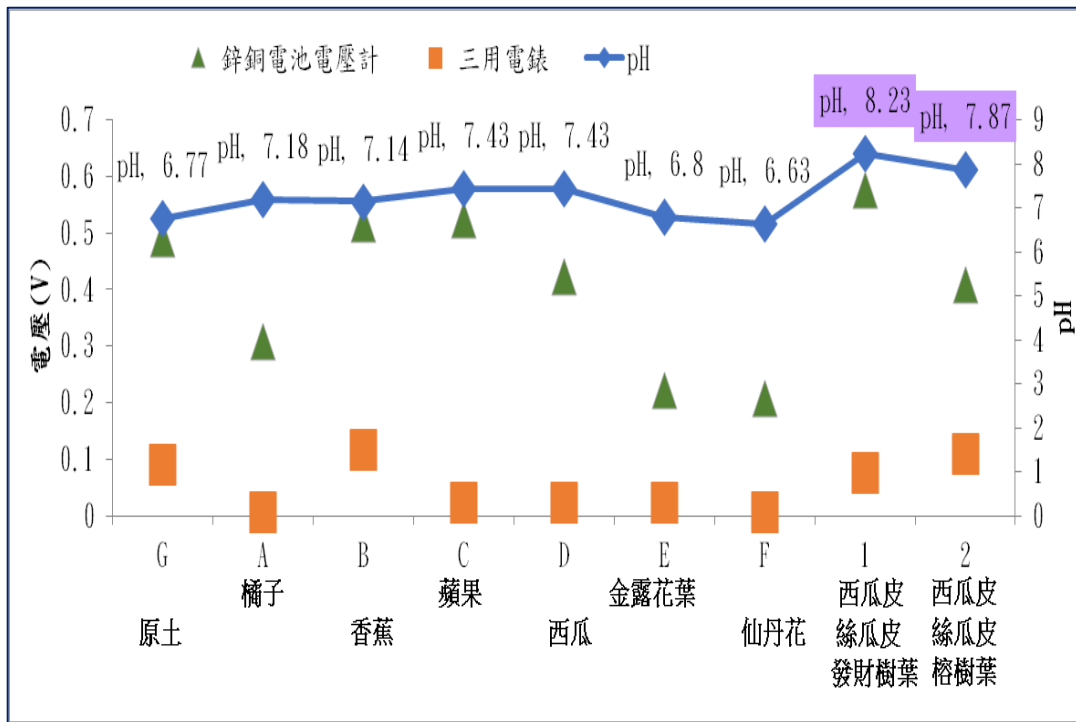


圖 4-8 堆肥與電壓、pH

各樣品添加廚餘後，pH 都約等於 7，最後兩項混合堆肥值介於 7~10 之間，加之電壓值較高，故後續會選定兩組進行土壤發電測試。另外，我們發現用不同工具測量電壓會有極大差異，這可能是因為儀器本身特性不同，例如三用電表是用「電流的負載」，與鋅銅電壓計的「高內電阻」不同。

(七)土壤發電的可行性

1. 發電方法：

- (1)將堆肥分成小堆(每堆約 50g)，以下稱”土堆”
- (2)用鋅、銅作為電池兩極材料，以「銅」作為「正」極，
「鋅」作為「負」極，電極插入固定深度。
- (3)串聯各”堆肥”，觀察個別產生的電壓值。
- (4)連接燈泡，觀察燈泡是否發亮。

表 4-10 不同土堆串聯燈泡. 風扇運轉情形												
	組別 1	組別 2	組別 3	組別 4	組別 5	組別 6	組別 7	組別 8	組別 9	組別 10	組別 11	組別 12
土堆 1	V	V	V	V					V	V	V	V
土堆 1		V	V	V						V	V	V
土堆 1			V	V							V	V
土堆 1				V								V
土堆 2					V	V	V	V	V	V	V	V
土堆 2						V	V	V		V	V	V
土堆 2							V	V			V	V
土堆 2								V				V
電壓值(V)	0.46	0.96	1.34	1.88	0.36	0.64	0.91	1.22	0.83	1.57	2.37	3.07
燈泡 是否發亮	X	0	0	0	X	X	0	0	0	0	0	0
風扇 是否旋轉	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
0:運轉，X：無法運轉												

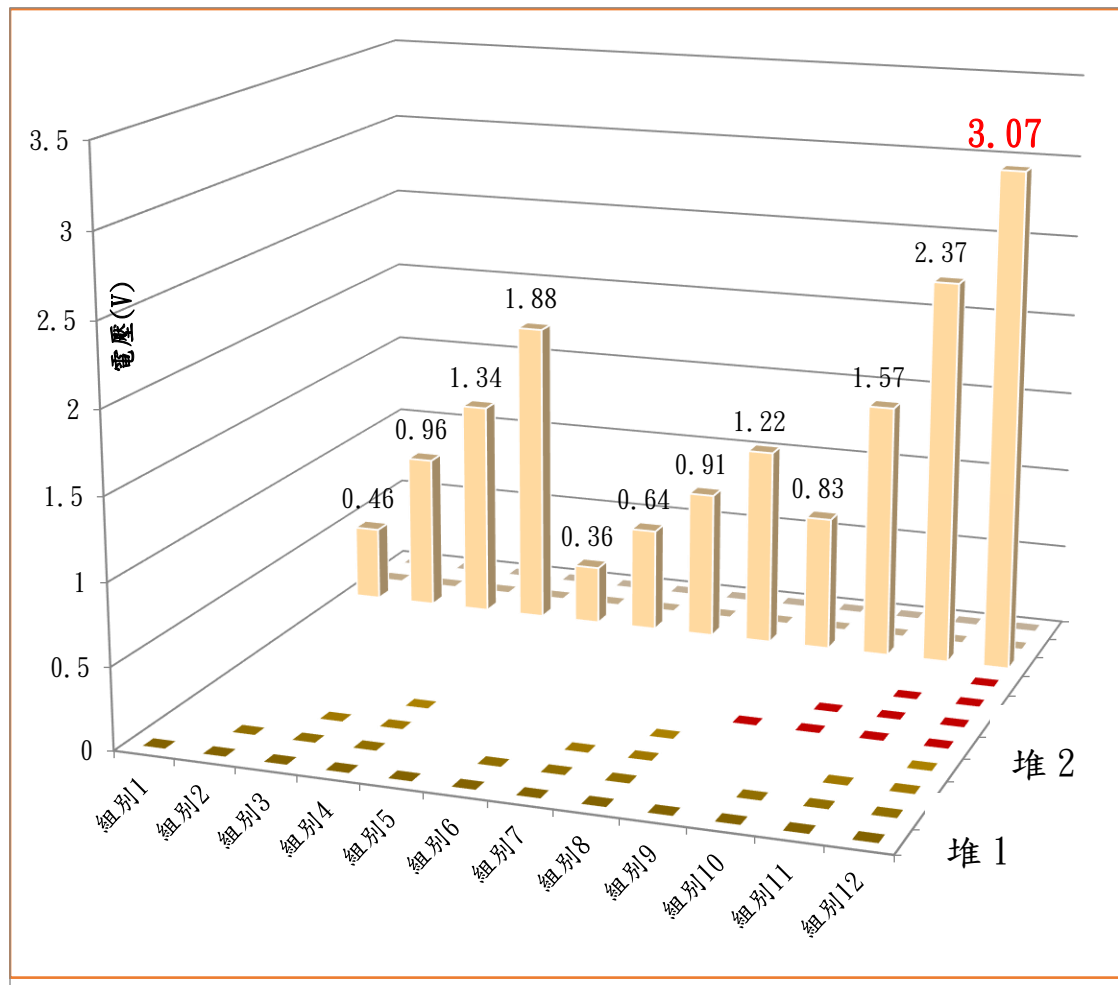


圖 4-9 不同堆肥串聯電壓

2.結果分析：

組別 1、5 及 6 燈泡不會亮，觀察結果是因為電壓過低，由實驗結果顯示電壓低於 0.7V，燈泡是不會發亮的。風扇部分，所有組別均無法使其轉動，即使電壓值已高達 3.07V 一樣無法驅動，由歐姆定律告訴我們： $V=IR$ ，代表電壓 (V) 等於電流 (I) 乘以電阻 (R)，風扇不會動可能是因為電阻過高所致；然由於本次實驗沒有量測電流值，留下了缺憾。

五、研究結果與討論

(一)、不同植物根系周圍土壤的特性

不同植物根系中土壤的酸鹼值、含水量、電壓，由實驗數據得到酸鹼值與電壓無明顯差異，而大花紫薇因土較細，故水率較高。同時也發現，在加了鹼的土壤中水分蒸發後會有細小的白色結晶，而這是因為土壤水分蒸發，水中的鹽類和鹼性物質（如鈉鹽）被留下所產生的。

本研究整合土壤顆粒大小、最大含水量與電壓結果進行分析，發現不同土壤性質會影響所測得的電壓大小。結果顯示，保水能力較佳或含水條件較穩定的土壤，較容易測得較高且穩定的電壓。顆粒大小比例與含水量之間並非完全一致，顯示土壤電壓並非由單一因素決定，而是受顆粒結構、水分與離子分布共同影響。整體而言，具適當顆粒結構與良好保水能力的土壤，較有利於產生可量測的電位差。

(二)、不同地點之土壤的電壓與 pH 值表現

校園內不同水溝及位置取樣的電壓及 pH 值均不一樣，可能是因為在不同水溝內的水組成成分、pH 值及鹽類都不一樣導致其旁邊的土壤有不同的特性；另外，放置天數增加會導致水的電壓增加；原因可能是因為空氣中有一些陰陽離子。倒水的過程中，空氣中的陰陽離子溶解到水中，使水的電導度增加，進而使電壓增加。

(三)、八堡圳的黑土之電壓與 PH 值

八堡圳在不同的座標取得的土壤，即使同樣屬於濁水溪支流，僅因為位置的不同，其顯示的電壓及 pH 均不同，表示即使相近的區域，推論經過溪流的沖刷，或附近農業、畜牧業等排水，導致檢測後顯示的電壓及 pH 值會有所改變。

或者黑土電壓的變化同時受到水量、時間與顆粒結構影響，且細顆粒土壤在充分吸水後較容易形成較高電壓。

(四)、土壤添加酸鹼溶液後之電壓變化

在添加不同性質的溶液後，電壓表現具有明顯差異。酸性溶液（pH 約 2）所測得的電壓整體偏低，而鹼性溶液（pH 約 10~11）則呈現較高的電壓值，無論使用三用電表或銅鋅電壓計，皆顯示相同趨勢。此結果顯示，溶液的酸鹼性會影響其導電能力，且在鹼性環境下，由於離子濃度較高，較有利於電壓的產生。整體而言，pH 值雖會影響電壓大小，但仍需與水分及離子含量共同考量。

(五)、堆肥土壤的電壓輸出與酸鹼值變化

經過資料比對，鹼性的堆肥(即 pH 值超過 7.0)，所檢測的電壓值較高，也呼應了張仲民(1992) 普通土壤學提到的鹼性土會產生較高的電壓。

不同堆肥添加物會同時影響 pH 與電壓，且三用電錶與鋅銅電池電壓計的反應趨勢並不完全相同，顯示電壓大小除與酸鹼值有關，也與添加物分解後的離子種類與濃度有關。

(六)、為什麼用不同工具測量電壓會有差異

三用電錶與電壓計測得電壓不同，主要因兩者內阻不同，導致在高內阻系統中產生負載效應，使量測結果出現差異，結果仍具參考價值。

(七)、土壤發電的可行性

經過本組的研究，土壤發電是可行的；已發酵過的堆肥土壤，可行性最高；雖不同堆肥土壤之電壓有異，但非常有研究價值，除了提供種植，還可以發電，另外取樣的植物根系土壤電壓不明顯，推測取樣處的喬木根粗分泌物少，沒有可讓土壤中的微生物分解，產生電子流來製造電力，經添加酸鹼溶液後的反應，推測與土壤中的礦物質成分有關，這需再進一步探討；未來本組會繼續進一步探討。

(八)、實驗結果是否符合題目

實驗題目：「腳下的寶藏：植物根系、淤泥與堆肥的微電力來源探究。」與實際完成的實驗結果相符。

(九)、實驗數據是否有缺漏

本次實驗沒有量測電流值，故無法針對是否是因為電阻造成風扇無法轉動進行驗證，是比較可惜的地方。

六、評鑑與檢討

(一) 研究動機

我們日常生活中常用的電力，大多來自火力或核能發電，這些方法會造成環境污染，所以知道土壤可以發電，讓我們覺得很新奇，透過這次研究的機會，讓我們可以實際去了解這方面的知識。

(二) 正式計畫、研究問題及工作進度表

平常接觸研究的機會很少，所以在確定主題的時候經過幾次的討論，花了一點時間在找相關的資料跟準備器材，也很感謝老師提供我們相關的建議，才不會手忙腳亂。

（三）彙整相關文獻

我們在網路上搜尋了相關文獻跟影片後，將資料進行彙整，找出生活周遭中可以做到的研究。

（四）資料分析

在嘗試發電的時候，本組除了使用燈泡，也有用風扇觀察發電效果，但卻發生了電壓足夠，但風扇卻不會旋轉的情形。在多次嘗試後，覺得可能是電阻及電流的問題。同時也發現，如果連接電線時把正負極顛倒，會造成順時針與逆時針轉動的差別。

（五）研究結果與討論

經過這次的實驗，我們知道不同的土壤有不同的電壓、酸鹼值，發電成效也不一樣，本組從開學九月開始研究，想在十二月參加獨立研究比賽，時間可說相當不足，因此除早修、午休外，還用假日時間進行探討，謝謝爸爸媽媽與老師的支持，指導老師的陪伴與指導及主任的鼓勵，本組才能如期完成研究與報告書寫。

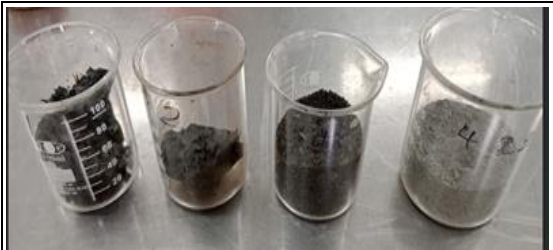
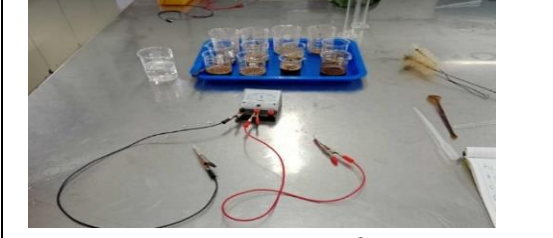
（六）未來展望

總結此次學習經驗，本組深深刻感受到科學探索不僅是技術上的挑戰，更是對環境與社會責任的承擔。希望未來能持續關注並投入綠色能源的研究，為地球的永續發展貢獻一份心力。地球上的資源是有限的，希望未來可以嘗試使用不同種類的土壤或改良堆肥的型式，克服此次土壤電阻過高的問題，生產出穩定的電力，減少對傳統能源的依賴，為地球盡一份心力。

七、參考資料

- (一)屏東縣第 61 屆國中小學科學展覽會，土壤電池與土壤性質相關性研究～以屏東縣土壤為例
- (二)高一地理 | 6-2-1 | 土壤(1)－成土作用
<https://www.youtube.com/watch?v=F8Pv1AW1ULU>
- (三)張仲民(1992). 普通土壤學 國立編譯館
- (四)陳尊賢、許正一合著(2002). 台灣的土壤 遠足文化

附件一 研究過程之點滴

	
A. 淤泥樣本	B. 環泰步道樣本
	
C. 紅土樣本	D. 水池旁取樣
	
E. 整理樣本	
	
F. 水溝取樣	G. 水溝取樣
	
H. 八堡圳淤泥取樣	I. 取樣點八堡圳
	
J. 欲測電壓	K. 堆肥測試電壓中