

2022 年【全國科學探究競賽-這樣教我就懂】
國中組 成果報告表單

題目名稱：取之不盡的替代能源~~土壤發電

一、摘要：

以鋅、銅電極探討堆肥土壤之電壓值，發現不同土壤量（100ml、250ml、500ml）之燒杯 2 個串聯後再予以並聯 2 組，可以使 LED 燈持續發亮 11~14 天。實驗並發現隨著電極插入土壤樣本深度的增加，其電壓值有變大之趨勢，而兩電極板間之水平距離愈大，其電壓值亦會逐漸變大。然而在實驗室中以 5 種植物實際測量，發現水平距離中心植物愈近者其土壤電壓值會較大，顯示出與種植植物之前的結果不同。實地走訪南州堆肥場的菜園，測量添加堆肥土壤種植的植物共 12 種，發現其中有 9 種的電壓值表現與實驗室的結果相當，顯示當土壤種植植物後可因土壤化學與生物化學之氧化還原反應，進而產生較高的電壓值。實驗並顯示出疏鬆土壤的發電量會較壓實土壤來的高。因此將堆肥土壤串聯多組鋅、銅電極用於小型發電是可行的。

二、探究題目與動機

我們在無意間看到一篇有關於科學家利用一些土壤和簡易的材料使得路燈發亮，照亮了非洲人民街道的新聞，引起我們莫大的好奇，土壤為何可以發電？地球除了海洋外，其陸地占了約 30%，而地表上到處可見土壤，若土壤真的可實際用於發電，那對於地球上的人們而言，將是取之不盡的替代能源，於是我們收集資料，並以堆肥場的堆肥土壤為實驗材料，進一步實驗並探討此「替代能源」的可行性。

三、探究目的與假設

- (一)、以不同電極檢測相同土壤樣本，找出最佳電壓值之電極。
- (二)、以不同電極檢測相同土壤樣本，探討不同垂直深度之電壓值表現。
- (三)、探討兩電極間之水平相對距離大小是否會影響電壓值。
- (四)、探討堆肥土壤與一般培養土，疏鬆與壓實後兩者之電壓值表現何者較大。
- (五)、探討土壤含水量的多寡是否會影響電壓值。
- (六)、實際以堆肥混合土壤種植植物，探討不同水平距離之電壓值表現。
- (七)、實際以堆肥混合土壤種植植物，探討不同垂直深度之電壓值表現。
- (八)、探討土壤樣本體積的多寡是否會影響電壓值。
- (九)、探討電極面積大小是否會影響電壓值的表現。
- (十)、串聯及並聯多組堆肥混合土壤樣本，檢測其電壓及 LED 燈發光情形。

四、探究方法與驗證步驟

(一)以不同電極材料檢測相同土壤樣本，找出最佳電壓值之電極？

1.方法：

- (1)取堆肥土壤1000ml置入1000ml燒杯中。
- (2)在燒杯中選取3處不同位置插入不同電極，兩電極相距固定為6cm。
- (3)每次檢測時電極插入深度統一為6cm，共做三重複，比較不同電極之電壓變化情形。

2.實驗結果：

- (1)以不同電極檢測相同土壤樣本，其電壓值會有所不同。
- (2)由上述檢測結果可知：（鋅、銅電極）>（鋁、銅電極）>（鉛、銅電極）>（碳、銅電極）>（鐵、銅電極）。

(二)以不同電極檢測相同土壤樣本，探討不同垂直深度之電壓值表現？

1.方法：

- (1)取堆肥土壤及一般培養土（圖1~圖2）各500ml，混合均勻後置入1000ml燒杯中。
- (2)在燒杯中選取3處不同位置插入不同電極，兩電極相距固定為6cm。

- (3)每次檢測，電極插入深度依序為2cm、4cm、6cm及8cm，共做三重複，比較不同電極及不同深度之電壓變化情形。



圖1、堆肥土壤 圖2一般培養土

2. 實驗結果：(如圖3)

(1) 整體而言，電壓值：2cm深 < 4cm深 < 6cm深 < 8cm深，故隨著不同電極插入土壤樣本深度的增加，其電壓值均有變大之趨勢。

(2) 由上述檢測結果可知，不論深度其電壓值皆為：(鋅、銅電極) > (鋁、銅電極) > (鉛、銅電極) > (鐵、銅電極) > (碳、銅電極) > (鐵、銅電極)。

(3) 經由探究(一)、(二)的實驗結果可知以鋅、銅為電極會產生較大的電壓，因此接下來的實驗設計均以鋅、銅為電極材料。

(三) 探討兩電極間之水平相對距離大小是否會影響電壓值？

1. 方法：

(1) 取堆肥土壤及一般培養土，以1：1的體積比例混合均勻後，置入長方形容器中。

(2) 在容器邊緣處選取A、B、C三個方位，先插入銅電極，而後依序在距離鋅電極5cm、10cm、15cm及20cm處插入鋅電極，其深度統一為6cm，比較不同水平距離之電壓變化情形(圖4~圖5)。

(3) 改變銅電極的橫向位置，再依其上述方式測其電壓，共做三重複。

2. 實驗結果：

(1) 以鋅、銅電極檢測土壤樣本，發現兩電極板間之水平距離不同，其電壓也會有所不同。

(2) 整體而言，兩電極間相對水平距離愈大其電壓值會有變大之趨勢。

(四) 探討堆肥土壤與一般培養土，疏鬆時與壓實後兩者之電壓值何者較大？

1. 方法：

(1) 取堆肥土壤及一般培養土各1000ml，分別置入1000ml燒杯中。

(2) 在燒杯中各選取3處不同位置，先後插入鋅、銅電極以測得電壓值。

(3) 每次檢測時，兩電極相距固定為6cm，電極插入深度依序為3cm、6cm及9cm，共做三重複，比較不同深度之電壓變化情形。

(4) 將上述實驗所使用的堆肥土壤及一般培養土，分別以棍棒壓實至800ml。

(5) 重複上述步驟(1)~(3)。

2. 實驗結果：(如圖6)

(1) 以堆肥土壤電壓值而言，壓實前與壓實後：3cm深 < 6cm深 < 9cm深，故土壤越深處其電壓值會越高。

(2) 以一般培養土電壓值而言，壓實前與壓實後：3cm深 < 6cm深 < 9cm深，故土壤越深處其電壓值會越高。

(3) 整體而言，堆肥土壤的電壓值會比一般培養土來得高，且壓實後堆肥土壤與一般培養土的電壓值則均會較原先數值來得小。

(五) 探討土壤含水量的多寡是否會影響電壓值的大小？

1. 方法：

(1) 取堆肥土壤及一般培養土各500ml，混合均勻後置入1000ml燒杯中。

(2) 在容器中心先插入銅電極，而後依序在外圍4cm處先後選取3點插入鋅電極，檢測電壓，做三重複，且其深度統一為6cm。

(3) 每次將混合土壤倒出，加水25ml攪拌均勻後再將土壤置回1000ml燒杯中，檢測其混合土

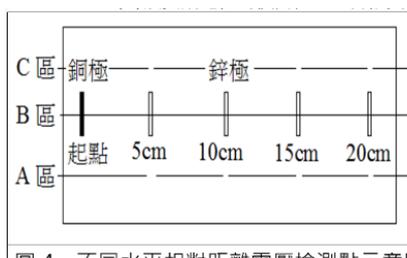
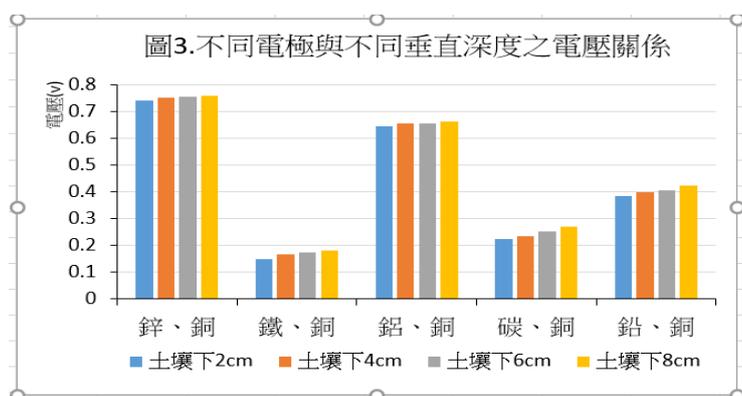
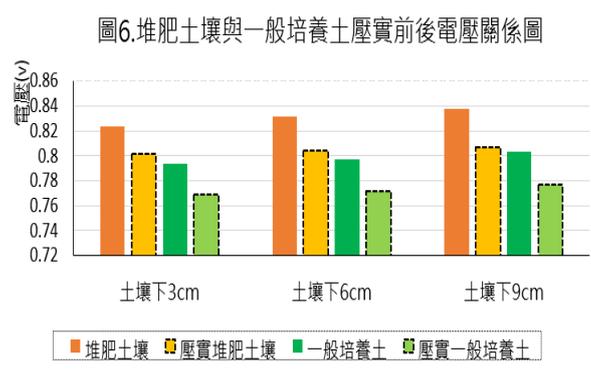


圖4、不同水平相對距離電壓檢測點示意圖 | 圖5、實際檢測電壓值示意圖



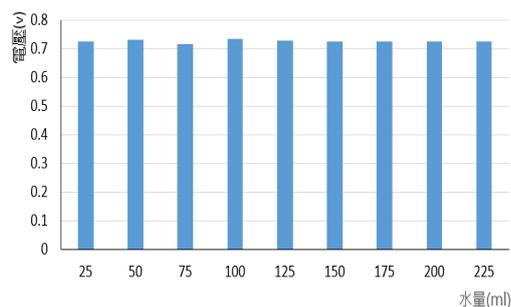
壤電壓變化情形。

2. 實驗結果：(如圖7)

(1)以加水25 ml及加水225 ml兩者做比對，其平均電壓均為0.725V，但加水體積已變成原來9倍。

(2)由圖形顯示可知，土壤含水量多寡對於電壓大小而言影響並不大。

圖7.不同加水量與電壓值變化之關係圖



(六)以堆肥混合土壤種植植物，探討不同水平距離之電壓值表現？

1. 方法：

(1)取堆肥土壤及一般培養土，以1：1的體積比例混合均勻後，置入5個圓形容器中。

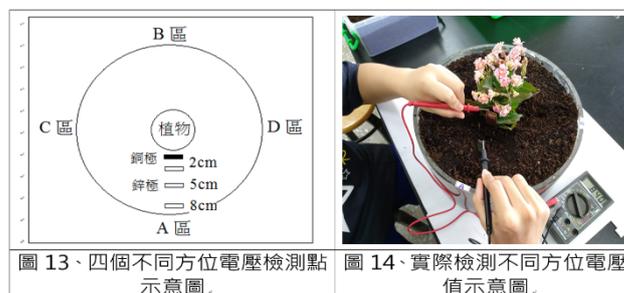
(2)在容器中心分別種植【長壽花】、【細葉油點百合】、【紅竹】、【綠精靈】及【迷你虎尾蘭】等5種植物(圖9~圖12)，培養2天待其狀況穩定。



(3)依序在圓形容器周圍取

A、B、C、D四個方位，在近中心植物處先插入銅電極，而後分別在距離鋅電極2cm、5cm及10cm處插入鋅電極(如圖5)，檢測其混合土壤電壓(圖13~圖14)。

(4)電極插入土壤的深度統一為6cm，以比較不同水平距離處之電壓變化情形。



2. 實驗結果：

(1)距離植物愈近者其土壤電壓值較大，愈遠者其土壤電壓值較小。

(2)整體而言，種植植物後之土壤電壓值會有些微上升之趨勢。

圖15.長壽花--兩電極水平距離之電壓關係圖

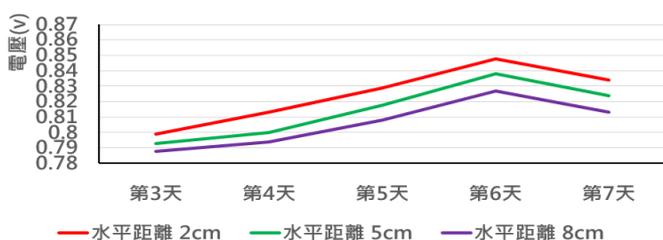


圖16.細葉油點百合--兩電極水平距離之電壓關係圖

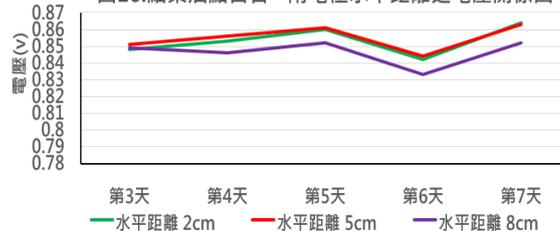


圖17.綠精靈--兩電極水平距離之電壓關係圖

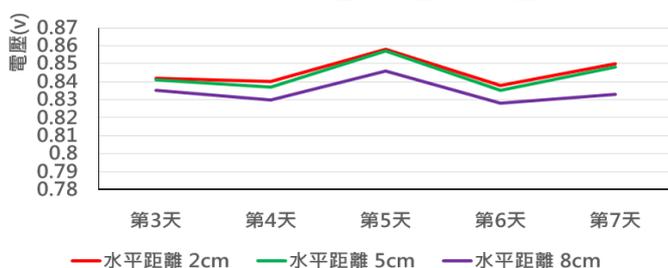
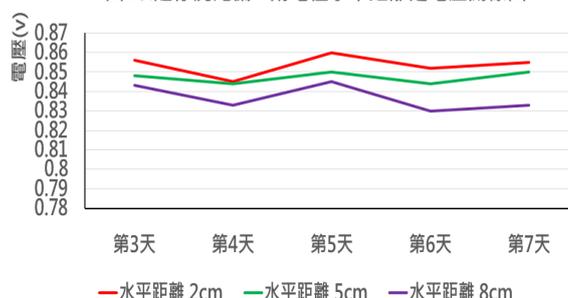


圖18.迷你虎尾蘭--兩電極水平距離之電壓關係圖



(七)以堆肥混合土壤種植植物，探討不同垂直深度之電壓值表現？

1. 方法：

(1)取堆肥土壤及一般培養土，以1：1的體積比例混合均勻後，置入5個方形長柱體容器中。

(2)在容器中心分別種植【長壽花】、【細葉油點百合】、【紅竹】、【綠精靈】及【迷你虎尾蘭】等5種植物(圖19~圖23)，培養2天待其狀況穩定。

(3)在方形長柱體容器A、B兩個方位，分別在距離表土下方2cm、5cm、10cm及16cm對稱處分別插入鋅、銅電極，檢測其混合土壤電壓(圖24~圖25)。



圖 19、長壽花。



圖 20、細葉油點百合。



圖 21、紅竹。



圖 22、綠精靈。



圖 23、迷你虎尾蘭。

(4)電極插入土壤的深度統一為3cm，比較不同垂直距離處之電壓變化情形。

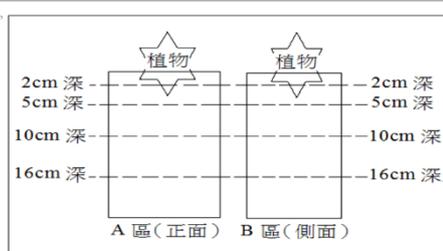


圖 24、A、B 區不同方位電壓檢測點示意圖。



圖 25、檢測電壓值示意圖。

圖26.長壽花--垂直距離之電壓關係圖

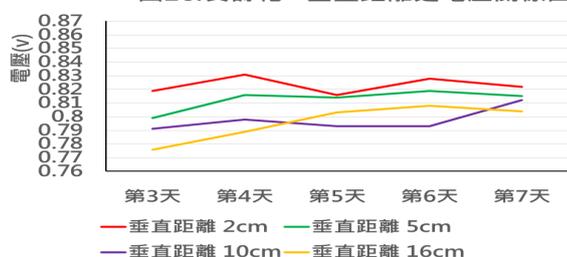


圖27.細葉油點百合--垂直距離之電壓關係圖

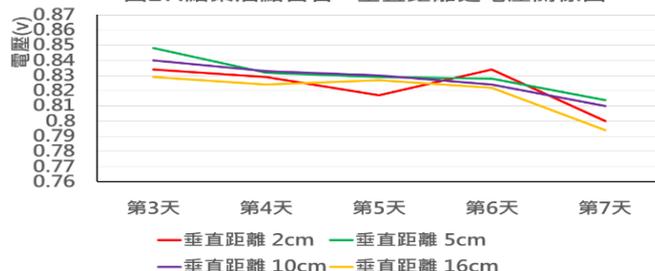


圖28.紅竹--垂直距離之電壓關係圖

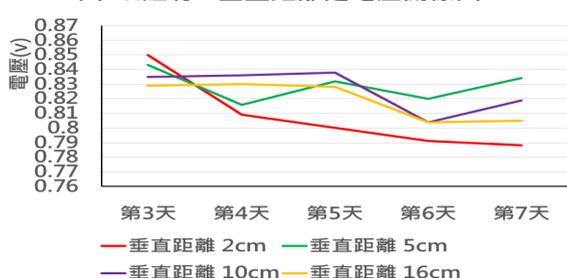


圖29.綠精靈--垂直距離之電壓關係圖

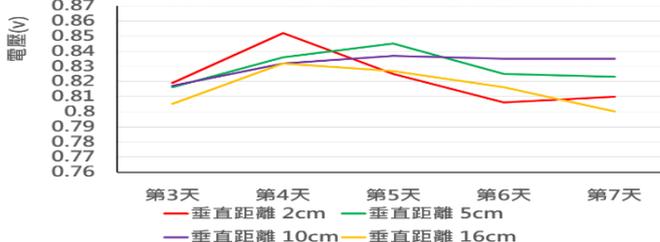
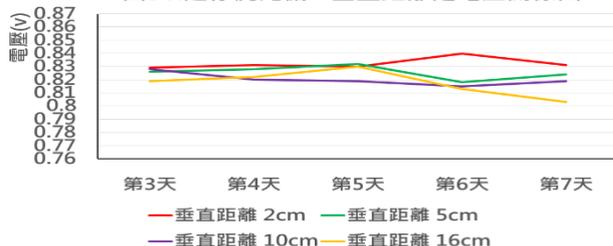


圖30.迷你虎尾蘭--垂直距離之電壓關係圖



2.實驗結果：(如圖26-30)

- (1)除了細葉油點百合外，一開始垂直高度越近表土，其土壤電壓值會較大。
- (2)隨著觀察天數之增加，各不同垂直距離之土壤電壓值有不規律變動，可能與每日澆水使堆肥土壤中之成分隨重力下降，導致土壤組成改變所致。

(八)探討土壤樣本體積的多寡是否會影響電壓值？

1.方法：

- (1)取堆肥土壤及一般培養土，以1：1的體積比例混合均勻後置入1000ml燒杯中。
- (2)在燒杯中選取3處不同位置，先後分別插入鋅、銅電極以測得電壓值。
- (3)每次檢測時，兩電極相距固定為2.5cm，電極插入深度統一為4cm，共做三重複。
- (4)待檢測完畢後將土倒至容器中，混合均勻後取500ml土壤置入500ml燒杯中，再重複上述(2)、(3)步驟。
- (5)實驗先後依序共做1000ml、500ml、250ml及100ml等四種不同體積之相同土壤，以將土壤誤差變因降至最低。

2.實驗結果：

- (1)依實驗結果可知，四種不同土壤體積之電壓值大小相當。
 (2)在相同土壤樣本之前提下，土壤取樣的體積多寡與電壓值大小並無明顯相關。

(九)探討電極面積大小是否會影響電壓值的表現？

1.方法：

- (1)取堆肥土壤1000m置入1000ml燒杯中。
 (2)準備10cm×1cm的鋅、銅電極各1片，以及10cm×3cm的鋅、銅電極各1片(圖31)。
 (3)每次檢測時，兩電極相距固定為3cm，電極插入深度統一為6cm。
 (4)在燒杯中選取3處不同位置，先插入10cm×1cm的鋅、銅電極以測得電壓值，共做六重複。
 (5)待檢測完畢後再插入10cm×3cm的鋅、銅電極以測得另一組電壓值。

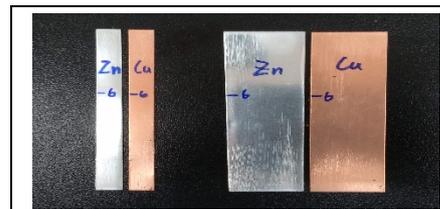


圖31、不同規格的鋅、銅電極

2.實驗結果：

- (1)依結果可知，不同面積大小之相同電極所測出之電壓值均為0.779V。
 (2)故在相同土壤樣本及相同測量深度之前提下，電極面積大小不會影響土壤電壓值之表現。

(十)串聯及並聯多組堆肥混合土壤樣本，檢測其電壓及LED燈發光情形？

1.方法：

- (1)取堆肥土壤及一般培養土各250ml，混合均勻置入500ml燒杯中。
 (2)插入鋅、銅電極，檢測電壓，而後依序串聯2~6組燒杯(圖32~圖33)，檢測電壓變化，並觀察LED燈發光情形。



圖 32、依序串聯土壤樣本以檢測電壓



圖 33、串聯土壤樣本使 LED 燈發光

(3)取堆肥土壤及一般培養

土，以1：1的體積比例混合均勻後置入250ml、500ml、1000ml燒杯中，各四個。

(4)將同體積之燒杯各插入鋅、銅電極，兩兩串聯後再予以並聯2組(圖34)，檢測電壓並紀錄LED燈發光時間。

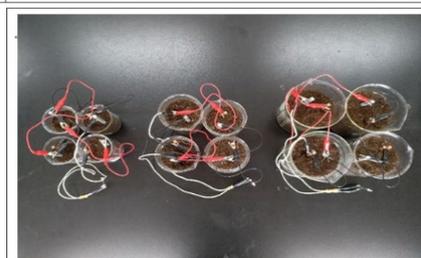


圖 34、串聯及並聯土壤使 LED 燈發光

2.實驗結果：

- (1)串聯愈多組土壤燒杯，其電壓值有變大之趨勢。
 (2)不同混合土壤量(250ml、500ml、1000ml)之燒杯2個串聯後再予以並聯2組，因其每個燒杯土壤組成不同之故，故整體有不同電壓值之表現(此點與探究(八)以相同土壤所做之而初測電壓較大者，其LED燈發光的時間也會較長，可使LED燈持續發亮11~14天。

(十一)在探究(七)中我們發覺當土壤種植植物後，距離中心植物愈近者其電壓值會較大，為再次

證明此一論點，我們實地走訪南州堆肥場的菜園，檢測添加堆肥土壤種植的植物，我們以鋅、銅為電極，測量與植物水平距離15cm及30cm處之電壓值(圖35~圖36)，發現12種植物(圖37~圖49)中有9種植物的電壓值15cm處>30cm處，顯現出大部分土壤電壓值離植物根部水平距離越近者其電壓值會較高。



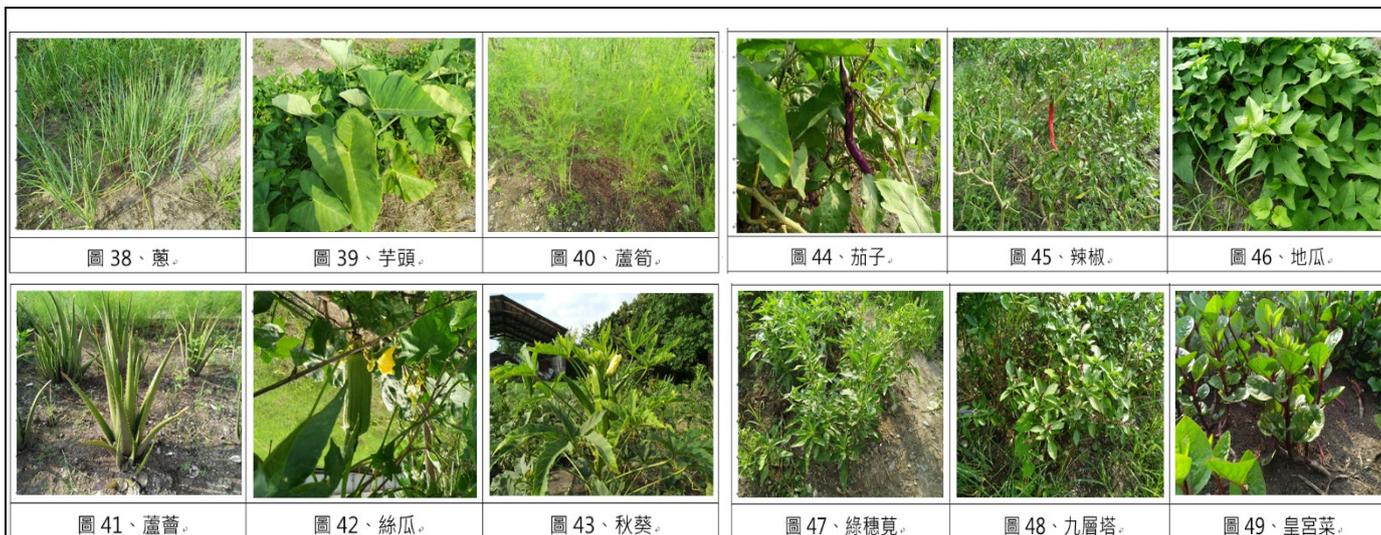
圖 35、研究堆肥場植物種類



圖 36、以電表檢測電壓值



圖 37、以電表檢測電壓值



五、結論與生活應用

- (一)以 (鋅、銅)、(鋁、銅)、(鉛、銅)、(碳、銅)、(鐵、銅) 等 5 組不同電極檢測相同土壤樣本的電壓值，發現鋅、銅電極的檢測值最佳。
- (二)以上述 5 種不同電極檢測相同土壤樣本的電壓值，發現隨著電極插入土壤樣本深度的增加，其電壓值均有變大之趨勢。
- (三)以鋅、銅電極檢測土壤樣本，發現兩電極間相對水平距離愈大者其電壓值會愈大。
- (四)以鋅、銅電極檢測土壤樣本，發現堆肥土壤電壓值大於一般培養土，且兩者土壤經歷實後，其電壓值均會較原先數值來得小。
- (五)經含水量檢測，結果顯示土壤含水量多寡對於電壓大小而言影響並不大。
- (六)以水平距離討論土壤電壓值，整體而言，愈接近植物者其土壤電壓值較大，愈遠者其土壤電壓值較小。
- (七)在相同土壤樣本之前提下，土壤取樣的體積多寡與電壓值大小並無明顯相關。
- (八)在相同土壤樣本及相同測量深度之前提下，電極面積大小並不會影響土壤電壓值之表現。
- (九)串聯愈多組土壤燒杯，其電壓值有變大之趨勢，且可經由串聯後再予以並聯之方式，增加電壓值及 LED 燈發光之續航力。
- (十)由本實驗可知，若要用於小型發電，功率不是太大，便可以利用土壤串聯多組鋅銅電極導線便可做成替代能源。

參考資料

- 一、楊佳評、李瑜，具土壤能源供電之無限溫度/濕度監測系統，電腦與通訊第 163 期，p17-26，取自 http://ebook.greenpublishers.com/ebook/ICL/163_html5/。
- 二、黃正義，謝錦松(2003)，固體廢棄物處理(修訂六版)，淑馨出版社。
- 三、楊秋忠(2015)，堆肥、綠肥，晨星出版有限公司。
- 四、阿猴城有機肥，取自 http://www.nzfa.com.tw/tw/index.asp?au_id=43。
- 五、Julia, Layton(2015)。How Soil Lamps Work。How stuff works，Science。Retrieved July 3，取自 <http://goo.gl/0nQDd5>。
- 六、植物發電剛起步，台研究生赴荷搶先機，2017，中央社。取自 <https://www.chinatimes.com/realtimenews/20170409001841-260405>。
- 七、林鴻淇(1994)，堆肥製造原理，堆肥製造技術，農業委員會農業試驗所特刊第 88 號，p50。
- 八、靳元慶(2013)，荷蘭研發植物電池--綠能新突破，取自 <https://goo.gl/7CVXOF>。