

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生活與應用科學科

030812

何時澆水「土」知道

學校名稱：高雄市立苓雅國民中學

| | |
|---|-----------------------------|
| 作者： 國二 林品融 國二 沈松逸 國二 郭佳柔 | 指導老師： 葉政皇 張翔棋 |
|---|-----------------------------|

關鍵詞：燃料電池、偵測土壤溼度

摘要

本研究旨在建置可以「自動偵測土壤缺水的裝置」，我們利用簡單的電路設計，以LED燈作為指示燈，以其明暗提醒澆水時機，幫助人們更正確的判斷澆水時機，讓植栽所處環境乾、溼適宜，更適合生長。因此，我們先採用電阻法探討各式土壤的含水性質，測量土壤的飽和含水量，結果發現混合土（培養土、砂質壤土體積比2：1）的飽和含水量最佳，達31.7%且水分滲入的速度也相當快。以我們設計的「自動偵測土壤缺水的裝置」來對室內容積1600毫升的混合土（培養土、砂質壤土體積比1：1）盆栽進行澆水，每年可節省的水量約為9.8公升，對室外容積1600毫升的混合土盆栽進行澆水，每年可節省的水量更達22.8公升，省水效果相當驚人。

壹、研究動機

平時對盆栽澆水時，常有「需要澆水了嗎？」及「要澆多少水？」的疑問，參考市面上園藝用書籍所述的澆水方式為「澆水至盆底滲水」，但實際澆水時又發現，因土壤的差異，有的盆栽滲水快，盆底很快就滲水了；而有的盆栽滲水慢，常常要等很久而沒有等到確認盆底已滲水。因此，我們興起研究不同土壤其含水量差異的想法，也同時設計可以偵測盆栽中土壤是否缺水的裝置，讓澆水時機可以有確實的依據，且澆水量適切，節省水資源。

貳、研究目的

- 一、 設計澆水裝置，控制澆水量及澆水面積，以「電阻法」測量並比較不同土壤之飽和含水量。
- 二、 將保水性與排水性不同的土壤混合，探討混合土壤之飽和含水量及排水性質的變化。
- 三、 使用「燃料電池」為電源，設計可以自動偵測「室內」盆栽是否缺水的裝置，再測量需補充水分多寡，計算可以節省多少水。

- 四、 使用「太陽能電池」為電源，設計可以自動偵測「室外」盆栽是否缺水的裝置，再測量需補充水分多寡，計算可以節省多少水。

參、研究設備及器材

一、 器材名稱與數量

| 器材名稱 | 數量 |
|--|-----|
| 培養土 | 1 包 |
| 砂土 | 1 包 |
| 砂質壤土 | 1 包 |
| 黏質壤土 | 1 包 |
| 碳棒 | 2 支 |
| 花盆(高 13 公分、盆口直徑 15 公分、盆底直徑 11 公分，容量約 1.6 公升) | 4 個 |
| 漏斗 | 1 個 |
| 塑膠滴管 | 1 支 |
| 太陽能板(實測最大電壓 2 伏特) | 1 片 |
| L E D 燈(紅色) | 1 個 |
| 三用電表 | 1 台 |
| 漏斗架 | 1 座 |
| 50 毫升量筒 | 1 個 |

(二) 本研究所使用的土壤是一般園藝書籍上常提到的土壤，有「培養土」、「砂土」、「砂質壤土」及「黏質壤土」四種，觀察其顆粒大小依序為培養土、砂土、砂質壤土、黏質壤土，其中培養土的顆粒大小差異較大。



圖一：培養土



圖二：砂土



圖三：砂質壤土



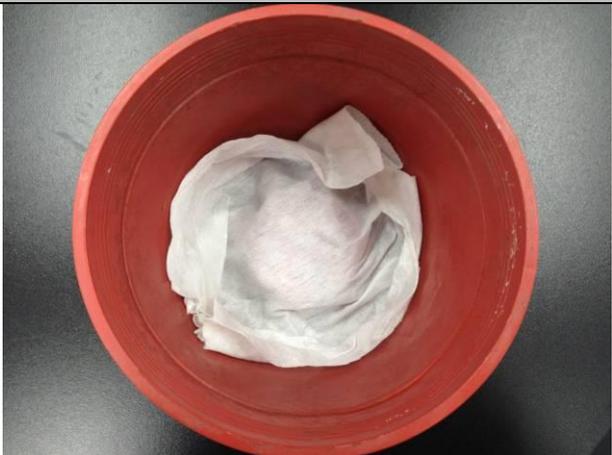
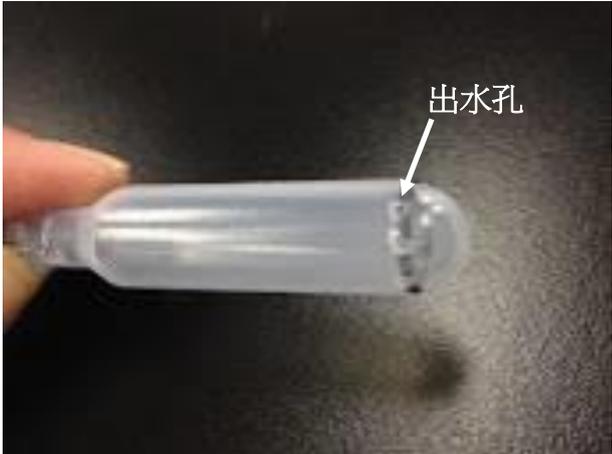
圖四：黏質壤土

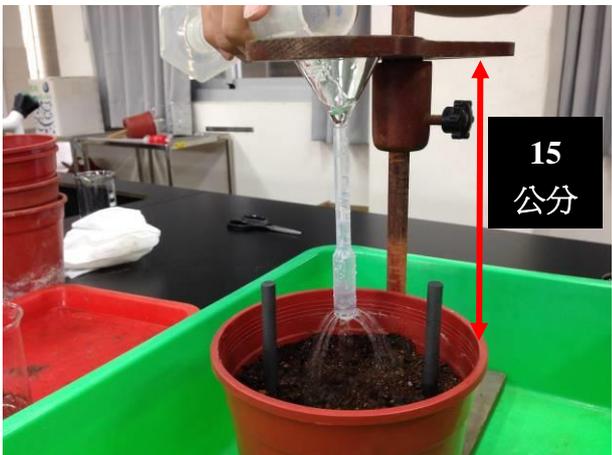
肆、研究方法

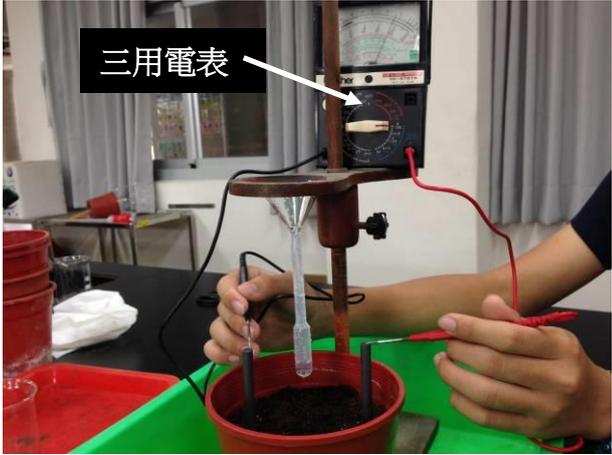
【研究一】設計澆水裝置，控制澆水量及澆水面積，以「電阻法」測量並比較不同土壤之飽和含水量

- 一、本研究定義之土壤飽和含水量係指「每 100 公克乾燥土壤所能吸附的最大水量」，計算式為「土壤中最大含水量 ÷ 乾土重量 × 100%」。
- 二、本研究採用「電阻法」來測量盆栽中土壤的飽和含水量，其原理是潮溼的土壤因含有水分，溶解了土壤中的電解質，其導電性會比乾燥的土壤好，亦即電阻值在澆水的過程中會下降，當電阻值隨澆水量下降到一固定值不再變動，即表示土壤的含水量已達上限。
- 三、本研究目的在了解澆水時，盆栽中土壤的飽和含水量多寡，藉此在往後澆水時有澆水量的依據，只要給予適度的水量即可，避免過度澆水，節省水資源的使用。
- 四、設計一套澆水裝置，控制「澆水量」及「澆水的面積」二個變因，於每次實驗時可以達到一致，減少實驗誤差。
- 五、測量不同土壤水分滲水時間及飽和含水量，以了解不同土壤的排水性與保水性差異。

六、實驗裝置製作方法如下：

| | 製作方法 | 製作說明 |
|---|--|--|
| 1 |  <p>圖五：盆底鋪入不織布，避免土壤流失</p> | <p>花盆盆底以不織布蓋住盆底開口，避免土壤流失，但可讓水分流出。</p> |
| 2 |  <p>圖六：以碳棒當電極置入土壤中</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. 配合花盆構造，置入土壤至土壤表面高度與盆內的標線一致。 2. 以碳棒為電極，將碳棒插入土壤中固定深度並標示位置，讓實驗過程中每次碳棒的深度一致，固定二碳棒距離 10 公分。 |
| 3 |  <p>圖七：將滴管頂端刺出數個小孔製成灑水頭</p> | <p>將滴管頸部前端剪下，在頂端刺出數個小孔讓水可以流出，製成灑水頭</p> |

| | 製作方法 | 製作說明 |
|---|---|---|
| 4 |  <p data-bbox="363 736 887 777">圖八：漏斗與滴管連結成入灑水器</p> | <p data-bbox="979 392 1445 645">將灑水頭與著與漏斗連結在一起，做成灑水器，水由漏斗處加入，由灑水頭處流出澆入花盆。</p> |
| 5 |  <p data-bbox="416 1328 836 1368">圖九：灑水器實際灑水情形</p> | <p data-bbox="979 981 1445 1234">灑水器實際灑水的情形，灑水面積大致可涵蓋土壤表面，避免澆水處過於集中，減少測量電阻時的誤差。</p> |
| 6 |  <p data-bbox="344 1933 906 1973">圖十：灑水器置於漏斗架上完成裝置</p> | <p data-bbox="979 1608 1445 1794">將完成的灑水器置於漏斗架上，漏斗口與花盆距離固定為15公分。</p> |

| | 製作方法 | 製作說明 |
|---|---|--|
| 7 |  <p data-bbox="347 757 906 797">圖十一：以三用電表測量灑水後電阻</p> | <p data-bbox="979 421 1445 674">在漏斗中分次倒入 50ml 的水，水分經由滴管灑開，待水「完全滲入土壤」中，測量電阻值，記錄土壤何時將達到飽和。</p> |

【研究二】將保水性與排水性不同的土壤混合，探討混合土壤之飽和含水量及排水性質的變化

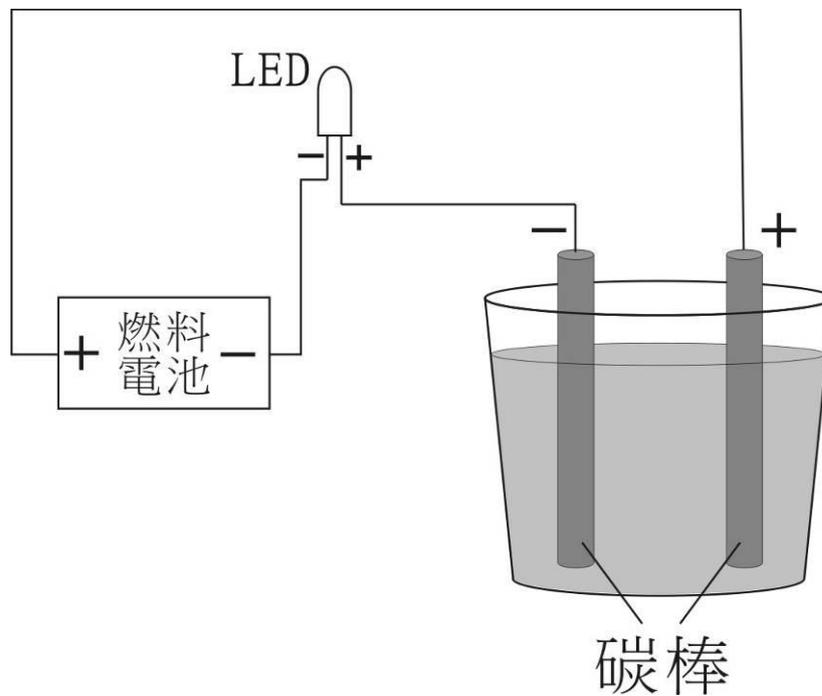
- 一、依土壤性質，部分土壤的排水性佳，水分滲入快，但飽和含水量低；部分土壤保水性佳，飽和含水量高，但水分滲入慢。
- 二、多數民眾澆水的習慣及出版的園藝書籍所述的澆水方式是「澆水至盆底滲水」，但若因土壤的性質導致澆水時水分滲入慢，在澆水至水已經快要溢出花盆時，大多數的人們便會停止澆水，如此一來，即使保水性佳的土壤也可能因水分滲入慢而無法獲得充足的水分。
- 三、依以上考量，本研究將所選用的 4 種土中，取排水性和保水性較佳的土壤依「體積比」1：1、1：2 及 2：1 混合，再依研究一所使用的電阻法測量「混合土」的飽和含水量及排水性質。
- 四、本研究混合土壤時採用「體積比」而非「質量比」的考量為一般民眾若有混合土壤的需求，不太可能使用磅秤來量測土壤重量，通常是以目測或容器直接量取所需土壤的量，如此是以體積比例的方式混合。
- 五、本研究為求混合時所取的土壤體積固定，量取的方法為先將土壤放入燒杯中直到土壤凸出杯口，接著以直尺緊貼杯口將凸出的土壤刮除，取得一滿杯的土壤，再依所需混合比例加以混合。



圖十二：以燒杯量取固定體積的土壤

【研究三】使用**燃料電池**為電源，設計可以**自動偵測室內盆栽是否缺水**的裝置，再測量需補充水分多寡，計算可以節省多少水

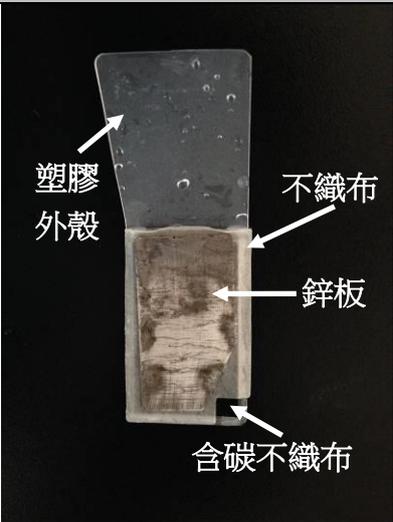
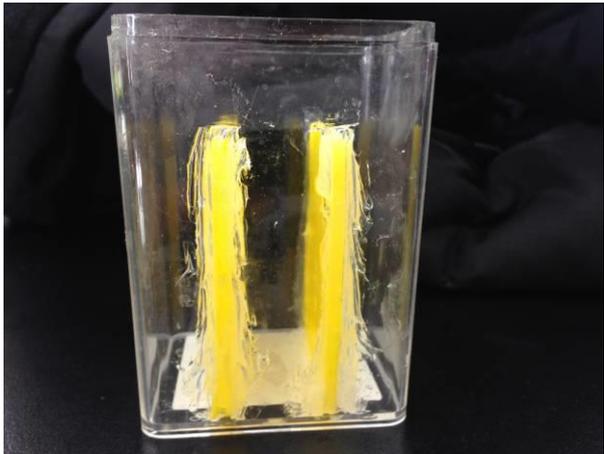
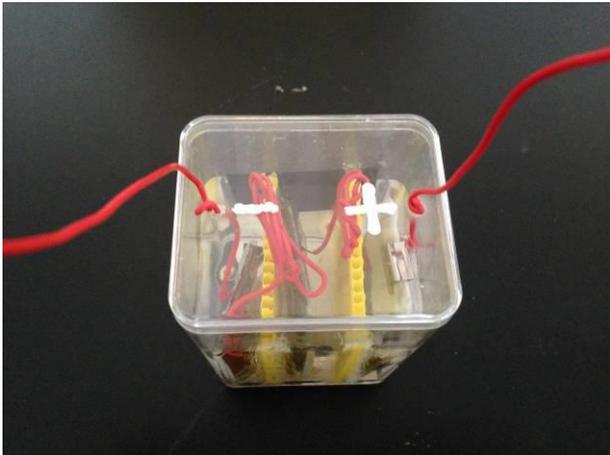
- 一、設計一個偵測電路，可以指示何時已達缺水狀態需要澆水。以燃料電池、碳棒與 LED 燈設計此一偵測指示電路，如此一來，盆栽缺水時 LED 燈便會熄滅指示需要澆水，澆水後 LED 燈亮起，直到燈再次熄滅。
- 二、採用的 LED 燈為紅光，發光所需電壓約 1~3 伏特。
- 三、為了可以讓 LED 燈亮起，在盆栽中置入碳棒用以溝通電路，以水及土壤中的電解質為電解液，澆水後即可通電。

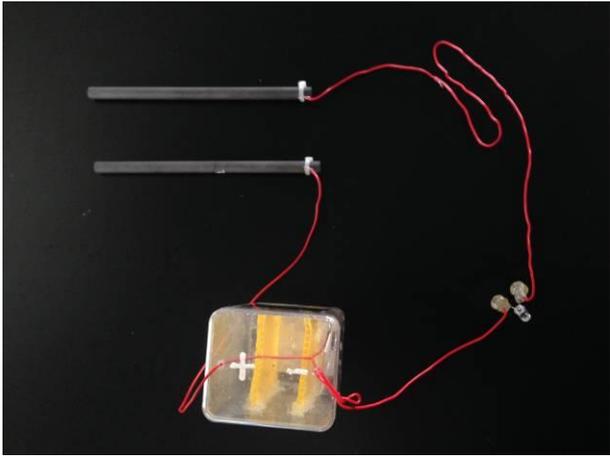
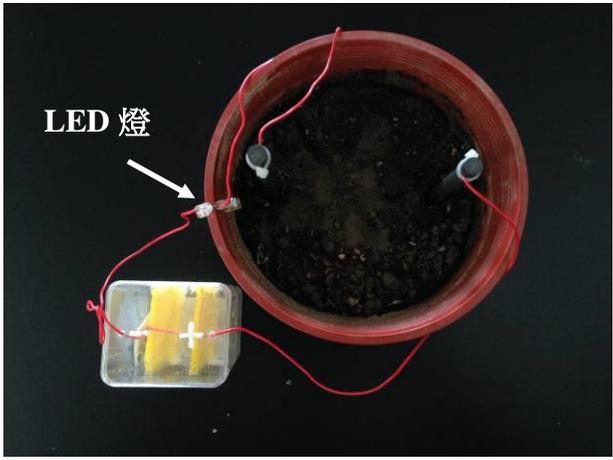


圖十三：可自動偵測缺水的室內盆栽電路圖

- 四、考量電源使用一般的市售電池並不符合設計這項實驗時環保節能的目的，我們自製了一顆以碳鋅為電極的燃料電池，以飽和食鹽水為電解液，作為後續研究電源。

五、燃料電池裝置製作方法：

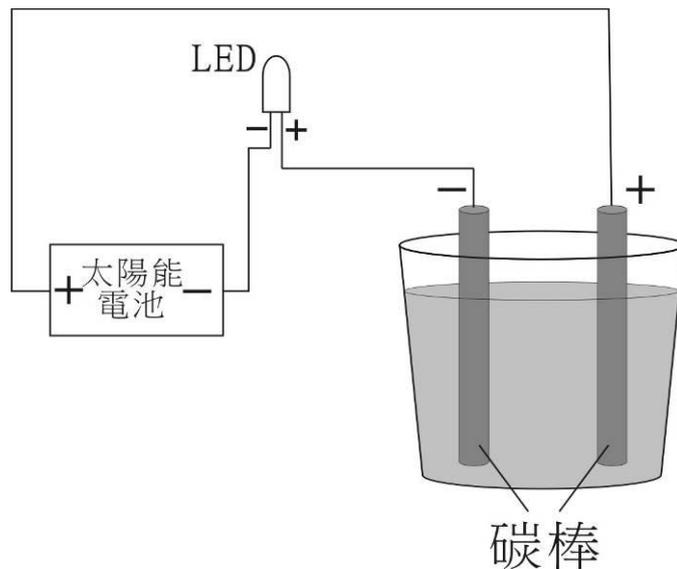
| | 製作方法 | 製作說明 |
|---|--|---|
| 1 |  <p>圖十四：碳鋅電池外觀</p> | <p>燃料電池正極為碳、負極為鋅，碳和鋅間以不織布相隔，以飽和食鹽水為電解液，經實測，電壓約為 1.5 伏特。</p> |
| 2 |  <p>圖十五：自製燃料電池外殼</p> | <p>以塑膠盒製作電池的外殼，將盒子內部隔成三格，以便實驗需要時可以最多串連三個燃料電池，製成 1.5、3.0 或 4.5 伏特的電池，本研究在實測後，使用 1.5 伏特的電壓即可滿足通電所需。</p> |
| 3 |  <p>圖十六：完成燃料電池之組裝</p> | <p>將燃料電池置入塑膠盒中，注入飽和食鹽水，並標示正、負極，完成電池的組裝。</p> |

| | 製作方法 | 製作說明 |
|---|---|---|
| 4 |  <p data-bbox="328 707 887 745">圖十七：將燃料電池連接 LED 燈與碳棒</p> | <p data-bbox="962 434 1445 539">燃料電池與碳棒、LED 燈連接，完成電池模組。</p> |
| 5 |  <p data-bbox="333 1234 882 1272">圖十八：將碳棒埋入土壤中，完成裝置</p> | <p data-bbox="962 925 1445 1106">將碳棒埋入土壤中，兩者相距 10 公分，LED 燈掛於盆栽邊緣方便觀察。</p> |

- 六、澆水至土壤達飽和含水量，確定 LED 燈正常發光，接著將裝置放置在教室窗戶旁通風處。
- 七、每天早上、中午跟傍晚觀察一次，當 LED 燈熄滅的時候，將盆栽秤重，測量剩餘含水量多少，往後澆水只需澆水至飽和即可，不需再澆灌至盆底滲水。
- 八、市售出版之園藝書籍建議之澆水方式為「澆水至盆底滲水」，以此方法澆水數次，測量此方法平均所需澆水量。
- 九、將步驟七和步驟八的澆水量比較，計算使用自動偵測缺水裝置與一般澆水方式在每次澆水時可節省之水量。

【研究四】 使用**太陽能電池為電源**，設計可以**自動偵測室外盆栽是否缺水**的裝置，再測量需補充水分多寡，計算可以節省多少水

- 一、為了讓裝置能在室外使用，我們將研究三的燃料電池替換成太陽能電池(電壓最大 2.0 伏特)，利用這個裝置了解以太陽能電池做為電源的可行性及測量可以節省的水量。
- 二、設計之電路圖如下：



- 三、實際完成的裝置如下圖，放置於陽台，經觀察無論陽光是否直接照射到太陽能電池或多雲看不到太陽的天氣，本裝置皆可順利運作，再定時觀察 LED 燈的明暗情形。



- 四、澆水至土壤達飽和，確定 LED 燈正常發光，接著將裝置放置在可以照到陽光的地方，觀察期間溫度約為 20~25 度，未曾下雨。
- 五、每天早上、中午跟傍晚觀察一次，當 LED 燈熄滅的時候，將盆栽秤重，測量剩餘含水量多少，往後澆水只需澆水至飽和即可，不需再澆灌至盆底滲水。
- 六、園藝書籍中建議之澆水方式為「澆水至盆底滲水」後停止澆水，將之與本研究設計的太陽能自動偵測缺水裝置所需之澆水量比較，計算使用自動偵測缺水裝置與一般澆水方式在每次澆水時可節省之水量。

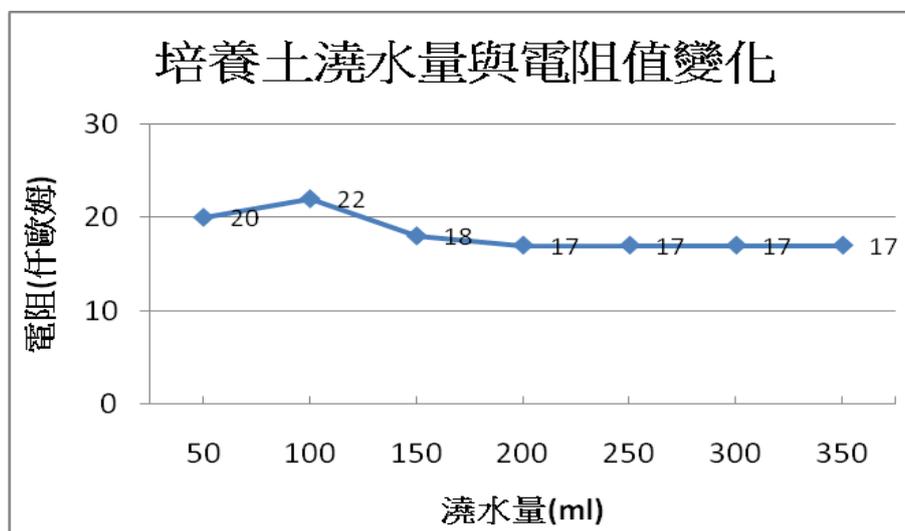
伍、研究結果與討論

【研究一】設計澆水裝置，控制澆水量及澆水面積，以「電阻法」測量並比較不同土壤之飽和含水量

一、以電阻法測量所取用的四種土壤的飽和含水量，所得之數據整理如下

表一：「培養土」澆水量與電阻值變化

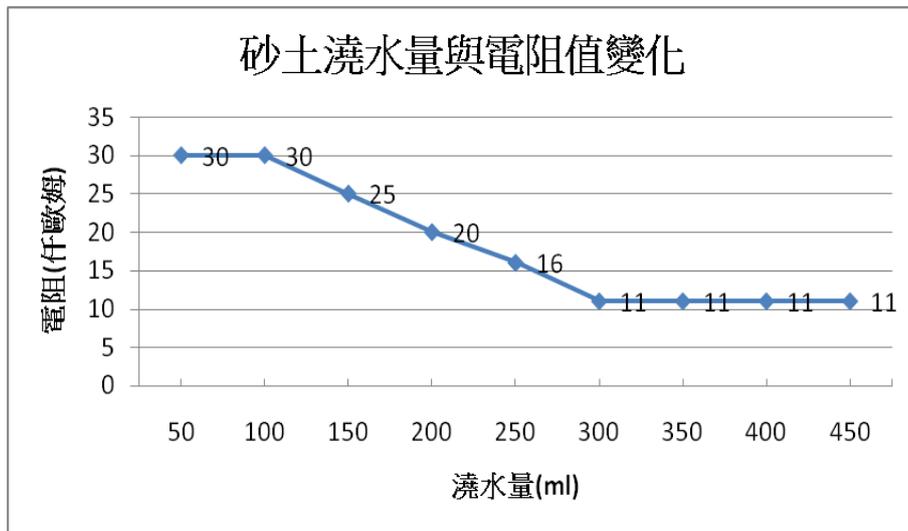
| | | | | | | | |
|--|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 澆水量(ml) | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 |
| 電阻(仟歐姆) | 20 | 22 | 18 | 17 | 17 | 17 | 17 |
| 水分滲入時間(秒) | 15 | 3 | 5 | 5 | 6 | 5 | 7 |
| ①澆水前乾土重量 350.8 公克 ②澆水後濕土重量 404.3 公克 ③土壤保留水量 53.5 公克 ④土壤飽和含水量(③/①)：15.2% | | | | | | | |



圖廿一：培養土澆水量與電阻值變化關係圖

表二：「砂土」澆水量與電阻值變化

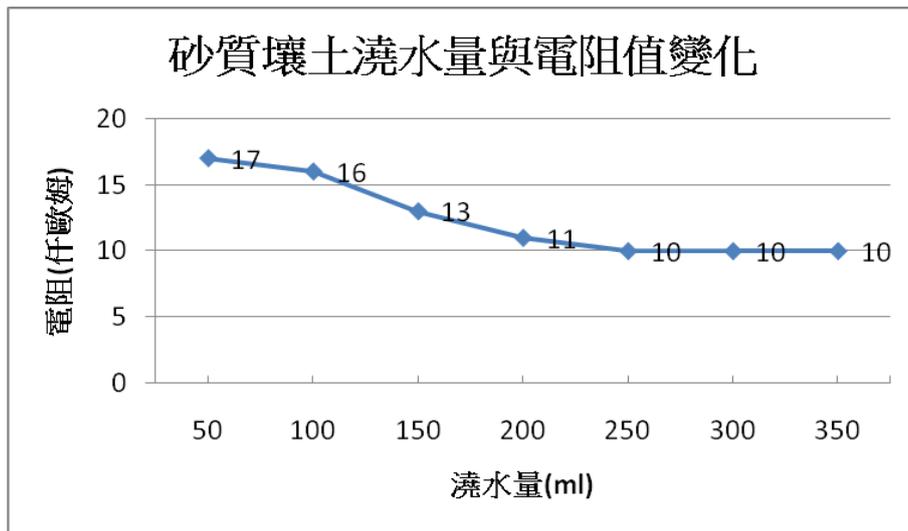
| | | | | | | | | | |
|---|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 澆水量(ml) | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 |
| 電阻(仟歐姆) | 30 | 30 | 25 | 20 | 16 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| 水分滲入時間(秒) | 10 | 8 | 9 | 8 | 12 | 15 | 22 | 21 | 25 |
| ①澆水前乾土重量 1359.8 公克 ②澆水後濕土重量 1640.3 公克 ③土壤保留水量 280.5 公克 ④土壤飽和含水量(③/①)：20.6% | | | | | | | | | |



圖廿二：砂土澆水量與電阻值變化關係圖

表三：「砂質壤土」澆水量與電阻值變化

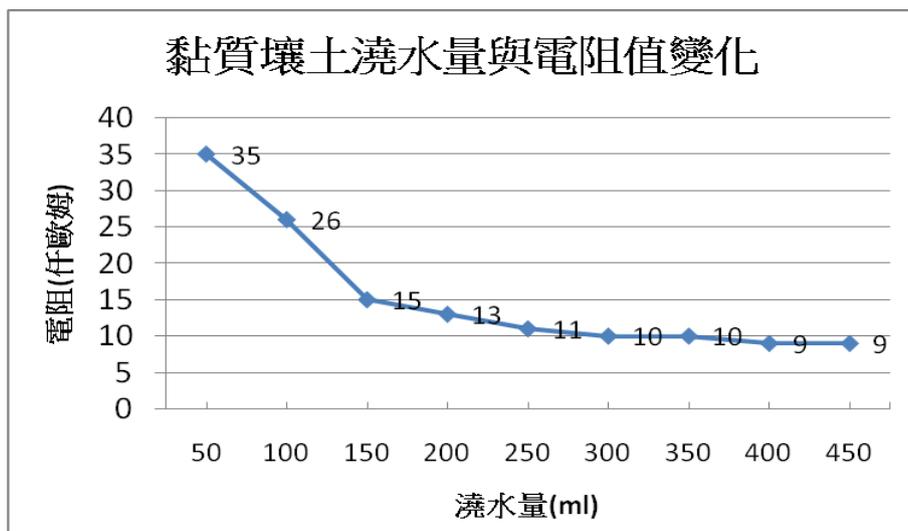
| | | | | | | | |
|---|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 澆水量(ml) | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 |
| 電阻(仟歐姆) | 17 | 16 | 13 | 11 | 10 | 10 | 10 |
| 水分滲入時間(秒) | 12 | 14 | 15 | 26 | 42 | 75 | 82 |
| ①澆水前乾土重量 1256 公克 ②澆水後濕土重量 1562.5 公克 ③土壤保留水量 306.5 公克 ④土壤飽和含水量(③/①)：24.4% | | | | | | | |



圖廿三：砂質壤土澆水量與電阻值變化關係圖

表四：「黏質壤土」澆水量與電阻值變化

| | | | | | | | | | |
|---|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 澆水量(ml) | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 |
| 電阻(千歐姆) | 35 | 26 | 15 | 13 | 11 | 10 | 10 | 9 | 9 |
| 水分滲入時間(秒) | 28 | 39 | 52 | 89 | 96 | 125 | 155 | 150 | 158 |
| ①澆水前乾土重量 1593.8 公克 ②澆水後濕土重量 1994.3 公克 ③土壤保留水量 400.5 公克 ④土壤飽和含水量(③/①)：25.1% | | | | | | | | | |



圖廿四：黏質壤土澆水量與電阻值變化關係圖

- 二、 澆水在「乾燥的培養土」上，一開始澆入的 50 毫升水較不易滲入，但之後的水分滲入土壤的速度都非常快速。
- 三、 由資料顯示，除黏質壤土達飽和需澆水 400 毫升水外，其餘土壤澆水 300 毫升皆可達飽和。
- 四、 本實驗過程中可觀察到各種土壤滲水速度不同，培養土最快，其次是砂，兩者幾乎澆水後立即滲入，接著是砂質壤土，分次倒入 50 毫升的水，最久需 82 秒才完全滲入，而黏質壤土的滲入速度最慢，分次倒入 50 毫升的水，最久甚至達 158 秒才完全滲入。
- 五、 由表五可知黏質壤土和砂質壤土的飽和含水量較佳，兩者皆約在 25%左右，培養土的飽和含水量最低，僅有 15.2%。

表五：各種土壤的飽和含水量統計表

| 土壤種類 | 培養土 | 砂土 | 砂質壤土 | 黏質壤土 |
|----------|-------|--------|--------|--------|
| 乾土重(公克) | 350.8 | 1359.8 | 1256.0 | 1593.8 |
| 溼土重(公克) | 404.3 | 1640.3 | 1562.5 | 1994.3 |
| 含水量(公克) | 53.5 | 280.5 | 306.5 | 400.5 |
| 飽和含水量(%) | 15.2 | 20.6 | 24.4 | 25.1 |

【研究二】將保水性與排水性不同的土壤混合，探討混合土壤之飽和含水量及排水性質的變化

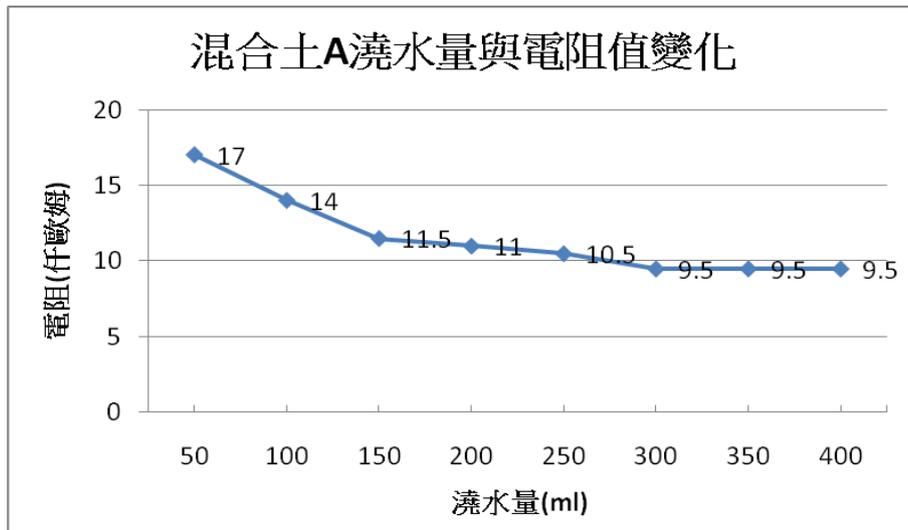
- 一、黏質壤土的飽和含水量雖然比砂質壤土稍高，但差異不太，再者黏質壤土等待水分滲入的時間過長，50 毫升水滲入時間最久的一次長達 158 秒，易使人們失去耐心等待水分滲入，可能使澆水量反而不足，因此，後續研究的混合土壤皆使用砂質壤土而非黏質壤土。
- 二、園藝書籍中一般會建議讓者將培養土與壤土混合，讓土壤有一定的保水性，使植物的根系可以獲得充分的水分，而排水又不會太差造成植物的根系太過潮溼而腐爛。
- 三、砂質壤土的保水性相當良好，培養土的排水性佳。所以我們便採用園藝書籍中常提出混合培養土與壤土的建議，將培養土與砂質壤土以體積比 1:1、1:2 及 2:1 混合，以探討混合土壤飽和含水量及排水性質的變化。
- 四、為區別不同比例的混合土壤，將之命名如下：

| 土壤 | 培養土：砂質壤土(體積比) |
|-------|---------------|
| 混合土 A | 1：1 |
| 混合土 B | 1：2 |
| 混合土 C | 2：1 |

- 五、以電阻法測量混合土 A、B、C 的飽和含水量，所得數據整理如下。

表六：混合土 A 澆水量與電阻值變化

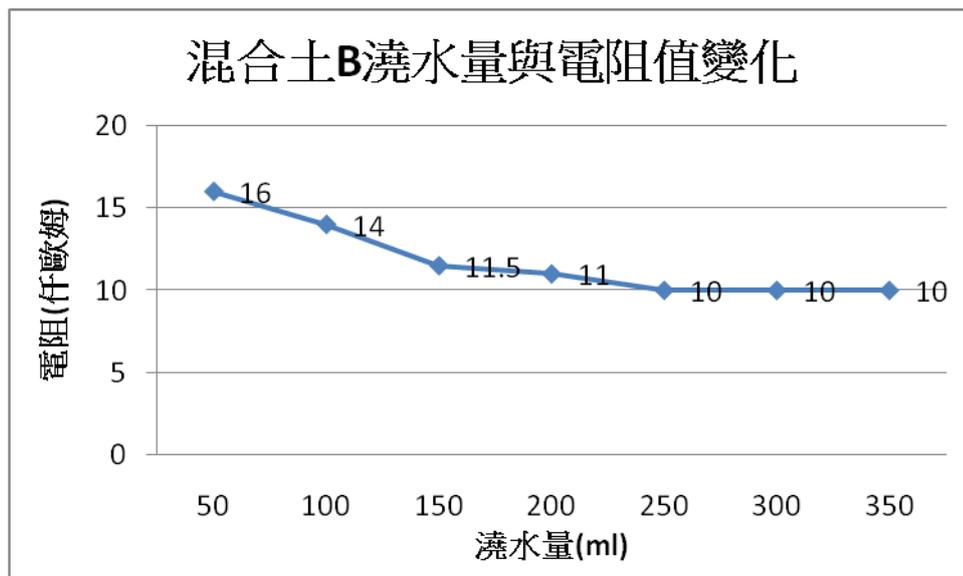
| | | | | | | | | |
|--|----|-----|------|-----|------|-----|-----|-----|
| 澆水量(ml) | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 |
| 電阻(仟歐姆) | 17 | 14 | 11.5 | 11 | 10.5 | 9.5 | 9.5 | 9.5 |
| 水分滲入時間(秒) | 22 | 29 | 37 | 48 | 55 | 66 | 65 | 67 |
| ①澆水前乾土重量 912.6 公克 ②澆水後濕土重量 1181.8 公克 ③土壤保留水量 269.3 公克 ④土壤飽和含水量(③/①)：29.5% | | | | | | | | |



圖廿五：混合土 A 澆水量與電阻值變化關係圖

表七：混合土 B 澆水量與電阻值變化

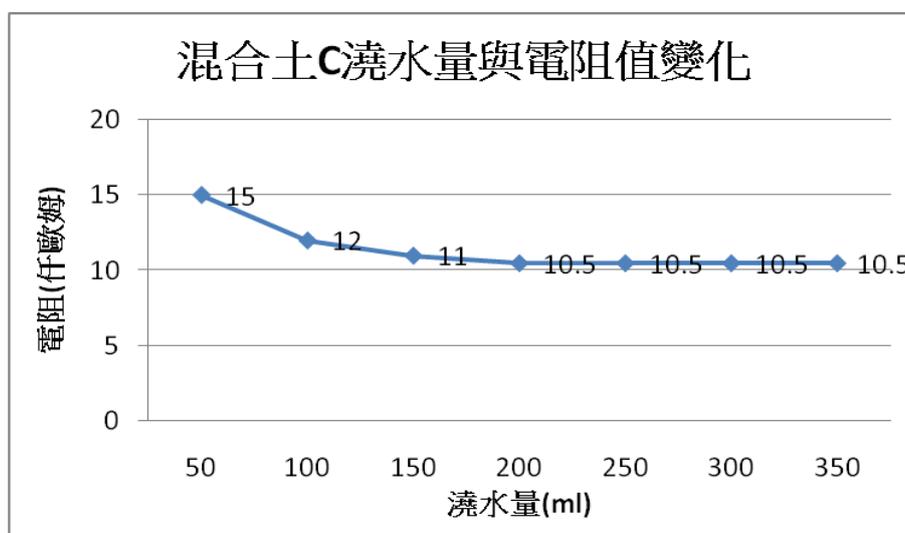
| | | | | | | | |
|--|----|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| 澆水量(ml) | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 |
| 電阻(千歐姆) | 16 | 14 | 11.5 | 11 | 10 | 10 | 10 |
| 水分滲入時間(秒) | 20 | 35 | 43 | 55 | 65 | 103 | 123 |
| ①澆水前乾土重量 967.4 公克 ②澆水後濕土重量 1236.0 公克 ③土壤保留水量 268.6 公克 ④土壤飽和含水量(③/①)：27.8% | | | | | | | |



圖廿六：混合土 B 澆水量與電阻值變化關係圖

表八：混合土 C 澆水量與電阻值變化

| | | | | | | | |
|---|----|-----|-----|------|------|------|------|
| 澆水量(ml) | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 |
| 電阻(仟歐姆) | 15 | 12 | 11 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 |
| 水分滲入時間(秒) | 7 | 9 | 7 | 9 | 15 | 22 | 26 |
| ①澆水前乾土重量 630.2 公克 ②澆水後濕土重量 815.6 公克 ③土壤保留水量 185.4 公克 ④土壤飽和含水量(③/①)：31.7% | | | | | | | |



圖廿七：混合土 C 澆水量與電阻值變化關係圖

- 六、由資料顯示，混合土 A、B 達飽和約需澆水 300 毫升，混合土 C 達飽和約需澆水 200 毫升。
- 七、三種混合土飽和含水量皆比單一類型的土壤要高，可推論混合一些如培養土這類顆粒較大、排水性較佳的土壤，可以提高土壤的飽和含水量，提高其保水性質。
- 八、推論混合土的飽和含水量提高之原因，將研究一實驗的培養土倒出觀察，發現很大一部分的土壤是乾燥的，並可明顯觀察到水分在流過培養土時，構成了一個水道，水分並沒有擴散至全部土壤，故其排水性極高，但飽和含水量則較低。當粒徑及間隙較大的培養土與砂質壤土混合，完成實驗後倒出觀察，發現所有的土壤都是潮溼的，因此推論，粒徑小的砂質壤土可以讓水分擴散至所有土壤，並填滿培養土較大的間隙，使得飽和含水量提高。

九、 A、B、C 三種混合土中，以混合土 C（培養土、砂質壤土 2：1）的飽和含水量最佳，達 31.7%且水分滲入也相當快。

十、 本研究後續採用之土壤為「混合土 A」，考量原因如下：

(一) 體積比 1：1 混合，混合方便且水分滲入土壤所需的最長時間亦在可接受的範圍。

(二) 後續每次實驗常需數天完成，無法時時觀察，本研究採每天觀察 3 次進行，取用含水量 269.3 毫升的混合土 A 會比含水量 185.4 毫升的混合土 C 乾燥時間長，可以儘量避免因乾燥太快而遺漏觀察的情形。

表九：各種土壤的飽和含水量統計表(含混合土)

| 土壤種類 | 培養土 | 砂土 | 砂質壤土 | 黏質壤土 | 混合土 A | 混合土 B | 混合土 C |
|-------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 乾土重(公克) | 350.8 | 1359.8 | 1256.0 | 1593.8 | 912.6 | 967.4 | 630.2 |
| 溼土重(公克) | 404.3 | 1640.3 | 1562.5 | 1994.3 | 1181.8 | 1236.0 | 815.6 |
| 含水量(公克) | 53.5 | 280.5 | 306.5 | 400.5 | 269.3 | 268.6 | 185.4 |
| 飽和含水量(%) | 15.2 | 20.6 | 24.4 | 25.1 | 29.5 | 27.8 | 31.7 |
| 澆水 50 毫升完全滲入土壤所需最長時間(秒) | 15 | 25 | 82 | 158 | 67 | 123 | 26 |

【研究三】使用燃料電池為電源，設計可以自動偵測室內盆栽是否缺水的裝置，再測量需補充水分多寡，計算可以節省多少水

- 一、依研究一及研究二所得結果，後續實驗採用「混和土 A」，也得知澆水 300 毫升時土壤已達到飽和，因此後續實驗均澆水 300 毫升。
- 二、在盆栽中澆水 300 毫升，確定 LED 燈正常發光，將裝置放置在教室窗戶旁通風處，觀察期間溫度約為 22~27 度，期間未曾下雨。
- 三、每天早上、中午跟傍晚觀察一次，當 LED 燈熄滅的時候，將盆栽秤重，計算剩餘含水量多少，所得結果如表十。

表十：使用燃料電池室內盆栽於 LED 燈熄滅時剩餘含水量

| | | | |
|---|----------|----|----|
| 乾燥土壤重量 | 912.6 公克 | | |
| 實驗次數 | 1 | 2 | 3 |
| 所需乾燥天數 | 7 | 7 | 8 |
| LED 燈熄滅時含水量 (毫升) | 63 | 66 | 75 |
| LED 燈熄滅時平均含水量 (毫升) | 68 | | |
| 註：含水量以水的密度為 1g/cm ³ 計算，秤重後計算體積而得 | | | |

- 四、經實驗可得知 LED 燈熄滅約需 7 天，平均剩餘含水量為 68 毫升，所以當 LED 燈熄滅時，只需要再澆 232 毫升 (300-68=232) 的水就足夠。
- 五、市售園藝書籍所建議的澆水方式為「澆水至盆底滲水」，為了解這方法所需澆水量，在 LED 燈熄滅時以此方法澆水，經實測之平均澆水量為 420 毫升。

表十一：室內盆栽於 LED 燈熄滅後以一般澆水方法所需澆水量

| | | | |
|-----------------|-----|-----|-----|
| 實驗次數 | 1 | 2 | 3 |
| 澆水至盆底滲水所需水量(毫升) | 450 | 400 | 410 |
| 平均 | 420 | | |

- 六、綜合以上四、五兩點，一般澆水方法所需平均澆水量為 420 毫升，而本實驗設計之自動偵測缺水裝置只需要再澆 232 毫升，可省下 188 毫升的水，平均 7 天澆一次，一年共澆 52 次，可節省水量 52x188=9,776 毫升，相當於市售 600 毫升瓶裝水 16 瓶。

【研究四】 利用太陽能電池為電源，設計可以自動偵測室外盆栽是否缺水的裝置，
再測量需補充水分多寡，計算可以節省多少水

- 一、依研究一及研究二所得結果，後續實驗採用「混和土 A」，也得知澆水 300 毫升時土壤已達到飽和，所以後續實驗均澆水 300 毫升。
- 二、在盆栽中澆水 300 毫升，確定 LED 燈正常發光，接著將裝置放置在校園內可以照到陽光的地方，觀察期間溫度約為 20~25 度，未曾下雨，經觀察無論陽光是否直接照射太陽能電池或多雲看不到太陽的天氣，本裝置皆可順利運作。
- 三、每天早上、中午跟傍晚觀察一次，當 LED 燈熄滅的時候，將盆栽秤重，計算剩餘含水量多寡，所得結果如下：

表十二：使用太陽能電池室外盆栽於 LED 燈熄滅時剩餘含水量

| | | | |
|---|----------|----|----|
| 乾燥土壤重量 | 912.6 公克 | | |
| 實驗次數 | 1 | 2 | 3 |
| 乾燥天數 | 3 | 4 | 3 |
| Led 燈熄滅時含水量（毫升） | 68 | 76 | 64 |
| Led 燈熄滅時平均含水量（毫升） | 69 | | |
| 註：含水量以水的密度為 1g/cm^3 計算，秤重後計算體積而得 | | | |

- 四、LED 熄滅時平均剩餘含水量有大約 69 毫升，所以當 LED 燈熄滅時，只需要澆水 231 毫升，每次可以剩下約 69 毫升的水。
- 五、研究三所得一般澆水方法需 420 毫升，而本實驗設計之自動偵測缺水裝置只需要再澆 231 毫升，差異 189 毫升，平均三天澆一次，一年共澆 121 次，可節省水量 $121 \times 189 = 22,869$ 毫升，相當於市售 600 毫升瓶裝水 38 瓶。
- 六、太陽能電池實測電壓最大為 2.0 伏特(會因陽光強度不同而變化)，燃料電池實測電壓為 1.5 伏特。太陽能電池電壓較大，通電能力較佳，理論上 LED 燈熄滅時的剩餘水量應該會比較少，但實測使用太陽能電池剩餘水量平均為 69 毫升，比使用燃料電池多了 1 毫升。推論其原因是太陽能電池的電壓會隨著光照條件變化而改變，電壓不若燃料電池穩定，影響了實際的通電效果。

陸、結論

- 一、使用「電阻法」測量土壤的飽和含水量，操作方便且簡易，在測量土壤飽和含水量時提供良好的參考價值。
- 二、所採樣的四種土壤，以黏質壤土飽和含水量最佳，可達 25.1%，其次是砂質壤土，飽和含水量達 24.4%，再其次是砂土，飽和含水量為 20.6%，最低的是培養土，飽和含水量為 15.2%。
- 三、將培養土與砂質壤土以不同比例混合，測量其飽和含水量，發現培養土與砂質壤土體積比 2：1 的混合土飽和含水量最大，達 31.7%，滲水速度也不慢，但土壤保留的總水量僅 185.4 毫升，是混合土中最少的。
- 四、本研究發現粒徑大的土壤(如培養土)其排水性較佳，粒徑小的土壤(如砂質壤土)保水性較佳，與文獻資料相符。將培養土與砂質壤土以不同比例混合，發現可以提高土壤的飽和含水量，增加其保水性質。推論其原因為粒徑小的土壤可以幫助水分擴散至所有土壤中並填滿粒徑較大土壤的間隙，因此使得飽和含水量提高。
- 五、園藝書籍中建議植物的培養環境是乾溼交錯，土乾時才澆水，可以讓植物的根系透氣健康。本研究建置可以「自動偵測土壤缺水的裝置」，在簡單的電路設計中，以 LED 燈作為指示燈，其明暗提醒澆水的時機，可以幫助人們更正確的判斷澆水時機，讓植栽所處環境乾、溼適宜，更適合生長。
- 六、室內盆栽的偵測系統，經實驗確定使用燃料電池讓裝置運作的想法確實可行，可以讓整個系統正常運作，電池以碳跟鋅作為電極，使用飽和食鹽水作為電解液，所製成的燃料電池電壓約為 1.5 伏特。當電池使用一段時間後，食鹽水中水分會蒸發減少，鋅板會因放電的反應而腐蝕，此時僅需更換鋅板及添加水，不會如市售電池般影響環境，是一個潔淨安全的供電方案。
- 七、室外盆栽的偵測系統，使用太陽能電池作為電源，經觀察無論陽光是否直接照射太陽能電池或多雲看不到太陽的天氣，本裝置皆可順利運作。太陽能為一永續再生能源，使用太陽能電池，同樣是潔淨安全的供電方案。

- 八、容積 1,600 毫升的盆栽，經本研究探討，除了黏質壤土，其餘土壤澆水約 300 毫升即可使土壤達到飽和，可以此為基礎，推論其餘不同規格盆栽所需水分。
- 九、太陽能電池實測電壓較燃料電池實測電壓高，LED 燈熄滅時的剩餘水量應該會比較少，但實測後卻與燃料電池相差無幾，推論其原因是太陽能電池的電壓會隨著光照條件變化而改變，電壓不若燃料電池穩定，影響了實際的通電效果。
- 十、用於「室內」容積 1,600 毫升的盆栽，使用本研究設計之自動偵測缺水裝置及混合土 A(培養土：砂質壤土=1：1)，每次只需要再澆 232 毫升，與一般澆水方法需要 420 毫升相較，差異 188 毫升，平均七天澆一次，一年共澆 52 次，一年可節省水量 $52 \times 188 = 9,776$ 毫升，相當於市售 600 毫升瓶裝水 16 瓶。
- 十一、用於「室外」容積 1,600 毫升的盆栽，使用本研究設計之自動偵測缺水裝置及混合土 A(培養土：砂質壤土=1：1)，每次只需要再澆 231 毫升，與一般澆水方法需要 420 毫升相較，差異 189 毫升，平均三天澆一次，一年共澆 121 次，一年可節省水量 $121 \times 189 = 22,869$ 毫升，相當於市售 600 毫升瓶裝水 38 瓶。
- 十二、綜合第九、十點，可以此為基礎推論在使用自動偵測缺水系統下，各種規格的不同盆栽可節省的水量，以筆者所在學校，僅就 2~4 樓花臺的 24 個室外花盆為例，每個花盆長 70 公分、寬 30 公分、高 40 公分，容積為 84 公升，每年可省下 28,814 公升的水量，如果再推論到全校的盆栽，能節省的水量更是當初進行此研究時未能想像的。
- 十三、對於研究的延伸，自動偵測土壤缺水的電路已證實可行，往後若再加入自動灑水系統的電路，除了可以省水，更可節省執行澆水的人力。

柒、參考資料

- 一、 花草遊戲編輯部(民 100)。365 天種花寶典。台北市：麥浩斯。
- 二、 花草遊戲編輯部(民 100)。基礎栽培大全。台北市：麥浩斯。
- 三、 黃裕銘。土壤簡介【國立中興大學農業暨自然資源學院土壤調查試驗中心網站】。取自 http://web.nchu.edu.tw/~SSTC/spread_articles/spread_2_06.doc。
- 四、 張碧芬。土壤化學【東吳大學綠色科學與永續發展學程線上教材】。取自 <http://www.scu.edu.tw/green/class/class.htm#03>。

【評語】 030812

作品有實用性，但對於運作原理的了解可以再加強。