

2025仰望盃全國科學 HomeRun 實作大賽

決賽成果報告書

隊伍名稱： 飛鷹戰隊

作品名稱： 「草」「土」借「電」-雜草電池的成因探討

科學概念1：光合作用是把光轉換成植物生長所需養分的過程，它包含了「光反應」以及「碳反應」，光反應需要太陽光來驅動並產出「能量(ATP、NADPH...)」，再透過碳反應，將二氧化碳和能量轉換成醣類，供植物生長與繁殖。然而，植物進行碳反應的過程會依植物種類有所差異，主要能分成 C3、C4與 CAM 三種。

科學概念2：電池放電的原因在於兩個電極的活性不同，不同活性的物質接觸後，會透過氧化還原反應來產生電子以及離子。而土壤中微生物將植物根部釋放的醣類分解，藉此釋放電子的過程，就如同電池的放電原理，使電極兩端產生電位差，此為微生物燃料電池技術(MFC)。

決賽成果報告書內文

1. 發想動機：

現今全球非再生能源已逐漸耗盡，因此科學家們正積極尋找可再生的新能源，在聯合國永續發展目標的第7項目標(SDG-7)，即為「確保所有的人都可取得負擔得起、可靠、永續及現代的能源」(圖一)。而我們在查閱相關文獻後(表一)，發現平時在路邊隨處可見的植物，也許可以用來發電。



圖一、SDG7

表一、再生能源相關文獻

研究主題	內容	說明
綠能再造—環保植物能發電 (綠色化學教育競賽，2016銅牌)	分析4種盆栽的電壓差異，及水量不同時的電壓變化。	此研究僅分析4種植栽，研究結果是不同種植物並無電壓差異，可是該研究的植物皆屬於 C3型植物，屬於同一種光合作用類型。
土包子也能發光發熱利用 Arduino 之土壤發電研究與分析 (臺南市2019年，獨立研究，第3名)	分析了不同質量、不同樣本、不同溶氧量、鹽類的土壤樣本下的電壓變化。	此研究使用 Arduino 追蹤土壤電壓變化，但僅分析土壤樣本，而未分析與植物的交互作用影響。
會發電與自循環的魚缸底泥為生物燃料電池之探討與應用(第53屆中小學科學展覽會，高中組，生活與應用科技自然科作品)	分析魚種、電極種類、電極表面積、底泥種類、添加菌種對電壓的影響。	此研究針對魚缸底泥進行電極的差異進行分析，但僅分析魚缸底泥樣本，未分析與植物的交互作用影響。
葉綠素電池之應用(中華民國第59屆中小學科學展覽會，高級中等學校組，環境學科)	萃取紫藤的葉綠素，自製葉綠素電池，並分析其發電效率。	此研究並非直接使用植栽，而是透過萃取葉綠素，以製作成電池來進行發電，會破壞植栽本體。
來電~「樹」「素」看!(臺南市2016年獨立研究國中組數理類第2名)	將葉片打成汁，充當葉綠素電池的電解液。	此研究並非直接使用植栽，而是透過萃取葉綠素，以製作成電池來進行發電，會破壞植栽本體。

從上述研究中，我們發現植物可透過行光合作用產生醣類，而植物根部將其養分傳送到土壤中，並由根部周圍的微生物再分解這些醣類，藉此即可產生電位差。然而卻並未有一篇研究分析「完整的植栽」光合作用針對發電效率的影響，不是僅分析土壤樣本，就是將植栽破壞後萃取葉綠素，唯一一篇相似的研究卻也只使用三用電表測量短暫的時間(參考文獻(1))；所以我們想到或許可透過 Arduino 追蹤不同光合作用類型、或不同根系的植物電壓變化，即可發現光合作用或根系對電壓的影響，藉此改良「雜草電池」。

2. 作品創意性：

翻閱相關文獻後(表一)，本作品的創意性在於：

(1) 自動化追蹤：

部分研究(參考文獻(1))使用三用電表，且單次僅測量10分鐘，而本研究與 Arduino 自動化數據感測器結合，追蹤發電的變化情形，藉此可細緻分析不同環境濕度、環境光照度下，植物的發電情形。

(2) 環境保護意識：

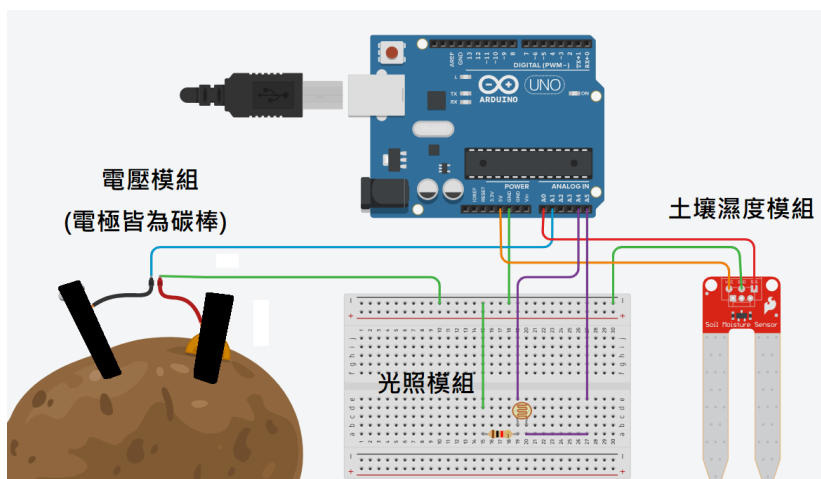
部分研究(參考文獻(2)~(3))僅分析土壤菌種之影響，而本研究探討生活中的各種雜草發電效率，能引發對「如何從自然界中尋找新型能源」的思考，也可以使人意識到環境的破壞，引起環境保護的意識。

(3) 保有植物完整性：

部分研究(參考文獻(4)~(5))探討光合作用與發電關係的研究，型式多為葉綠素電池，製作該電池需要破壞植栽本身；而本研究並不會破壞植栽。

3. 硬體及電路架構圖：

(1) 電路架構圖：



接腳說明：

- A. 土壤濕度：A0
- B. 土壤電壓：A1
- C. 光照：A4、A5

圖二、電路架構圖

(2) 硬體裝置圖：



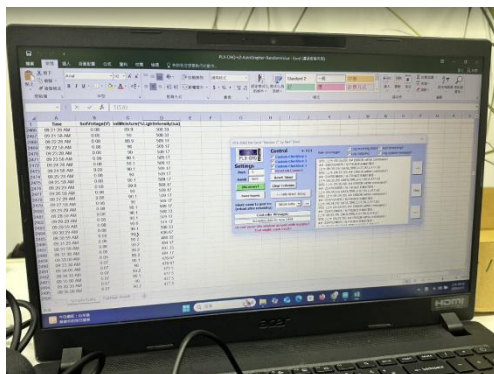
圖三、兩極為碳棒

裝置說明：避免相異電極影響實驗結果，因碳棒不會因氧化汙染土壤，且孔隙多使土壤中的離子易吸附，故正負兩極皆使用碳棒。



圖四、自製暗箱(蓋子打開時)

裝置說明：製作暗箱，並提供固定的光照，去除多餘的環境光源。



圖五、使用 PLX-DAQ 打包數據

裝置說明：本作品透過 Arduino 模組，平均每30秒收取土壤電壓、土壤濕度及環境光照度，並將測得的數據使用 PLX-DAQ 打包至 EXCEL 中。

	B	C	D	E	F	G	H
	Time	SoilVoltage(V)	SoilMoisture(%)	LightIntensity(lux)			SoilVoltage(V)
1							
2	12:54:58 PM	0.13	74.5	160.83		b1	0.1303
3	12:55:28 PM	0.13	73.9	163.33		b2	0.1288
4	12:55:58 PM	0.13	73.8	161.67		b3	0.1291
5	12:56:28 PM	0.13	73.6	156.67		b4	0.1288
6	12:56:58 PM	0.13	73.6	167.5		b5	0.1291
7	12:57:28 PM	0.14	73.5	166.67		b6	0.1295
8	12:57:58 PM	0.13	73.6	167.5		b7	0.1299
9	12:58:28 PM	0.14	73.6	160.83		b8	0.1296
10	12:58:58 PM	0.13	73.5	160.83		b9	0.1294
11	12:59:28 PM	0.14	73.5	166.67		b10	0.1286
12	12:59:58 PM	0.13	73.6	161.67		b11	0.1277
13	01:00:29 PM	0.13	73.6	167.5		b12	0.1276
14	01:00:59 PM	0.13	73.6	185		b13	0.1263
15	01:01:29 PM	0.13	73.6	167.5		b14	0.1247
16	01:01:59 PM	0.13	73.5	165.83		b15	0.1246
17	01:02:29 PM	0.13	73.6	185		b16	0.1236
18	01:02:59 PM	0.13	73.6	162.5		b17	0.1231
19	01:03:29 PM	0.13	73.6	160.83		b18	0.1219
20	01:03:59 PM	0.14	74.6	88.33		b19	0.1205
21	01:04:29 PM	0.13	73.7	69.17		b20	0.1202
22	01:04:59 PM	0.13	69.8	235.83		b21	0.1195

圖六、使用 EXCEL 函數分析數據

裝置說明：透過 EXCEL 將數值每小時取平均值(120筆數據)，使測得數據具可信度。

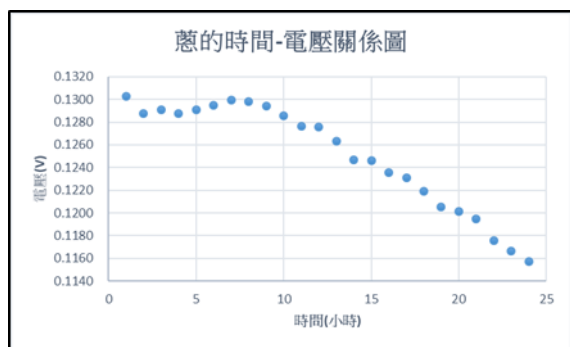
4. 作品成果報告：

本研究雜草電池使用之植物如表二所示，皆採自校園花園內現有之植物，並依其根系、光合作用途徑分類如下：

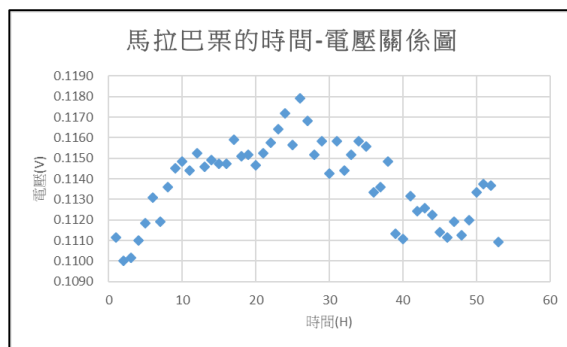
表二、本研究雜草電池使用植物一覽表

植物種類	根系	光合作用途徑
蔥	鬚根	C3型植物
馬拉巴栗	軸根	C3型植物
檸檬香茅	鬚根	C4型植物
虎尾蘭	鬚根	CAM 型植物

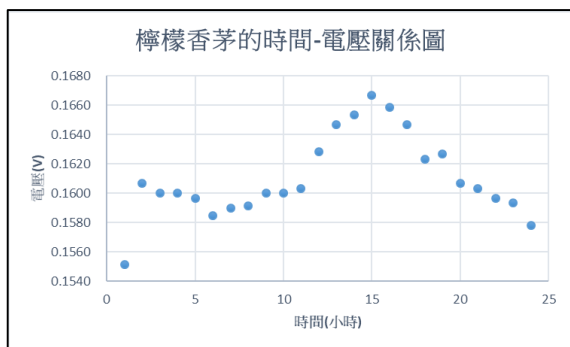
(1) 雜草電池的電壓、土壤濕度隨時間的變化關係：



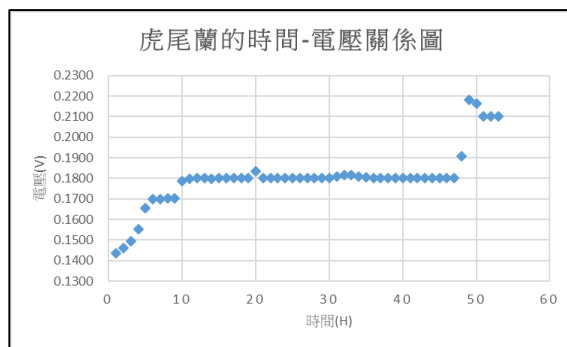
圖七、蔥的時間-電壓關係圖



圖八、馬拉巴栗的時間-電壓關係圖

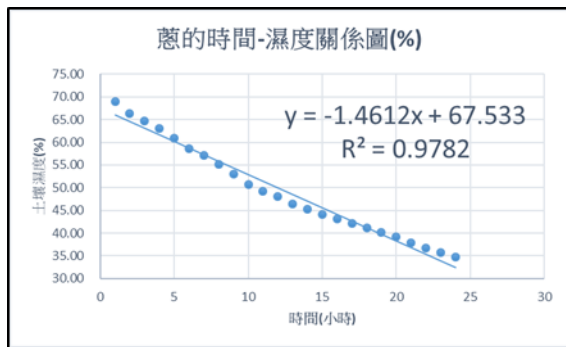


圖九、檸檬香茅的時間-電壓關係圖

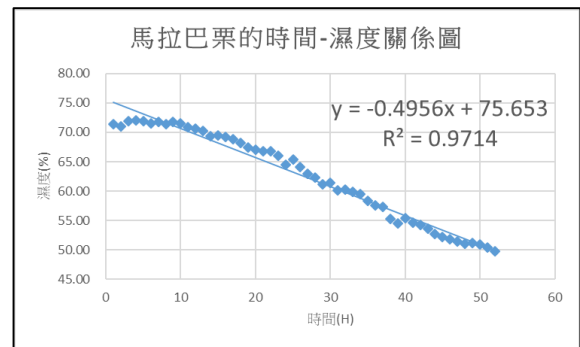


圖十、虎尾蘭的時間-電壓關係圖

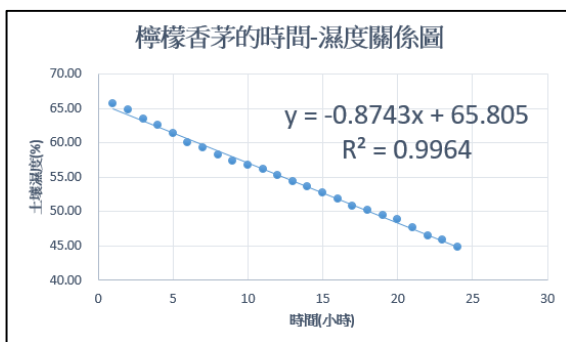
分析圖七至圖十，發現不管是何種植物，其雜草電池產生的電壓一開始都會緩步的上升或維持穩定(其中虎尾蘭電壓上升的幅度最高，約0.07V)，而在過一個臨界點時，電壓便會開始下降。只是每一種植物的時間點並不相同，蔥約在第8小時、馬拉巴栗約在第26小時、檸檬香茅約在第15小時、虎尾蘭約在第49小時。但因每一種植物的蒸散效率不同，且皆在日常的光照環境下，故須在後續實驗才能進行更嚴謹的分析比較。



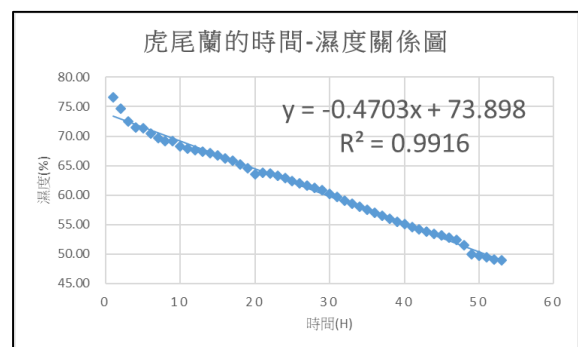
圖十一、蔥的時間-濕度關係圖



圖十二、馬拉巴栗的時間-濕度關係圖



圖十三、檸檬香茅的時間-濕度關係圖

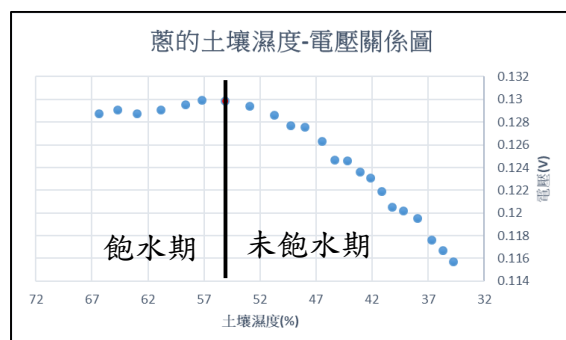


圖十四、虎尾蘭的時間-濕度關係圖

分析圖十一至圖十四的土壤濕度值變化，結果發現不論何種植物，土壤濕度幾乎呈線性下降(R 平方值皆大於0.97)，可是因葉片量或葉片面積的差異，導致蒸散作用效率不同，每種植物的土壤濕度下降速率也不同(蔥>檸檬香茅>馬拉巴栗>虎尾蘭)。

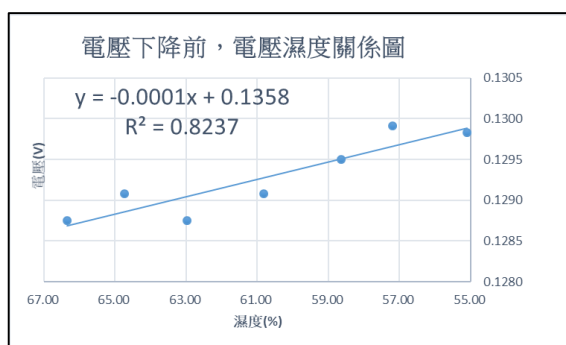
而對照任意植物的「時間與電壓關係圖」以及「時間與土壤濕度關係圖」，我們可以發現，雜草電池剛開始時，電壓與濕度的趨勢並不相似，但當電壓過了臨界點後，兩者皆產生下降的趨勢，為比較兩者之間的關係，且排除不同植物蒸散效率的影響，故我們後續將以土壤濕度為橫軸，雜草電池的電壓為縱軸，並進行不同植物的雜草電池分析討論。

(2) 雜草電池的電壓隨土壤濕度的變化關係(以蔥為例)：

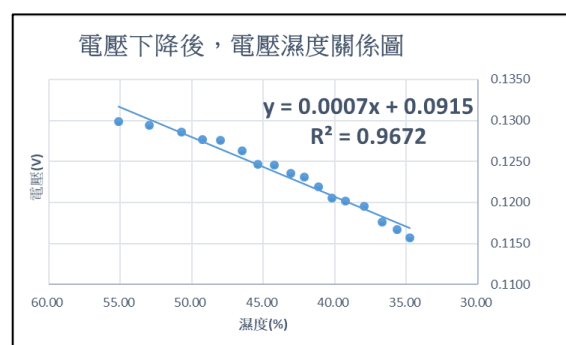


圖十五、蔥的濕度-電壓關係圖

我們比較了土壤濕度與雜草電池電壓的關係，結果從圖十五可發現，當土壤濕度充足時(土壤濕度大於55.10%，以下稱飽水期)，與土壤濕度不充足時(土壤濕度小於55.10%，以下稱未飽水期)，會產生不同的趨勢，所以我們將其分成圖十六以及圖十七分別討論。



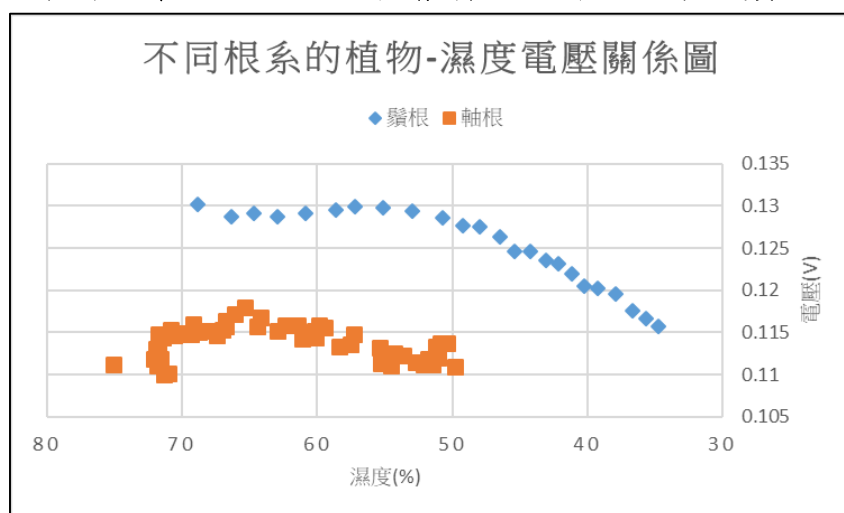
圖十六、飽水期的濕度-電壓關係圖



圖十七、未飽水期的濕度-電壓關係圖

從圖十六可發現在飽水期階段，雜草電池的電壓隨濕度下降而上升(R平方值為0.82)；而圖十七顯示在未飽水期階段，電壓開始隨濕度下降而下降(R平方值為0.97)。比較圖十六及圖十七，我們推測植物的根部在水分充足時，微生物較為活躍，而根部釋放的醣類供應微生物活動，使得雜草電池得以維持電壓；但當水分下降到未飽水期時，土壤濕度下降程度與電壓下降程度呈現線性關係(R平方值達到0.96)，此顯示土壤濕度的影響遠大於微生物的影響，微生物較不活躍，無法分解醣類來維持電壓，同時土壤的導電能力也開始急速下降，影響離子傳遞，使測得的電壓快速下降。

(3) 植物根系對雜草電池電壓的影響(軸根-馬拉巴栗；鬚根-蔥)：

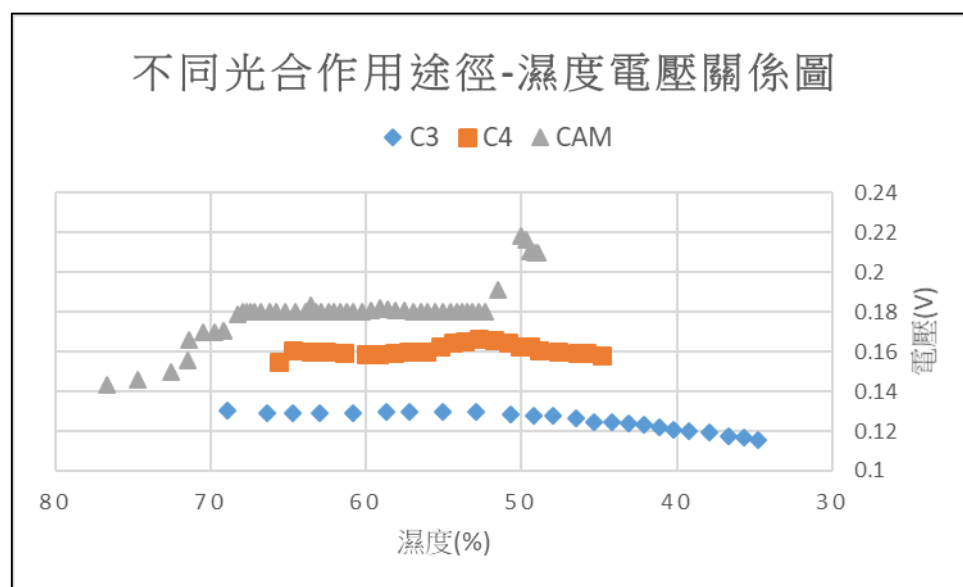


圖十八、不同根系的濕度-電壓關係圖

為了比較根系不同(軸根、鬚根)對於雜草電池的影響，並排除其蒸散作用效率的影響，我們以土壤濕度為橫軸，雜草電池的電壓為縱軸來進行分析。

從圖十八顯示；鬚根的電壓較大，而軸根的電壓較小，但如果細分飽水期及未飽水期的表現，我們發現在未飽水期時，鬚根的電壓下降幅度(約0.015V)大於軸根(約0.007V)；我們推測鬚根植物的根系較為分散，與土壤接觸面積較大，可能較易促進與微生物的交互作用，因此在濕潤條件下表現較佳；但同時也因為接觸面積大、導水性高，當土壤濕度下降時，根系的微生物可能較快速受到水分降低的影響，導致電壓明顯下降。

(4) 光合作用途徑對電壓的影響(C3-蔥；C4-檸檬香茅；CAM-虎尾蘭)：



圖十九、不同光合作用途徑的濕度-電壓關係圖

為了比較不同光合作用途徑(C3型、C4型、CAM 型)對於雜草電池的影響，並排除不同植物蒸散作用差異，故我們仍然比較土壤濕度與電壓的關係。從圖十九發現，CAM 型植物產生的電壓(最高為0.21V)最高，其次為 C4型植物(最高為0.16V)，最差則為 C3型植物(最高為0.13V)。以下我們針對這三種光合作用途徑進行比較，如表三所表示：

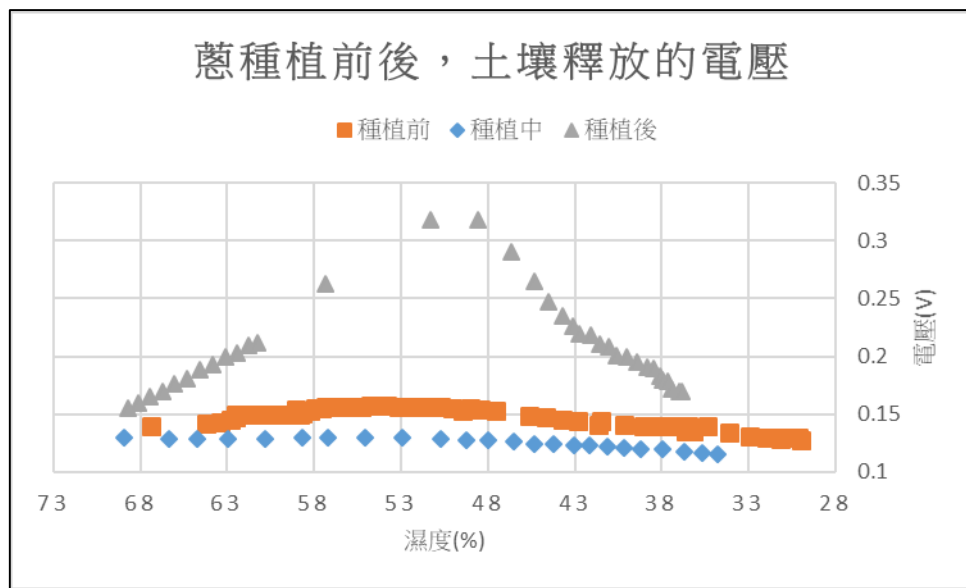
表三、不同光合作用途徑類型之差異

植物類型	光合作用途徑
C3	正常的碳反應途徑，氣孔打開的同時帶走大量水分，這類植物較難適應乾旱環境。
C4	透過提高抓取二氧化碳的能力，來減少氣孔打開的次數，並且提高醣類的產生。
CAM	在夜晚時才打開氣孔蒐集二氧化碳，白天則關閉氣孔，利用夜晚蒐集的二氧化碳來進行光合作用，能夠用來減少白天高溫時的水分蒸散。

※註：本表整理自參考文獻(6)之相關敘述

我們推測因 CAM 型植物及 C4型植物較耐乾旱的原因，在於根部儲存較多的醣類來提高滲透壓幫助吸水；所以在相同的濕度下，CAM 型植物及 C4型植物根部的微生物能分解的醣類更充足，故能產生較大電壓。而 CAM 型植物常生長於低水分與高電阻環境中，其根系與周圍微生物可能對離子傳遞有更強適應性，所以 CAM 型植物產生的電壓最高。

(5) 植物種植前土壤、種植中土壤、種植後土壤的電壓差異(以蔥為例)：



圖二十、種植前後土壤濕度-電壓關係圖

為了理解土壤產生的電壓是否來自於植物的影響，我們分析了植物種植前土壤(約半年無種植植物)、種植中土壤(當下種植蔥)、種植後土壤(蔥拔除後放置一週)。從圖二十結果發現，當植物種植中，電壓整體比種植之前微幅下降，但拔除植物之後，土壤電壓在溼度50%左右反而大幅提高(最高為0.31V)。

我們推測當植物在時，根部除了釋放醣類，亦會進行呼吸作用，減少土壤的溶氧量，而阻礙土壤中的微生物分解醣類，但當植物拔除後的一段時間，醣類上未被分解完畢，且無植物的呼吸作用減少溶氧量，故微生物更能有效分解醣類，進而產生較大的電壓。

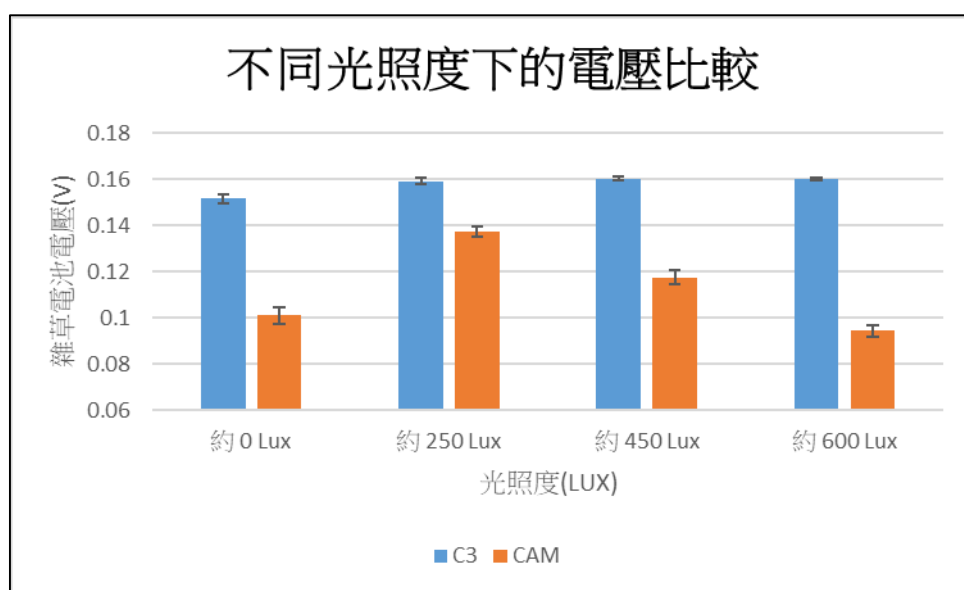
(6) 不同環境光照度下，雜草電池的電壓差異(C3-蔥；CAM-虎尾蘭)：

為了比較環境光照度對雜草電池電壓的影響，我們使用了圖四的自製暗箱，且為了去除土壤濕度及蒸散作用的影響，我們將實驗的測量時間縮短為30分鐘(每30秒測一組數據，共60組數據)，並使土壤濕度盡可能保持在80%，並進行標準差的分析，以確保濕度影響在最小的範圍內；從表四可發現我們的實驗中，土壤濕度落在80.27%至81.93%之間，相差僅在2%以內，而標準差最大為1.6%。

而在實驗對象的選擇上，依據表三我們比較了氣孔無時無刻皆打開的 C3型植物及夜間才會將氣孔打開的 CAM 型植物，並進行光照度及電壓的分析，結果如圖二十一所顯示：

表四、C3植物及 CAM 植物在30分鐘內光照度、土壤濕度及電壓值差異

			約0 Lux	約250Lux	約450Lux	約600Lux
C3	光照 (Lux)	平均值	0.08	258.86	448.30	616.10
		標準差	0.25	0.41	0.51	1.12
	電壓 (V)	平均值	0.1516	0.1593	0.1603	0.1602
		標準差	0.0037	0.0025	0.0018	0.0013
	濕度 (%)	平均值	80.47	80.38	80.29	80.27
		標準差	0.05	0.04	0.06	0.05
CAM	光照 (Lux)	平均值	0.01	262.24	416.90	609.60
		標準差	0.11	0.80	7.93	8.84
	電壓 (V)	平均值	0.1013	0.1373	0.1177	0.0945
		標準差	0.0072	0.0045	0.0065	0.0050
	濕度 (%)	平均值	81.49	80.94	81.93	80.32
		標準差	1.60	1.04	1.31	1.29



圖二十一、C3型植物及 CAM 型植物在不同光照度下的電壓差異

從圖二十一結果發現，C3型植物的電壓從0.15V(光強度約0 Lux，無光的環境)上升至0.16V(光強度約250 Lux)，而當電壓升至0.16V後，電壓強度就已維持穩定；而CAM型植物則顯示在光強度250 Lux時，其電壓最高(約0.13V)，光強度持續上升時，電壓反而下降(光強度約600Lux時，電壓下降至0.09V)。

我們從參考文獻(6)發現，當陽光增加，植物會消耗光合作用所累積的能量，植物便無法順利累積醣類物質。而CAM型植物只有在夜間會打開氣孔吸收二氧化碳，所以電壓下降得更為明顯，然而如果完全無光，植物未進行光合作用，其電壓值也偏低。

(7) 結論：

- A. 雜草電池的電壓分為飽水期與未飽水期，不同的植物，其臨界點各不相同(蔥約55%；馬拉巴栗約65%；檸檬香茅約52%；虎尾蘭約50%)。
- B. 雜草電池的電壓，在飽水期時，電壓隨溼度下降而上升，在未飽水期時，電壓隨溼度下降而下降。造成的原因可能來自於微生物活躍程度受土壤溼度之影響，同時導電性也受土壤溼度的影響。
- C. 鬚根的電壓較大，但隨溼度變化也大，而軸根的電壓較小，隨溼度變化也小。原因在於鬚根植物的根系較為分散，與土壤接觸面積較大，可能較易促進與微生物的交互作用。
- D. 較耐乾旱的植物(C4、CAM 型)其產生的電壓也較高，因為根部儲存更多的醣類，可供微生物分解。
- E. 土壤種植後的電壓效果大於種植前以及種植中，因為去除了植物根部呼吸作用的影響。
- F. 環境光照度並非越強越好，在250Lux 時，產生的電壓值較高。原因在於陽光增加，植物會消耗光合作用所累積的能量，植物便無法順利累積醣類物質。

(8) 後續研究方向：

- A. 施肥前後，是否會影響雜草電池的電壓？(本研究因時程不足，未針對此項度進行深入探討)
- B. 不同色光，是否會影響雜草電池的電壓？(本研究因採用的是光強度的模組，並無法測量紅光、綠光及藍光的波長，故未針對此項度進行深入探討)
- C. 大型植物的雜草電池電壓，結果是否相同？(本研究預先使用三用電表測試時，有測出校園內板樹土壤濕度約70%時，電壓值為1.5V，與小型植物的電壓差異不大，可惜因 Arduino 的無線傳播模組無法成功發送、接受數據，研究無法長期測量而改採小型植物進行分析)

5. 參考文獻：

- (1) 綠能再造—環保植物能發電，《綠色化學教育競賽，2016銅牌》
- (2) 土包子也能發光發熱利用 Arduino 之土壤發電研究與分析，《臺南市，2019年獨立研究，第3名》
- (3) 會發電與自循環的魚缸底泥為生物燃料電池之探討與應用，《第53屆中小學科學展覽會高中組生活與應用科技自然科作品》
- (4) 葉綠素電池之應用，《中華民國第59屆中小學科學展覽會，高級中等學校組，環境學科，第2名》
- (5) 來電~「樹」「素」看！，《臺南市，2016年獨立研究，國中組數理類第2名》
- (6) 植物的多樣性—不同的光合作用機制與作物栽培管理，國歡企業家族。