

屏東縣第 63 屆國中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：生物科

組 別：國小組

作品名稱：來不來電有關係－以鋅銅電池概念測定玉米電流變化探討植物病害之初步檢測

關 鍵 詞：玉米、電流、逆境（最多三個）

編號：

製作說明：

- 1.說明書封面僅寫科別、組別、作品名稱及關鍵詞。
- 2.編號：由承辦學校統一編列。

來不來電有關係 – 以鋅銅電池概念測定玉米電流變化探討植物病害之初步檢測

壹、前言

從文獻中發現，樹木發電是因為樹木和附近土壤中 pH 值不同，在樹木自身新陳代謝的作用下，可以產生電流。而大樹也跟人體一樣，新陳代謝有快有慢。我們可以根據其發電量，知道它的健康程度。基於此種概念，以水果發電實驗方式為基礎，將銅、鋅金屬裝置於樹木與土壤，另外安裝於玉米桿中，觀察植物於不同生長逆境中(酸、鹼、鹽和減少葉片)之電壓和電流變化，來探究植物於逆境中的生理現象，並依據探究的結果，嘗試建立樹木生理變化紀錄，來初步判定是否生病了，希望進一步建立以非傷害性的簡易樹木生病之檢測方式。

一、研究動機

以往樹木遭受病蟲害或是化學性傷害時，常常是已達大量落葉或是枯萎才能獲知樹木已經受到傷害，不過常常為時已晚，若能建立一種長期觀察機制，利用簡易非破壞性的定期測量，早期發現樹木病害並加以治療，應可有助於樹木的健康維護。於是便上網找尋文獻，華人百科說及樹木發電是因為樹木和附近土壤中pH值不同，在樹木自身新陳代謝的作用下，可以產生電流。並且通過一種電壓提轉換器，用來儲存樹上產生的電流能源，待儲備足夠的能源後，可以定時釋放出1.1V的電壓。樹電在大部份的應用上似乎不致於取代太陽能發電，但一項低成本的樹木感測系統可用於偵測環境情況或森林火災，而其電力產出也可應用於量測樹木健康的參考。因此從前年開始進行校園樹木普測，並發現測定的樹木電壓的大小會因為所生長的區域及樹種而有差異。(第62屆屏東縣科展國中物理組-皮卡丘與妙蛙種子的邂逅-探討影響植物電池發電量的因素)。原本設定希望能找到替代能源或是緊急電力來源，可是發現使用樹木作為鋅銅電池的媒介，所產生的電力不足以提供電燈或是手機電力使用。後來發現不同地區의同一樹種(白水木、欖仁樹，分別比較校園與海濱)，所產生的電力有所差異，是否生長環境會造成植物體的生理反應產生變化，而此變化是否可以作為偵測植物傷害的初

步檢測。在自然課「水溶液」的單元，我們學到了不同水溶液的導電性，老師教導我們運用鋅、銅當電極，加上柑橘類水果，結果順利讓發光二極體發光。這時心中想到，同樣屬於有機物質的樹木植物體內也有乳汁或是液體，是不是和水果發電所用的水果媒介類似呢？於是選取生長快速的玉米植栽搭配不同人為生長逆境，來嘗試探討植物於逆境下生理變化導致的電壓或電量差異，來作初步植物受到傷害時的判斷。

二、研究目的

- (一)探討植物於不同的生長逆境中，前後發電量之差異。
- (二)探討金屬安裝於樹身與土壤、以及安裝於植物本體不同位置的發電量差異。
- (三)觀察植株在不同生長逆境下的外觀變化。
- (四) 建立以非傷害性的簡易樹木生病之檢測方式。

三、文獻回顧

- (一)水果發電原理探討：由中華民國第 56 屆中小學科學展覽會國小化學科-動「池」凍「池」--水果電池結果得知，果汁濃度、溫度愈高，所測量出的電功率愈佳。電極的種類則是影響電壓大小的最大因素。電路串聯時，電池總電壓增加；電路並聯時，電池總電流增加。維基百科中亦述及水果電池是利用水果的氧化還原反應產生電位差來進行發電。
- (二)環境資訊中心 2009 年 09 月 15 日文獻中提到，華盛頓大學對樹木發電成功地設置一個電路將從樹木發出的能源導出，導入另一個可使能源進行運轉的裝置，該裝置將低的 20 毫伏電壓導入，儲存並產出 1.1 伏特的電壓。而這項低成本的樹木感測系統可用於偵測環境情況或森林火災，而其電力產出也可應用於量測樹木健康的參考。
- (三)華人百科提到，樹木發電是因為樹木和附近土壤中 pH 值不同，在樹木自身新陳代謝的作用下，可以產生電流，並且通過一種電壓提轉換器，用來儲存樹上產生的電流能源，待儲備足夠的能源後，可以定時釋放出 1.1V 的電壓。
- (四)蘋果生活報導也說到，植物行光合作用時，會將未利用到的有機物，經根部排進土壤中，土壤中的細菌在分解過程中，會釋放出副產品，包括電子。收集這些游離電子便可用於發電。

(五)普蘭可於 TechNews 科技新報說及，以每平方公尺發電 3.2 瓦特來計算，只要拿臺灣二十分之一的森林來發電，電量就相當於一座核電廠的電力。

(六)中華民國第53屆中小學科學展覽會高職組化工、衛工及環工科【遍地雜草變黃金】，實驗結果內容得知，植物萃取液的酸性越高者，發電量相對的越高。

(七)屏東縣第 62 屆中小學科學展覽會國中物理組【皮卡丘與妙蛙種子的邂逅-探討影響植物電池發電量的因素】，參考選取單子葉植物玉米及設定植物逆境(酸性、鹼性、鹽分和或落葉)為試驗項目。

貳、研究設備及器材

一、實驗樹種：玉米。

二、實驗器材

			
玉米	三用電表	鋅片	銅片與銅箔
			
土壤濕度、光照 、酸鹼值檢測器	燒杯	食鹽、廁所清潔 鹽酸、小蘇打粉	鱷魚夾電線

			
<p>塑膠杯</p>	<p>鋅銅片、老虎夾 電線、三用電表 連接方式</p>	<p>pH 機</p>	

參、研究過程與方法

本研究旨在探討玉米於不同酸鹼值及落葉試驗下，不同的生長逆境產生的電壓和電流差異。其研究方法與過程如下：

一、研究方法：

採實驗組與對照組。實驗組有四，分別為酸性水溶液、鹼性水溶液、鹽水溶液、落葉，和對照組進行實驗。實驗生長逆境樣水分別為：

- (1) 酸性水溶液:四瓶鹽酸+20 公升的水。
- (2) 鹼性水溶液:兩包小蘇打粉(共兩公斤)+20 公升的水。
- (3) 鹽性水溶液:一包食鹽(1 公斤)+20 公升的水。

	實驗組				對照組
操縱變因： 生長逆境	酸性水溶液 (酸 1~酸 6)	鹼性水溶液 (鹼 1~鹼 6)	鹽水溶液 (鹽 1~鹽 6)	落葉 (葉 1~葉 6)	正常生長環境 (對 1~對 6)

				6)	
--	--	--	--	----	--

(一)取 2cm*4cm 的銅片為銅極電極。另外取 2cm*4cm 的鋅片插入試驗植物旁的分別插入土壤及植物體中，再以鱷魚夾電線連結至三用電表，電壓檢測調整為直流電，以伏特(V)為檢測單位，電流則以直流電毫安培(uA)為檢測單位，記錄檢測時的土壤濕度，並取約 30~40 公克土壤冰起來準備測試酸鹼值，爾後的試驗檢測單位與試驗紀錄均與此次試驗相同。

(二)實驗過程先於大盆栽中種植 10 棵玉米，種植共計十盆，爾後從其中選取五盆分別以酸性水溶液、鹼性水溶液、鹽水溶液、落葉試驗和對照組進行實驗。每盆中找 6 棵玉米作為試驗對象，分別標上酸 1~酸 6、鹼 1~鹼 6、鹽 1~鹽 6、葉 1~葉 6、對 1~對 6。其餘玉米植栽作為預備。

(三)將銅片插入玉米離地 15cm 高度的莖中，鋅片則插入玉米旁的土壤之中，將銅片和鋅片以鱷魚夾電線連結至三用電表上，檢測並記錄銅鋅片於植物—土壤的電壓和電流。

(四)接著取出土壤中的鋅片插入離地 5cm 的玉米莖中，檢測並記錄銅鋅片都在植物體上的電壓及電流。

		
<p>銅極在植物莖上 鋅極在土壤中</p>	<p>銅極和鋅極都在植物莖上</p>	<p>試驗原料取廁所清洗用鹽酸、清潔用小蘇打粉、食用食鹽，再加水稀釋成 20 公升樣水，每日澆灌</p>

			
<p>每日測量電流前，先取出表面土壤約 30 公克冰於冰箱中</p>	<p>土壤酸鹼測試，分別將樣水放置杯中</p>	<p>土壤酸鹼測試，取 20 公克土壤加入 20 毫升 RO 逆滲透水</p>	<p>樣水充分搖晃攪拌後靜置，待土壤沉澱後取上層水進行 pH 值檢測</p>

二、研究過程：

(一)澆灌實驗樣水，檢測電壓和電流

- 1.酸性水溶液:每天澆灌酸性水溶液一公升於盆栽中，第零天先澆灌清水一公升後分別檢測電壓和電流，之後每天澆灌酸性水溶液後，每隔二至三天檢測一次記錄。
- 2.鹼性水溶液: 每天澆灌鹼性水溶液一公升於盆栽中，第零天先澆灌清水一公升後分別檢測電壓和電流，之後每天澆灌鹼性水溶液後，每隔二至三天檢測一次記錄。
- 3.鹽性水溶液: 每天澆灌鹽性水溶液一公升於盆栽中，第零天先澆灌清水一公升後分別檢測電壓和電流，之後每天澆灌鹽性水溶液後，每隔二至三天檢測一次記錄。
- 4.落葉試驗:每兩天摘除四片葉片並澆灌清水一公升，第零天不摘除葉片先澆灌一公升清水後分別檢測電壓和電流，之後每兩天摘除四片葉片，最後將剩餘葉片全部摘除後連續測試兩次。每隔二至三天檢測一次記錄。
- 5.對照組:不做任何處理，每天澆灌清水一公升，第零天先澆清水一公升後水後分別檢測電壓和電流，之後每二至三天檢測一次檢測電壓和電流並記錄。

(二)檢測土壤酸鹼性:

- 1.試驗方法:從第零天開始先澆灌清水一公升後，取土壤約 30-40 公克至於夾鏈袋中並於袋上書寫處理方式及收集時間冰於冰箱中。爾後每次進行電壓電流測試時，將當天每盆的土壤約 30-40 公克至於夾鏈袋中並於袋上書寫處理方式及收集時間冰於冰箱

中。

2.於澆灌不同性質水的取樣試驗完成後，將冰箱中收集的土壤取出，取約 20 公克土壤樣土加入 20 毫升的 RO 逆滲透水，充分搖動後放入冰箱靜置一天。隔天再取出倒入試管瓶封好並標上紀錄。每瓶樣水測試三次後取平均紀錄。

3.因原本要用於試驗酸鹼值的簡易式 pH 機可能因為酸鹼濃度過高，測試不出酸鹼值，故將樣水寄至臺中農業藥物毒物試驗所，委由該所人員協助使用桌上型 pH 機儀器進行測量，再將測驗結果回傳。

4.記錄並分析結果。

肆、研究結果

依實驗流程，每次分別測得六個樣本電流和電壓數據，再將六個樣本數據平均後進行分析。記錄結果如下：

一、酸性水溶液試驗

表 1 酸性水溶液試驗測得電流及電壓紀錄

單位 uA 1/1000000 安培	第 0 天	第 2 天	第 4 天	第 7 天	第 9 天	第 11 天
銅極(樹上) 鋅極(土中)	7.2	13.7	22.4	19.8	21.6	24.7
銅極(樹上) 鋅極(樹上)	20.4	13.0	67.5	40.8	57.4	41.1

單位 V	第 0 天	第 2 天	第 4 天	第 7 天	第 9 天	第 11 天
銅極(樹) 鋅極(土)	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
銅極(樹) 鋅極(樹)	0.8	0.9	0.9	0.9	0.8	0.9

如表 1，玉米植栽於酸性水溶液澆灌下，電壓變化量不大，電流檢測將兩個銅鋅電極安裝於莖上比鋅極安裝於土壤中銅極安裝於莖上的電流較大，電流的變化則隨著澆灌酸性水溶液天數增多，電流量隨著變大，至第四天時最大，接著開始緩步下降。最大電流量大約是原先尚未澆灌酸性水溶液的三倍。玉米植栽外觀有逐漸枯

萎情形，土壤酸鹼值測試隨著澆灌天數增加，偏酸性程度亦隨之增加，所以土壤的酸化有隨著澆灌天數增加而有累加的情形。可從圖 1-1 和圖 1-2 折線圖看出酸性水溶液試驗測得電流和電壓的變化。

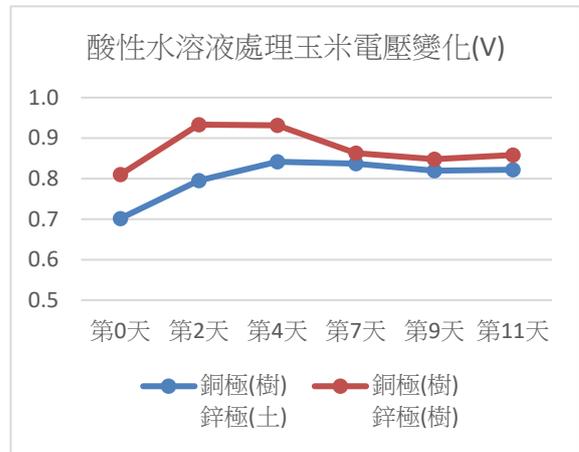
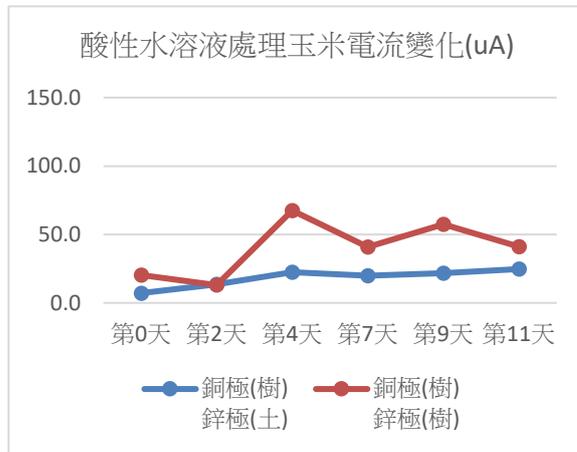


圖 1-1 酸性水溶液試驗測得電流紀錄

圖 1-2 酸性水溶液試驗測得電壓紀錄

二、1. 鹼性水溶液試驗(含第九天已死亡的第三棵樣本數據)

表 2 鹼性水溶液試驗測得電流、電壓紀錄

單位 uA 1/1000000 安培	第 0 天	第 2 天	第 4 天	第 7 天	第 9 天	第 11 天
銅極(樹上) 鋅極(土中)	5.0	14.9	59.2	270.6	195.5	287.7
銅極(樹上) 鋅極(樹上)	19.7	13.0	86.0	214.5	176.2	196.7
單位 V	第 0 天	第 2 天	第 4 天	第 7 天	第 9 天	第 11 天
銅極(樹) 鋅極(土)	0.6	0.4	0.6	0.7	0.6	0.9
銅極(樹) 鋅極(樹)	0.9	0.7	0.6	0.5	0.5	0.9

如表 2，玉米植栽於鹼性水溶液澆灌下，電壓變化量不大，電流檢測將兩個銅鋅前段天數電極安裝於莖上比鋅極安裝於土壤中銅極安裝於莖上的電流較大，後面天數則出現鋅極安裝於土壤中銅極安裝於莖上的電流變成比較大，基本上電流變化

隨著澆灌鹼性水溶液天數增多，電流量隨著變大，而且隨著天數增加，電流量也越來越大。截至實驗結束，最大電流量大約是原先尚未澆灌鹼性水溶液的 60 倍。玉米植栽外觀有枯萎變黃情形明顯，甚至第三棵樣樹於第九天已經到死亡情形，土壤酸鹼值於澆灌第二天開始就達到和原樣水一樣的鹼性濃度，可能也因為如此，植栽的外觀和生理反應才會這麼劇烈明顯。可從圖 2-1 和圖 2-2 折線圖看出鹼性水溶液試驗測得電流和電壓的變化。

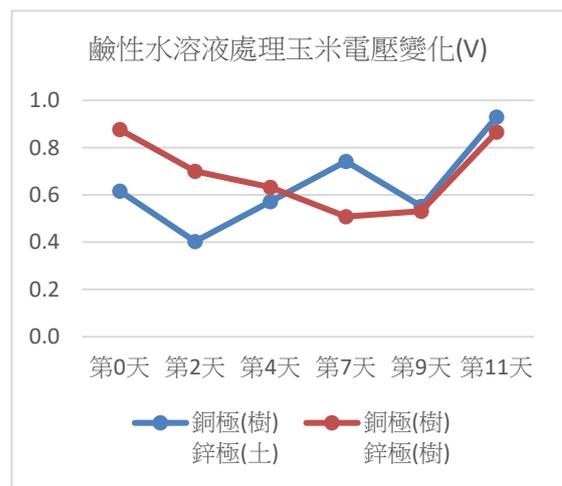
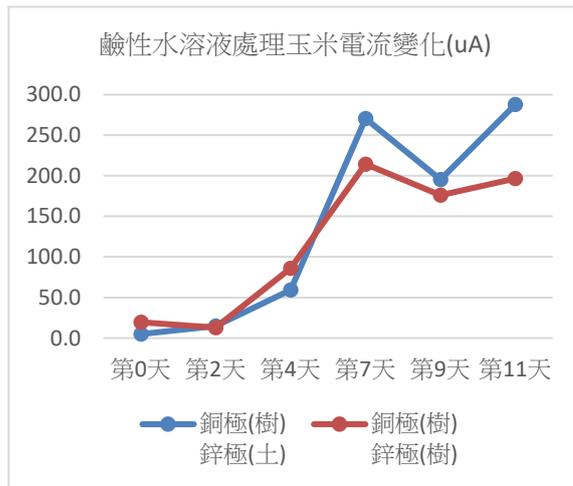


圖 2-1 鹼性水溶液試驗測得電流紀錄

圖 2-2 鹼性水溶液試驗測得電壓紀錄

二、2. 鹼性水溶液試驗(不含第九天已死亡的第三棵樣本數據)

表 3 鹼性水溶液試驗測得電流紀錄(不含第九天死亡的第三棵樣本)

單位 uA 1/1000000 安培	第 0 天	第 2 天	第 4 天	第 7 天	第 9 天	第 11 天
銅極(樹) 鋅極(土)	4.9	15.8	66.4	292.5	223.2	343.8
銅極(樹) 鋅極(樹)	19.5	13.0	94.9	222.2	198.0	234.6

因第三棵樣本死亡，所以將第三棵數據拿掉後，重新分析，分析結果跟前述鹼性水溶液的結果相同，只是拿掉第三棵的數據後，電流的增加倍數更大，最後一天的數據為第一天數據的 70 倍。

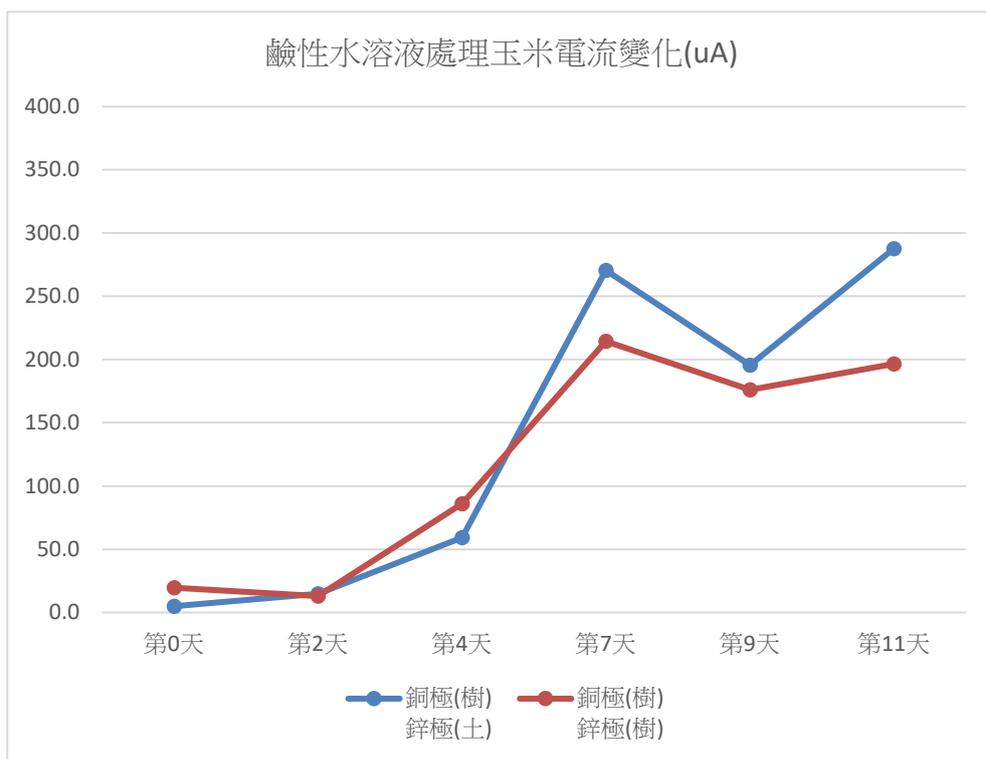


圖 3 鹼性水溶液試驗測得電流紀錄(不含第九天死亡的第三棵樣本)

二、3. 鹼性水溶液試驗(第九天死亡的第三棵樣本)

表 4 鹼性水溶液試驗-第九天死亡的第三棵樣本測得電流紀錄

單位 uA 1/1000000 安培	DAY 0	DAY 2	DAY 4	DAY 7	DAY 9	DAY 11	DAY 13
銅極(樹) 鋅極(土)	5.5	10.1	23.2	161	23.2	57	7
銅極(樹) 鋅極(樹)	20.6	35.6	41.6	176	67	67	7.1

第三棵樣樹在第七天時測得電流最大，接著植株越來越傾倒，到第 13 天時已經出現乾枯的外觀，測得的電流量也變小了，所以從第三棵的電流數量結果可以發現，樹木受到逆境時，會產生植物體內電解質數量增加，接近死亡時可能植株內水分已無法輸送，導致電流量減少，所以可由這個結果推測如果植株受傷或生病，可由逐漸增加的電流量來做初步判定。

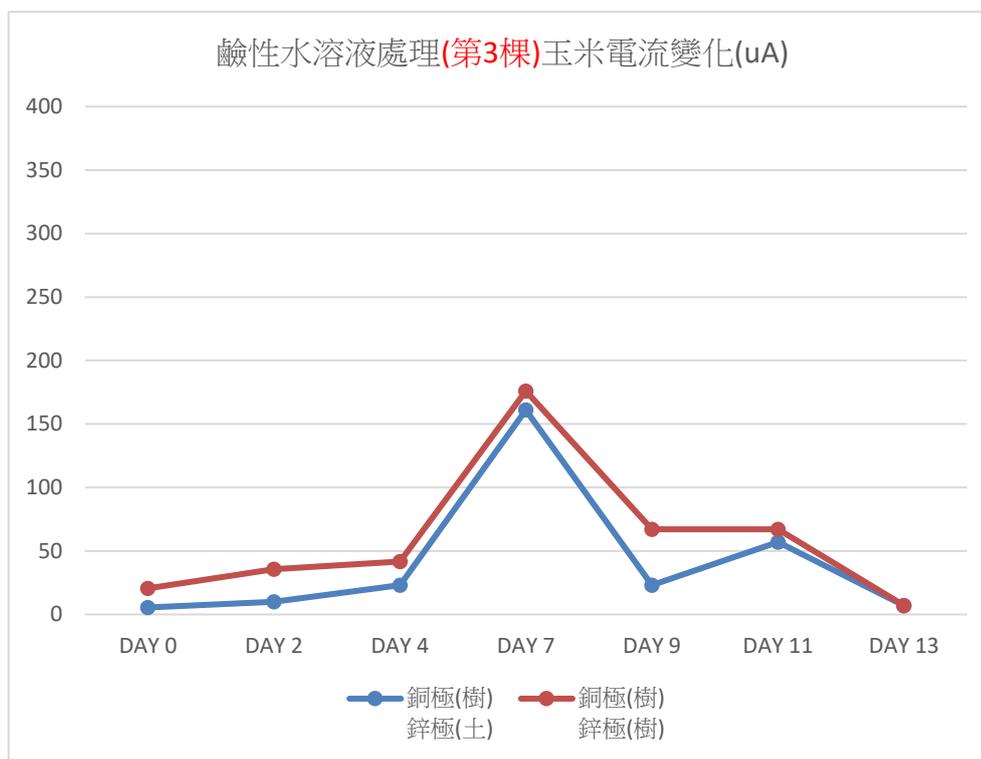


圖 4 鹼性水溶液試驗-第九天死亡的第三棵樣本測得電流紀錄

從表 2、表 3 和表 4 得知，玉米植栽於鹼性水溶液澆灌下，電壓變化量較不一致，可能試驗時土壤的溼度不夠均勻。電流的變化由隨著澆灌鹼性水溶液天數增多，電流量有隨著變大，且呈現直線增加情形，拿掉第三株樣本的數值，第十一天時的電流量銅極(樹上)、鋅極(土中)的電流量比原來尚未澆灌時的電流量增加了 70 倍，銅極(樹上)、鋅極(樹上) 的電流量比原來尚未澆灌時的電流量增加了 12 倍。玉米植株隨著澆灌天數增加，呈現枯黃傾倒情形，尤其試驗的第三株樣本，於試驗第七天後呈現病徵並開始枯黃死亡，其電流量在第七天達最高，接著電流量開始減少，到第 13 天時已經減少到和原來剛開始試驗時數值接近，植株也呈現死亡狀態。土壤酸鹼值測試也有隨著澆灌鹼性水溶液天數增加而有增加情形，pH 值於試驗開始後幾乎就達和原液的 pH 值接近到約 10 左右，也可能因此對玉米的傷害力更明顯，玉米生理現象的變化也更明顯，電流的增加量也變得很大。可從圖 2-1、圖 2-2、圖 3 和圖 4 折線圖看出鹼性水溶液試驗測得電流和電壓的變化。

三、鹽水水溶液試驗

表 5 鹽水水溶液試驗測得電流、電壓紀錄

單位 uA 1/1000000 安培	第 0 天	第 2 天	第 4 天	第 7 天	第 9 天	第 11 天
銅極(樹) 鋅極(土)	5.37	13.08	42.65	105.62	232.03	348.05
銅極(樹) 鋅極(樹)	19.35	13.00	56.90	210.48	294.75	365.72
單位 V	第 0 天	第 2 天	第 4 天	第 7 天	第 9 天	第 11 天
銅極(樹) 鋅極(土)	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	0.7
銅極(樹) 鋅極(樹)	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8

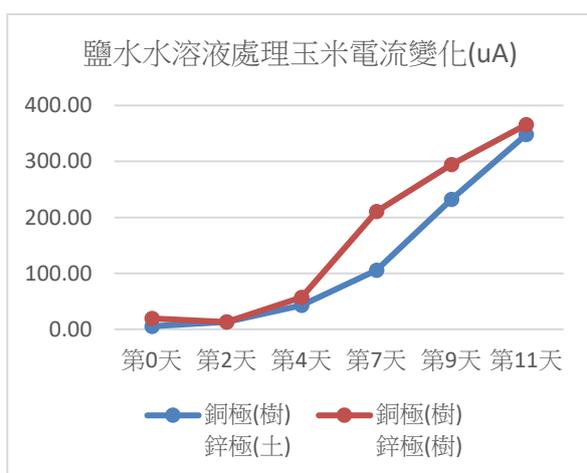


圖 5-1 鹽水水溶液試驗測得電流紀錄

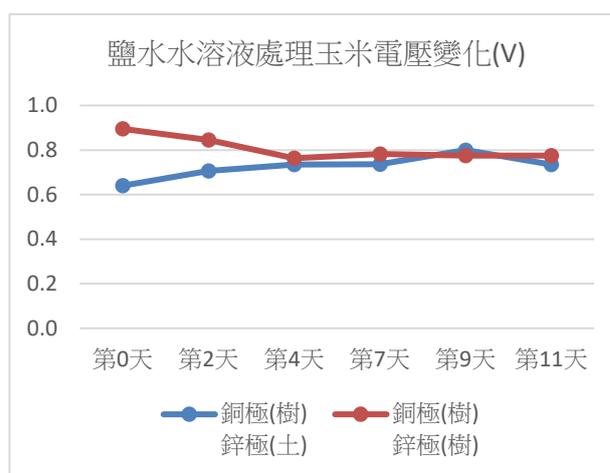


圖 5-2 鹽水水溶液試驗測得電壓紀錄

從表 5 得知，於鹽水溶液澆灌下，電壓變化量不大，電流檢測將兩個銅鋅電極安裝於莖上比鋅極安裝於土壤中銅極安裝於莖上的電流較大。於鹽水溶液的試驗中，電流的生成量呈現明顯的直線增加，第十一天時的電流量銅極(樹上)、鋅極(土中)的電流量比原來尚未澆灌時的電流量增加了 64 倍，銅極(樹上)、鋅極(樹上) 的電流量比原來尚未澆灌時的電流量增加了 19 倍。玉米植株隨著澆灌天數增加，呈現枯萎情形，但是外觀看來比鹼性水溶液試驗的狀況好一些，呈現葉片萎縮枯黃，但還未到死亡傾

倒情形。土壤的酸鹼值變化不大，接近中性偏鹼一些，跟對照組的酸鹼值接近。可從圖 5-1、圖 5-2 折線圖看出鹽性水溶液試驗測得電流和電壓的變化。

四、落葉試驗

表 6 落葉試驗測得電流紀錄

單位 uA 1/1000000 安培	第 0 天	第 2 天少 4 片	第 4 天少 8 片	第 7 天少 12 片	第 9 天全 無葉子	第 11 天全 無葉子
銅極(樹) 鋅極(土)	4.6	4.8	6.9	8.7	7.4	5.1
銅極(樹) 鋅極(樹)	17.0	13.0	26.9	35.4	35.0	14.1

單位 V	第 0 天	第 2 天	第 4 天	第 7 天	第 9 天	第 11 天
銅極(樹) 鋅極(土)	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.6
銅極(樹) 鋅極(樹)	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8

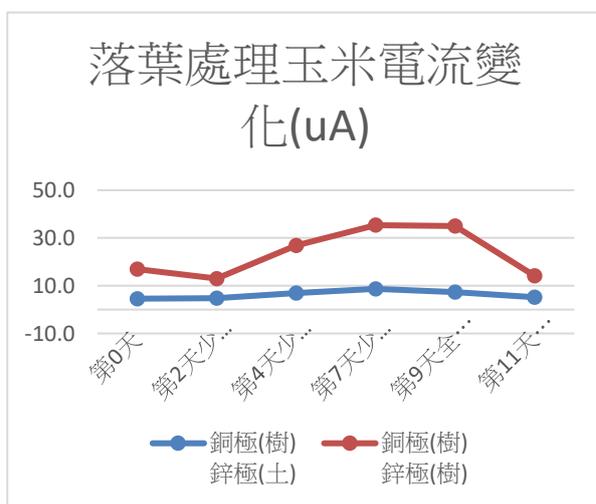


圖 6-1 落葉試驗測得電流紀錄

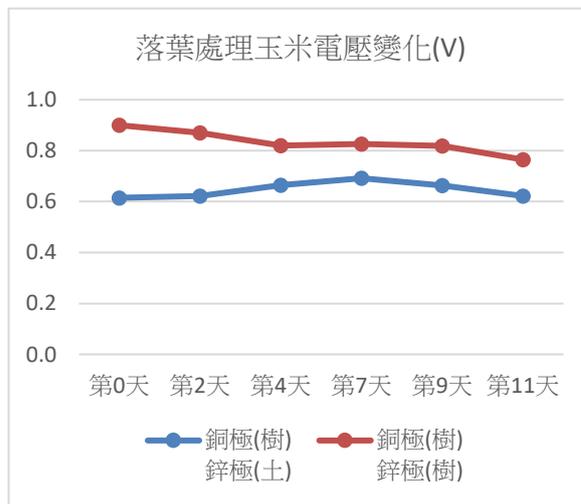


圖 6-2 落葉試驗測得電紀錄

如表 6，於落葉試驗中，電壓變化量不大，電流檢測將兩個銅鋅電極安裝於莖上比鋅極安裝於土壤中銅極安裝於莖上的電流較大。落葉試驗至第九天葉子全數摘除時，電流量約為原本的兩倍，接著開始電流量開始下降，至葉片全部摘除完後兩天電流量

已經和原先尚未試驗前的電流量接近。玉米葉片摘除後，植株的外觀看起來仍有活力，並未有枯黃或傾倒的情形。土壤的酸鹼值變化不大，接近中性偏鹼一些，跟對照組的酸鹼值接近。可從圖 6-1、圖 6-2 折線圖看出鹽性水溶液試驗測得電流和電壓的變化。

五、對照試驗

表 7 對照組試驗測得電流紀錄

單位 uA 1/1000000 安培	第 0 天	第 2 天	第 4 天	第 7 天	第 9 天	第 11 天
銅極(樹) 鋅極(土)	4.9	4.7	9.1	8.7	7.4	7.9
銅極(樹) 鋅極(樹)	20.5	13.0	37.7	35.4	35.0	31.8

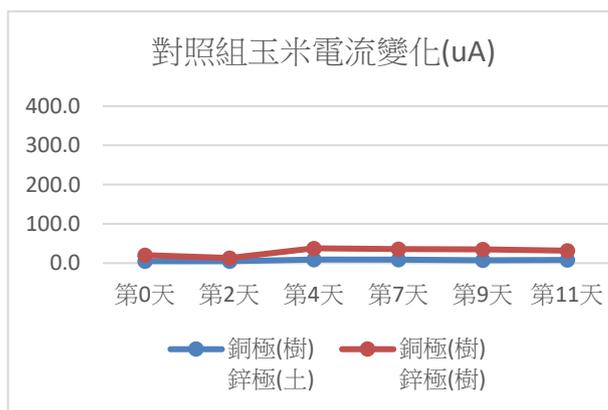


圖 7-1 對照組試驗測得電流紀錄

圖 7-2 對照組試驗測得電壓紀錄

於對照組試驗中，電壓變化量不大，電流檢測將兩個銅鋅電極安裝於莖上比鋅極安裝於土壤中銅極安裝於莖上的電流較大。試驗過程中電流量變化持平，植株外觀也呈現健康無傷害情形。土壤的酸鹼值變化不大，接近中性偏鹼一些。

六、不同逆境，金屬片都在植株上的電流比較

表 8 不同試驗方法比較測得電流紀錄

單位 uA 1/10000000 安培	第 0 天	第 2 天	第 4 天	第 7 天	第 9 天	第 11 天
銅極(樹上)						

鋅極(樹上)						
酸性水溶液	20.4	13.0	67.5	40.8	57.4	41.1
鹼性水溶液	19.7	13.0	86.0	214.5	176.2	196.7
鹽性水溶液 (含死亡第三棵)	19.4	13.0	56.9	210.5	294.8	365.7
落葉處理	17.0	13.0	26.9	35.4	35.0	14.1
對照組	20.5	13.0	37.7	35.4	35.0	31.8

在不同處理的電流比較上，鹽水處理的電流增加量最大且明顯，有可能鹽水本身就是電解水溶液，植物在鹽水逆境的適應力較強，所以鹽水試驗的植株雖然外觀有葉片收縮情形，可是卻不是死亡，為了處理逆境狀況，植栽會減少水分吸收，因此植栽內的有機物質或電解質濃度會增加，這和黑珍珠蓮霧的果實於海水逆境澆灌下，果實會較小，水分也較少但甜度卻會提升情形相符。

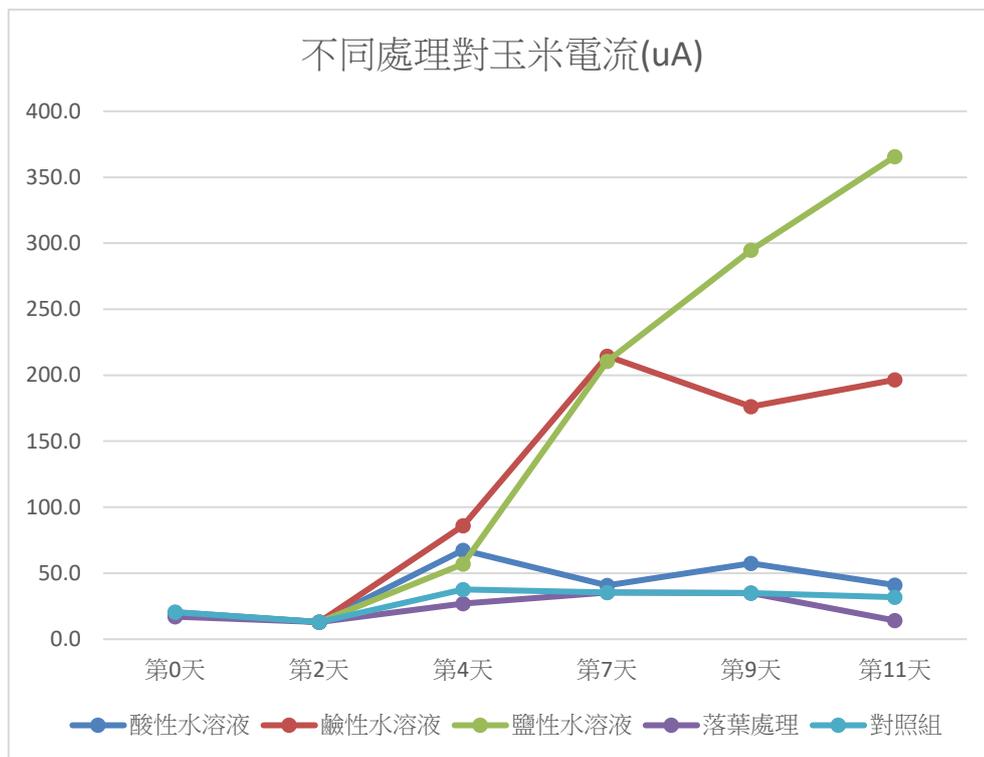


圖 8 不同試驗方法比較測得電流紀錄

七、土壤酸鹼檢測試驗

表 9 不同試驗方法土壤酸鹼 pH 值紀錄

pH 值			7月 11日	7月 13日	7月 15日	7月 18日	7月 20日	7月 22日
------	--	--	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

	重複	澆灌原液	第0天	第2天	第4天	第7天	第9天	第11天
酸性水溶液	I	0.97	7.45	6.84	6.57	5.46	4.86	3.84
	II	0.94	7.37	6.86	6.65	5.51	4.84	3.67
	III	0.96	7.36	6.85	6.56	5.49	4.85	3.76
	平均	0.96	7.39	6.85	6.59	5.49	4.85	3.76
鹼性水溶液	I	9.51	7.38	9.94	9.76	9.80	9.72	9.91
	II	9.56	7.42	9.97	9.79	9.82	9.74	9.93
	III	9.54	7.41	9.95	9.78	9.87	9.75	9.93
	平均	9.54	7.40	9.95	9.78	9.83	9.74	9.92
鹽性水溶液	I	7.91	7.39	6.87	7.64	7.69	8.02	7.75
	II	7.91	7.43	7.30	7.60	7.66	7.97	7.69
	III	7.91	7.41	7.10	7.63	7.67	8.00	7.70
	平均	7.91	7.41	7.09	7.62	7.67	8.00	7.71
落葉處理	I	8.21	7.51	6.74	7.56	7.66	7.56	7.62
	II	8.21	7.47	7.61	6.95	7.79	7.61	7.58
	III	8.21	7.50	7.27	7.66	7.70	7.65	7.61
	平均	8.21	7.49	7.21	7.39	7.72	7.61	7.60
對照組 地下水	I	8.21	6.95	7.52	7.48	7.41	7.55	7.76
	II	8.21	7.51	7.59	7.55	7.53	7.63	7.79
	III	8.21	7.61	7.57	7.50	7.50	7.60	7.78
	平均	8.21	7.36	7.56	7.51	7.48	7.59	7.78

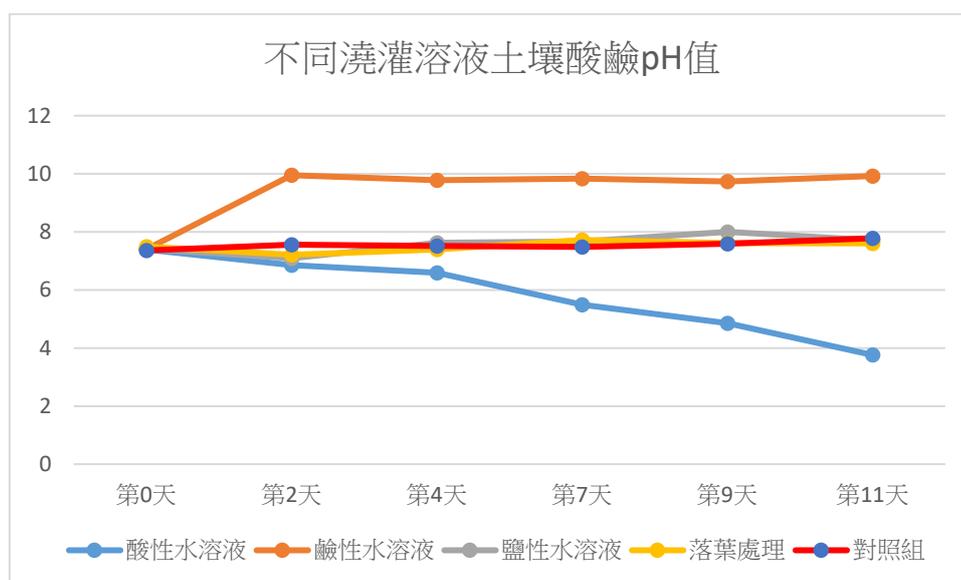


圖 9 土壤酸鹼檢測試驗紀錄

因為原先採用的簡易式 pH 機可能因為濃度過高，無法量測出數據，於是將土壤收集加入 RO 水攪拌後取樣水寄到台中市農業試驗所請求協助。測得的數據發現鹼性水溶液在樣水加入第二天開始就已經到達原樣水的 pH 值濃度，酸性水溶液的試驗則是慢慢下降，所以知道每日澆灌酸性水溶液對於土壤的 pH 值是有累加性。鹽水溶液、落葉處理和對照組的 pH 值則沒有變化維持中性左右。

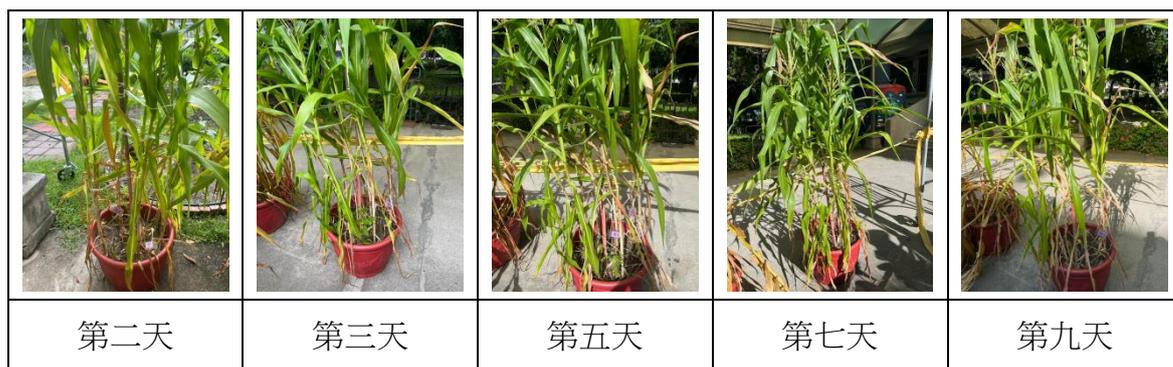
八、植株在不同生長逆境下的外觀變化。

(一)尚未進行試驗前的玉米外觀



尚未試驗前玉米植株青翠健康。

(二)酸性水溶液試驗結果



酸性水溶液試驗玉米植株隨著澆灌酸液天數增加，外觀有些葉片有枯萎，但沒有鹼性水溶液試驗和鹽水溶液試驗明顯。

(三)鹼性水溶試驗結果



鹼性水溶液玉米植株开始浇灌的第二天就已经出现病徵，叶片出现枯黄，到第五天枯黄情形更明显，植株已也经无法挺立，第九天已经全部倒下，第三棵样本更是出现乾枯死亡情形。

(四)鹽水溶試驗結果



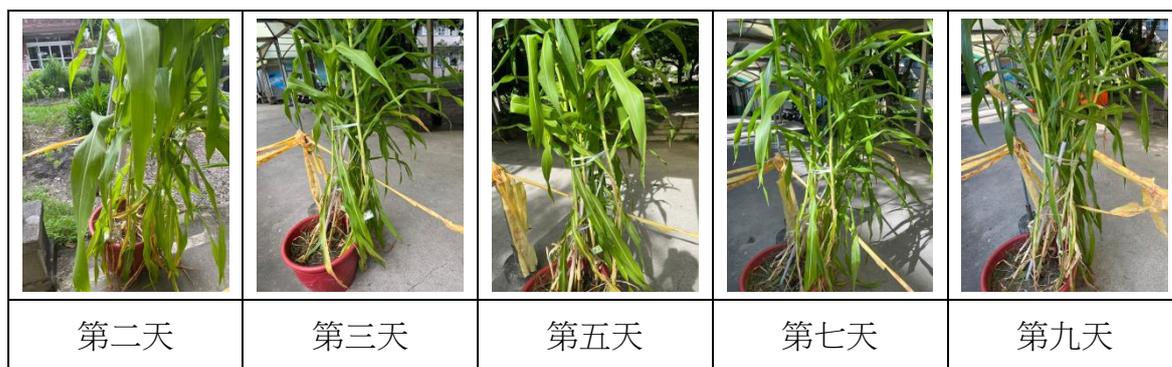
鹽水試驗玉米植株隨著鹽水澆灌天數增加，叶片出現收縮情形，植株也有逐漸傾倒的情形，外觀看起來比較像是被脫水了。

(五)落葉試驗結果



落葉試驗的玉米植株到第七天所有叶片都拔除，外觀植株雖然沒有叶片了，但是植株的莖仍然挺立。

(六)對照試驗結果



對照組試驗的玉米植株保持青翠健康。

伍、研究討論

- 一、於電極設置位置對發電量差異的電壓和電流試驗中，文獻(西雅圖華盛頓大學成功運轉了樹木發電的裝置實驗 <https://e-info.org.tw/node/53632>)記載為電極分別安置於樹木和土壤之中，利用樹木和附近土壤中 pH 值不同，在樹木自身新陳代謝的作用下，可以產生電流。但是此次試驗將兩個電極同時安裝樹上，或同時安裝於土壤中反而產生的電流和電壓較大，此部分值得深入探討，如果不考慮探討植物健康狀況，是不是將電極安裝於樹上可以獲得較佳的發電呢？而我們的玉米試驗可以發現，對土壤做不同性質的溶液澆灌處理下，植物會出現不同的外觀病徵，而植物的生理變化也會在發電量上呈現出不同變化，可以利用長期監測，發現植物的電流出現波動，應可判斷植物可能出現病害或生長環境出現變化。
- 二、植物的逆境生理(一) 逆境的介紹說到，對植物生存與生長不利的不良環境稱逆境 (stress)，主要包括乾旱、寒冷、高溫、澇害、鹽鹼、病蟲害和環境污染等。而植物對植物對逆境的抵抗方式有兩種，第一種叫逆境逃避(逃避性)(sTress esCAPE)，植物通過種種方式摒拒逆境對植物組織施加的影響，不需在代謝上產生相應的反應，這種抵抗方式叫逆境逃避。第二種逆境忍耐(耐性)(sTress TolerAnCe)，植物通過代謝反應來阻止、降低或者修復由逆境造成的傷害，使其保持正常的生理活動，這種抵抗方式叫逆境忍耐。這次試驗中，植物得逆境環境反應就可以看出植物體內的有機物質或是電解質物質濃度會產生變化，物質濃度的變化可用來作為植物傷害的初步判定。至於是何種物質濃度增加，應可利用離子分析儀來做檢測，之後有機會可以繼續相關的研究。
- 三、植物在逆境下的生理反應報告中說到，鹽分逆境會使土壤中離子濃度過高(主要為氯離

子和鈉離子)，會使植物根部的滲透壓調節功能喪失。生長於高鹽環境的植物稱為鹽土植物(halophytes)，包括藜科和沼澤草類。耐鹽植物在氯化鈉濃度 250 到 500mM 之間仍可生長。有些植物則稱為調鹽性植物(salt regulator)，如紅樹其根無法吸收鹽分但能自根將鹽主動排除。其他調鹽性植物可以吸收鹽分，但是會透過葉片中的鹽腺(salt gland)將鹽分排除。還有一種蓄鹽性植物(salt accumulator)則在土壤中水分潛勢低時，藉由高度的鹽分吸收能力來維持細胞膨壓。另一種極端則是敏感型非鹽土植物(sensitive nonhalophytes)又稱淡土植物(glycophytes)。許多農業上的經濟作物，如菜豆、大豆、玉米等都是。

四、土壤鹽分與植物生長有什麼關係，鹽鹼地如何影響植物生長報告中說到，鹽鹼對作物的危害可能影響作物水分吸收，土壤含有較多的可溶性鹽分時土壤溶液濃度增加，滲透壓也相應增大，作物吸水就會變得困難；當土壤溶液滲透壓大於作物根細胞滲透壓時，就會出現反滲透現象，產生生理脫水而枯死。也有離子毒害。當土壤溶液濃度過高時，非營養離子大量進入植物體內，而營養離子吸收減少或吸收不上，從而擾亂了正常的離子平衡，干擾了植物正常的新陳代謝功能,如改變氮素代謝的進程。在此次試驗中可以發現植物對鹽水溶液的耐受性較強，且會改變自身的生理情形來增加適應力，此改變的生理現象可應用於果樹甜度改良上，至於還可以做為那些用途可以再探討。

陸、結論與建議

一、結論

(一)玉米植栽可微量發電，根據樹木發電原理，透過鋅銅金屬片做電流與電壓檢測，可測得玉米植栽能產生微量電流和電壓。玉米植栽於不同的生長逆境中，發電量是有差異。於鹽水溶液環境的發電量變化最大，鹼性溶液對植株的傷害最大，酸性溶液雖然也會對植株的電量產生影響，可是變化量較小，落葉處理則不明顯，由之前明正國中的試驗結果可以知道，不同樹種和不同處理的電量變化都不一樣，要能應用發電量的變化要進行長時間的觀測和建立基礎記錄才可能應用。

(二) 金屬片安裝於樹身與土壤、以及安裝於植物本體不同位置的發電量有差異。基本上鋅銅極都安裝於植株本體上的發電量會比較大，可能是因為土壤中的水分也會影響電荷的移

動，為了精確估量植株的發電量情形，而且方便戶外調查試驗，還是採用安裝於植株本體上會比較好。另外為了減少植株的傷害，可以採用鑽孔且將銅鋅極改成棒狀。

- (三) 植株在不同生長逆境下的外觀，可以發現鹼性水溶液對植株的傷害最大，很快就使試驗植株枯黃死亡。鹽水溶液則會造成植株有脫水現象。酸性水溶雖然有些微枯黃，可是較不明顯。
- (四) 運用鋅銅電池概念檢測植物健康狀況是可試行的，此次試驗是採用人為逆境來觀測植株的傷害，天然環境的病蟲害、或是環境汙染的傷害可以再來延伸試驗探討，此想法只算是初步探討鋅銅電池概念檢測植物健康狀況，要再更加深對不同樹種、不同情境傷害、傷害發生時的電流變化量加以試驗，才能應用於平日檢測植物健康的參考。

二、建議

- (一)、玉米於不同逆境環境中，產生的生理變化不太一樣，在此次的試驗中，玉米對於鹼性水溶液澆灌的耐受力最差，於鹽水溶液的試驗生理反應運用於電流的變化最為明顯，至兩星期的試驗結束前，電流生成量尚再增加，且植物外觀雖然產生病徵（葉片萎縮），但還未達死亡狀態。酸性水溶液原先設想可能會很快進入植物枯萎和死亡狀態，因為之前利用九重葛為試驗對象時，酸性水溶液澆灌的樣株後來比其他處理的樣株更快死亡，但使用玉米卻反應沒有那麼激烈。落葉試驗較看不出生理上有特殊的變化。要再更加深對不同樹種、不同情境傷害、傷害發生時的電流變化量加以試驗，才能應用於平日檢測植物健康的參考。
- (二)、在鹼性水溶液及鹽水溶液的試驗中明顯發現電流的變化相當明顯顯著，比起尚未試驗前的結果，電流量增加達 6、7 0 倍之多，可能與前面文獻探討中講到，植物於逆境中，會減少水分吸收，且增加植物體內非營養離子的濃度，而這些離子種類與濃度可能需要進一步利用離子分析儀加以檢測。酸性水溶液試驗雖然沒有鹼性水溶液和鹽水溶液的電流增加那麼明顯，但是還是有 2 至 3 倍的電流增加。初步來說，利用植物體電流的變化來探究植物於人為化學逆境的結果是明顯的，如能運用此種概念來推至木本科植物上，以及用來檢測因病蟲害、細菌、病毒產生的植物傷害、氣溫或水分的逆境上的生理

變化等，或許可以在後續試驗中再來加以研究。對於鹽水環境的影響或許還可以運用於發電量是否可應用於電池的應用，作為海難或緊急電源來源的取得。

- (三)、在此次的試驗中使用鋅片與銅片面積較大，於同一株植物上持續反覆的進行試驗，對植物的傷害也很大，試驗植物中莖幹較細小的玉米後來幾乎都快被戳爛了。改由較細小的針狀的鋅、銅棒來做試驗應可再加以研究，第 62 屆屏東縣科展國中物理組-皮卡丘與妙蛙種子的邂逅-探討影響植物電池發電量的因素可知，每種植物的電流發電量會因樹種、環境、土壤、電極位置等因素有所不同，所以針對所要觀測的樹木，長期且定時的進行電流檢測，當發現有電流明顯差異時，可能就是樹木遭受物理性或化學性的傷害，或是遭受到病蟲害等情事，便可進一步進行檢查，讓植物尚未遭到重大傷害時就加以防治。像本校的桃花心木和垂榕，在遭到褐根病侵蝕時，初步未能發覺，到植物大量落葉再進行開挖檢測，時間上已來不及，後來遭到污染的樹木就全數挖除了。
- (四)、而運用鋅銅電池概念檢測植物健康狀況於此試驗中是可行的，但是檢測標準和植物的生理現象，要再多加試驗並利用精密儀器測量來獲知植物體內的生理變化情形。並且要能針對不同樹種找出不同的正常生理數據，才能根據正常的生理數據去推測植物是否遭受傷害或生病。
- (五)、原先想利用植物當作緊急電力發電的來源，或許可以再加以研究，找出發電量更大的植物和環境，在作為植物健康檢測的試驗方法外，或許又有能開創一個能源開發的來源。

柒、參考資料

- 一、中華民國第四十八屆中小學科學展覽會國中組 生物及地球科學科 溼地的勇士－海茄苳呼吸根與抗鹽逆境之研究
- 二、水果電池 <https://www.shs.edu.tw/works/essay/2012/11/2012111511040323.pdf>
- 三、維基百科 土壤 pH 值
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%9C%9F%E5%A3%A4pH%E5%80%BC>
- 四、土壤鹽分與植物生長有什麼關係，鹽鹼地如何影響植物生長
<https://kknews.cc/agriculture/95ypp88.html>

五、植物的逆境生理(四) 其他抗性-抗鹽性

<https://blog.xuite.net/microgreen/t168net/160055145>

六、植物的逆境生理(二) 抗旱生理https://agri.microgreen.com.tw/2015/05/blog-post_2.html

七、植物在逆境下的生理反應<http://life.nthu.edu.tw/~lsity/phy/g1.html>

八、植物的逆境生理(一) 逆境的介紹<https://blog.xuite.net/microgreen/t168net/160055153>

九、逆境脅迫時,植物會發生哪些生理變化<https://www.cherryknow.com/health/249940.html>

十、大樹發電：把電線往大樹上一插，路燈就亮了，這是真的

<https://www.9900.com.tw/talk/BBSshowV2.aspx?jid=f650b8c5-b985-1035-8e54->

[2147fe28ca7c](https://www.9900.com.tw/talk/BBSshowV2.aspx?jid=f650b8c5-b985-1035-8e54-2147fe28ca7c)

十一、樹木發電

<https://www.itsfun.com.tw/%E6%A8%B9%E6%9C%A8%E7%99%BC%E9%9B%BB/wiki->

[4062318-9058587](https://www.itsfun.com.tw/%E6%A8%B9%E6%9C%A8%E7%99%BC%E9%9B%BB/wiki-4062318-9058587)

十二、西雅圖華盛頓大學成功運轉了樹木發電的裝置實驗<https://e-info.org.tw/node/53632>

十三、第62屆屏東縣科展國中物理組-皮卡丘與妙蛙種子的邂逅-探討影響植物電池發電量的因素