

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

佳作

030208

進擊的「葉」電～光合一的葉綠素電池

學校名稱： 臺北市立石牌國民中學

作者： 國一 趙奕森	指導老師： 陳玉娟 林連鎧
-------------------	-----------------------------

關鍵詞： 葉綠素電池、複合電極、水晶凝膠

作品名稱：進擊的「葉」電~光化合一的葉綠素電池

摘要

本研究為新型改良式葉綠素電池，兼具化學電池與染料電池的優點，是具有成本低、體積小、可自行替換凝膠並重複使用，能解決傳統電池液外漏及電極成本高的問題，是有潛力與發展性的綠色能源電池。本實驗結果顯示，新型葉綠素電池結構的特點，具有一體成型的外殼，選用石墨碳氈與鋁棒當電極，中間填充最佳比例的碘酸鉀、碘化鉀、葉綠素和水晶凝膠，在手電筒的照光下，電解質經化學反應可自行生成碘，可作為葉綠素電池的第二個電極，其發電效率是歷屆科展之冠，電池編號 10 的瞬間電壓與電流可達 1.07 伏特與 38.4 毫安培，其電池壽命在 209 小時，電壓亦可維持 1 伏特且電流隨時間增加可穩定發電，可應用於緊急充電與 LED 燈泡照明使用。

壹、前言

一、研究動機

近年來綠色能源慢慢崛起，這是一個非常有潛力的產業。從再生能源的發展來看，我們覺得太陽光是最容易被獲取的能源，地球上的生物吸收太陽光後，被植物吸收轉化成化學能，又被消費者攝食，然後轉換的能量進入各個生物層間流動。所以，我們開始搜尋有關葉綠素電池的實驗去找尋科展的題目，發現歷屆葉綠素科展文獻有探討不同電極種類、不同電解液成分與電池效能的關係，這引起我作科展的興趣，經過與學校老師討論後，決定由歷屆科展中有提到的實驗器材與藥品來進行葉綠素電池的製作與改良。

二、研究目的

- (一) 瞭解光敏化太陽能電池和葉綠素電池的組成與產生電能之原理與機制。
- (二) 探究不同酒精濃度粗萃取葉綠素對電池效能的影響。
- (三) 探討葉綠素電池的電極種類對電池效率的影響。
- (四) 探討電解質的組成對葉綠素電池電壓與電流的影響。

三、 文獻探討

(一) 瞭解光敏化太陽能電池和葉綠素電池的組成與產生電能之原理與機制

光敏化太陽能電池主要是藉由TiO₂等半導體材料，在其受光時使電子從價帶跳至能帶產生電流，其電解液通常是離子溶液，用於產生氧化還原反應而傳遞電子，當染料電池被激發後，會釋出電子，然後在電解液中移動，然後被工作電極收集。

葉綠素電池的構想來自模仿植物的光合作用，即葉綠素吸光、遇水後，會形成自發電化學反應，電解液協助失去電子的激發態葉綠素還原成穩定的基態，電子從石墨電極回到電池中，並使電解液還原，使反應重複進行。

(二) 全國歷屆科展葉綠素電池相關文獻並分析

我們搜尋有關葉綠素電池的實驗來決定本科展研究的目標，如下表 1 所示。

表1 本科展與參考文獻的資料之比較

標題	科別	內容概要	與本科展差別
"葉"來 YA 有電~ 葉綠素電池	第59屆 國小化學組	利用不同酒精濃度，去煮沸植物葉子。用3D 印表機列印電池殼，製造電池外殼並用黏牢。	1. 本科展不需煮沸直接進行粗萃取。
雜草也能做 電池？	第53屆 國小化學組 第二名	以「打汁過濾法」萃取葉綠素液，製作葉綠素膠作為電解質，以銅片為正極、鋅片為負極，其發電效率(0.83 V、0.72 mA)。	2. 本科展使用的電池外殼一體成形，無須再黏合。
探討「植物染料敏 化光電池」發電效 能及改良式光電池 適用之分析	第53屆 國中生活與應用 科學科	改良式光電池，在導電玻璃上固化碳粉、二氧化鈦，利用洋菜粉將蔬菜色素與電解質溶液果凍化。在強酸溶液與藍光照射下，光電池可產生 (0.80 V、0.70 mA)。	3. 實驗結果採用50%酒精水溶液去粗萃取葉綠素，選用石墨氈為正極、鋁棒為負極，利用粗萃取葉綠素混合碘酸鉀和碘化鉀溶液，在手電筒的照射下產生可 1.07 V、38.4mA 。
葉綠素電池之應用	第59屆 高中組環境學科 第二名	將葉子烘乾置於研鉢中，再加入少量的90%酒精研磨，之後過濾萃取出葉綠素。以碘液、碘化鉀水溶液作葉綠素電池電解液。以碳棒為正極、鋁箔紙為負極，其發電效率 (1.07 V、0.24 mA)。	
蟹葉「銅」「鋁」來 電-環境友善光電強化 銅鋁電池的探討	第63屆 國中化學組 第一名	在葉綠素溶液中，加入幾丁聚醣(3.0%)、氯化鈉(0.6%)及醋酸(1.0%)，所配出的膠態可得最好的最佳組成及條件，其發電效率 (0.52 V、0.54 mA)。	

(三) 本作品是延續性的科展研究

我們主要參考新北市第60屆國中小學科展作品，當石墨遇到葉~進擊的葉綠素電池，新北市優等的作品，從其實驗結果和參考歷屆科展中所使用到藥品(如表1所示)，去找出實驗需要改進的地方，來使得葉綠素電池未來的應用更廣。創新與實驗不同之處其說明如下:

1. 科展文獻中，所採用的電解液凝膠藥品大多為市售洋菜粉，在實驗的過程中，發現洋菜粉在加熱溶解的過程中，在低溫中並不會完全溶解，且會有明顯的凝膠固體物，所以本實驗採用市售的水晶凝膠(Aqua, Propylene Glycol, Triethanolamine, Acrylates/C10-30 Alkyl Acrylate Crosspolymer, Phenoxyethanol & Caprylyl Glycol) 以及高分子(聚二乙稀-200)取代洋菜(寒天)，來解決電解質凝膠在溶解過程中產生固體的問題，如下圖1所示。



圖1 葉綠素凝膠在製備的過程中，添加的碳粉會出現結塊的現象。

2. 新鮮的粗萃取的葉綠素溶液，在照光時會產生化學反應，在電極旁邊會有氣體生成，變質的葉綠素凝膠會因為未能分離葉肉組織，在2~3天會有明顯的臭味，且導致電壓與電流都會下降，如下圖2所示。



圖2 (左圖) 新鮮的葉綠素電池，在照光時會有氣泡在電極旁邊產生，(右圖) 變質的葉綠素電池，會有明顯的臭味且電壓與電流都會下降。

3. 從科展文獻1~4中可以發現，電池的電壓跟電極的種類有關，電流的大小與電解液的成分有關。所以本實驗參考其藥品及實驗步驟，在研究方法的過程中，分別作了以下的實驗。
 - (1) 不同葉綠素電池的電極種類對電池效率的影響，並長時間去觀測電池的電壓與電流，藉此來推斷電池使用的壽命。
 - (2) 不同凝膠的組成與重量比，對葉綠素電池的電壓及電流有什麼影響?
 - (3) 嘗試在凝膠中加入碘酸鉀，利用其化學反應，自行生成碘，可以取代市售碘液不純的問題。
 - (4) 選擇使用石墨碳氈當電極，是考慮到石墨碳氈具有很多孔洞可以用吸附葉肉組織，可以有效降低臭味的發生。
4. 我們改用正方體的塑膠盒，來替代圓形的塑膠盒的電池外殼，可以更容易地自組裝電池的電極以及方便量測所測得的數據。

貳、研究設備及器材

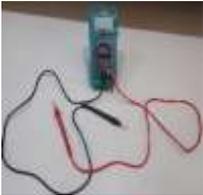
一、實驗器材與藥品

我們將實驗所需的藥品與器材列表如下表2和圖3所示。

表2 實驗藥品與器材一覽表

1. 地瓜葉	10. 滷味過濾包	19. 碳粉	28. 100 mL 容量瓶
2. 鋁箔紙	11. 50 mL 量筒	20. 碘化鉀、碘酸鉀	29. 鐵盤
3. 果菜汁機	12. 500 mL 量筒	21. 寒天、高分子、水晶凝膠	30. 鑷子
4. 碳棒	13. 滴管	22. 蒸餾水	31. 三用電表
5. 透明塑膠杯	14. 攪拌棒	23. 手電筒	32. 溫度計
6. 尺	15. 剪刀	24. 微型電子秤	33. 鋁棒
7. 照光量測盒	16 吸管	25. 刮勺	34. 銅棒
8. 電子秤	17. 95 % 藥用酒精	26. 美工刀	35. 石墨碳氈
9. 簡易pH試紙	18. 微波爐	27. 20 mL 容量杯	

二、測量的儀器與器材

電子天秤	微型電子秤	萬用電表	果菜汁機	手電筒
				
20 mL 容量杯	50 mL 量筒	刮勺	溫度計	廣用試紙
				
鋁箔紙	塑膠滴管	剪刀	塑膠吸管	
				

參、研究過程與方法

一、探究主題與實驗流程

本實驗結合化學電池與葉綠素電池去設計葉綠素新型電池，根據研究目的和所要探討的問題，我們設計實驗步驟與流程圖如下所示。

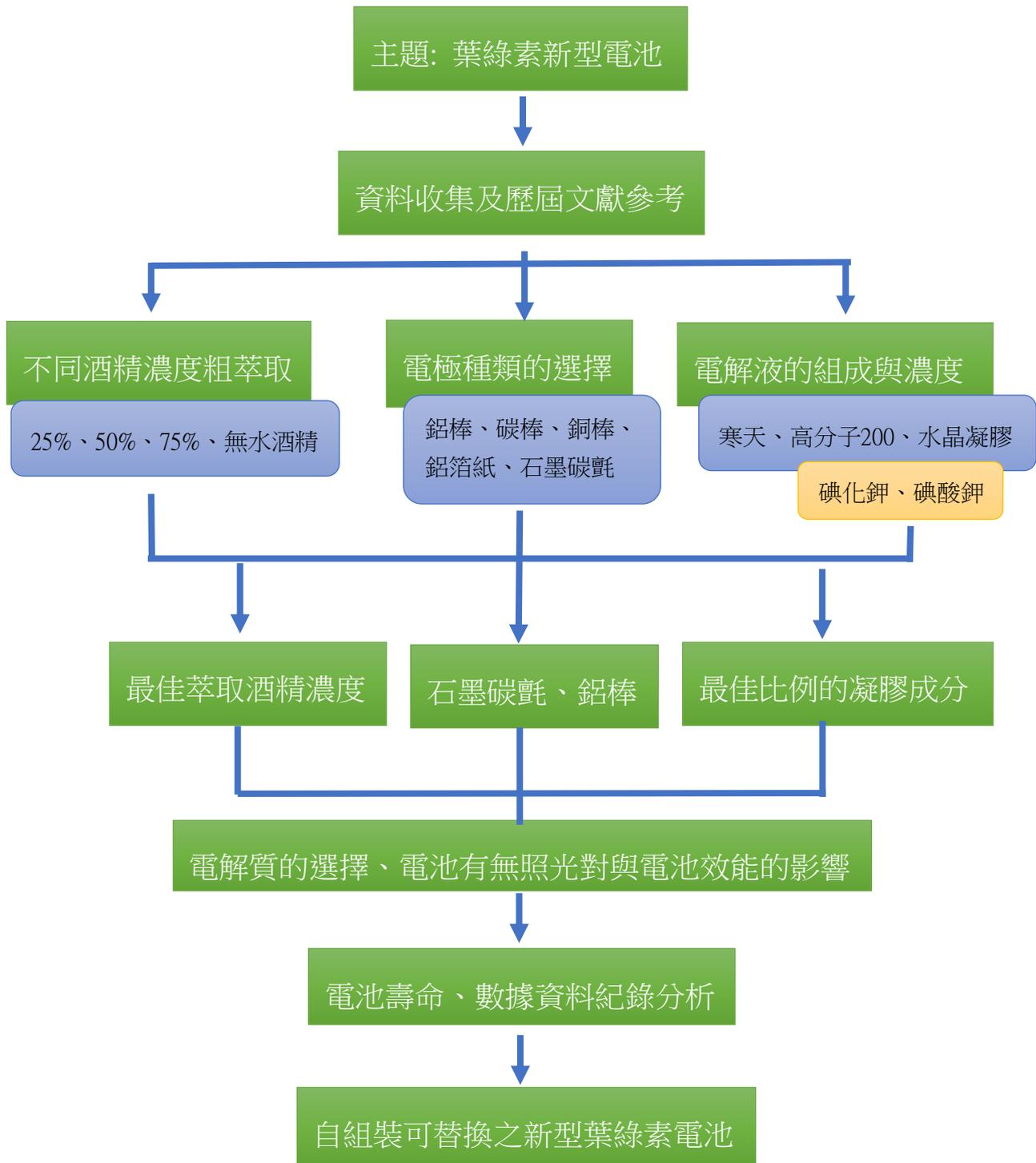


圖4 實驗流程設計圖

二、自組裝葉綠素電池的構造

我們用透明塑膠杯作為葉綠素凝膠電池的外殼，藉由上下方透明處，照光使葉綠素進行化學反應產生電力，如下簡易圖5所示。圖5右側為本實驗電池裝置圖：①透明塑膠外殼、②碳（鋁、銅）棒、③鋁箔紙(石墨碳氈)、④及⑤導電線、⑥光源、⑦葉綠素凝膠。

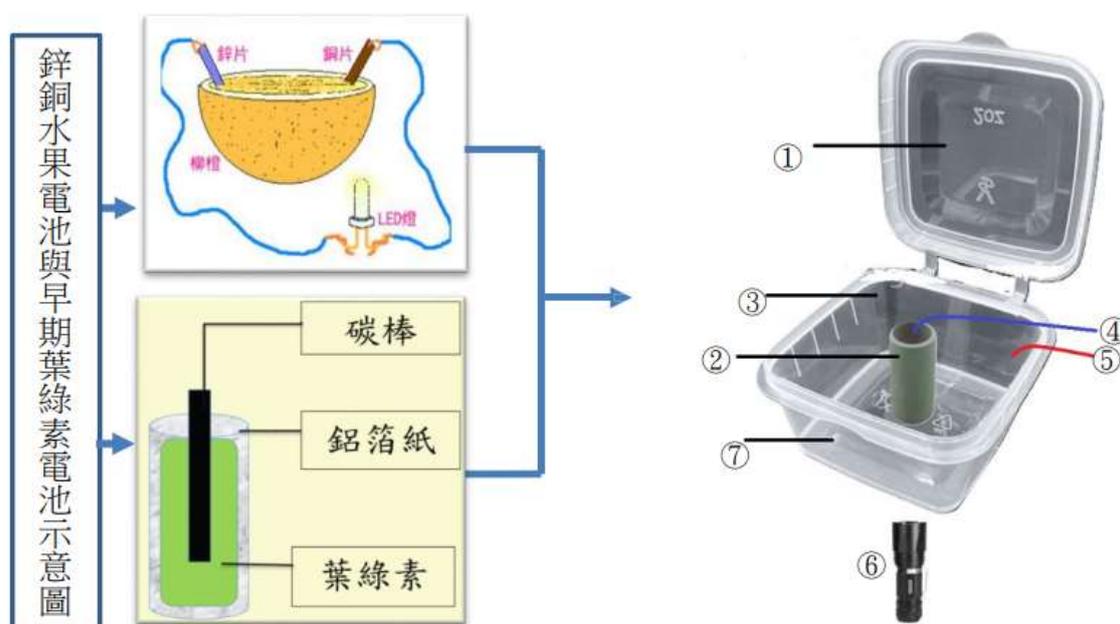


圖5 早期葉綠素電池裝置與本實驗自組電池組的簡易圖示 [水果電池示意圖擷取: 網路無名氏]

三、實驗過程與方法

(一) 利用不同酒精濃度去粗萃取葉綠素

根據相關文獻報導，不同濃度的酒精水溶液所萃取出來的葉綠素，會影響葉綠素電池的電壓與電流。本實驗是採用校園用可食用的地瓜葉，挑選尺寸大小大約相同(最長10~11公分，最短7~8公分)的地瓜葉20克，洗淨並拭乾，在室內乾燥30分鐘，將地瓜葉放置果汁機中，分別0%、25%、50%、75%與無水酒精的200毫升酒精水溶液，用果汁機攪拌30秒，進行過濾得到葉綠素水溶液，並檢測粗萃取後溶液的pH值在大約7~8值，其採集與實驗過程如下圖6所示。



圖6 採集與萃取葉綠素溶液的實驗過程及量測溶液的pH值如圖所示。

(二) 探討葉綠素電池的電極種類對電池效率的影響

1. 利用參考文獻5的實驗配方再做一次實驗，25% 酒精水溶液去粗萃取葉綠素加上1.78克寒天，搭配0.25 M碘化鉀去製作傳統型葉綠素電池，電極的種類為鋁箔紙和碳棒，將此電池編號為#1。同一電池裝置，針對不同電極種類(鉛棒、碳棒和銅棒)去量測電池的電壓與電流。
2. 利用不同酒精濃度去粗萃取葉綠素，並採用1片石墨碳氈作為負極，搭配鉛棒為正極，製作電池編號#2 (25%酒精水溶液)、電池編號#3 (50%酒精水溶液)、電池編號#4 (75%酒精水溶液)、電池編號#5 (無水酒精水溶液) 並使用三用電表去量測電壓與電流。

(三) 探討電解質的組成對葉綠素電池電壓與電流的影響

1. 我們嘗試改變不同凝膠的組成與重量比，來探究對葉綠素電池的電壓及電流會有什麼影響？從研究(二)實驗結果中選出最好的電池效率來繼續往下做實驗。
我們利用50 %酒精水溶液去粗萃取葉綠素，採用4片石墨碳氈作為負極，搭配鋁棒為正極，將含有0.125M的碘化鉀、0.025M的碘酸鉀和30g的水晶凝膠，去製作電池編號#10。
2. 為了觀察水晶凝膠是否對葉綠素電池的影響，在相同的碘化鉀和碘酸鉀比例下，我們嘗試降低水晶凝膠的重量比為20g、10g，去製成電池編號#6與電池編號#8，去觀察電池的電壓與電流變化。
3. 相同的實驗步驟與化學藥劑比例，我們將水晶凝膠更改為高分子PEG-200，去製成電池編號#7、編號#9與編號#11。

(四) 探究不含碘酸鉀的葉綠素水晶凝膠對其電池效率的影響

1. 上述的實驗結果發現，葉綠素電池含有碘化鉀、碘酸鉀和水晶凝膠將有助於電池的電壓的增加與電流的生成。但在沒有改變電極種類時，為何電壓會上升？所以我們嘗試將碘酸鉀去除，觀察只含有0.125M的碘化鉀水晶凝膠的葉綠素電池去製成電池編號#12。
2. 我們可以將電池編號#10與#12的實驗結果進行比對，並推測電池電壓會隨著時間增加而增加的原因。
3. 我們可以將電池編號#3與#12的實驗結果進行比對，也可以由實驗結果推論出用水晶凝膠製成的葉綠素電池，其電壓與電流都比添加寒天的葉綠素電池好。

(五) 檢測凝膠電池是否含有葉綠素的的差異

我們利用電池編號#10的化學藥劑的比例，去製作水電池、水晶凝膠電池與含有葉綠素的水晶凝膠電池，去探究葉綠素存在的意義。

肆、研究結果與討論

一、探討葉綠素電池的電極種類對電池效率的影響

(一) 檢測科展文獻5 [當石墨遇見葉~進擊的葉綠素電池]的實驗數據是否具有再現性

我們利用25%酒精水溶液去粗萃取葉綠素，加入0.125 M碘化鉀和0.5 g 的寒天去配製葉綠素凝膠電解質，以碳棒為正極、鋁箔紙為負極去量測電壓與電流。我們在配製葉綠素凝膠時，發現寒天不太能溶解於室溫的水中，必須加熱到 $45^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ 以上，才能完全溶解，如下圖7所示。



圖7 (左)微波加熱1分鐘後冷卻5分鐘後量測溶液，(右)肉眼可見未溶的寒天

我們將葉綠素凝膠倒入塑膠盒中，並利用空箱子，使其架設在手電筒上方，並用三用電表去量測電壓與電流，如下圖8所示。

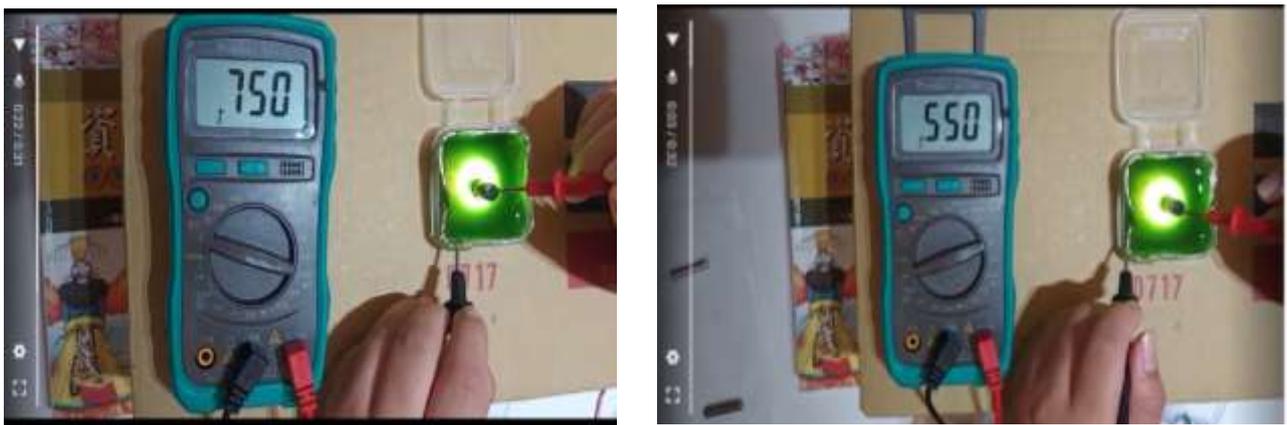


圖8 電池編號1，電極為碳棒和鋁箔紙的電壓、電流測量圖

電池編號為#1 針對不同電極種類(鋁棒、碳棒和銅棒)去量測電池的電壓與電流，製成電池在經過一段時間後再進行量測，藉此來推論此電池能使用的壽命。我們將電池編號#1的電池在經過製成2 ~ 96小時後，進行電壓與電流的量測。

表3 電池編號#1 在2~96小時所記錄的電壓與電流

電池編號#1	2 hr			24 hr			48 hr		
電極種類	鋁棒	碳棒	銅棒	鋁棒	碳棒	銅棒	鋁棒	碳棒	銅棒
電壓(V)	0.34	0.75	0.45	0.28	0.74	0.36	0.18	0.73	0.33
電流(mA)	0.04	0.55	0.06	0.03	0.67	0.09	0.00	0.86	0.08

電池編號#1	72 hr			96 hr		
電極種類	鋁棒	碳棒	銅棒	鋁棒	碳棒	銅棒
電壓(V)	0.23	0.68	0.28	0.20	0.63	0.24
電流(mA)	0.01	0.38	0.09	0.02	0.54	0.08

將表3的數據畫成圖9可以觀察到電池的電流隨時間有上升或下降的趨勢。我們推測是在配製電解液的過程中，我們發現碘化鉀有沉澱為溶解的現象，當量測電壓與電流時，若搖晃後再量測電流，其數據會有上升的趨勢。

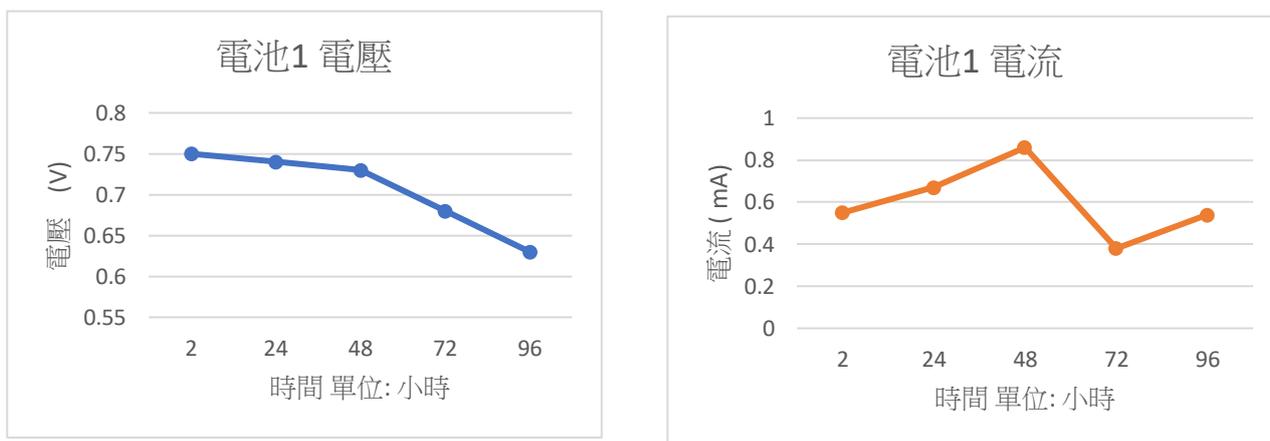


圖9 電池編號1電壓與時間的關係圖(左

圖)，電流與時間的關係圖(右圖)

這個實驗結果與科展文獻5 [當石墨遇見葉~進擊的葉綠素電池]的實驗相符合，證實用石墨氈當電極有助於電池的電流上升，也可以利用石墨碳氈具有大面積孔洞的優勢來吸附葉綠素凝膠，並具有除臭的功能。

(二) 利用不同酒精濃度去粗萃取葉綠素，並採用1片石墨碳氈作為負極，搭配鋁棒為正極。

實驗過程中，我們除了利用不同酒精濃度去粗萃取葉綠素，也變化不同電極種類來量測電池的電壓與電流的關係。由表4可以觀察到濃度為50%酒精水溶液萃取的電壓與電流比較好。電池編號#2、3、4、5，分別為25%、50%、75%和100%的所製作的電池。



圖10 (左)電池1的電極種類鋁箔及碳棒，(右)電池2、3、4、5的電極種類鋁棒及石墨碳氈



電池編號3 電壓與電流

電池編號4 電壓與電流

表4 不同酒精濃度去粗萃取葉綠素的電池2~5的電壓與電流

電池編號	#2 (25%酒精水溶液)			#3 (50%酒精水溶液)			#4 (75%酒精水溶液)			#5(無水酒精)		
電極種類	鋁棒	碳棒	銅棒	鋁棒	碳棒	銅棒	鋁棒	碳棒	銅棒	鋁棒	碳棒	銅棒
電壓(V)	0.33	0.07	0.20	0.47	0.17	0.36	0.34	0.10	0.19	0.41	0.16	0.21
電流(mA)	0.26	0.04	0.27	0.38	0.15	0.98	0.34	0.33	0.45	0.32	0.28	0.67



電池編號2 電壓與電流



電池編號5 電壓與電流

根據實驗結果，將表4的結果做成電壓與電流的圖，如上附圖所示，我們可以很明顯觀察到，碳棒改為石墨碳氈和鋁箔改為鋁棒時，其電壓和電流變小，我們猜測與石墨碳氈的組成(石墨粉和纖維)有關，這和科展科展文獻5 [當石墨遇見葉~進擊的葉綠素電池]的實驗結果符合。

(三) 探討電解質的組成對葉綠素電池電壓與電流的影響

我們嘗試改變不同凝膠的種類與重量百分比，來探究對葉綠素電池的電壓及電流會有什麼影響？從研究(二)實驗結果中選出最好的電池效率來繼續往下做實驗。

1. 我們利用50 %酒精水溶液去粗萃取葉綠素，採用4片石墨碳氈作為負極，搭配鋁棒為正極，將含有0.125M的碘化鉀、0.025M的碘酸鉀和30g的水晶凝膠，去製作電池編號#10，其電壓和電流分別為0.97 V、24.3 mA，如下圖11所示。



圖11 電池編號10在製成0.33hr (20min) 後所量測的電壓與電流

2. 為了觀察水晶凝膠是否對葉綠素電池的影響，在相同的碘化鉀和碘酸鉀比例下，我們嘗試降低水晶凝膠的重量比為20g、10g，去製成電池編號#6與電池編號#8，去觀察電池的電壓與電流變化，如下圖12、13所示。



圖12 電池編號6 在製成0.33hr (20min) 後所量測的電壓與電流



圖13 電池編號6 在製成0.33hr (20min) 後所量測的電壓與電流

我們將水晶凝膠系列的電池依不同重量而區分可以得知水晶凝膠的成分越高，其電壓與電流的表現越好，如表5、圖14所示。

表5 水晶凝膠系列的電壓電流

	0.33 hr		
電池編號	6	8	10
電壓(V)	0.61	0.75	0.97
電流(mA)	10.60	23.60	24.30
電池效率	6.47	17.79	23.55

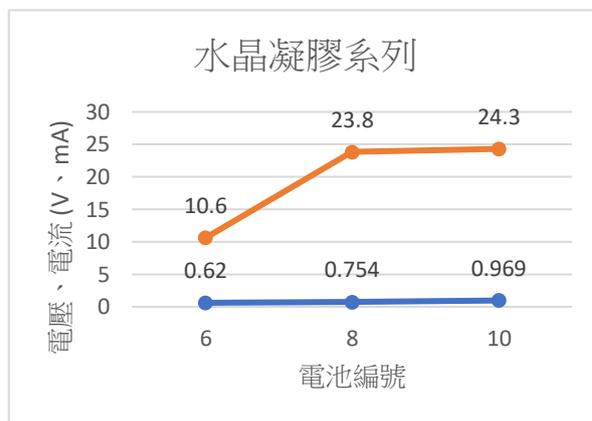


圖13 水晶凝膠系列的電壓電流比較圖

3. 相同的實驗步驟與化學藥劑比例，我們將水晶凝膠更改為高分子PEG-200，去製成電池編號#7、編號#9與編號#11，如下圖14、15、16所示，實驗結果發現，因為高分子的分子量太小，不能讓電池成凝膠態。



圖14 電池編號7在製成0.33hr (20min) 後所量測的電壓與電流



圖15 電池編號9在製成0.33hr (20min) 後所量測的電壓與電流

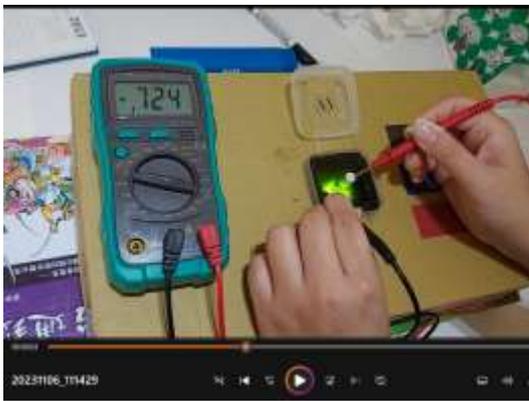


圖16 電池編號11 在製成0.33hr (20min) 後所量測的電壓與電流

我們將水晶凝膠系列的電池依不同重量而區分可以得知水晶凝膠的成分越高，其電壓與電流的表現越好，如表6、圖17所示。

表6 水晶凝膠系列的電壓電流

電池製成 0.33 hr			
電池編號	7	9	11
電壓(V)	0.99	0.76	0.72
電流(mA)	3.40	1.00	0.20
電池效應	3.37	0.76	0.14

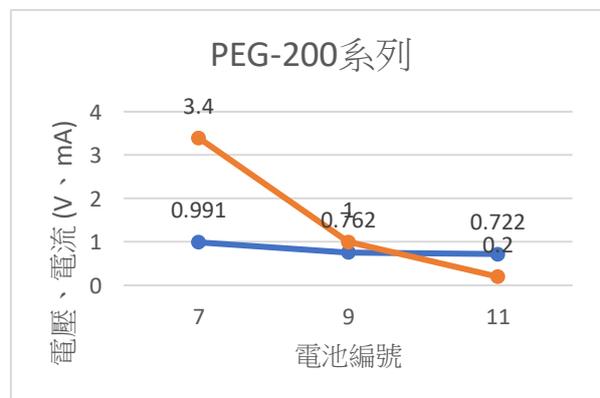


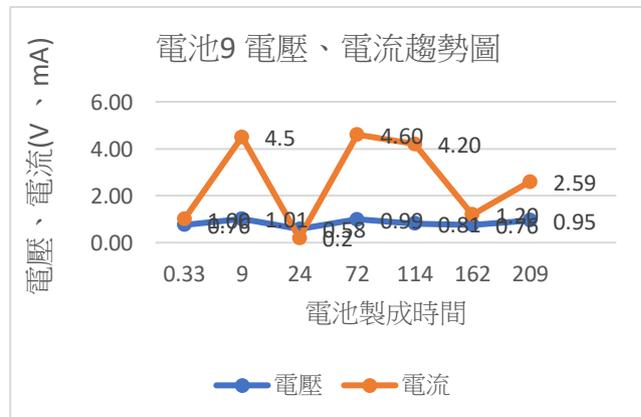
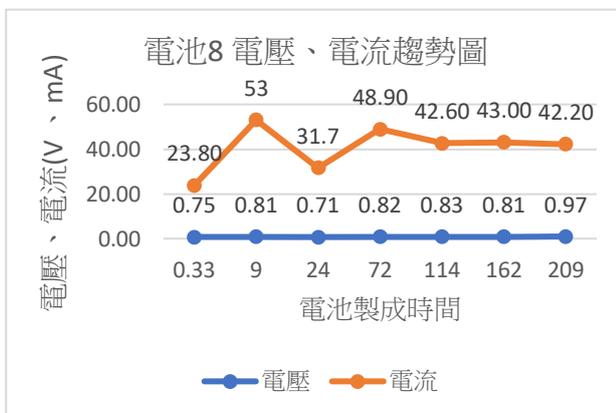
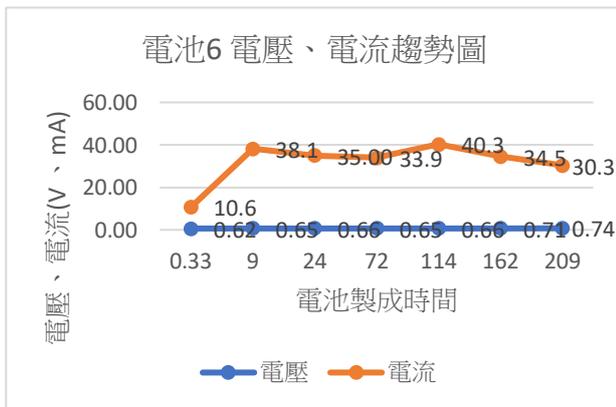
圖17 水晶凝膠系列的電壓電流比較圖

我們對水晶凝膠與高分子系列的電池作了長時間觀察與量測，利用下表7與圖18的電壓與電流整理，間接去推測電池使用壽命，我們發現，水晶凝膠系列的電壓會隨著使用時間增長而有增加的趨勢，電流維持穩定的輸出。

表7 水晶凝膠與高分子系列的電壓與電流整理表

電池製成 0.33 hr 所量測的電壓與電流						
電池編號	6	7	8	9	10	11
電壓(V)	0.61	0.99	0.75	0.76	0.97	0.72
電流(mA)	10.60	3.40	23.60	1.00	24.30	0.20
電池效應	6.47	3.37	17.79	0.76	23.55	0.14
電池製成 9 hr 所量測的電壓與電流						
電池編號	6	7	8	9	10	11
電壓(V)	0.65	1.00	0.81	1.01	0.94	0.85
電流(mA)	38.10	7.50	53.00	4.50	43.60	0.45
電池效應	24.77	7.52	42.67	4.55	40.81	0.38
電池製成 24 hr 所量測的電壓與電流						
電池編號	6	7	8	9	10	11
電壓(V)	0.66	0.85	0.71	0.58	0.68	0.93
電流(mA)	35.00	2.50	31.70	0.20	30.10	0.90
電池效應	23.21	2.12	22.44	0.12	20.41	0.84
電池製成 48 hr 所量測的電壓與電流						
電池編號	6	7	8	9	10	11
電壓(V)	0.66	0.60	0.91	0.99	1.05	0.82
電流(mA)	15.50	2.20	35.30	3.00	34.00	0.50
電池效應	10.18	1.31	32.16	2.98	35.70	0.41
電池製成 72 hr 所量測的電壓與電流						
電池編號	6	7	8	9	10	11
電壓(V)	0.65	0.89	0.82	0.99	1.07	0.93
電流(mA)	33.90	8.90	48.90	4.60	38.50	1.10
電池效應	22.14	7.88	40.00	4.55	41.20	1.03

電池製成 114 hr 所量測的電壓與電流						
電池編號	6	7	8	9	10	11
電壓(V)	0.66	0.69	0.83	0.81	1.09	0.64
電流(mA)	40.30	4.40	42.60	4.20	33.00	0.70
電池效應	26.64	3.04	35.32	3.41	36.04	0.45
電池製成 168 hr 所量測的電壓與電流						
電池編號	6	7	8	9	10	11
電壓(V)	0.71	0.93	0.81	0.76	0.93	0.92
電流(mA)	34.50	5.30	43.00	1.20	30.40	0.40
電池效應	24.50	4.94	34.96	0.91	28.12	0.37
電池製成 209 hr 所量測的電壓與電流						
電池編號	6	7	8	9	10	11
電壓(V)	0.74	1.00	0.97	0.95	1.01	0.93
電流(mA)	30.30	7.00	42.20	2.59	31.80	0.40
電池效應	22.48	6.99	40.85	2.46	32.21	0.37



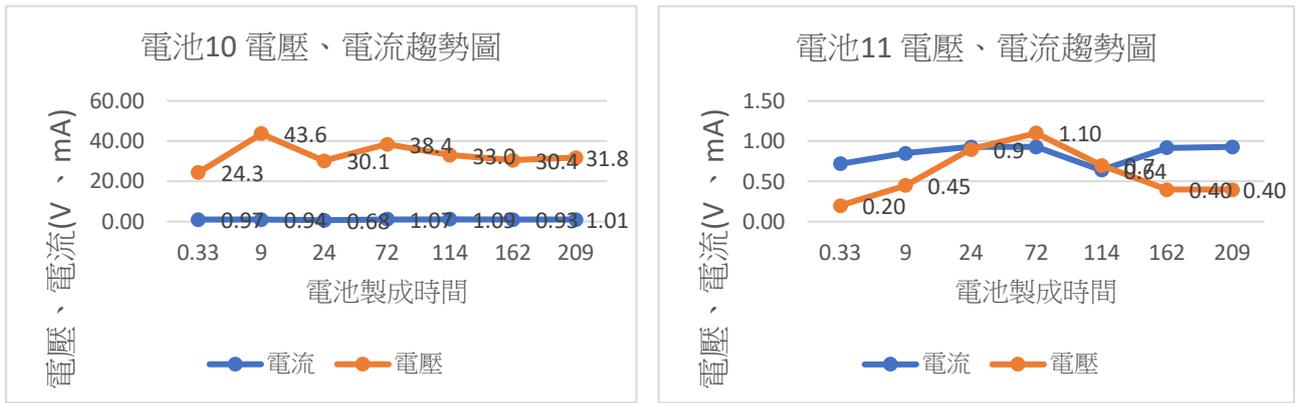


圖18 水晶凝膠與高分子系列的電壓與電流整理圖

近年來因為環保意識抬頭，我們都應朝向降低化學污染的目標前進，所以我們在相同的碘化鉀和碘酸鉀比例下，做了水晶凝膠的不同重量比為30g、20g、10g，去製成電池編號6、8、10。實驗結果水晶凝膠系列的電池會因為比例的增加，電壓與電流的表現會較好，而且電壓會隨著使用時間增長而有增加的趨勢，電流維持穩定的輸出。所以，我們推測水晶凝膠的成分對於葉綠素電池而言有很大的幫助。

(四) 探究電解液不含碘酸鉀的葉綠素水晶凝膠對其電池效率的影響

上述的實驗結果發現，葉綠素電池含有碘化鉀、碘酸鉀和水晶凝膠將有助於電池的電壓的增加與電流的生成。在沒有改變電極種類時，電池的電壓會上升。

所以我們設計將碘酸鉀去除，利用依相同的比例去製作池編號12~14分別為添加0.075M、0.05M及0.125M不同濃度的碘化鉀去製成電池並量測電壓與電流，並進行長時間的觀察與量測電池的效能會有什麼變化，如下表8與圖19、20所示。

表8 電池編號12-14的電壓與電流

時間(hr)/電壓(V)	編號12	編號13	編號14	時間(hr)/電流(mA)	編號12	編號13	編號14
2	0.63	0.75	0.93	2	1.10	1.60	2.10
30	0.68	0.65	0.64	30	0.69	0.61	0.91
54	0.59	0.55	0.59	54	0.30	0.27	1.80
78	0.73	0.65	0.61	78	1.17	1.20	1.30

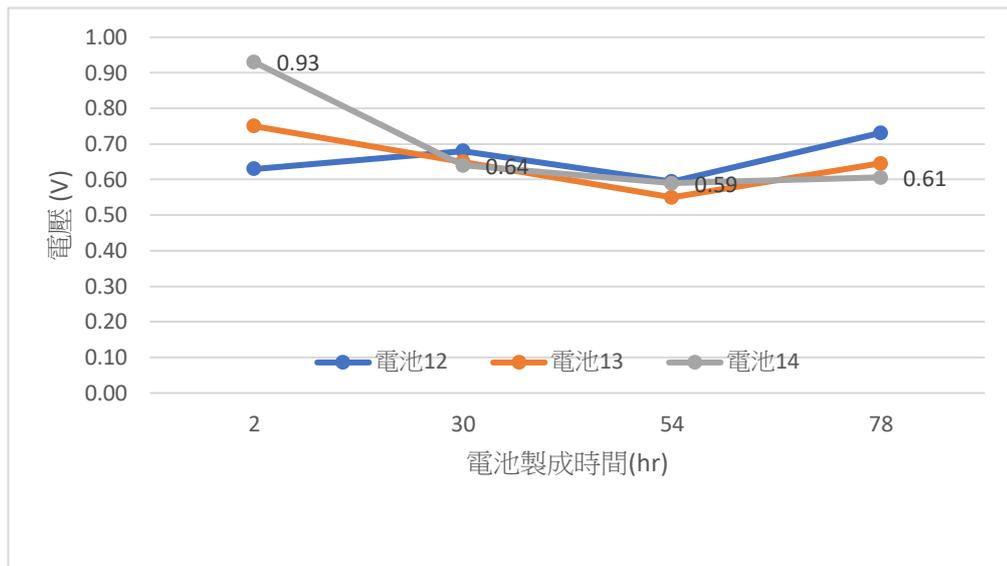


圖19 不同濃度碘化鉀的電池經長時間觀察與量測的電壓圖

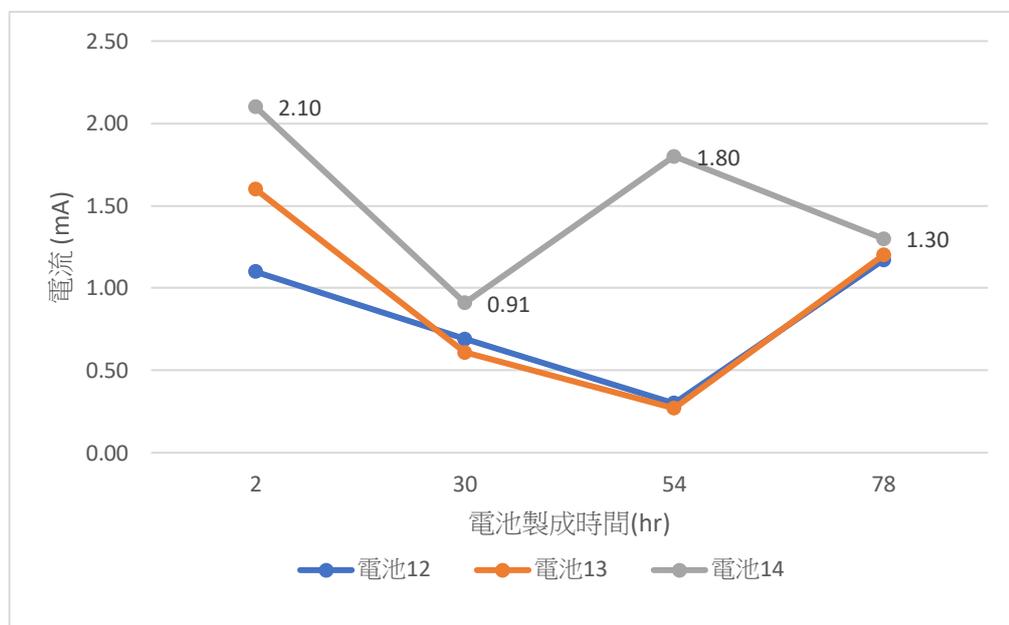
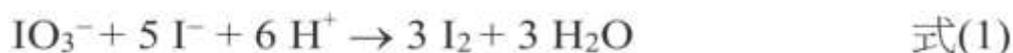


圖20 不同濃度碘化鉀的電池經長時間觀察與量測的電流圖

實驗過程中我們發現電池的電流會出現上下振盪的曲線，是因為鹽類未溶解的緣故，經長時間去觀察並量測電池的電流變化，實驗結果可觀察到電池到78小時，其電壓下降的變化量不大，但電流瞬間輸出還可達1.30 mA，其中以電池編號14(添加碘化鉀0.125 M) 表現最佳。

我們可以將電池編號#10與#14的實驗結果進行比對，並推測電池電壓會隨著時間增加而增加的原因。我們在網路上查到的資訊，碘酸鉀和碘化鉀在弱酸的反應下會產生碘，其化學方程式如下式(1)所示。



在實驗過程中，我們推測因為葉綠素腐敗的酸，可以使電解液中的碘化鉀和碘酸鉀進行化學反應，使其在電解液中產生固態碘，利用石墨碳氈具有高表面積的孔洞，可以用來吸附碘，使得葉綠素電池中的電極從石墨碳氈(惰性電極)轉變為石墨碳氈/碘(複合電極)，我們也與校內老師進行討論，探究為什麼在量測電池電壓與電流時，電壓會上升，電流也會持續上升的原因？我們認為應該是碘電極的生成所導致，而且我們在量測電池效能時，我們也可以聞到碘酒的味道，可以間接證實葉綠素電池有碘的存在，如下圖21 所示。



當電池進行化學反應後，鋁棒電極上有出現褐色碘。

我們也可以將電池編號10與電池編號14的電壓與電流進行比對，從實驗結果中，可以觀察到，相同的電解質凝膠成分，都是50%酒精水溶液去粗萃取葉綠素，水晶凝膠的相同重量比的水晶凝膠與碘化鉀的條件下，電池10與14最主要的差別，就是碘酸鉀的存在。由實驗結果明顯觀察到，碘酸鉀的存在的葉綠素電池其電壓表現較佳，如下表9與圖22、23所示。

表9 電池編號10與電池編號14的電壓與電流

電池編號	10	14	電解液中最主要差別
電壓(V)	0.97	0.93	電池 10：碘化鉀
電流(mA)	24.3	2.1	電池 14：碘化鉀、碘酸鉀



圖22 電池編號10在製成0.33hr (20min) 後所量測的電壓與電流



圖23 電池編號14在製成2hr 後所量測的電壓與電流

根據實驗結論，當凝膠成分改變的時候，電流會上升。我們在網路上查到，水晶凝膠的成分為去離子水，丙二醇，丙稀乙二醇，1,2 - 丙二醇，丙烯酸(控制黏度)，三乙醇胺，甲基異噻唑啉酮(防腐劑)，我們推測裡面有些成分可以提供電池的電流，而且同樣都毫升的劑量，水晶凝膠的效果比寒天好，且不易有未溶解的固體出現。

(五) 比較凝膠電池中是否含有葉綠素的差異

我們利用電池編號10的化學藥劑比例去製作水電池(電池編號#15) 和水晶凝膠電池(電池編號16)，針對其電壓與電流的數據進行分析，如下表10所示。

表10 電池編號15、16的電壓與與電流

電池編號	電壓(V)	電流(mV)	電解質成分
15	0.33	1.01	水
16	0.57	1.17	水晶凝膠
10	0.97	24.4	葉綠素、水晶凝膠

從表10可以看比較電池編號10與電池編號16的電壓與電流，我們發現電池製作20分鐘後的電壓與電流都有明顯的差距。如下圖24所示，左邊為編號10的電流與電壓，右邊為編號16的電流與電壓，由實驗結果可以證實，有葉綠素的存在，有助於電壓與電流的生成。

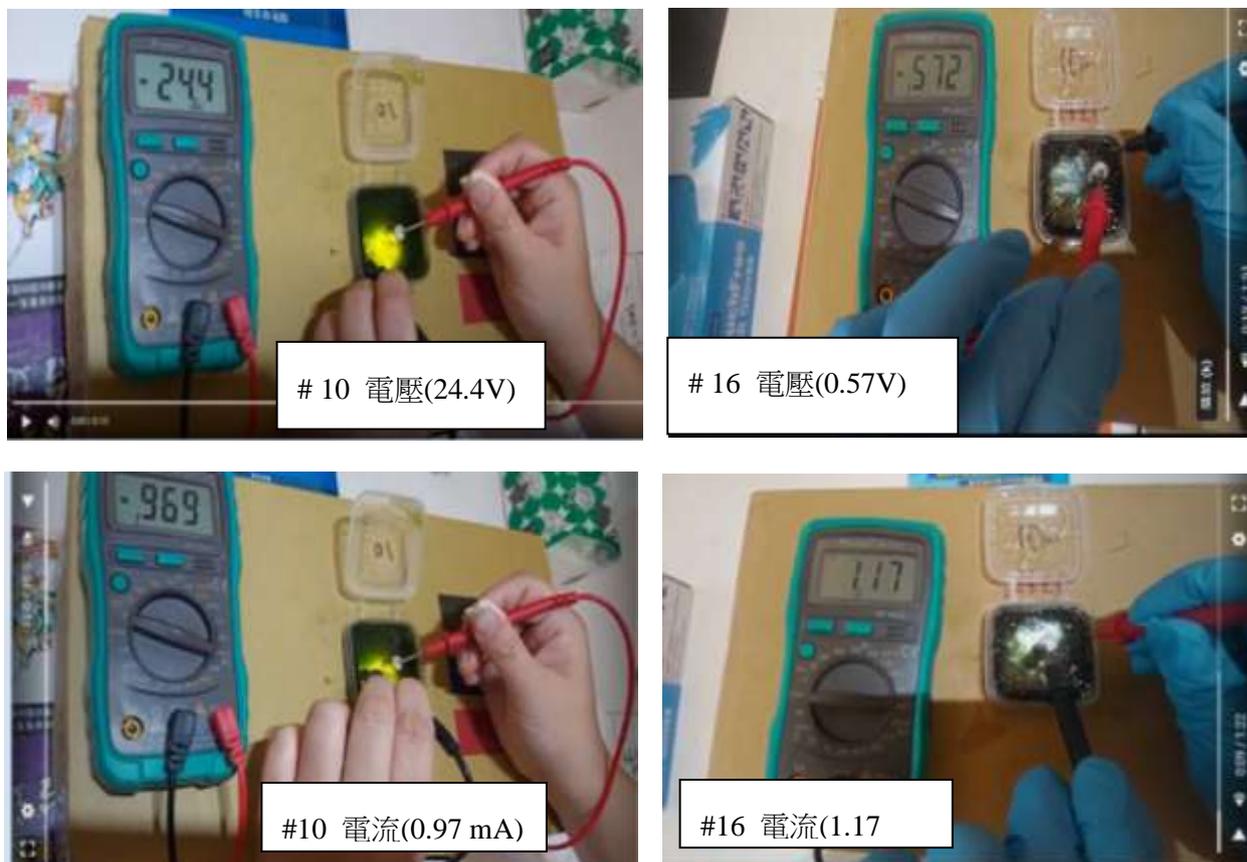


圖24 左邊為電池編號10，右邊為電池編號16的的電流與電壓

我們使用二個電極分別為鋁棒與鋁箔紙來進行簡單的測試，觀察到葉綠素電池在黑暗與光照處的電壓與電流的表現，如下圖24所示。實驗結果發現葉綠素電池在光照處所測到的電壓與電流會比黑暗處的電池所測的結果都比較高，所以含有葉綠素的電池可自行受光產生電能，與相關科展文獻結果相同。

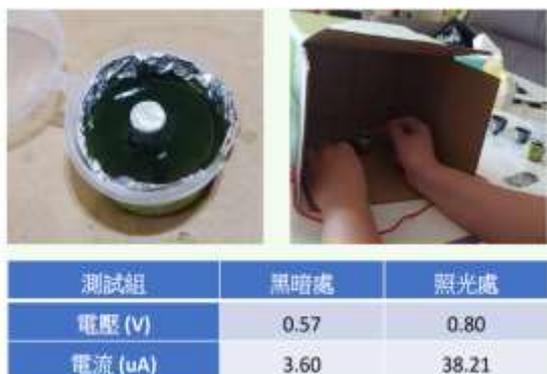


圖23 葉素電池在光照處與黑暗處的電壓與電流

從實驗結果歸納，自組式葉綠素電池推測的工作原理可分為下列二部分：

一、鋁棒與石墨碳氈/碘(複合電極)之化學電池部分：

1. 當鋁棒被氧化，電子經外線路，傳到石墨碳氈。
2. 傳到石墨碳氈/碘的電子經電解質傳遞，部份用於葉綠素的還原，部份傳到負極的鋁棒形成循環。

二、光電輔助作用部分：

1. 光線照射葉綠素後，葉綠素吸收能量，能階從基態躍遷至激發態。
2. 躍遷至激發態的電子傳至負極的鋁棒。
3. 傳到正極石墨碳氈的電子部份用於葉綠素的還原。

伍、結論

本實驗是新型改良式葉綠素電池，集合化學電池與染料電池的優點，具有體積小、可自行替換凝膠並重複使用，能解決傳統電池液外漏及電極成本高的問題。

新型改良式葉綠素電池在發電的過程中，可以照光使葉綠素扮演染料的功能，促使電流更容易傳導。葉綠素凝膠中所添加的碘酸鉀會和碘化鉀產生碘，利用石墨碳氈具有高比例的孔洞可以吸附反應中形成的碘，使原本惰性電極轉變成複合式電極(石墨碳氈/碘)，會使得葉綠素電池的電壓和電流提升。電池編號10的瞬間電壓與電流可達1.07伏特與38.4毫安培，其電池壽命在209小時，電壓亦可維持1伏特且電流隨時間增加可穩定發電，可應用於緊急充電與LED燈泡照明使用。

陸、參考資料

1. 黃曼青等四人，葉來 YA 有電-葉綠素電池，第 59 屆中小學科展作品。
2. 吳佳蓁等六人，雜草也能做電池，第 53 屆中小學科展作品。
3. 陳家宜等三人，葉綠素的長生之道，第 54 屆中小學科展作品。
4. 杜昀翰等三人，探討植物染料敏化光電池發電效能及改良式光電池適用性之分析，第 59 屆中小學科展作品。
5. 林芷瑄、林姿婷，葉綠素電池之應用，第 59 屆中小學科展作品。
6. 趙奕森，當石墨碰到葉~進擊的葉綠素電池，第 60 屆新北市中小學科展作品。
7. 林邑柔等三人，蟹葉「銅」「鋁」來電-環境友善光電強化銅鋁電池的探討，第 59 屆全國中小學科展作品。

聲明: 以上所有實驗照片皆來自科展作者的實驗照片，無抄襲。

【評語】 030208

本研究著重在改良葉綠素電池，參考歷年來的報告，設計出集合染料電池與化學電池，提升電流的輸出。內容為探究不同酒精濃度粗萃取葉綠素、電極種類、電解質的組成對電池、效能、電壓與電流的影響。

由於光電轉化受光敏染料影響很大，瞭解光敏化太陽能電池和葉綠素電池的組成與產生電能之原理與機制很關鍵。建議：

- (1) 說明葉綠素主要化學組成及導光原理。
- (2) 由於牽涉到碘酸鉀和碘化鉀的氧化還原反應，應要討論其對電壓與電流的輸出的影響。另電解質耗盡的問題，也不要忽略。

部份技術上的問題，如下：

- (3) 圖的展現方式，建議可採左右雙軸，將電流電壓分開作圖。
- (4) 部份圖、表標示不清。
- (5) 有幾組結果電流呈現明顯不穩定，應加以討論，並提出可能解決方案。

(6) 結論中提到，電池編號 10 的瞬間電壓與電流可達 1.07 伏特與 38.4 毫安培，其電池壽命在 209 小時，電壓亦可維持 1 伏特且電流隨時間增加可穩定發電。並未在實驗圖表數據上看出。

作品簡報

進擊的「葉」電~

光電合一的葉綠素電池

摘要

本實驗所使用的葉綠素，是將地瓜葉以打汁過濾法，用50%酒精水溶液去粗萃取尺寸大致相同的葉片而來。選用不同種類的電極(碳棒、鋁棒、銅棒與石墨碳氈)，實驗結果由石墨碳氈搭配鋁棒效果最佳。我們在電解液中加入水晶凝膠、碘化鉀和碘酸鉀，利用葉肉腐敗所形成的弱酸，自行反應產生高純度的碘，並使用石墨碳氈具有大表面積的孔洞去吸附，可作為葉綠素電池的複合電極，所製成的電池會隨著時間增加，電池的電壓與電流也會上升。其發電效率是歷屆葉綠素電池科展之冠，電池編號10在製成72小時後，其電壓與電流可達1.07伏特與38.5毫安培。

壹、研究動機

近年來綠色能源慢慢崛起，這是一個非常有潛力的產業。從再生能源的發展來看，我們覺得太陽光是最容易被獲取的能源，植物可以吸收可見光，進行光合作用產生能量，那我們是不是也可以自行製作綠色電池呢？我們收集相關科展文獻並分析，發現歷屆科展所做的葉綠素電池其電壓與電流都不高，所以我們想製作新型的葉綠素電池，並提高電池的效率使其應用更廣。

貳、研究設計與目的

- 一、探究歷屆科展文獻與數據分析
- 二、檢測葉綠素電池在不同種類電極搭配的發電效率
- 三、探究不同酒精水溶液粗萃取葉綠素對電池效率的影響
- 四、探討電解液中添加不同種類的凝膠及重量對電池的影響
- 五、研究不同組成的電解液對電池效能的影響
- 六、探討水電池、凝膠電池及葉綠素凝膠電池的差異
- 七、探究葉綠素是否具有光敏化的功能

肆、研究結果

一、探究歷屆科展文獻與數據分析

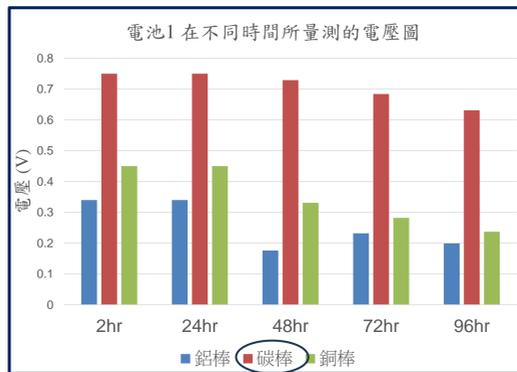
參考文獻	科別	內容概要
1. 蟹葉「銅」「鋁」來電-環境友善光電強化銅鋁電池的探討	全國第63屆國中化學組 1st	電池以鋁網為陽極、中空銅框為陰極，在葉綠素凝膠中，加入幾丁聚醣(3.0%)、氯化鈉(0.6%)及醋酸(1.0%)，其發電效率 0.52V、0.54 mA 。
2. 葉綠素電池之應用	全國第59屆高中組環境科學組 1st	將葉子烘乾置於研鉢中，再加入少量的90%酒精研磨，之後過濾萃取出葉綠素。以0.05 M 碘液 + 0.5 M 碘化鉀作葉綠素電池電解液。以碳棒為正極、鋁箔紙為負極，其發電效率 1.07 V、0.24 mA 。
3. 雜草也能做電池？	全國第53屆國小化學組 2nd	以「打汁過濾法」萃取葉綠素液，製作葉綠素膠作為電解質，以銅片為正極、鋅片為負極，其發電效率 0.83 V、0.72 mA 。
4. 當石墨遇見葉~進擊的「葉」電	新北第60屆國小化學組 2nd	改良傳統葉綠素電池，利用酒精水溶液去粗萃取葉綠素，電解液中添碘化鉀與寒天電極為石墨碳氈和鋁棒可產生 0.73 V、4.37 mA 。
自組式一體成型的電池，利用50%酒精水溶液去粗萃取葉綠素，電解液中添加碘酸鉀、碘化鉀和水晶凝膠，形成複合式電極(石墨碳氈/碘)搭配鋁棒，在可見光照射下產生可 1.07 V、38.5 mA 。		

本實驗的電池參考歷屆科展所使用的藥品與材料，選擇低能源耗損(粗萃取葉綠素)來製作高純度(複合式電極)具有低成本的優勢。

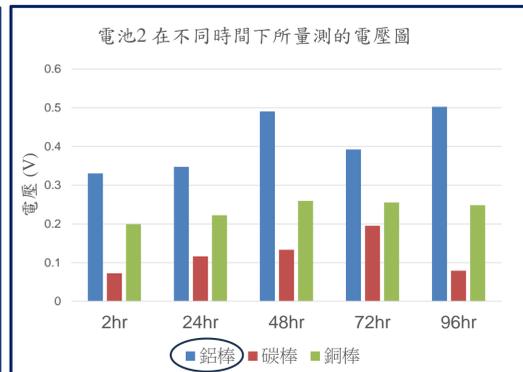
二、檢測葉綠素電池在不同種類電極搭配的發電效率

製成2 hr	電池1 (25%酒精水溶液)			電池2 (25%酒精水溶液)		
電極種類	鋁棒	碳棒	銅棒	鋁棒	碳棒	銅棒
電壓(V)	0.34	0.75	0.45	0.33	0.072	0.199
電流(mA)	0.04	0.55	0.059	0.255	0.038	0.272
電池效率	0.014	0.413	0.027	0.084	0.003	0.054
製成24 hr	1			2		
電極種類	鋁棒	碳棒	銅棒	鋁棒	碳棒	銅棒
電壓(V)	0.277	0.741	0.361	0.347	0.116	0.222
電流(mA)	0.025	0.673	0.087	0.74	0.187	0.698
電池效率	0.007	0.499	0.031	0.257	0.022	0.155
製成48 hr	1			2		
電極種類	鋁棒	碳棒	銅棒	鋁棒	碳棒	銅棒
電壓(V)	0.176	0.729	0.331	0.49	0.133	0.259
電流(mA)	0.004	0.863	0.079	0.521	0.105	0.835
電池效率	0.001	0.629	0.026	0.255	0.014	0.216
製成72 hr	1			2		
電極種類	鋁棒	碳棒	銅棒	鋁棒	碳棒	銅棒
電壓(V)	0.232	0.684	0.282	0.392	0.195	0.255
電流(mA)	0.011	0.379	0.085	1.012	0.258	0.718
電池效率	0.003	0.259	0.024	0.397	0.050	0.183
製成96 hr	1			2		
電極種類	鋁棒	碳棒	銅棒	鋁棒	碳棒	銅棒
電壓(V)	0.199	0.631	0.237	0.502	0.079	0.248
電流(mA)	0.021	0.542	0.08	0.852	0.041	0.819
電池效率	0.004	0.342	0.019	0.428	0.003	0.203

我們參考科展文獻4，使用25%酒精水溶液去粗萃取葉綠素，在電解液中加入0.5 M 的碘化鉀，並以寒天作為凝固劑來製作電池。實驗中選用不同種類(銅棒、鋁棒、碳棒和石墨碳氈)的電極，來進行放電電壓的實驗。



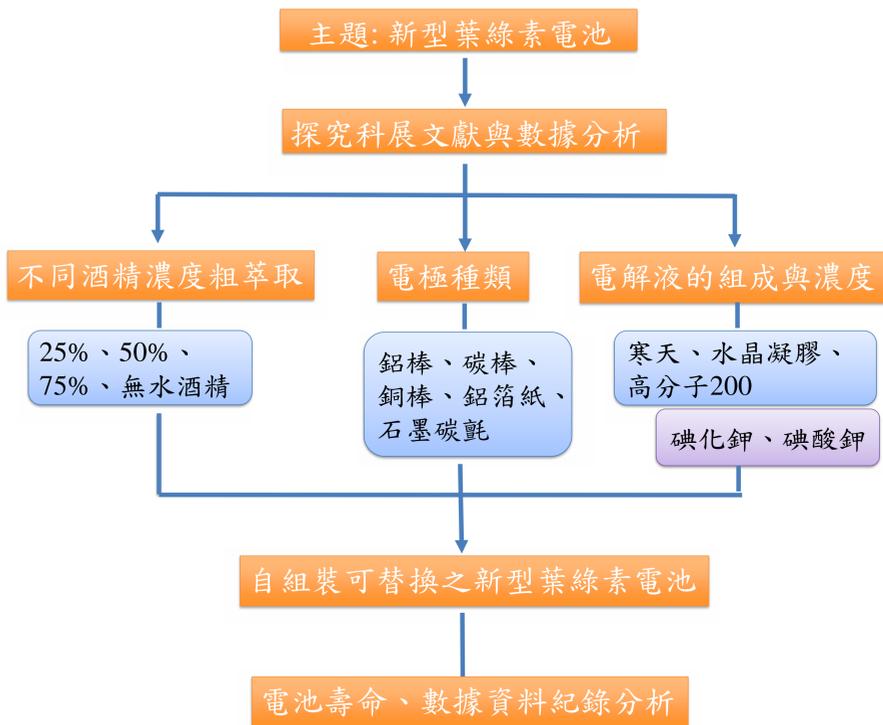
電池編號1: 鋁箔紙搭配碳棒電壓表現最佳

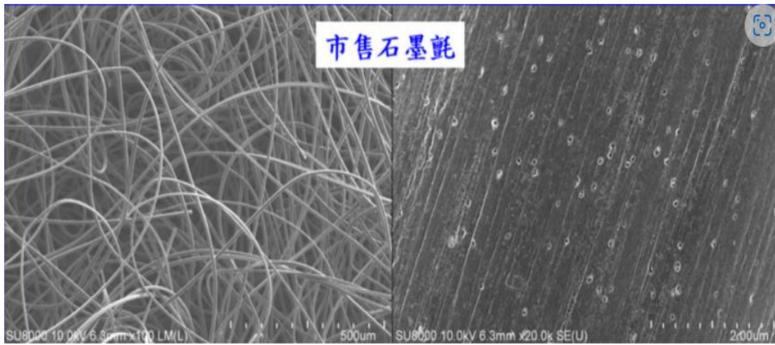


電池編號2: 石墨碳氈搭配鋁棒電壓表現最佳

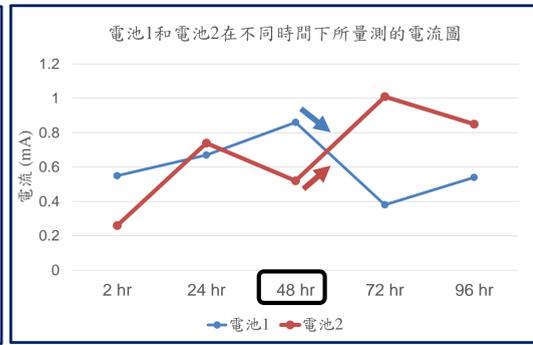
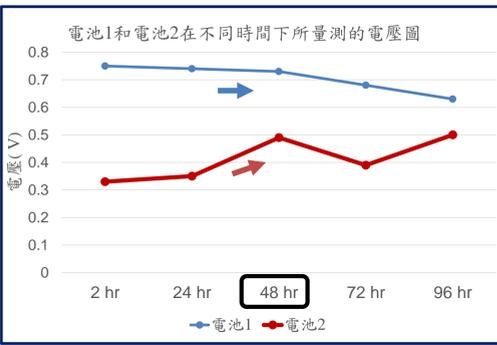
從實驗結果發現，相同的葉綠素凝膠電解液，電極搭配鋁和石墨碳氈的電池效果最好，與科展文獻4的實驗數據相符合，具有再現性。

參、實驗設計架構圖





石墨碳氈的SEM分析圖 [攝取:李文仁, 可應用於電化學電池之石墨碳氈電極]

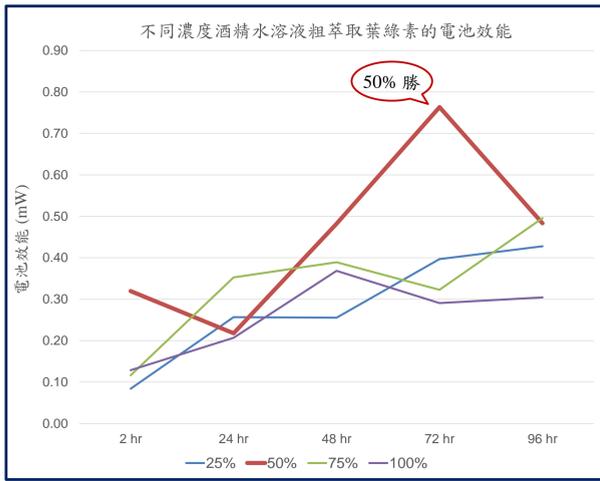
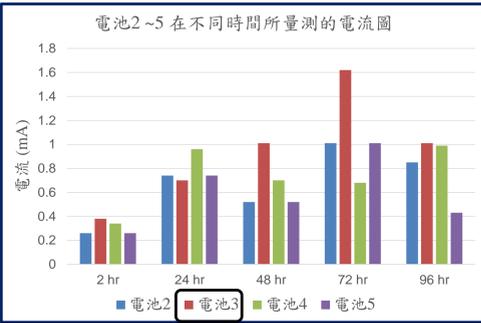
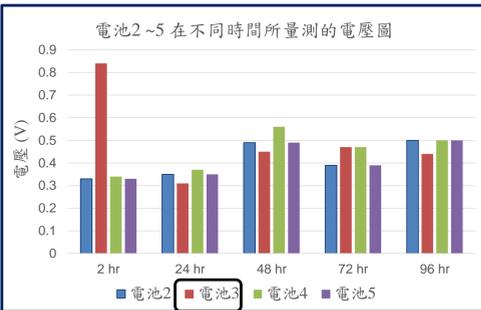


相同電解液組成，電池在製成48hr後，電池2的電壓和電流都有上升的趨勢。

三、檢測不同酒精水溶液粗萃取葉綠素對電池效率的影響

電池2~5的電解液組成爲0.5 M 碘化鉀和1g的寒天，電極爲石墨碳氈搭配不同金屬棒，去改變不同濃度的酒精水溶液(%)去粗萃取葉綠素，觀察電池的電壓與電流。

2 hr	電池2 (25 % #)	電池3 (50 % #)	電池4 (75 % #)	電池5 (100 % #)
電極種類	鋁棒 碳棒 銅棒	鋁棒 碳棒 銅棒	鋁棒 碳棒 銅棒	鋁棒 碳棒 銅棒
電壓(V)	0.33 0.072 0.199	0.843 0.169 0.358	0.342 0.1 0.19	0.407 0.161 0.208
電流(mA)	0.255 0.038 0.272	0.379 0.153 0.98	0.34 0.329 0.453	0.316 0.277 0.671
電池效率	0.084 0.003 0.054	0.319 0.026 0.351	0.116 0.033 0.086	0.129 0.045 0.140
24 hr	2	3	4	5
電極種類	鋁棒 碳棒 銅棒	鋁棒 碳棒 銅棒	鋁棒 碳棒 銅棒	鋁棒 碳棒 銅棒
電壓(V)	0.347 0.116 0.222	0.311 0.237 0.241	0.368 0.236 0.238	0.424 0.184 0.205
電流(mA)	0.74 0.187 0.698	0.7 0.167 0.717	0.958 0.097 0.632	0.488 0.216 0.466
電池效率	0.257 0.022 0.155	0.218 0.040 0.173	0.353 0.023 0.150	0.207 0.040 0.096
48 hr	2	3	4	5
電極種類	鋁棒 碳棒 銅棒	鋁棒 碳棒 銅棒	鋁棒 碳棒 銅棒	鋁棒 碳棒 銅棒
電壓(V)	0.49 0.133 0.259	0.452 0.098 0.251	0.559 0.095 0.241	0.55 0.13 0.262
電流(mA)	0.521 0.105 0.835	1.066 0.035 0.862	0.696 0.146 0.743	0.67 0.056 0.654
電池效率	0.255 0.014 0.216	0.482 0.003 0.216	0.389 0.014 0.179	0.369 0.007 0.171
72 hr	2	3	4	5
電極種類	鋁棒 碳棒 銅棒	鋁棒 碳棒 銅棒	鋁棒 碳棒 銅棒	鋁棒 碳棒 銅棒
電壓(V)	0.392 0.195 0.255	0.47 0.084 0.224	0.473 0.134 0.228	0.481 0.073 0.242
電流(mA)	1.012 0.258 0.718	1.624 0.086 0.687	0.682 0.179 0.628	0.604 0.191 0.394
電池效率	0.397 0.050 0.183	0.763 0.007 0.154	0.323 0.024 0.143	0.291 0.014 0.095
96 hr	2	3	4	5
電極種類	鋁棒 碳棒 銅棒	鋁棒 碳棒 銅棒	鋁棒 碳棒 銅棒	鋁棒 碳棒 銅棒
電壓(V)	0.502 0.079 0.248	0.443 0.086 0.228	0.503 0.126 0.196	0.324 0.154 0.184
電流(mA)	0.852 0.041 0.819	1.091 0.133 0.728	0.985 0.28 0.581	0.939 0.143 0.749
電池效率	0.428 0.003 0.203	0.483 0.011 0.166	0.495 0.035 0.114	0.304 0.022 0.138



1. 電極種類以石墨碳氈搭配鋁棒的電池效能較好。
2. 電池編號3是由50%酒精水溶液去粗萃取葉綠素，其電壓與電流的表現最好。

四、探討電解液中添加不同種類的凝膠及重量對電池的影響

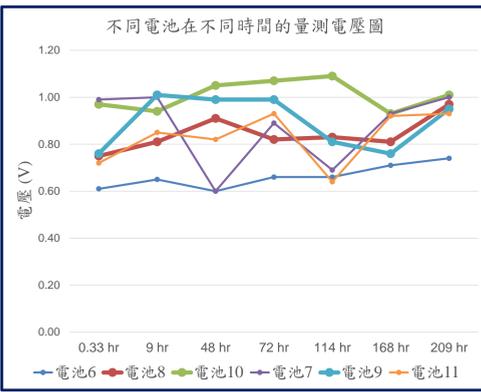
參考歷屆科展文獻，電解液中添加碘液，可以提升電池效能。所以，我們嘗試在葉綠素溶液中添加碘酸鉀(KIO₃)，想利用電解液在葉肉腐敗的弱酸下進行化學反應產生碘，利用石墨碳氈具有大表面積的孔洞吸附，使其電極形成複合電極。碘酸鉀和碘化鉀的淨化學方程式如下式所示。



我們將粗萃取的葉綠素溶液與不同重量比的水晶凝膠和分子PEG-200進行配製，其比例如下表所示。

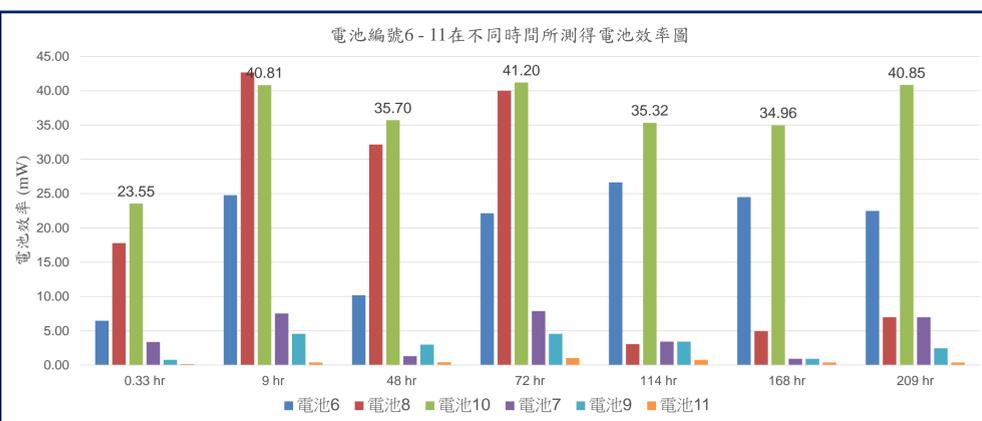
電池編號	酒精	碘化鉀(M)	碘酸鉀(M)	水晶凝膠(克)	PEG 200(克)
6	50%	0.375	0.075	10	
8	50%	0.25	0.050	20	
10	50%	0.125	0.025	30	
7	50%	0.375	0.075		10
9	50%	0.25	0.050		20
11	50%	0.125	0.025		30

電池編號	6	7	8	9	10	11
電池製成時間0.33 hr						
電壓(V)	0.61	0.99	0.75	0.76	0.97	0.72
電流(mA)	10.60	3.40	23.60	1.00	24.40	0.20
電池效應	6.47	3.37	17.79	0.76	23.55	0.14
電池製成時間9 hr						
電壓(V)	0.65	1.00	0.81	1.01	0.94	0.85
電流(mA)	38.10	7.50	53.00	4.50	43.60	0.45
電池效應	24.77	7.52	42.67	4.55	40.81	0.38
電池製成時間48 hr						
電壓(V)	0.66	0.60	0.91	0.99	1.05	0.82
電流(mA)	15.50	2.20	35.30	3.00	34.00	0.50
電池效應	10.18	1.31	32.16	2.98	35.70	0.41
電池製成時間72 hr						
電壓(V)	0.65	0.89	0.82	0.99	1.07	0.93
電流(mA)	33.90	8.90	48.90	4.60	38.50	1.10
電池效應	22.14	7.88	40.00	4.55	41.20	1.03
電池製成時間114 hr						
電壓(V)	0.66	0.69	0.83	0.81	1.09	0.64
電流(mA)	40.30	4.40	42.60	4.20	33.00	0.70
電池效應	26.64	3.04	35.32	3.41	36.04	0.45
電池製成時間168 hr						
電壓(V)	0.71	0.93	0.81	0.76	0.93	0.92
電流(mA)	34.50	5.30	43.00	1.20	30.40	0.40
電池效應	24.50	4.94	34.96	0.91	28.12	0.37
電池製成時間209 hr						
電壓(V)	0.74	1.00	0.97	0.95	1.01	0.93
電流(mA)	30.30	7.00	42.20	2.59	31.80	0.40
電池效應	22.48	6.99	40.85	2.46	32.21	0.37



水晶凝膠系列的電壓與電流隨時間增加增加，皆高於高分子PEG-200系列。

電池編號	水晶凝膠系列			高分子PEG-200系列		
	6	8	10	7	9	11
製成時間	6	8	10	7	9	11
0.33 hr	6.47	17.79	23.55	3.37	0.76	0.14
9 hr	24.77	42.67	40.81	7.52	4.55	0.38
48 hr	10.18	32.16	35.70	1.31	2.98	0.41
72 hr	22.14	40.00	41.20	7.88	4.55	1.03
114 hr	26.64	3.04	35.32	3.41	3.41	0.75
168 hr	24.5	4.94	34.96	0.91	0.91	0.37
209 hr	22.48	6.99	40.85	6.99	2.46	0.37



量測電壓與電流中，我們有聞到碘酒的味道，我們推測實驗過程中電解液會化學反應形成碘，我們推測碘可以被石墨碳氈給吸附，可以形成複合電極與鋁棒形成較大的電位差。



水晶凝膠的成分 [城乙化工提供: 2017-06-29, 公告於官網, 拍攝者: 科展作者]

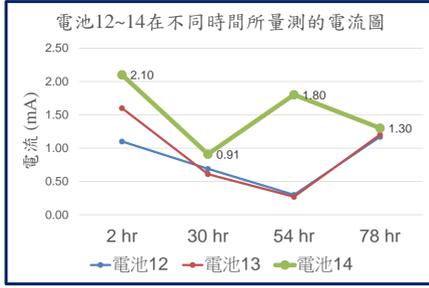
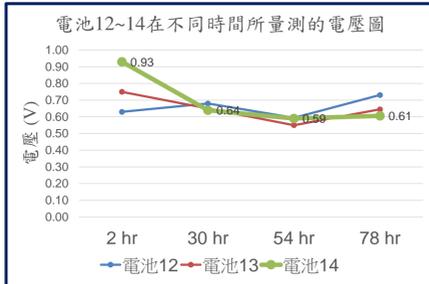
去離子水	丙二醇	三乙醇胺	丙烯酸 / C10-30烷基丙烯酸聚合物	甲基異噻唑啉酮

1. 左圖是未量測的電壓電流前的凝膠狀，右圖量測電壓電流後的凝膠會呈現深褐色，電極鋁棒上有黃褐色的物質。
2. 石墨碳氈吸附褐色物質後，電池編號10在製成209小時後，其電壓可達1.01V，電流31.8 mA。
3. 電解液照光後產生化學反應。

五、研究不同組成的電解液對電池效能的影響

由上述實驗結論，我們想確認碘化鉀的濃度是否會影響到電池的電壓？所以用相同的比例(0.025 M KIO_3 + 30 g 水晶凝膠)分別為添加0.075 M、0.05 M及0.125 M的碘化鉀去製作葉綠素凝膠電池編號12~14，並與電池編號10進行比較。

電池編號	12	13	14
電池製成時間2 hr			
電壓(V)	0.63	0.75	0.93
電流(mA)	1.10	1.60	2.10
電池效應	0.69	1.20	1.95
電池製成時間30 hr			
電壓(V)	0.68	0.65	0.64
電流(mA)	0.69	0.61	0.91
電池效應	0.47	0.40	0.58
電池製成時間54 hr			
電壓(V)	0.59	0.55	0.59
電流(mA)	0.30	0.27	1.80
電池效應	0.18	0.15	1.06
電池製成時間78 hr			
電壓(V)	0.73	0.65	0.61
電流(mA)	1.17	1.20	1.30
電池效應	0.86	0.77	0.79



電池編號	電極	[KI]	[KIO_3]	水晶凝膠
10	√	√	√	√
14	√	√	×	√



探究電解液的組成對電池效能的影響：

1. 電解液中若沒有 KIO_3 ，電解液也會有化學反應形成碘。
 $I_3^- \rightleftharpoons I_2 + I^-$
2. 電解液中若加入 KIO_3 ，會使得電池效能與穩定度相對增加。
3. 實驗數據分析，從電壓與電流的 R^2 值得知，實驗設計模組與數據有正相關。

實驗結果發現，電池編號14 (0.125M KI)的電壓與電流的表現效果最佳，電池的電壓隨時間增加而衰退與科展文獻相符。

六、探究水電池、凝膠電池與葉綠素凝膠電池的差異

由以上實驗結果發現，我們可以找出葉綠素凝膠電池最佳的組成，是以鋁棒和石墨碳氈為電極，葉綠素由50%酒精水溶液萃取，電解液含KI + KIO_3 + 水晶凝膠成分。我們用相同組成的電解液去製作水電池、凝膠電池與葉綠素凝膠電池，來確認葉綠素存在的意義。

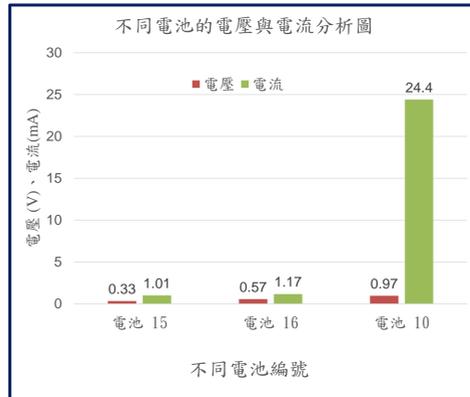
電池編號	名稱	[KI]	[KIO_3]	水晶凝膠	葉綠素	電壓(V)	電流(mA)	電池效率
15	水電池	√	√			0.33	1.01	0.33
16	凝膠電池	√	√	√		0.57	1.17	0.67
10	葉綠素凝膠電池	√	√	√	√	0.97	24.4	23.67



電池編號10、15、16在製成0.33 hr 所量測的電壓(V)



電池編號10、15、16在製成0.33 hr 所量測的電流(mA)



探究葉綠素對電池效能的影響：

1. 從電池15、16的實驗數據可以觀察到，電解液加了水晶凝膠後的電壓與電流表現較好，其電壓增加73%，電流會增加16%。
2. 將電池10與16的數據進行分析，其電壓增加70%，電流多增加23.23 mA。
3. 我們推測葉綠素照光會與電解質發生氧化還原反應。

七、探究葉綠素是否具有光敏化的功能

我們使用鋁棒與鋁箔紙來進行簡單的測試，觀察到葉綠素電池在照光與不照光處的電壓與電流的表現。

電池編號1	照光	不照光	電解液組成
電壓(V)	0.34	0.35	25% 酒精水溶液粗萃取葉綠素、 1.07克寒天、0.125M 碘化鉀
電流(uA)	40.0	35.3	



探究葉綠素在電解液中的反應：

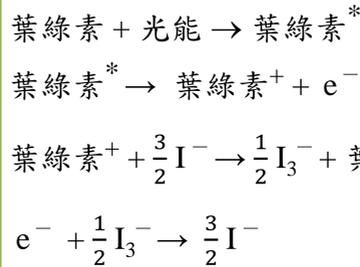
1. 從實驗數據分析，葉綠素電池在照光後，電流增加33%，所以葉綠素具有光敏化的功能。
2. 我們也可以間接去推論，葉綠素會與電解液產生化學反應，才會有電流的形成。

伍、結果與討論

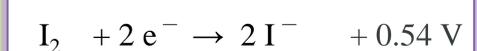
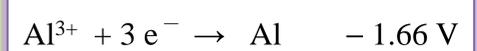
我們搜尋葉綠素電池和敏化太陽能電池的原理，想得知本實驗的葉綠素電池是屬於哪一種電池？可由實驗設計與結果得知。

電池電極：石墨碳氈、鋁棒；葉綠素由50%酒精水溶液粗萃取

電池編號	電解液的成分					電池效率
	KI	KIO_3	葉綠素	寒天	水晶凝膠	
3	√		√	√		0.319
14	√		√		√	1.95
15	√	√				0.33
16	√	√			√	0.67
10	√	√	√		√	24.55



氧化還原電位(理論值)



化學電池是利用氧化還原反應將的化學能轉換成電能。

我們推測本實驗的化學機制：葉綠素在照光後會形成激發態，失去電子的葉綠素會從電解液接收電子，恢復至原有的狀態，從外電路流回的電子再將電解液中的碘還原。

本實驗設計，利用50%粗萃取葉綠素，隨著時間增加其溶液會形成弱酸性；在電解液中添加 KIO_3 ，可以利用其弱酸使其化學反應產生碘，具有環保及高純度的優勢；採用具有導電且大面積的石墨碳氈進行吸附，推測可形成複合性電極，使其電壓變高，未來的應用性會更廣；選用水晶凝膠當凝固劑，可以提升電池的電流，因為含有甲基異噻唑啉酮(防腐劑)，也可使得葉綠素電池壽命增加。

陸、結論

1. 本實驗所使用的葉綠素，是以打汁過濾法，用50%酒精水溶液去粗萃取尺寸大致相同的地瓜葉而來。
2. 電池的電極種類由石墨碳氈搭配鋁棒效果最佳。
3. 電解質加入水晶凝膠所製成的電池，會提升電池的電流，可解決傳統寒天不溶解的問題。
4. 電解液中的碘化鉀和碘酸鉀會在弱酸的條件下，會自行反應產生高純度的碘。
5. 電池編號10在製成後72小時，可測得1.07 V和38.5 mA。

柒、參考文獻

1. 林邑柔等三人，蟹葉「銅」「鋁」來電-環境友善光電強化銅鋁電池的探討，第63屆全國中小學科展作品。
2. 林芷瑄、林姿婷，葉綠素電池之應用，第59屆中小學科展作品。
3. 吳佳蓁等六人，雜草也能做電池，第53屆中小學科展作品。
4. 趙奕森，當石墨碰到葉~進擊的葉綠素電池，第60屆新北市中小學科展。

聲明：以上葉綠素實驗照片皆來自科展作者與指導老師所拍攝，無抄襲。