

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 環境學科

第二名

052609

葉綠素電池之應用

學校名稱：新北市立北大高級中學

作者： 高二 林芷瑄 高二 林姿婷	指導老師： 翁韶君
-------------------------	--------------

關鍵詞：葉綠素、發電、環保

摘要

植物行光合作用時，電子吸收光能後在能階上躍遷，形成ATP，藉此原理，利用葉綠素吸收光能後產生的化學反應，可製作出太陽能葉綠素電池。本研究主要針對萃取葉綠素之方式、葉綠素放置天數、電池電極與電解液之成分、電池的放置環境等變因進行實驗，根據實驗結果，葉子加入酒精後，以研磨方式萃取出葉綠素再搭配碘液、鋁箔紙、碳棒，能做出電壓：1.136V 電流：0.4mA 電功率：0.4544mW的葉綠素電池。

葉綠素電池裝置的設計不只考量到裝置的可行性，對環境友善且永續也是很重要的考量因素，因此將會從下列面向進行研究：裝置如何防水、裝置的使用期限、裝置的素材是否環保，最後成功做出了一組環保的水上漂浮葉綠素電池，未來會再提高此電池產能並且運用在農漁業上。

壹、研究動機

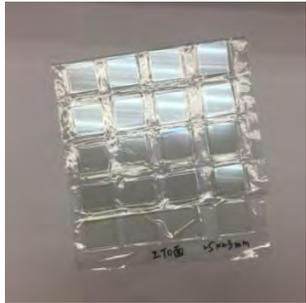
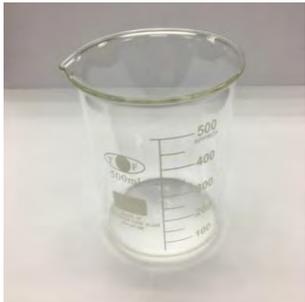
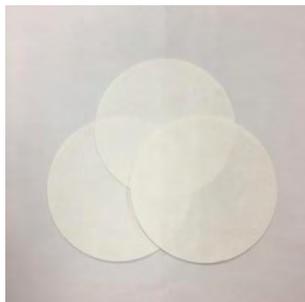
近年來綠色能源正慢慢的崛起，查詢很多文獻後，發現虎尾科技大學的師生已經成功發明出葉綠素電池，許多人也接連做出相關的研究與實驗，但都是針對提高效率而非實際應用，因此大眾依然對葉綠素電池感到陌生。葉綠素電池顧名思義是需要葉子中的葉綠素來發電。我們注意到紫藤在校園外觀上雖然別具特色，但其實對教室內的採光有很大的影響，因此我們將摘取紫藤葉作為研究素材，使其廢物再利用，賦予它新生命。在我們查閱生物課本關於光合作用的章節以及高三下關於化學電動勢的內容後，我們開始在實驗室內進行初步的實驗，雖然起初的嘗試發現電池的產電效率很差，但在我們與許多老師討論下，認為依然有發展性，因此我們想要製作一組在日常生活中既環保又實用的裝置，希望能在產生最少污染物的情況下來產電供給農漁業使用。

貳、研究目的

- 一、探討有效且快速提取較多葉綠素的方法。
- 二、探討葉綠素電池之產能效率。
- 三、探討產電效率較高的葉綠素電池之組裝方式。
- 四、探討水上漂浮葉綠素電池在不同製程及環境因子下的之產能效率。

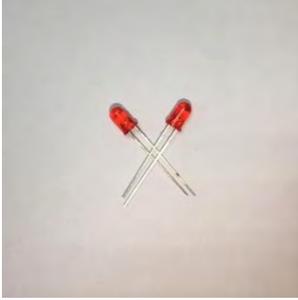
參、研究設備及器材

一、 葉綠素電池：

植物-紫藤 	吉利丁片 	ITO 玻璃 	丙酮 
鋁箔紙 	燒杯 	強力膠 	蠟燭 
鱷魚夾 	量筒 	游標尺 	濾紙 
鑷子 	90%酒精 	三用電表 	滴管 

<p>乳膠手套</p> 	<p>電磁加熱攪拌器</p> 	<p>0.1mm 塑膠片</p> 	<p>電子秤</p> 
<p>優碘</p> 	<p>漏斗</p> 	<p>指針型三用電表</p> 	<p>錐形瓶</p> 

二、 海上漂浮葉綠素電池：

<p>扭蛋殼</p> 	<p>電線</p> 	<p>0.1W led 燈</p> 	<p>葉綠素</p> 
<p>50g 砝碼</p> 	<p>碳棒</p> 	<p>鉲槍</p> 	<p>熱溶膠槍</p> 

肆、研究過程或方法

一、葉綠素電池的化學反應

根據虎尾科大的教授對葉綠素電池的說明，在葉綠素電池碰水後產生氧化還原反應，即能使用。葉綠素在照光後會進行光反應，能量會聚集於葉綠素P680中激發電子，之後在光水解反應中藉由酵素使水強制氧化出2個氫離子和2個電子

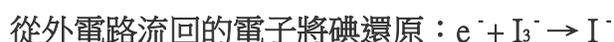
其化學反應式為：



而我們所製作出來的葉綠素電池，與虎尾科大的教授所製作出來的葉綠素電池的不同之處，在於我們查詢資料的過程中，發現若葉綠素電池加入電解液能增強電壓，因此我們嘗試加入了「碘液」當作我們的電解液。因為碘液的自身氧化還原，可有效提供電子給激發態的葉綠素，使其還原為穩定的基態，讓反應得以重複進行。

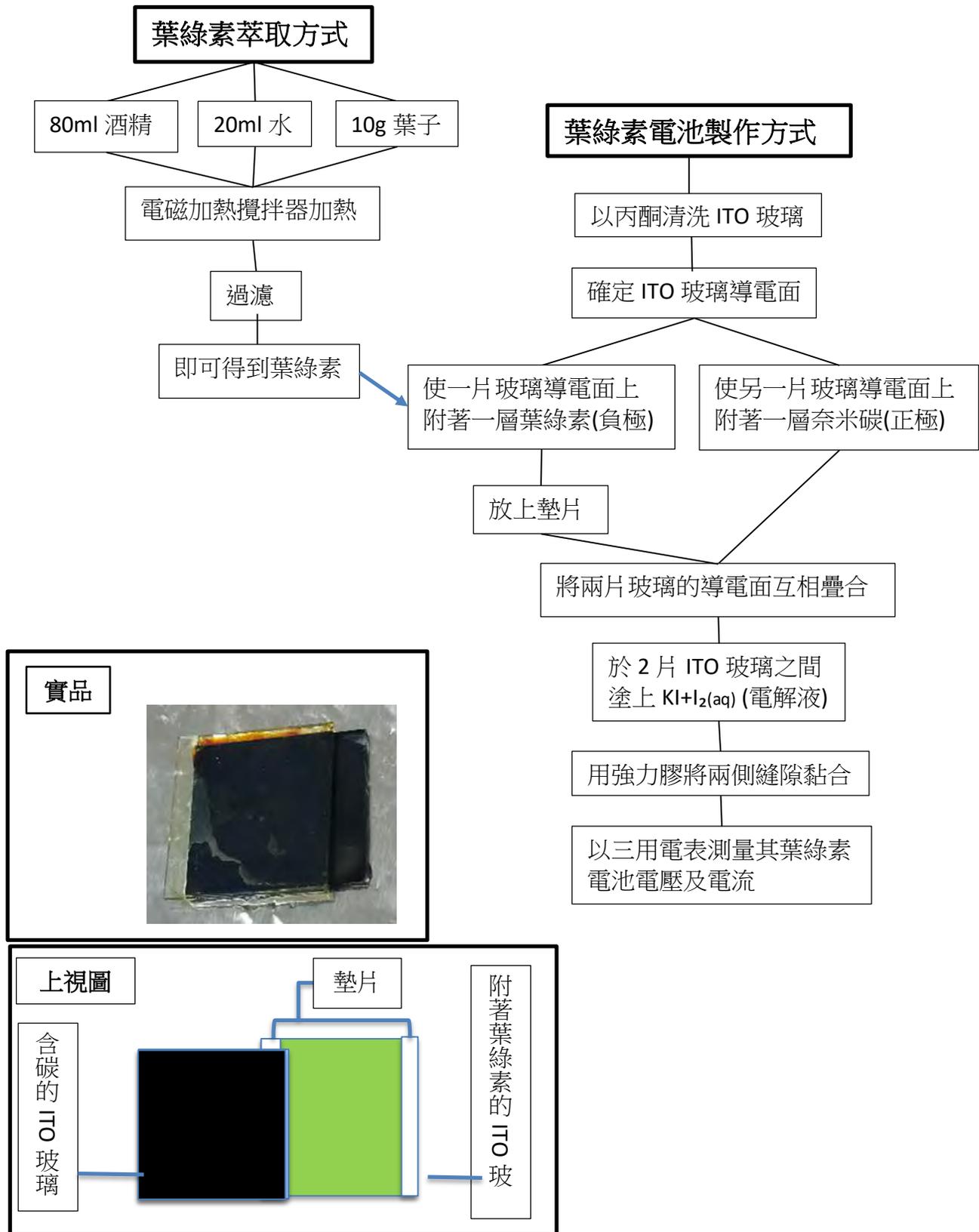
其化學反應式為：

正極（還原）：



註 1 Chl: 葉綠素(Chlorophyll)

二、葉綠素電池(ITO)組裝流程



三、 找到最佳的葉綠素電池組裝方式

藉由 **ITO 玻璃組成的平板式電池**，本研究改變下列六項變因：萃取葉綠素之溶劑、萃取葉綠素之方式、葉綠素電池的組裝方式、葉綠素電池之電極、葉綠素電池之電解液、葉綠素電池放置天數，分析影響葉綠素電池產電效率的變因，並找到最佳組合參數。

(一)改變萃取葉綠素的溶劑

編號	萃取之溶劑
①	丙酮
②	酒精

(二)探討萃取葉綠素的方式

編號	葉綠素萃取方式
萃取方式一	將葉子放進烘箱以 30~40 度烘乾，使葉子呈現脫水的狀態，之後將揉碎的葉子置於研鉢中，再加入少量的 90%酒精研磨，之後過濾，即可萃取出葉綠素。
萃取方式二	將葉子：酒精：水以 1：8：2 的比例放置在燒杯中，放到電磁加熱攪拌器上加熱，即可萃取出葉綠素。

(三)探討產能較好的組裝方式

	平板式電池	圓筒式電池
組裝方式	ITO 玻璃以平板式的疊法製成	將液體葉綠素製成固體凍狀，並放置在鋁箔紙做成的殼中
示意圖		

(四)探討碳是否為必要的導電材料

編號	碳的有無
①	有碳
②	無碳

(五)探討電解液種類對葉綠素電池的發電影響

編號	電解液
①	鹽水
②	醋酸
③	水
④	碘液

(六)探討葉綠素電池放置天數的變化

編號	放置天數
①	1 天
②	12 天
③	1 個月 25 天(55 天)
④	2 個月 24 天(84 天)
⑤	3 個月又 14 天(104 天)
⑥	3 個月又 15 天(105 天)
⑦	3 個月又 21 天(111 天)
⑧	3 個月又 22 天(112 天)

藉由**水上漂浮葉綠素電池**，本研究改變下列三項變因：放置天數、放置位置、葉綠素的量，分析影響葉綠素電池產電效率的變因，並找到最佳組合參數。

(一)水上漂浮葉綠素電池的放置天數

編號	天數	編號	天數
①	1 天	⑨	34 天
②	4 天	⑩	35 天
③	9 天	⑪	36 天
④	16 天	⑫	37 天
⑤	23 天	⑬	41 天
⑥	29 天	⑭	42 天
⑦	30 天	⑮	43 天
⑧	31 天	⑯	44 天

(二) 探討在不同位置下是否會影響電池效能

放置位置	太陽下	距離燈泡 15 公分前	暗箱中
示意圖			

(三) 探討葉綠素的量是否會影響電流

編號	葉綠素的量
①	15 毫升
②	30 毫升

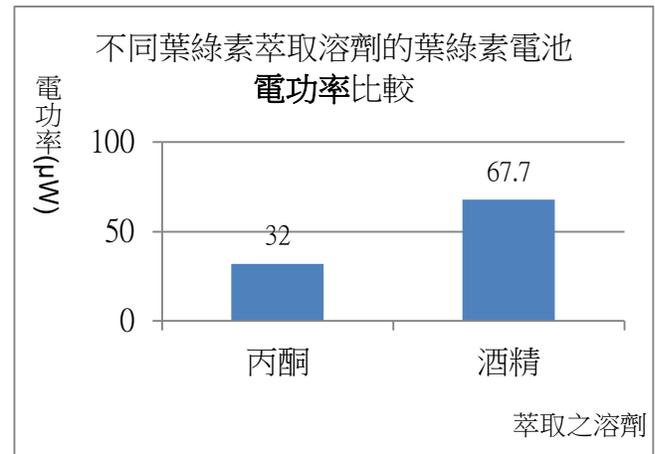
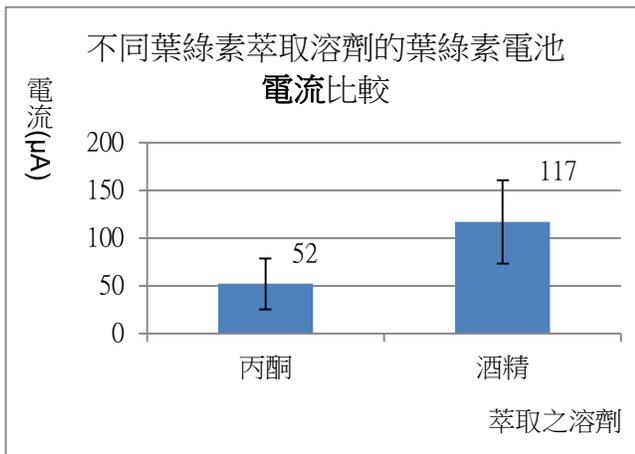
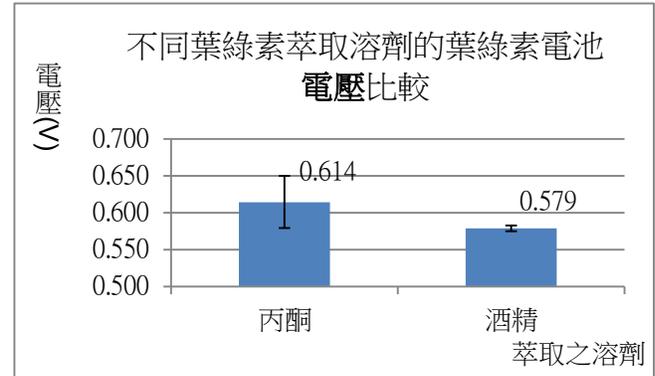
伍、研究結果

一、葉綠素電池(ITO)

(一) 不同葉綠素萃取溶劑的葉綠素電池比較 (研究目的一)

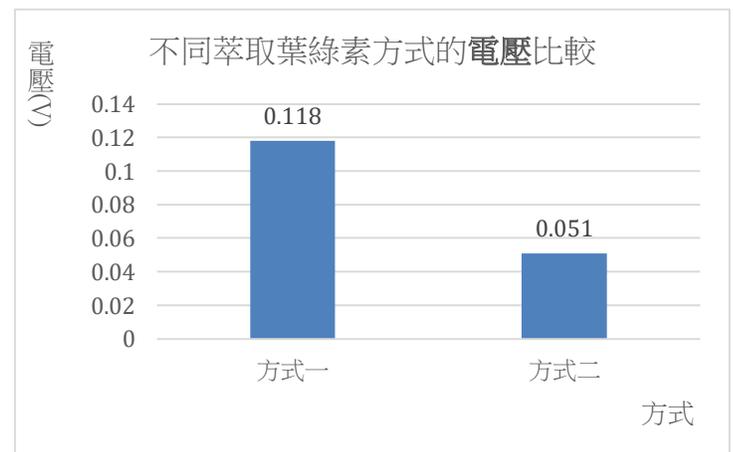
	丙酮	酒精
電壓(V)	0.614	0.579
電流(μA)	52	117
電功率(μW)	32	67.7

以上結果皆由三組數據取平均來比較



(二) 探討不同萃取葉綠素的方式之電壓 (產生不出電流)

方式一		方式二	
甲	0.096V	丁	0.069V
乙	0.136V	戊	0.032V
丙	0.122V	己	0.052V
平均	0.118V	平均	0.051V

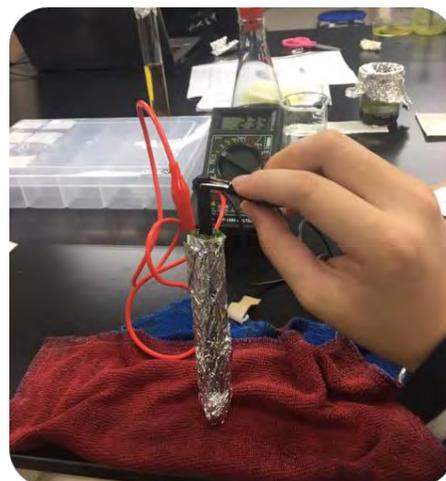


(三) 探討產電較高的葉綠素電池之組裝方式 (實驗目的二)

電池組裝方式	平板式電池	圓筒式電池
電壓	0.732V	0.838V



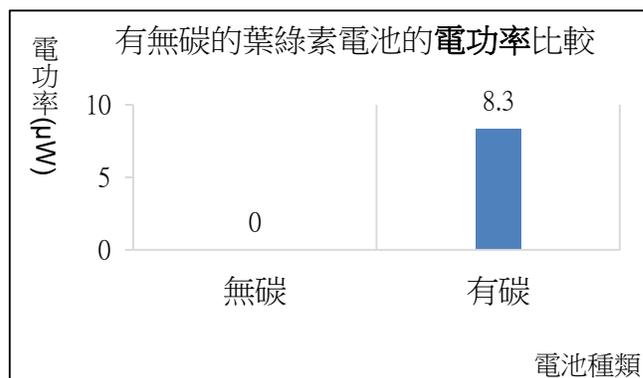
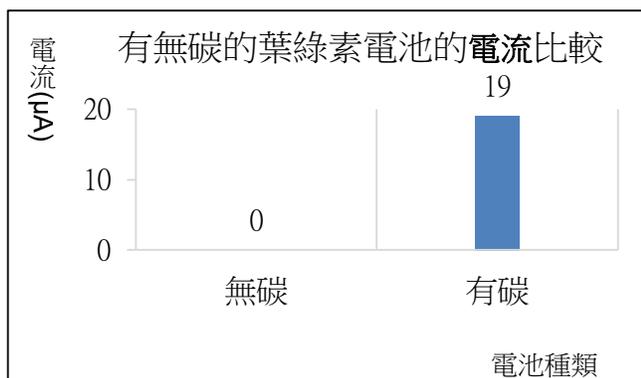
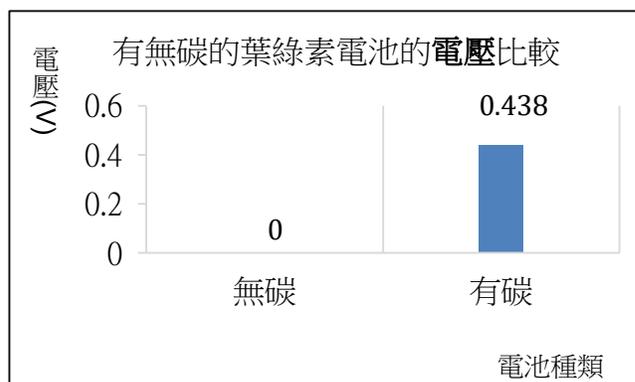
圖一.平板式電池



圖二.圓筒式電池

(四) 探討碳是否為葉綠素電池必要的導電材料

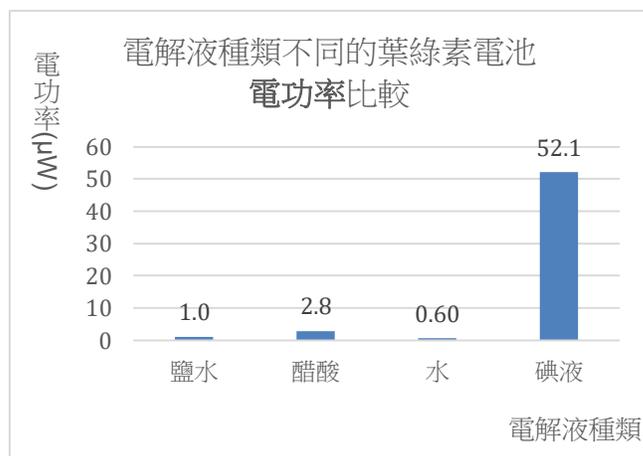
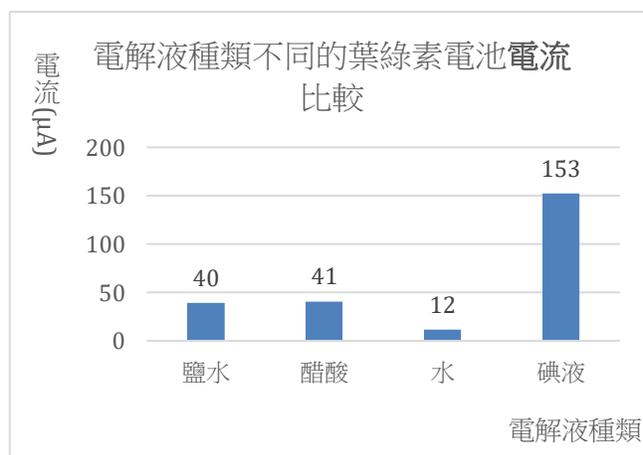
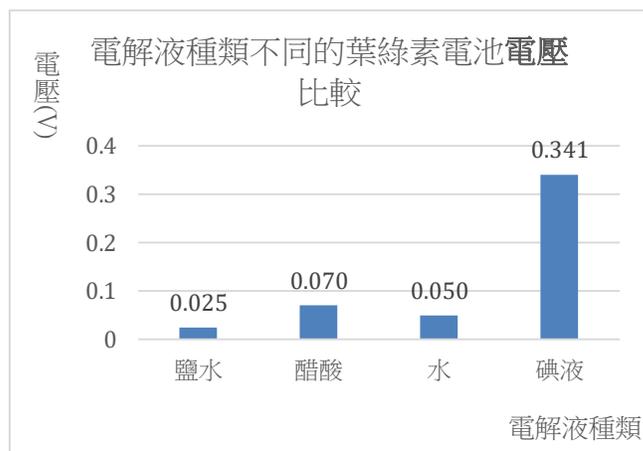
	無碳	有碳
電壓(V)	0	0.438
電流(μA)	0	19
電功率(μW)	0	8.3



(五) 探討電解液種類對葉綠素電池的發電影響(研究目的三)

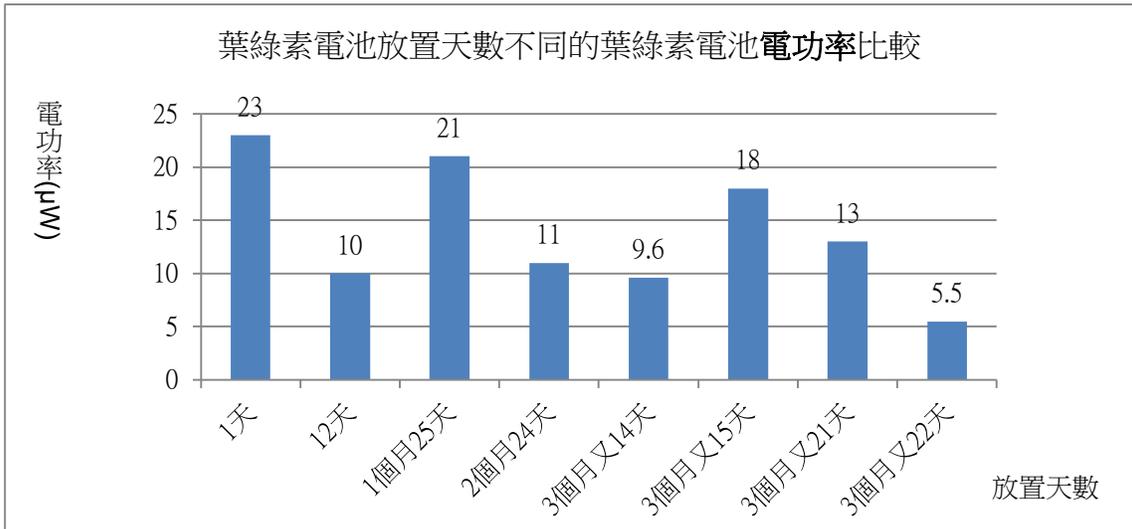
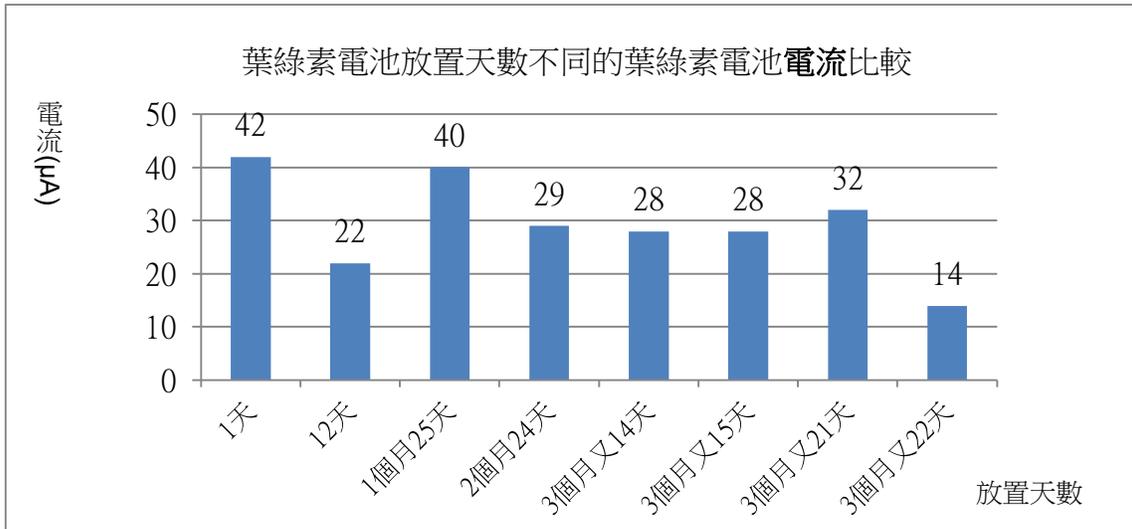
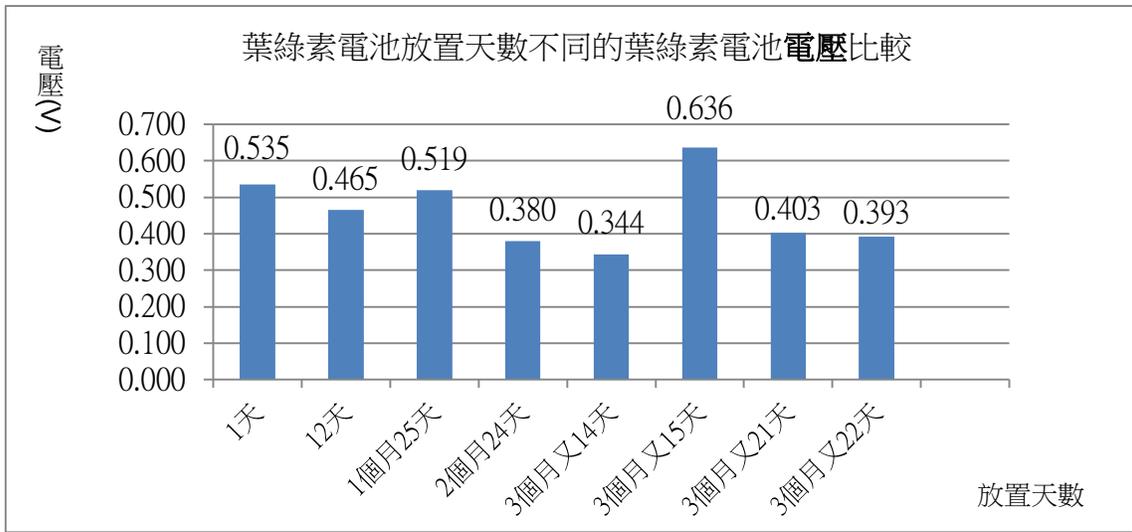
	鹽水	醋酸	水	碘液
電壓(V)	0.025	0.070	0.050	0.341
電流(μA)	40	41	12	153
電功率(μW)	1.0	2.8	0.60	52.1

以上結果皆由三組數據取平均來比較



(六) 探討葉綠素電池(ITO)放置天數的變化

	1 天	12 天	1 個月 25 天	2 個月 24 天	3 個月 14 天	3 個月 15 天	3 個月 21 天	3 個月 22 天
電壓(V)	0.535	0.465	0.519	0.380	0.344	0.636	0.403	0.393
電流(μA)	42	22	40	29	28	28	32	14
電功率(μW)	23	10	21	11	9.6	18	13	5.5

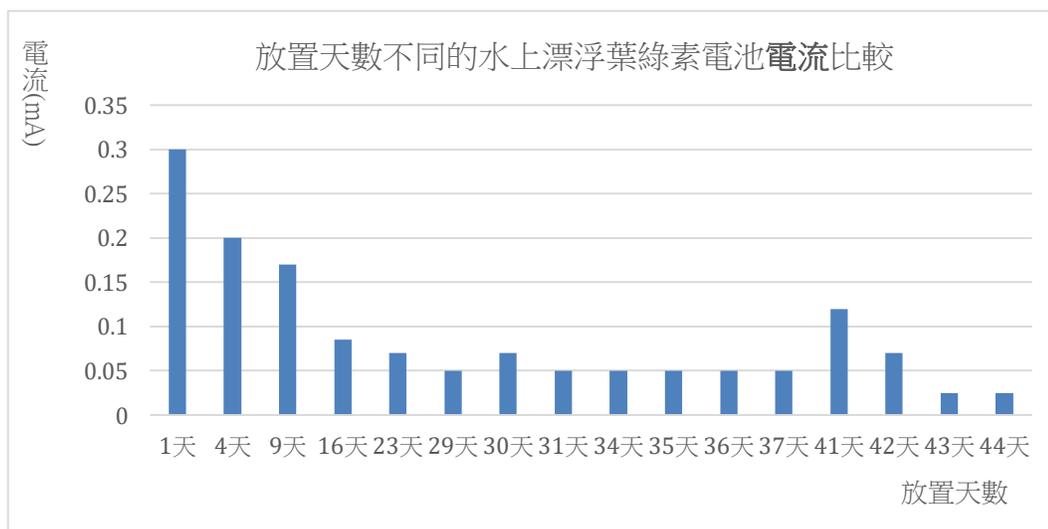
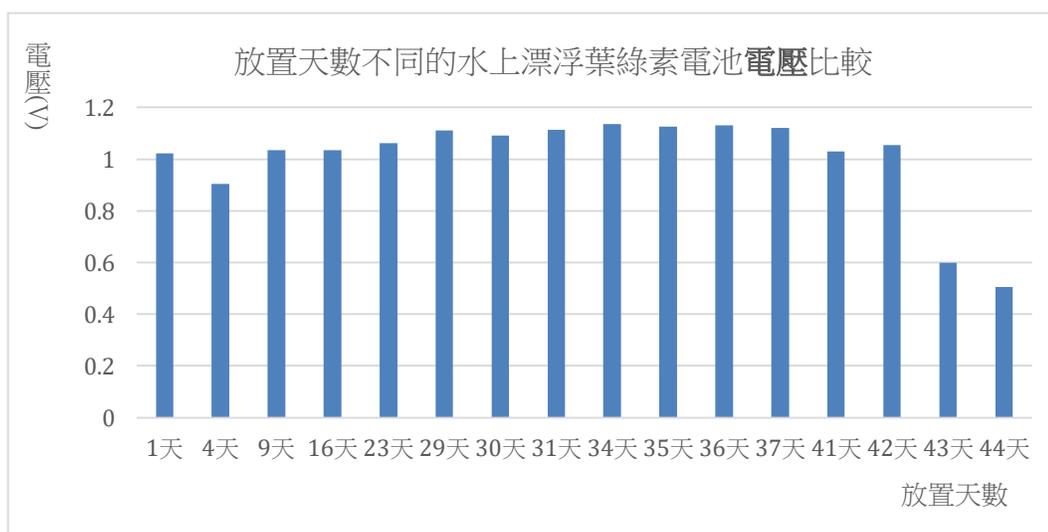


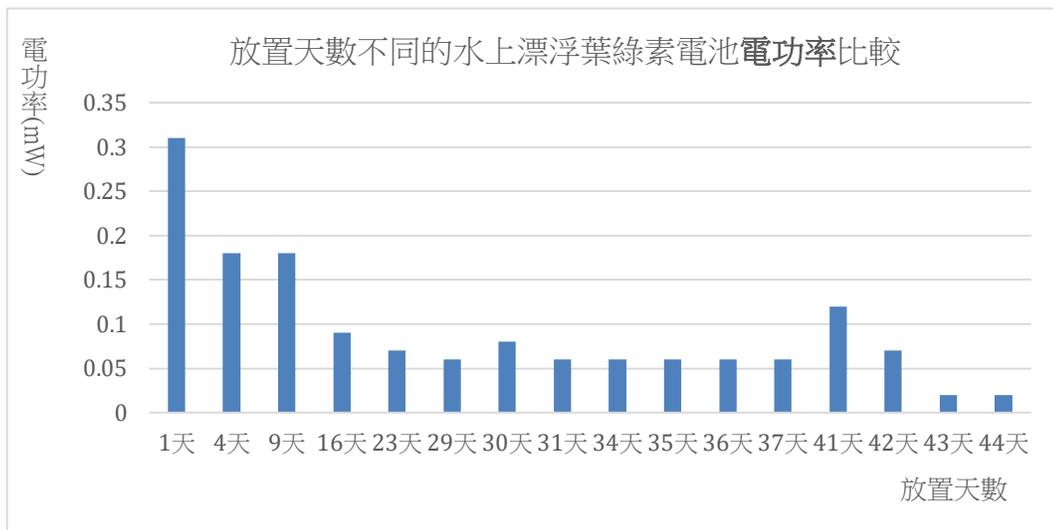
二、 水上漂浮葉綠素電池

(一)探討放置天數不同的水上漂浮葉綠素電池比較

	1天	4天	9天	16天	23天	29天	30天	31天
電壓(V)	1.022	0.905	1.035	1.035	1.063	1.110	1.092	1.113
電流(mA)	0.30	0.20	0.17	0.09	0.07	0.05	0.07	0.05
電功率(mW)	0.31	0.18	0.18	0.09	0.07	0.06	0.08	0.06

	34天	35天	36天	37天	41天	42天	43天	44天
電壓(V)	1.136	1.126	1.130	1.121	1.029	1.054	0.599	0.506
電流(mA)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.12	0.07	0.03	0.03
電功率(mW)	0.06	0.06	0.06	0.06	0.12	0.07	0.02	0.02

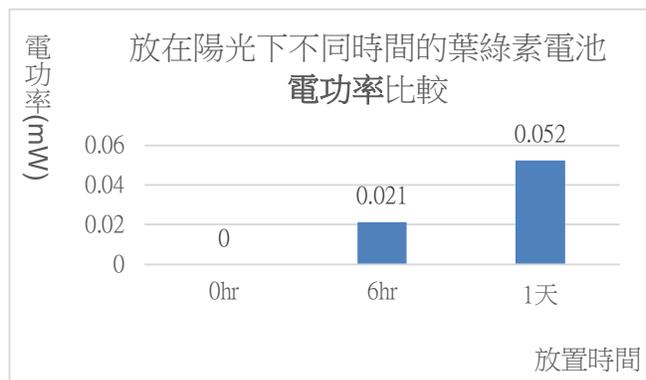
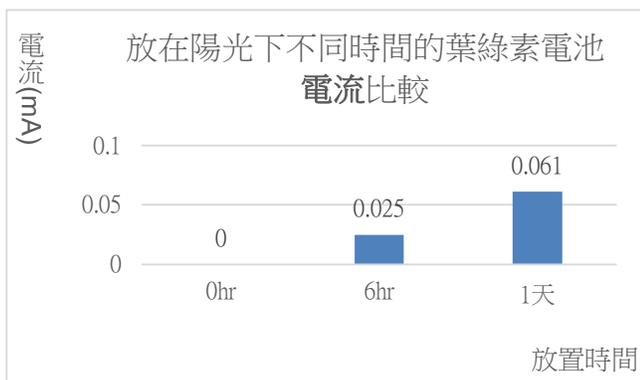
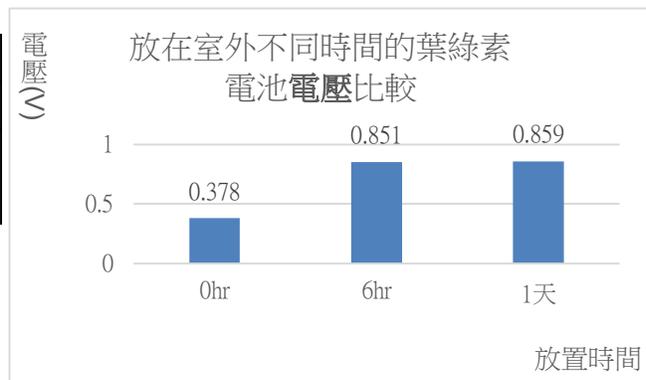




(二)探討在不同環境下葉綠素電池之效率

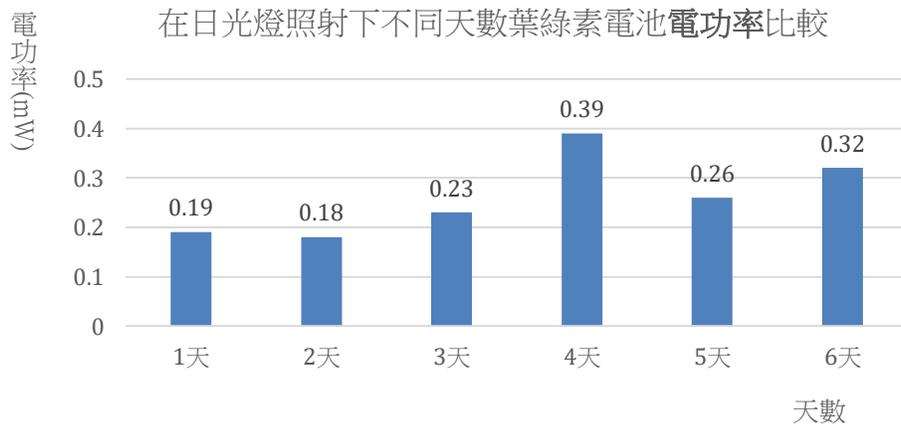
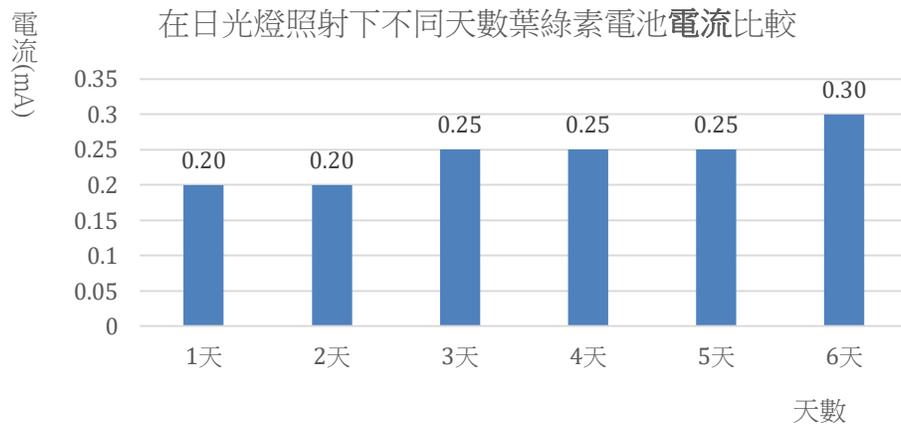
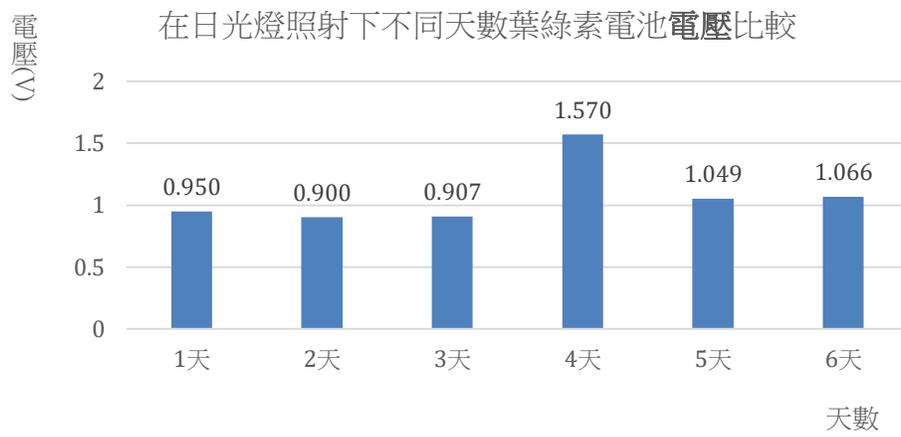
1.室外

	0hr	6hr	1天
電壓(V)	0.378	0.851	0.859
電流(mA)	0.000	0.025	0.061
電功率(mW)	0	0.021	0.052



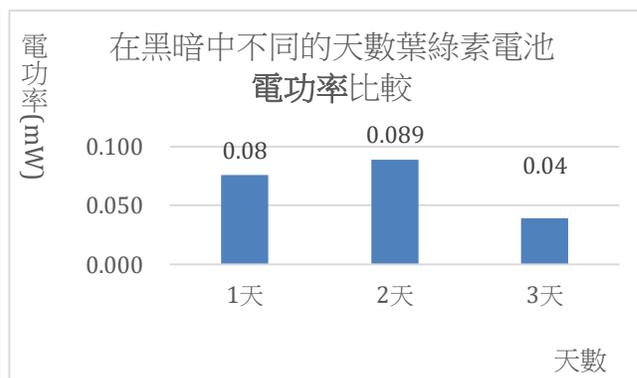
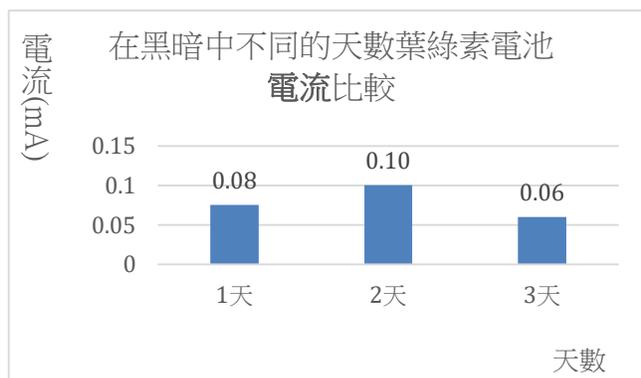
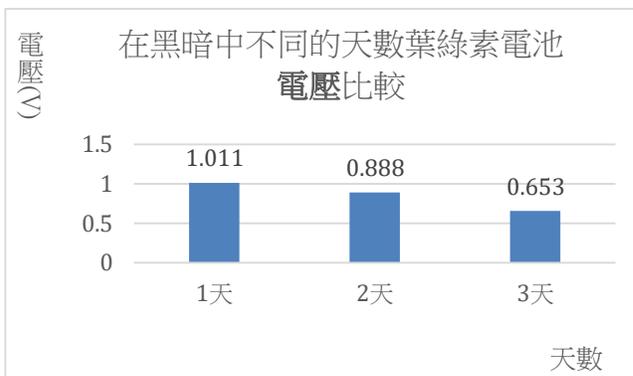
2.日光燈下

	1天	2天	3天	4天	5天	6天
電壓(V)	0.950	0.900	0.907	1.570	1.049	1.066
電流(mA)	0.20	0.20	0.25	0.25	0.25	0.30
電功率(mW)	0.19	0.18	0.23	0.39	0.26	0.32



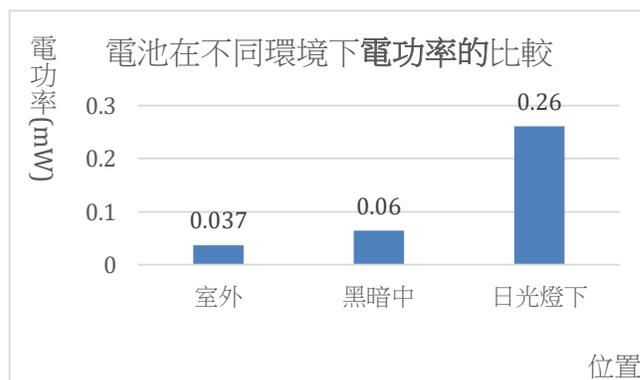
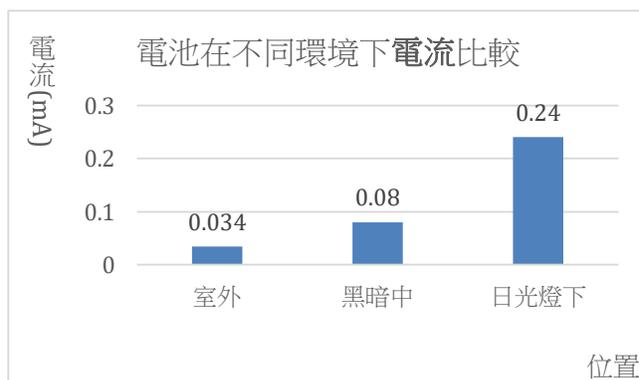
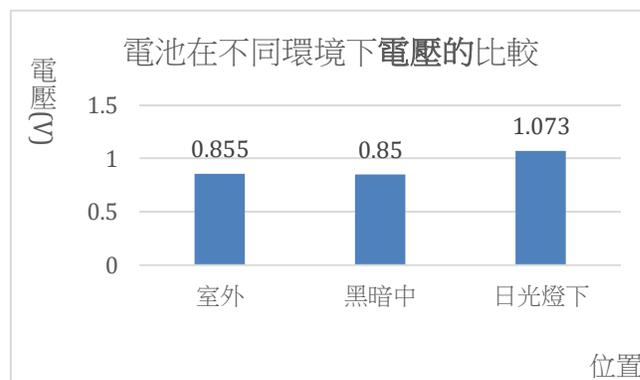
3. 黑暗中

	1天	2天	3天
電壓(V)	1.011	0.888	0.653
電流(mA)	0.08	0.10	0.06
電功率(mW)	0.08	0.089	0.04



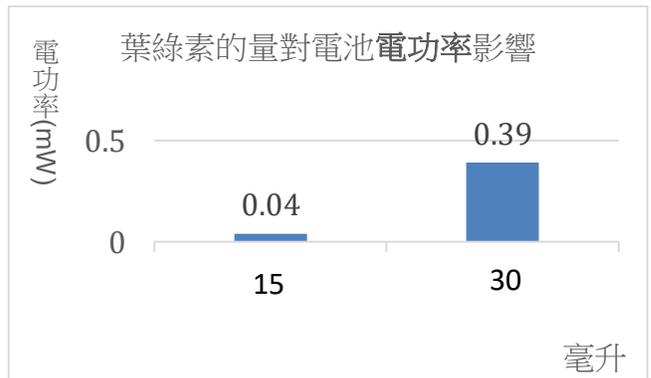
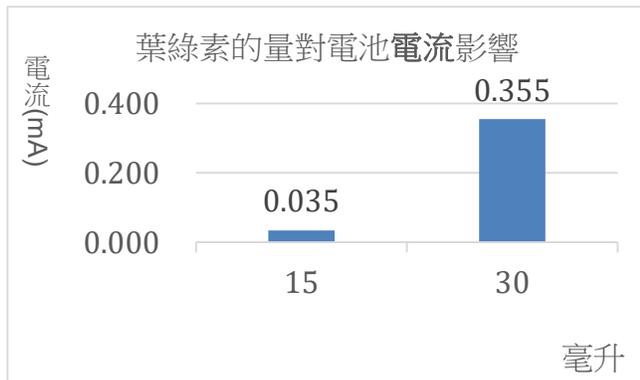
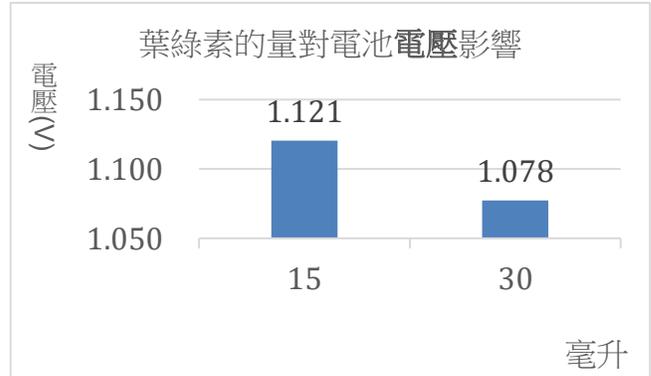
4. 不同環境下葉綠素電池產能比較

	室外	黑暗中	日光燈下
電壓(V)	0.855	0.850	1.073
電流(mA)	0.034	0.08	0.24
電功率(mW)	0.037	0.06	0.26



(三)探討葉綠素的量是否會影響產電

	15ml	30ml
電壓(V)	1.121	1.078
電流(mA)	0.04	0.36
電功率(mW)	0.04	0.39



三、 水上漂浮燈

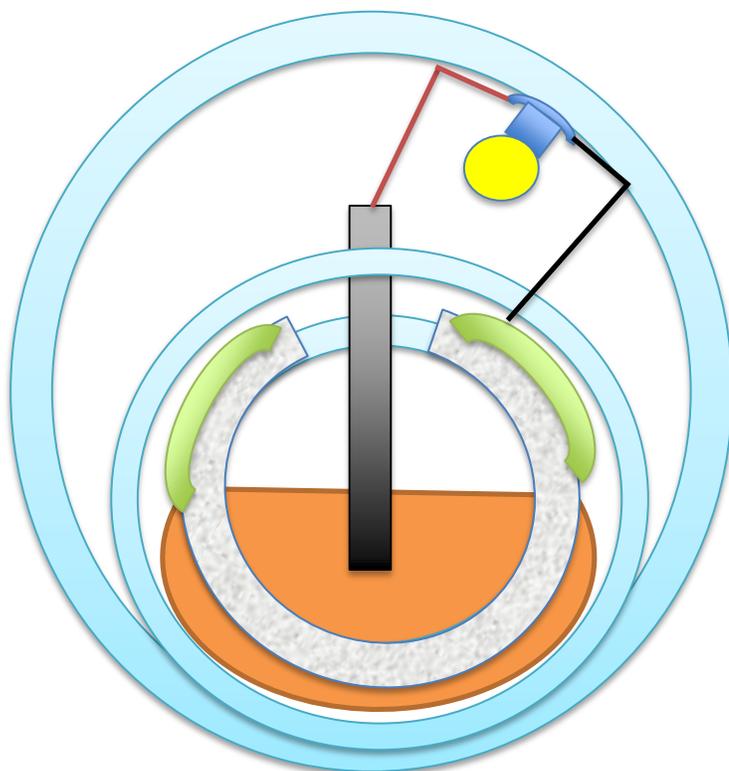
(一) 設計水上漂浮燈。(研究目的四)

根據以上的實驗，在確認葉綠素電池將電導出的方式後，連同葉綠素電池的氧化還原反應一同考量，在設計水上漂浮葉綠素電池時，需注意的事項：

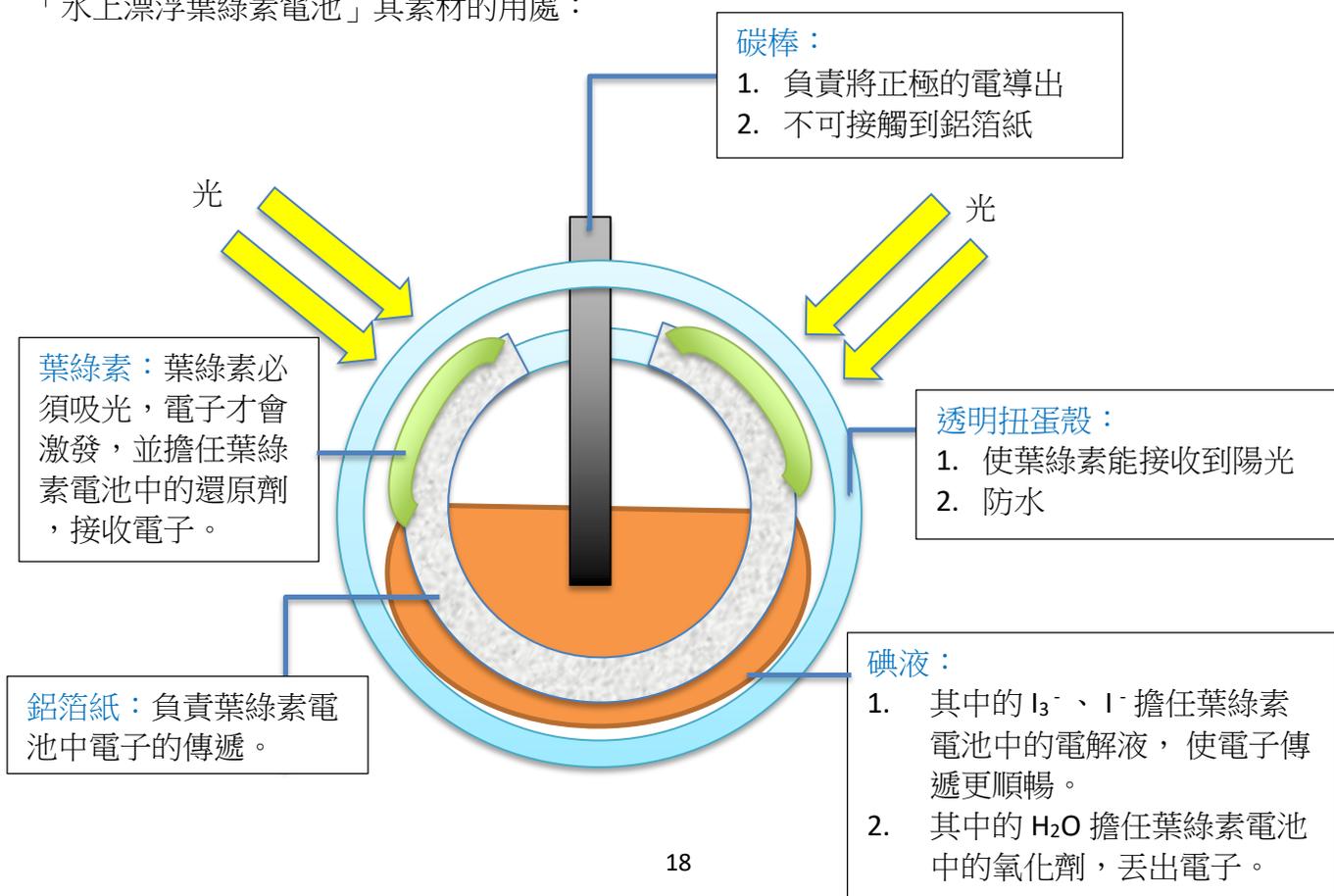
1. 碳棒需與電池正極——碘液接觸（接觸面積越大，電功率越高）。
2. 鱷魚夾接電池負極——附著葉綠素的鋁箔紙上。
3. 碳棒不可與鋁箔紙接觸。（兩者皆為導電素材，若互相接觸到，會導致葉綠素電池短路）。
4. 當負極誤接到同時沾有碘液和葉綠素的鋁箔紙上，其電壓會大幅下降。
（葉綠素為負極，若碰到酸性的碘液會變成脫鎂葉綠素，而使反應效能減弱）。
5. 葉綠素必須要照到光（葉綠素必須吸光，電子才會激發）。
6. 葉綠素需碰到碘液（為了產生氧化還原反應，得到電子）。
7. 實際放到水中確定能正常運作。

設計圖

水上漂浮燈的設計圖：



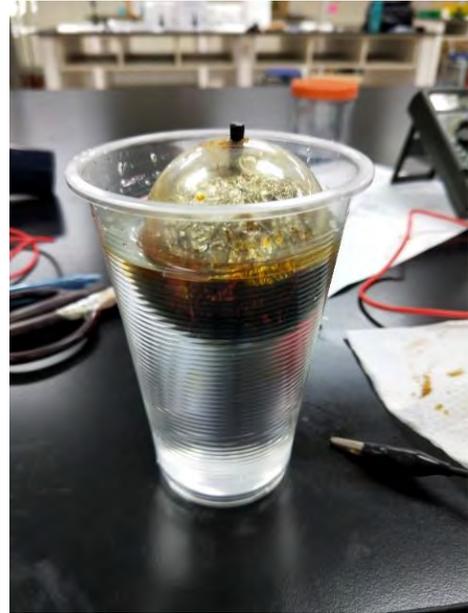
「水上漂浮葉綠素電池」其素材的用處：



(二) 成品:



圖三.水上漂浮葉綠素電池成品



圖四.水上漂浮葉綠素電池成品
(實際放在水上之情況)

1. 特色：

(1) 使用到的材料成本低且取得容易：

扭蛋殼、鋁箔紙、電線、碳棒、碘液

(2) 可實際運作：

最高電壓為:1.136V

電流為:0.4mA

電功率為 0.4544mW

(3) 環保：

利用校園中雜草-紫藤

鋁箔紙在大自然中易分解

葉綠素等有機元素能完全分解，再度回歸大自然

(4) 新興能源

(5) 效果佳，未來發展性大

(6) 不受限於陸地上，也能在水上使用，因此在日常生活中能運用的方向多元

陸、討論

一、實驗討論

(一) ITO葉綠素電池

1. 不同葉綠素萃取溶劑的葉綠素電池比較

酒精萃取出來的葉綠素與丙酮萃取出來的葉綠素的比較：

	優點	缺點
酒精葉綠素	無異味、產出電壓大、 酒精取得方便、作業時間短	對葉綠素的溶解度低
丙酮葉綠素	對葉綠素的溶解度高	產出電壓小、氣味難聞、 易揮發，丙酮使用量大

→最後決定實驗所需的葉綠素皆以酒精萃取。葉子：酒精：水=1：8：2

2. 探討不同萃取葉綠素的方式之電壓(產生不出電流)

在查詢相關資料後，我們選擇2種製作過程較方便執行的方式來萃取葉綠素

	優點	缺點
萃取方式一	製作出來的效能較高	耗能、費時、材料用量大
萃取方式二	省時、方便	製作出來的效能較低

→因考量到實驗時間有限，且萃取方式一在製作過程中很耗能，與我們環保綠能的理念相違背，因此我們最後決定以「萃取方式二」作為萃取葉綠素的方式。

3. 探討產電較高的葉綠素電池之組裝方式

在找尋資料在找尋資料的過程中，有找到 2 種組裝葉綠素電池的方式

平板式電池		圓筒式電池
優點	易保存、方便觀察、製作過程容易	環保、成本低
缺點	成本高	耗時、保存不易、製作程序複雜
相似處	原料中皆含有碳和葉綠素	
相異處	導電的角色、葉綠素的狀態	

討論：

(1) 葉綠素的在固態和液態上，本質皆相同，因此不影響電池發電

(2) ITO 玻璃與鋁箔紙的電阻相差近 30 倍

ITO 玻璃：20 歐姆

鋁箔紙：0.7 歐姆

(3) 可能因組裝的不同，而導致葉綠素與碘液接觸面積的差異

平板式電池：23mm*25mm

圓筒式電池：13cm*18cm

結論：

因此我們決定考量到兩者的優點，分開做不同的實驗，研究出最佳的葉綠素電池。

平板式電池：用於各種變因的比較實驗

圓筒式電池：製作海上浮標燈的組裝方式和素材

4. 探討碳是否為葉綠素電池必要的導電材料

原本實驗前推測僅導電用的碳就算未使用，對電池也不會造成影響。

最後根據研究結果得知

→若電池中沒有碳，電池則無法導電

5. 探討電解液種類對葉綠素電池的發電影響(研究目的三)

在查詢資料的過程中，發現若葉綠素電池加上電解液後，可得到較高的電壓
因此利用4種生活常見的溶液來當作電解液

根據研究結果，4種不同電解液電壓比較：碘液>醋>水>鹽水

→加入碘液當作電解液的葉綠素電池反應效率是最佳的

6. 探討葉綠素電池放置天數的變化

葉綠素的新鮮度會影響電池電壓的原因，我們推測可能與pH值有關。

因此在查詢多種資料後，發現電池會受影響是受到pH值的干擾。

在酸性環境下，葉綠素本體易被破壞，放久後吸光的功能減弱和發電效率降低
；在鹼性環境下吸光效果好且保存期限長。

(二) 飄浮電池

7. 水上漂浮葉綠素電池的放置天數

我們的推測與第5點相同，葉綠素電池的效能會漸漸衰弱，可能是受到pH值的
干擾。

→根據長期的觀察與紀錄，我們所製作的飄浮電池能使用將近兩個月的時間。

8. 探討在不同位置下是否會影響電池效能

我們將電池放置在三種不同位置—陽光下、離燈泡 15 公分和暗箱來比較，看看
是否會影響電池效能。我們根據葉綠素的反應原理推測我們的葉綠素電池需放
在有光的地方。

→根據研究結果在陽光下以及離燈泡 15 公分的位置電功率都有明顯的增加；相
對地，葉綠素電池放在沒有照到光的暗箱裡，隨著時間的過去，電池效能會漸
漸的衰弱。

9. 探討葉綠素的量是否會影響電流

我們以兩種不同的量 15ml 和 30ml 來進行比較

我們希望能提高電池電流，使他更能實際應用到日常生活中，因此推測用較多

量的葉綠素所製作出來的水上飄浮葉綠素電池，電流會較高。

→根據研究結果可以看出兩組電池的電流有明顯的差異，相差近 10 倍，因此以 30ml 的葉綠素製作出來的水上飄浮葉綠素電池可得到較高的電流。

(三) 與市售電池之比較

	本次實驗製作的葉綠素電池	虎尾科大師生製作的葉綠素電池	一次電池-碳鋅電池	二次電池-鋰離子電池	太陽能電池-染料敏化太陽能電池
正極	水	脫鎂葉綠素	二氧化錳	鋰金屬氧化物	氧氣
負極	葉綠素	葉綠素	鋅	石墨	氫氣
電解液	碘液	無	氯化銨水溶液 氯化鋅水溶液	鋰鹽	質子交換膜
平均工作電壓	1.1	1.5	1.5	3.6-3.8	0.86
製作成本	低	低	低	高	高
綠色產品	是	是	否	否 (電解液有毒)	是
環保材料	是	否	否	否	否
安全性	佳	佳	差	差	佳

柒、結論

在我們所設計的葉綠素電池中，我們將葉子混合酒精來加熱萃取葉綠素，既方便省時又環保。當葉綠素遇光後，電子就會受到激發，在光水解反應中藉由酵素使水強制氧化出電子，即為我們葉綠素電池所需的負極，而碘液中的 I₂、I⁻在接收電子後會產生自行氧化還原反應，再將電子還給葉綠素。最後，正負極再各自以大面積的鋁箔紙和碳棒導出電，即可產生目前最高電壓：1.136V 電流：0.4mA 電功率：0.4544mW 的葉綠素電池。

本研究在實驗過程中探討了許多變因，使電池的製程更加環保迅速，而且產電效率也不低，而

裝置上的設計則能讓電池不受限於環境，能在陸地上和水上使用，未來在日常生活中就能有更加多元的應用。

一、 短期的未來展望：

(一) 嘗試從含有碘的植物(海生植物)萃取出我們所需要的葉綠素和碘離子，使其能替代我們的碘液，使我們的葉綠素電池更環保。

(二) 提高產能效率

1. 改變電極材料

(1) 正極：

改變石磨棒接觸面積、可替換成銀線或銅線

(2) 負極:

改變葉綠素附著性和厚度

(2)電解液：

改變碘液濃度、嘗試其他溶液

2. 改變接觸面積

(1) 正極和電解液接觸面積

(2) 葉綠素覆蓋鋁箔紙的面積

(3) 碘液和鋁箔紙接觸面積

3. 改變導線

(1) 長度

(2) 構造

(3) 材質：銅線、銀線、鉛線、usb 線等

(三) 本研究所設計的水上漂浮葉綠素電池能多元應用在生活中。

二、 長期的未來展望：

(一) 希望能加強葉綠素電池的性能以及保存時間。

(二) 希望葉綠素電池能普及於日常生活中。

(三) 在研究的過程中，發現葉綠素主體外可接上任何離子，因此我們推測若在葉綠素外接

上金屬離子，可能可以提高葉綠素電池的發電效能，我們認為這會是個值得研究的課題。

捌、參考資料及其他

- 一、(民 104 年 8 月 22 日)。【綠色幸福學】20150822 - 葉綠素的秘密 15:16-17:02。youtube。取自 <https://www.youtube.com/watch?v=Jicg0MNmpb>
- 二、涂維淳與梁品鈞。(民 106 年 3 月 31 日)。葉綠素與染料光敏化電池比較與探討。中學生網站小論文專區，20170331。取自 <http://www.shs.edu.tw/works/essay/2017/03/2017033110521894.pdf>
- 三、傅頌鈞。劉泳鱗。陳弘霖。(民 106 年)。「綠」電再生，「植」能發電。中學生網站小論文化學組，20171112。取自 <http://www.shs.edu.tw/works/essay/2017/11/2017111223475098.pdf>
- 四、梁瓊月。(民 104 年 3 月 19 日)。活植物也可以發電。草根影響力新視野。取自 <http://grinews.com/news/活植物也可以發電/>
- 五、Neil A. Campbell(2002)。生物學(四版)。(李家維)。台灣培生教育出版股份有限公司、偉明圖書有限公司(1999 年)。
- 六、陳秋炳(民國 107 年 8 月)。選修化學(第三版，第三冊)。翰林出版。

【評語】 052609

本研究以紫藤葉製作葉綠素電池，探討不同萃取方式、組裝方式、電解液成分的產電效益。藉由裝置如何防水、裝置使用期限、素材是否環保及設計水上漂浮葉綠素電池，具有創新、應用性與環保觀點。研究設計原理、實驗統計結果之圖表，可再更具體說明其化學反應意義。

摘要

近年來綠色能源正慢慢崛起，看到虎尾科大師生共同發明出葉綠素電池後，讓我們對後續的生活應用很感興趣，因此我們藉由葉綠素電池需要照光的特性，加以改良葉綠素電池的外型，並且以**對環境的友善以及永續發展**作為發想，再**進行多種不同變因的實驗**，主要針對電池電極之材質、電解液之成分與濃度、葉綠素的萃取方式和濃度以及創新設計，根據實驗結果取其最佳，再應用於生活中。目前能做出**電壓：0.817V 電流：27mA 電功率：22mW**的水上漂浮葉綠素電池。未來希望能實際應用在農漁業或是海上緊急GPS。

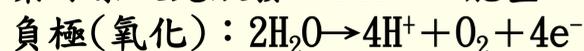
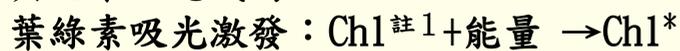
主要研究設備及器材



葉綠素電池的化學反應

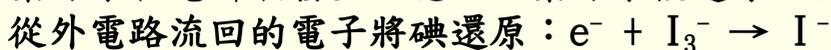
在我們查閱生物課本關於光合作用的章節以及高三下關於化學電動勢的內容後，得知植物在行光合作用時，葉綠素照光後會進行光反應，**能量會聚集於葉綠素P680中激發電子**，且在遇水後會進行光水解反應，藉由酵素使水強制氧化出2個氫離子和2個電子，最終葉綠素電池得以進行氧化還原反應，產生出電流。

其化學反應式為：

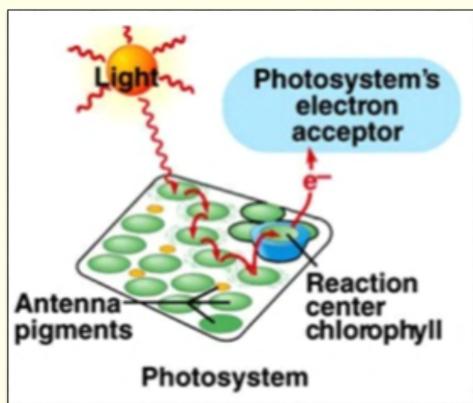


而我們所製作出來的葉綠素電池，與虎尾科大的教授所製作出來的葉綠素電池的不同之處，在於我們查詢資料的過程中，發現若**葉綠素電池加入電解液能增強電流**，因此我們嘗試加入了「碘液」當作我們的電解液。因為碘液的自身氧化還原，可有效提供電子給激發態的葉綠素，使其還原為穩定的基態，讓反應得以重複進行。

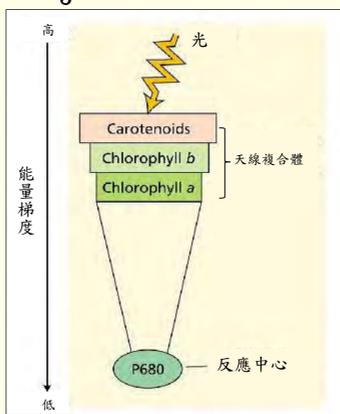
正極(還原)：



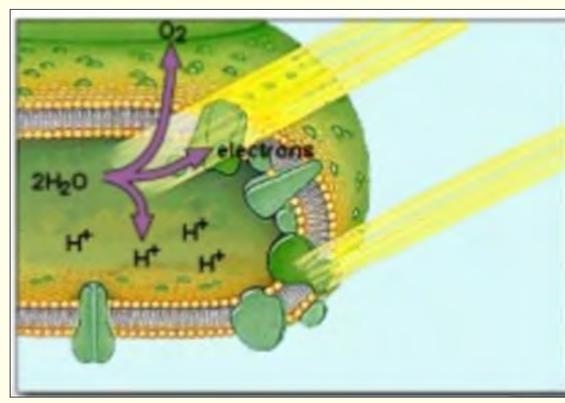
註1：Chl:葉綠素(Chlorophyll)



圖一、葉綠素的光合作用反應



圖二、葉綠素的光合作用反應

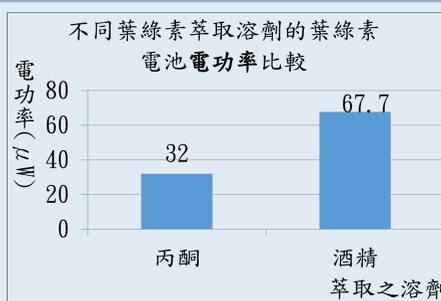
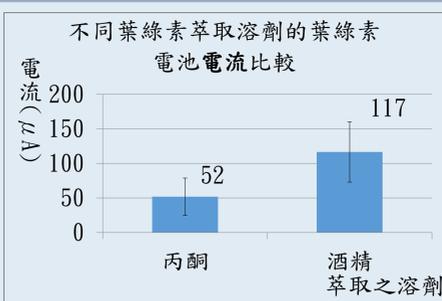
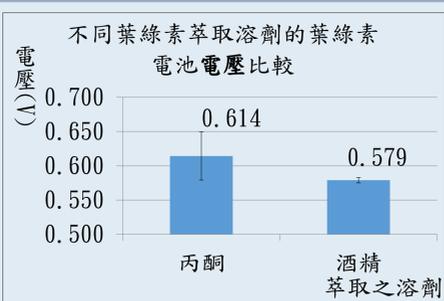


圖三、葉綠素的光水解反應

實驗結果與討論

一、葉綠素萃取溶劑的不同

測量項目	丙酮	酒精
電壓(V)	0.614	0.579
電流(μA)	52	117
電功率(μW)	32	67.7

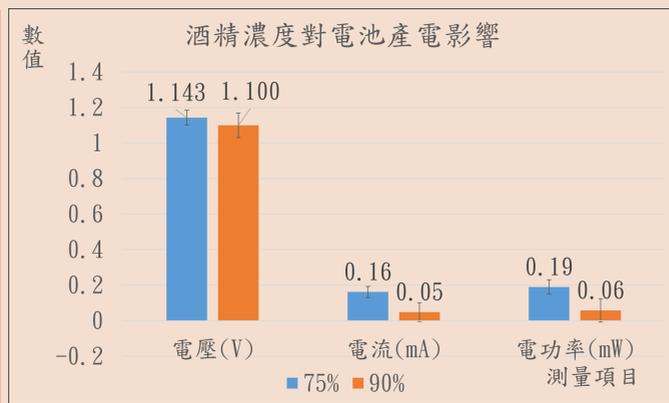


	優點	缺點
酒精	無異味、產出 電功率大 、酒精取得方便、作業時間短	對葉綠素的溶解度低
丙酮	對葉綠素的溶解度高	產出 電功率小 、氣味難聞、易揮發，丙酮使用量大

→最後決定實驗所需的葉綠素皆以**酒精**萃取。

二、葉綠素萃取溶劑(酒精)濃度的不同

測量項目	75%	90%
電壓(V)	1.143	1.090
電流(mA)	0.16	0.04
電功率(mW)	0.19	0.04

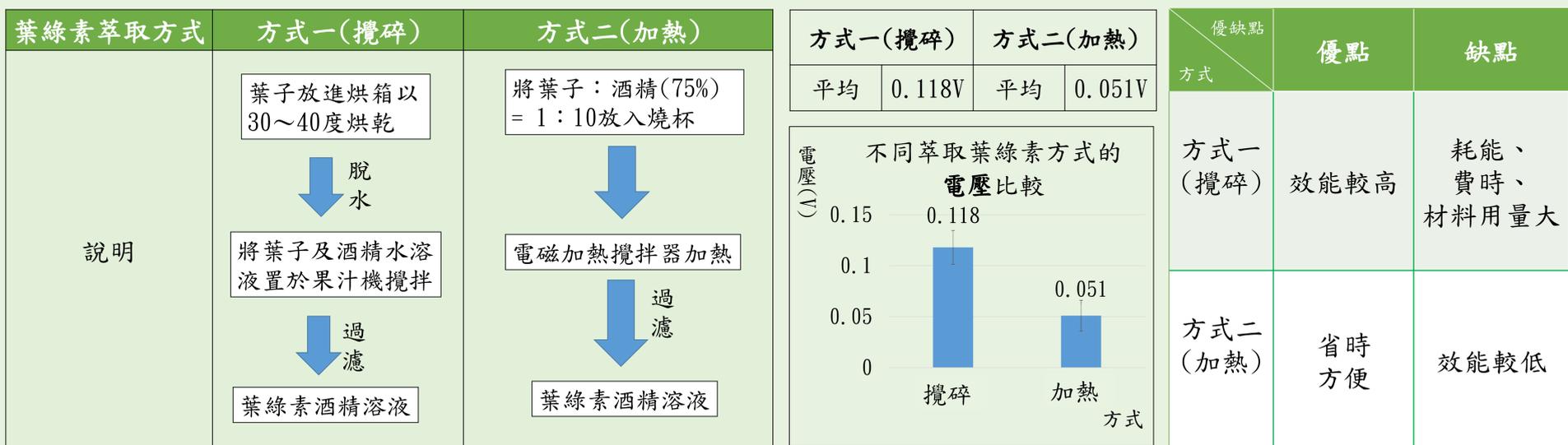


推測：

- 75%酒精能破壞細胞膜，以極性的酒精將葉綠素吸附出來。
- 90%酒精蒸散快，能溶出的葉綠素少。
- 葉綠素中可能有**脂溶性**和**水溶性**的物質，不確定以酒精溶解葉綠素，何種物質會被溶解，而進一步的影響電池發電。

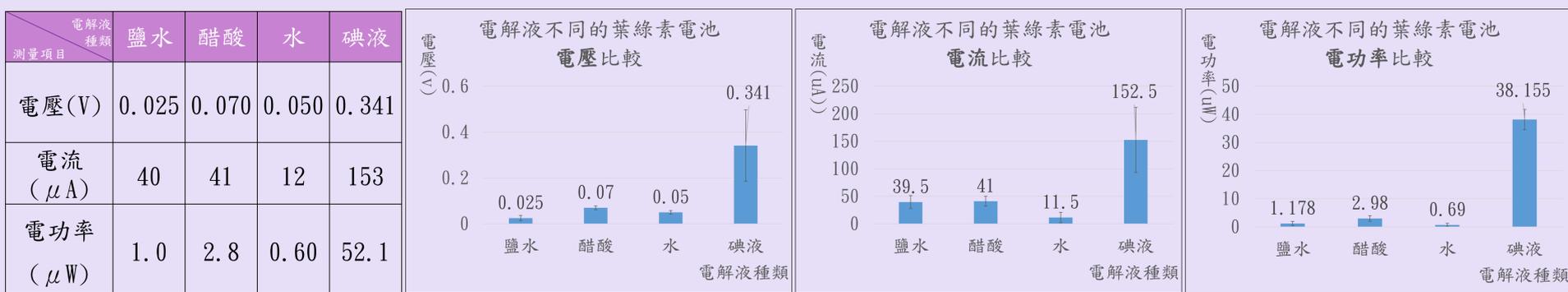
→選用**75%**作為萃取葉綠素的酒精濃度

三、萃取葉綠素的方式不同之產出電壓（產生不出電流）



→最後以**萃取方式一(攪碎)**來當本研究萃取葉綠素的方式

四、電解液種類對葉綠素電池的發電影響



利用4種生活常見的溶液作為電解液的電池電壓比較：**碘液 > 醋 > 水 > 鹽水**

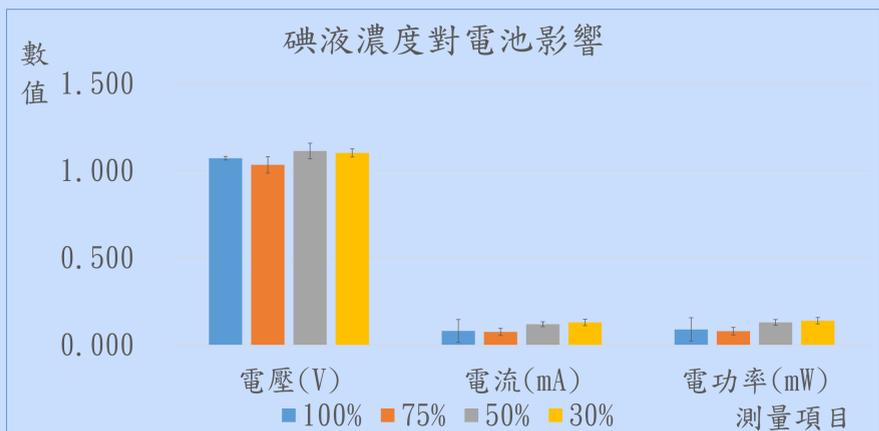
碘液中的 I_2 、 I^- 在接收電子後會**自行氧化還原**，再將電子還給葉綠素。

這樣的過程可以使電子在傳遞過程中更穩定、更順暢。

→加入**碘液**作為電解液的葉綠素電池反應效率是最佳的

五、碘液濃度對葉綠素電池的產能影響

碘液濃度	100%	75%	50%	30%
電壓(V)	1.072	1.034	1.114	1.103
電流(mA)	0.08	0.08	0.12	0.13
電功率(mW)	0.09	0.08	0.13	0.14

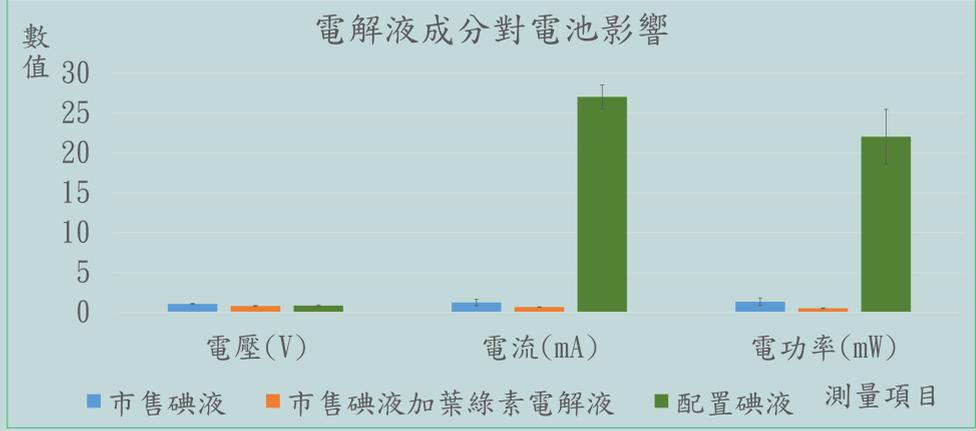


遇水後會進行光水解反應

→以碘液濃度**30%**的比例調配

六、電解液成分對電池產能影響

電解液成分	市售碘液	市售碘液加葉綠素溶液	配置碘液
電壓(V)	1.029	0.762	0.817
電流(mA)	1.2	0.63	27
電功率(mW)	1.3	0.48	22

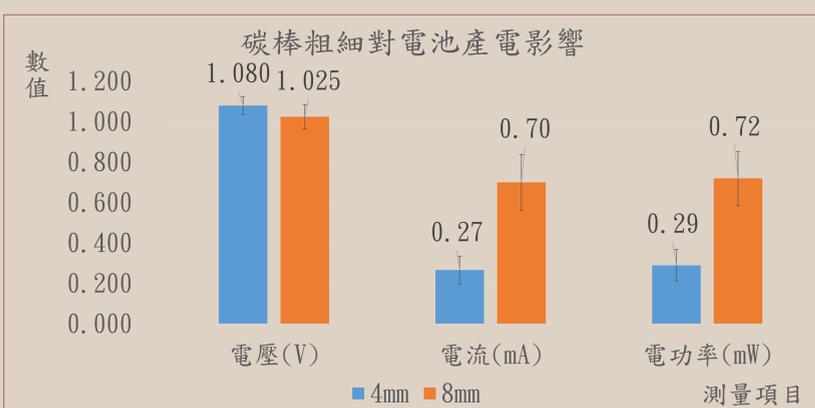


市售碘液有其他混合物，電子傳遞易被阻斷

→ $0.05MI_2 + 0.5MKI + H_2O$ 作葉綠素電池電解液

七、碳棒粗細對電池產能影響

碳棒直徑	4mm	8mm
電壓(V)	1.080	1.025
電流(mA)	0.27	0.70
電功率(mW)	0.29	0.72



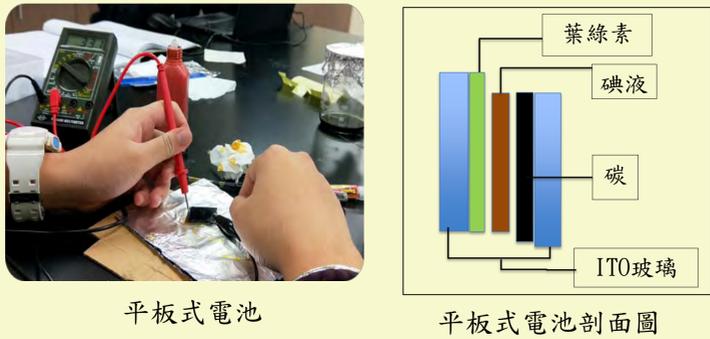
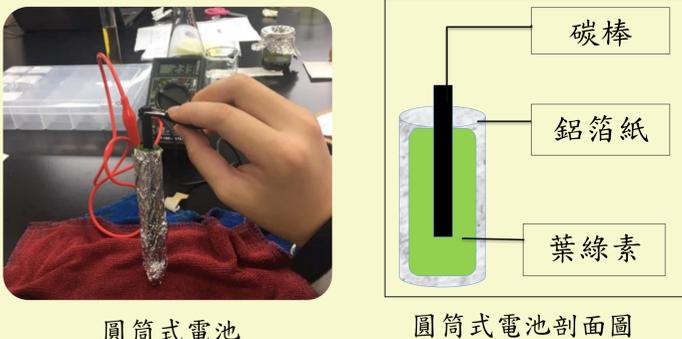
碳棒：導出正極電的惰性電極

碳棒為**多孔材質**，可作為電池的**集電體**。

直徑較粗的碳棒，與溶液的接觸面積越大，能集中越多的電子。

→最後選用**直徑8毫米**的碳棒作為最終水上漂浮葉綠素電池的素材

八、探討產電較高的葉綠素電池之組裝方式

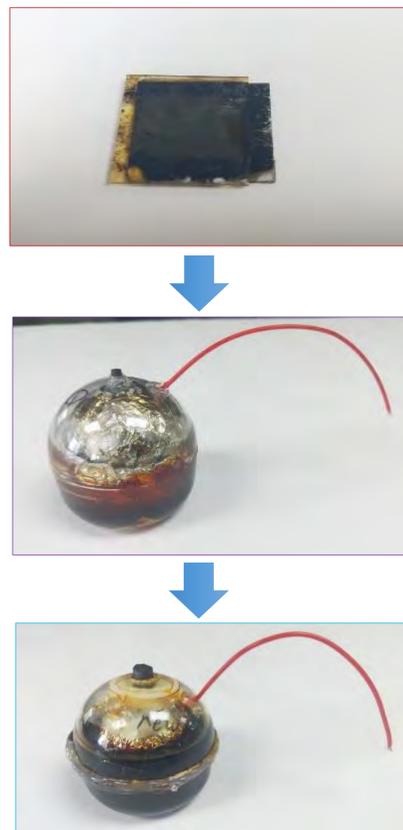
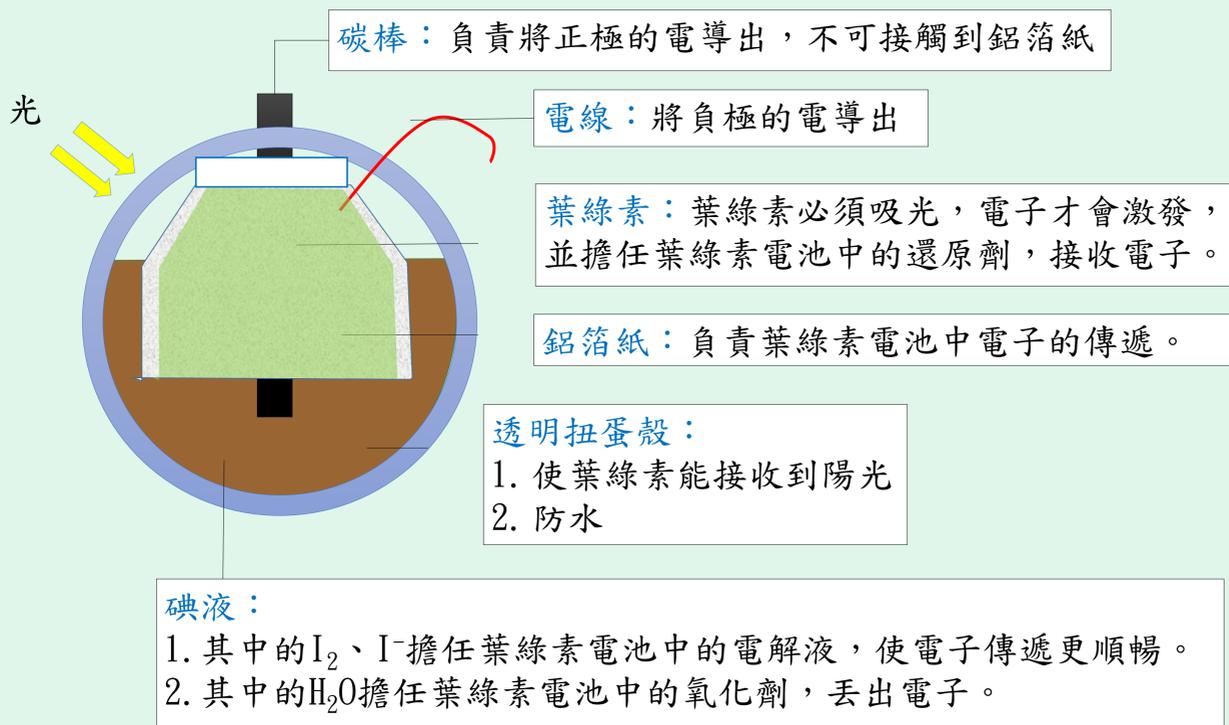
組裝方式	平板式電池	圓筒式電池
比較項目		
製作方法	ITO玻璃以平板式的疊法製成	將液體葉綠素製成固體凍狀，並放置在鋁箔紙做成的殼中
電壓(V)	0.732	0.838
優點	易保存、方便觀察、製作過程容易	環保、成本低
缺點	成本高	耗時、保存不易、製作程序複雜
示意圖	 <p>平板式電池剖面圖</p>	 <p>圓筒式電池剖面圖</p>

平板式電池：用於各種變因的比較實驗

圓筒式電池：製作海上浮標燈的組裝方式和素材

→最後各取兩種方式之優點來設計水上漂浮葉綠素電池

九、海上漂浮電池材料介紹



比較項目	正極	負極	電解液	平均工作電壓	製作成本	綠色產品	環保材料	安全性
本研究葉綠素電池	水	葉綠素	碘液 (以水作為溶劑)	1.1V	低	是	是	佳
一次電池— 碳鋅電池	二氧化錳	鋅	氯化銨水溶液 氯化鋅水溶液	1.5V	低	否	否	差
蘇澳高工 海藻葉綠素電池	碳	葉綠素	碘液 (以乙二醇作為溶劑)	0.3V	高	是	是	佳

結論

本研究所設計的葉綠素電池，會先將葉子混合酒精後，以果汁機打碎再過濾，過程簡易且萃取的葉綠素濃度高。當葉綠素遇光後，電子就會吸收能量成**激發態**，在光水解反應中藉由**酵素使水強制氧化出電子**，即為葉綠素電池的負極，而碘液中的 I_2 、 I^- 在接收電子後會產生**自行氧化還原**反應，再將電子還給葉綠素。最後，正負極由大面積的鋁箔紙和碳棒導出電，最後我們運用攪碎方式萃取出酒精葉綠素，搭配 $0.05MI_2 + 0.5MKI + H_2O$ 的碘液和8mm的碳棒，再裝入直徑10公分的扭蛋殼中，可做出最大**電壓：0.817 V 電流：27mA 電功率：22mW**的葉綠素電池。

本研究在實驗過程中探討了許多變因，使電池的製程更加環保、迅速，在裝置上的設計則能讓電池不受限於環境，能在陸地上或水上使用，目前的想法是希望能運用在**海上的GPS**上，在船隻翻覆時，能即刻傳遞訊號以協助救難。除了這項功能本研究團隊認為在日常生活中應該還能有更加多元的應用。

長期的未來展望：

希望能加強葉綠素電池的性能以及**保存時間**且能普及於日常生活中。

在研究的過程中，發現葉綠素主體外**可接上任何離子**，因此我們推測若在葉綠素外接上金屬離子，可能可以提高葉綠素電池的發電效能，我們認為這會是個值得研究的課題。

參考資料

- 一、(民國104年8月22日)。【綠色幸福學】20150822 - 葉綠素的秘密15:16-17:02。YouTube。取自<https://www.youtube.com/watch?v=JicgOMNmpb>
- 二、涂維淳與梁品鈞。(民國106年3月31日)。葉綠素與染料光敏化電池比較與探討。中學生網站小論文專區，20170331。取自<http://www.shs.edu.tw/works/essay/2017/03/2017033110521894.pdf>
- 三、傅頌鈞。劉泳麟。陳弘霖。(民國106年)。「綠」電再生，「植」能發電。中學生網站小論文專區、化學組，20171112。取自<http://www.shs.edu.tw/works/essay/2017/11/2017111223475098.pdf>
- 四、梁璿月。(民國104年3月19日)。活植物也可以發電。草根影響力新視野。取自<http://grinews.com/news/活植物也可以發電/>
- 五、圖一。圖二。光合作用反應 資料來源：Eddie Chang 張銘順(民國104年7月)。入門篇 植栽第二十三講-光合作用之原理-V2。Slideshare。取自<https://www.slideshare.net/EddieChang3/v2-48879524>
- 六、圖三。光水解反應 資料來源：Eddie Chang 張銘順(民國104年7月)。入門篇 植栽第二十三講-光合作用之原理-V2。Slideshare。取自<https://www.slideshare.net/EddieChang3/v2-48879524>