

2012 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

編號：120019

作品名稱

黑暗中的光芒-林下植物葉綠體囊膜電池

得獎獎項

大會獎：一等獎

加拿大正選代表：2012 年加拿大科學展覽會

作者姓名：徐士庭、許浩倫

就讀學校：國立羅東高級中學

指導教師：李建勳、林兆駿

關鍵字：林下植物、葉綠體囊膜、光敏化染料電池

作者簡介



我叫徐士庭，我來自田野好風光的樸實地--宜蘭。因為我們家本來就有許多的自然科學相關書籍，所以我從小就對科學有著濃厚的興趣，尤其是生物和化學這方面，因此我國小、國中、高中的科展從未缺席，甚至在高中得到了全國科展佳作，在研究科學方面有扎實的基礎，也參加了遠哲科學趣味競賽，得了全國第三名的佳績。未來我希望能進入我所喜歡的大學，繼續增長我的知識，拓展我的視野。



我是許浩倫，宜蘭人。從小就喜歡蹲在外公的雞舍裡觀看雞的一舉一動，或是三兩隻螞蟻抬著獵物回家，觀察自然現象是我最大的興趣。國小時參加科展，以研究布袋蓮贏得不錯的名次，高中時再接再厲，研究葉綠體囊模電池頗有成果。參加科展，我認為是一種享受，一來可以探索自然現象，了解實驗的運作，二來可以觀摩別人從不同的角度看世界。

壹、摘要

林下（陰地）植物長期生活在較少陽光的地方，卻依然欣欣向榮。因此，我們針對林下植物的葉綠體囊膜電池做討論，希望可以找出發電效率更高的葉綠體囊膜電池。

Undergrowth plants are living in the place without of plenty of sunshine, but they still blossom. Therefore, we investigate in the chloroplast membrane cell of undergrowth plants to expect developing a higher efficiency chloroplast membrane cell.

貳、 研究動機

在生物課時，老師解釋了能量循環，而我們對於製造能量的來源—葉綠體—倍感興趣。光合作用是地球能量的源頭，相較於化石燃料，更能進一步有效利用能量，而且有著零污染的特點。因此，葉綠體囊膜電池是一個理想的方法。

至於最重要的葉綠體，我們觀察到在大樹下鮮少有陽光，但是卻有些植物能欣欣向榮。我們推測這些林下植物應該有較高的光合作用效率，才能在鮮少的陽光下生存。因此，我們針對林下植物開發葉綠體囊膜電池，在能源短缺的時代提供一個可以替代能源的可行方向。

參、 研究目的

- 一、探討不同林下植物其葉綠體囊膜發電的可行性
- 二、找出葉綠體囊膜與二氧化鈦嵌合的最佳浸泡時間
- 三、找出葉綠體囊膜與甲基藍結合的最佳方式
- 四、建立照光後葉綠體及葉綠體囊膜發出螢光的衰減速率，並估算其活化的情形
- 五、不同電解質對葉綠體囊膜電池效率探討
- 六、探討在不同照度下，不同植物其葉綠體囊膜發光的情形，並紀錄之。
- 七、加入其他物質改善葉綠體囊膜電池之探討

肆、 研究器材與藥品

器材：

滴管、燒杯、電子秤、研钵、ITO 玻璃、膠帶、玻棒、平板加熱器、打火機、蠟燭、燕尾夾、光度計、單鎗投影機、GLXportRun、果汁機、紗布、離心機、培養皿、(500 Interface；Data Logging-50KB 儲存緩衝空間；1 台)

藥品：

二氧化鈦粉、乙酸、界面活性劑、奈米銀、水楊酸、甲基藍、碘化鉀、氯化鉀、氯化鈉、氯化鎂、氯化鈣

伍、 文獻探討

根據國內已發表的染料敏化型太陽電池研究有以下幾項成果:

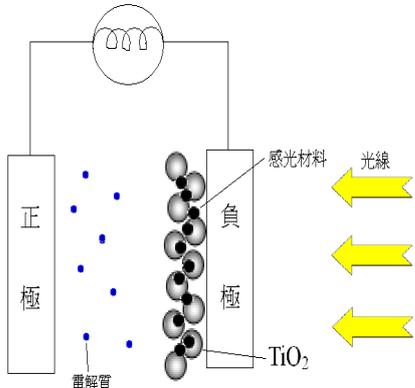
- 一、染料敏化型太陽電池元件的效率一般約為 9%。
- 二、常見藥品染色以甲基藍敏化效率最佳，其輸出電壓由大到小分別為
甲基藍 > 紅汞液 > 花青素 > 葉綠素
- 三、光敏化電池電壓與光電極面積呈倍數關係，每平方公分電壓輸出都在 80~88mV。^{註2}
- 四、光敏化電池電壓隨照度增加而上升，照度超過 12000Lux，電壓明顯降低。^{註2}
- 五、不同電解液對葉綠素電池的影響，輸出電壓比較如下：

$I_2+KI(aq) > FeSO_4(aq) > 水 > I_2(aq)$

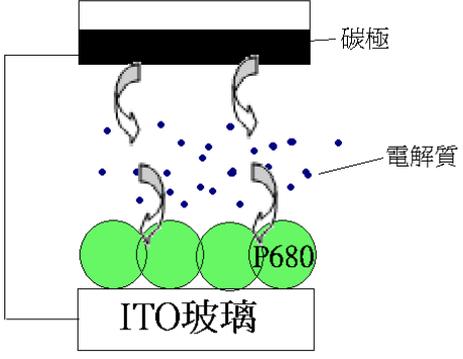
陸、 研究原理

染料敏化太陽能電池具有類似三明治的結構，將納米二氧化鈦燒結在導電玻璃上，再將光敏染料鑲嵌在多孔納米二氧化鈦表面形成工作電極，在工作電極和對電極(通常為擔載了催化量鉑或者碳的導電玻璃)之間是含有氧化還原物質對(常用 I_2 和 I^-)的液體電解質，它浸入納米二氧化鈦的孔穴與光敏染料接觸。在入射光的照射下，鑲嵌在納米二氧化鈦表面的光敏染料吸收光子，躍遷到激發態，然後向二氧化鈦的導帶注入電子，染料成為氧化態的正離子，電子通過外電路形成電流到對電極，染料正離子接受電解質溶液中還原劑的電子，還原為最初染料，而電解質中的氧化劑擴散到對電極得到電子而使還原劑得到再生，形成一個完整的循環，在整個過程中，表觀上化學物質沒有發生變化，而光能轉化成了電能。

一、染料敏化太陽能電池介紹

構造	設計原理
	利用奈米極顆粒大小的二氧化鈦結晶層，均勻塗佈在導電玻璃上，接著將染料吸附在薄膜上，當染料吸收光能後，電子會由原先的基態被激發而至激發態，電子經由導電玻璃傳至外部電路再回到碳極，最後經由碘液的氧化還原過程將電子傳遞回染料，形成一個循環

二、葉綠素電池介紹

構造	設計原理
	<ol style="list-style-type: none"> 1.光照葉綠素使能量聚集於 P680 並激發出電子，傳至導電玻璃再傳到外部。 2.電解液協助失去電子的激發態葉綠素還原呈穩定的狀態。 3.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。

註 1：戴明鳳、邱立翰。奈米 TiO₂ 晶粒和藍莓或覆盆子汁液作為染料 DIY 製作染料敏化奈米晶化太陽能電池。國立清華大學、吳鳳技術學院

註 2：汪士惟等 2 人。鈦白粉也發電—染料敏太陽能電池之相關研究。新竹市立光華國民中學

註 3：林鵬等 3 人。新型葉綠素電池的研究與開發。台北市立麗山高級中學

三、葉綠體囊膜的介紹

葉綠體是具有雙層膜的胞器，其內最明顯的構造是為類囊膜，堆疊在一起的類囊體稱為葉綠餅 (grana)，散布在葉綠體基質中的膜體構造則叫做 stroma lamellae，這些膜體構造是光合作用中光反應進行的主要部位。

許多參與光合作用的蛋白質都鑲嵌在類囊膜上。這些蛋白質大都屬於疏水性的，包括反應中心、色素-蛋白質複合物與大部份和電子傳遞有關的酵素，且排列位置一定。膜體上葉綠素與其他輔助吸光色素（包括反應中心與吸光天線）會和特定的蛋白質合成葉綠素蛋白 (chlorophyll proteins)

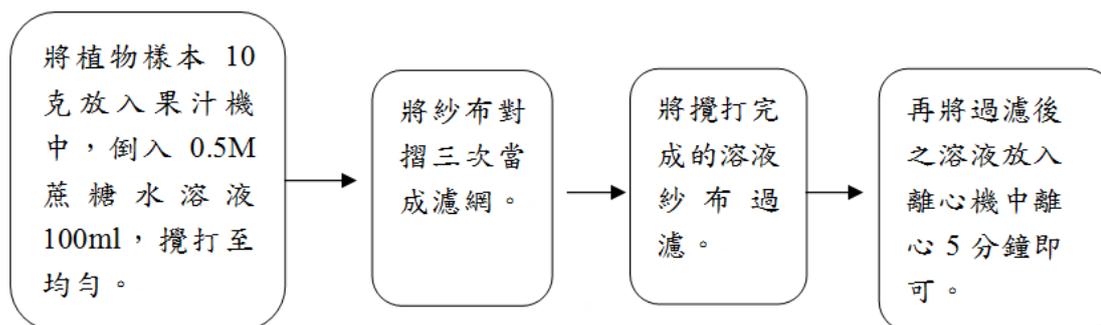
四、光合作用之光反應原理

光合作用中的光反應，包含了反應中心主要色素（葉綠素 a）及輔助色素（葉綠素 b、胡蘿蔔素、葉黃素）。植物體中，葉綠素 a 吸收光能後激發出電子，並轉移給暗反應使用。本實驗預測葉綠素 a 激發出的電子會流入二氧化鈦膜中，經由外電路回到碳極，再經電解液的氧化還原作用平衡電荷，形成一個迴路。

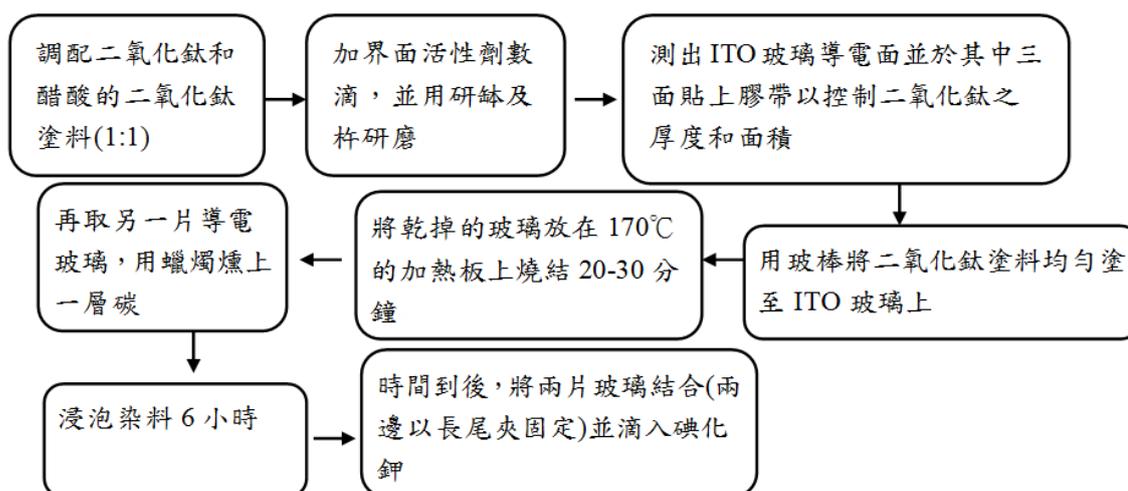
柒、 研究步驟與流程

一、 前置實驗一：葉綠體囊膜備製

1. 材料：欲實驗之林下植物、蒸餾水、刀、果汁機、0.5M 蔗糖水溶液、紗布



二、 前置實驗二：二氧化鈦染料敏化太陽能電池製備



三、 研究目的 (一)：探討葉綠體囊膜與葉綠素對 DSSC 電池發電的影響

1. 實驗設計

葉綠體囊膜中除了葉綠素還有其他酵素及色素，當葉綠素受到激發時，酵素可以裂解水分子協助葉綠素還原，其他色素則有助於反應的進行，應能提升電池的發電功效。因此利用前置實驗一取得葉綠囊膜及葉綠素作為染料，

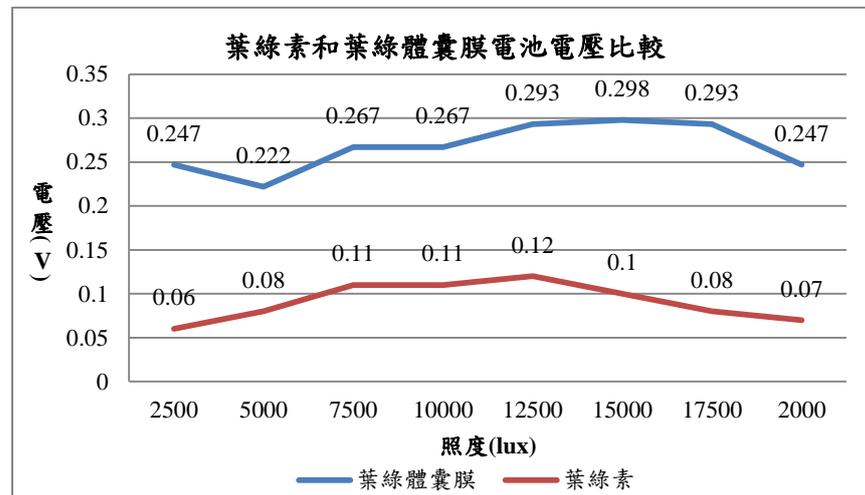
觀察電池效能。

2. 實驗步驟：

- (1) 利用前置實驗一的方法得到葉綠素和葉綠囊膜
- (2) 利用前置實驗二完成電池
- (3) 在 10000lux 的光照下測出兩者的電壓
- (4) 將兩者的數據紀錄下來並比較發電電壓

3. 實驗結果：

照度：10000 lux 植物樣本：水黃皮



從圖中可得：浸泡葉綠體囊膜液的電池電壓優於浸泡葉綠素的，相差約 3 倍

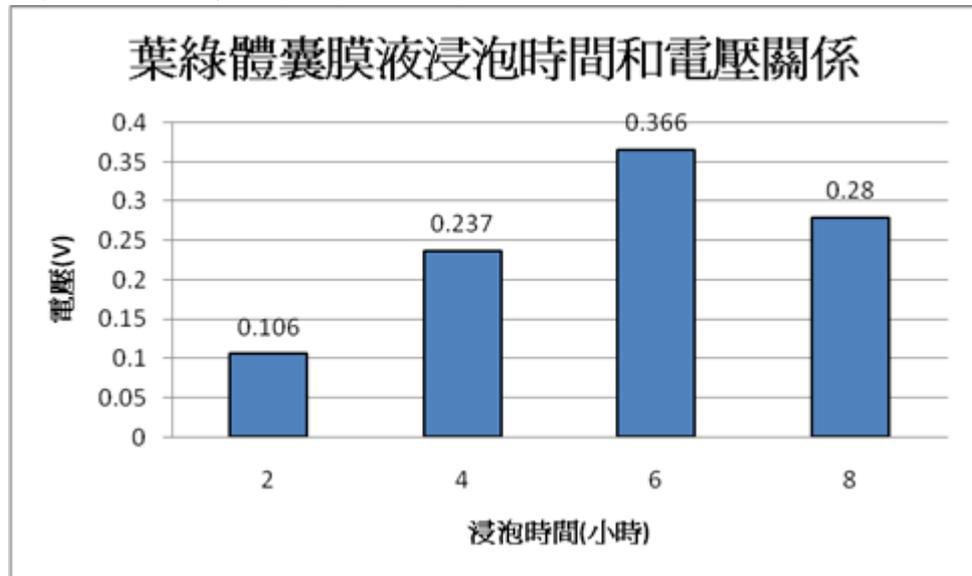
四、研究目的 (二)：找出葉綠體囊膜與二氧化鈦嵌合的最佳浸泡時間

1. 實驗設計

文獻中利用浸泡的方式，使染料與二氧化鈦嵌合，其浸泡時間均針對一般合成色素或葉綠素，最佳時間也不同（約 2~8 小時），為了找出葉綠體囊膜液浸泡最佳時間，我們設計以下的實驗。

2. 實驗步驟：

- (1) 利用前置實驗一得到葉綠體囊膜液
- (2) 利用前置實驗二製作電池並分別浸在葉綠體囊膜液 2、4、6、8 小時，然後再完成電池
- (3) 先把先完成的電池利用前置實驗三控制照度 10000Lux 並用測量電壓
- (4) 將四組數據紀錄下來並做比較



從圖中可得：浸泡囊膜液 6 小時較佳。

五、 研究目的 (三)：找出葉綠體囊膜液與甲基藍混合的最佳方式

1. 實驗設計

從文獻知道實驗室常以甲基藍作為二氧化鈦敏化電池的染料，如果將葉綠囊膜與甲基藍混合做成染料，是否能增加電池發電的效能。因此我們以分段浸泡與直接浸泡兩種方式，來與只浸泡甲基藍、葉綠體囊膜液的對照組進行比較。

2. 實驗步驟：

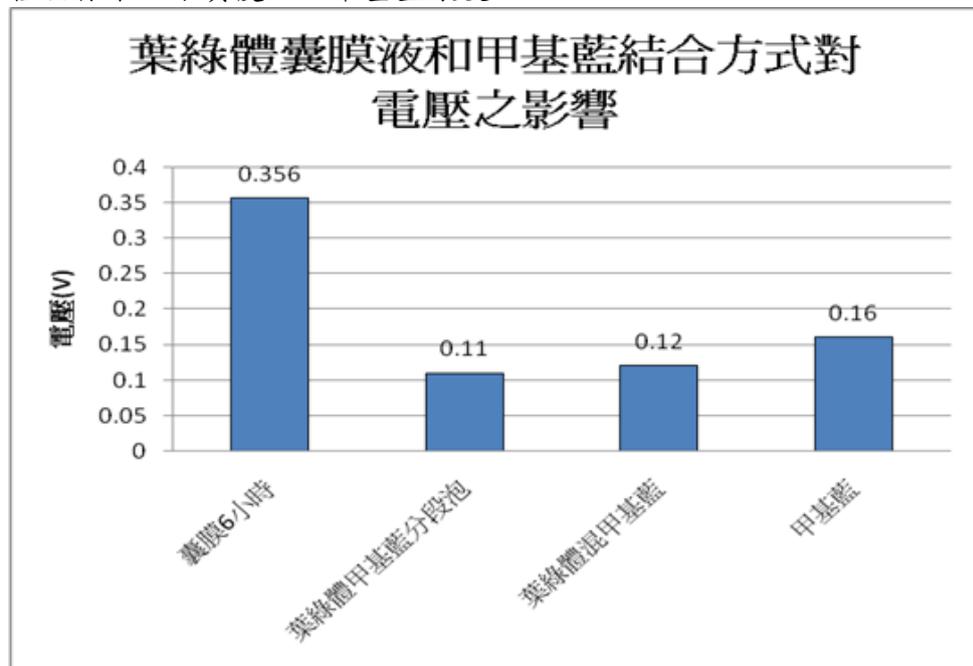
- (1) 利用前置實驗二製作電池並分別浸泡葉綠體囊膜液一組、甲基藍一

組、葉綠體囊膜液及甲基藍分段泡三小時和葉綠囊膜混甲基藍一組六小時

- (2) 利用前置實驗二把上述已泡好的玻璃做成電池
- (3) 利用前置實驗三控制照度為 10000Lux 並測量電壓
- (4) 將四組數據紀錄下來並做比較

3. 實驗結果：

植物樣本：水黃皮 甲基藍濃度 0.05M



從圖中可得：

- (1) 電壓以只浸泡葉綠體囊膜液 6 小時最佳。
- (2) 浸泡甲基藍混合囊膜液電壓不佳。
- (3) 葉綠體混甲基藍所偵測值不佳。

六、研究目的 (四)：建立以葉綠素及葉綠體囊膜發出螢光的衰減速率，並估算其活化的情形

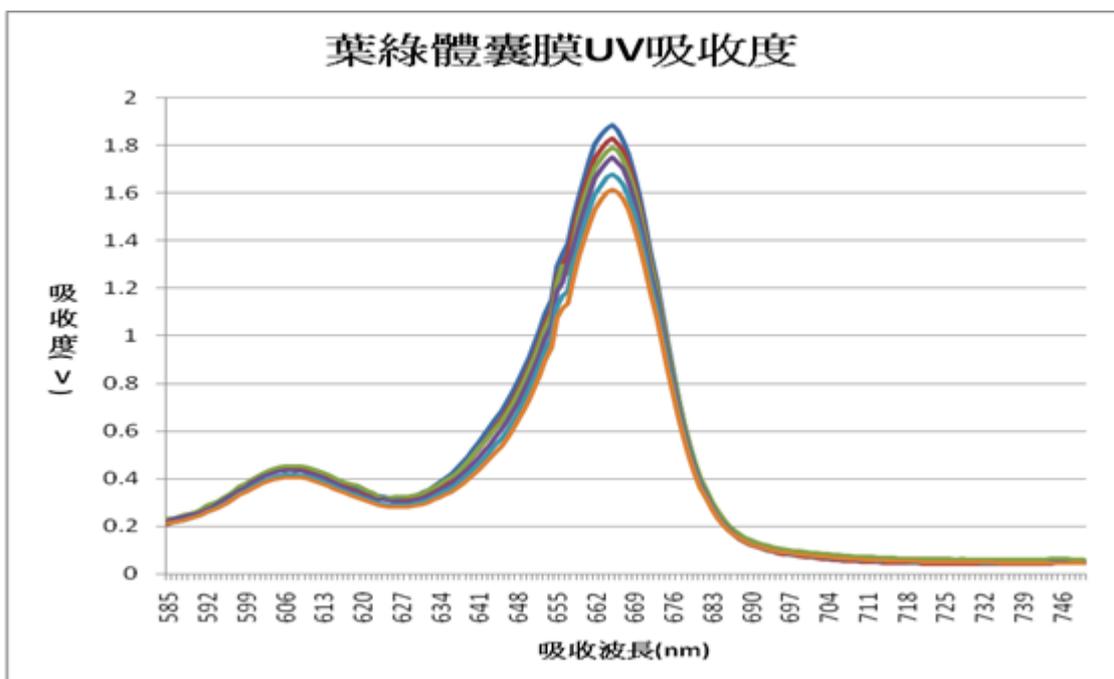
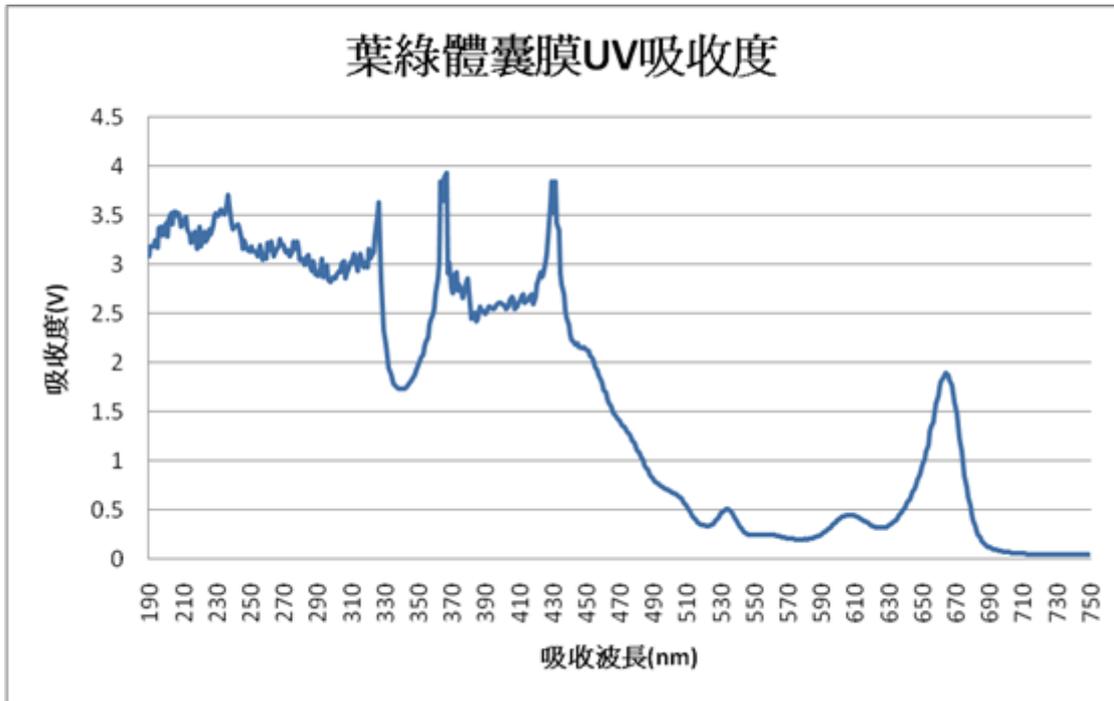
1. 實驗步驟：

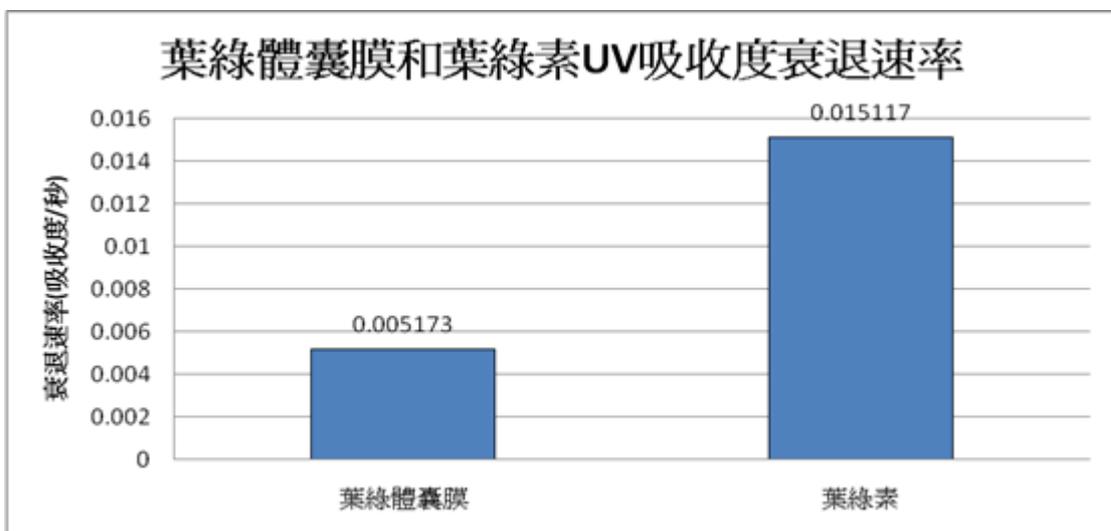
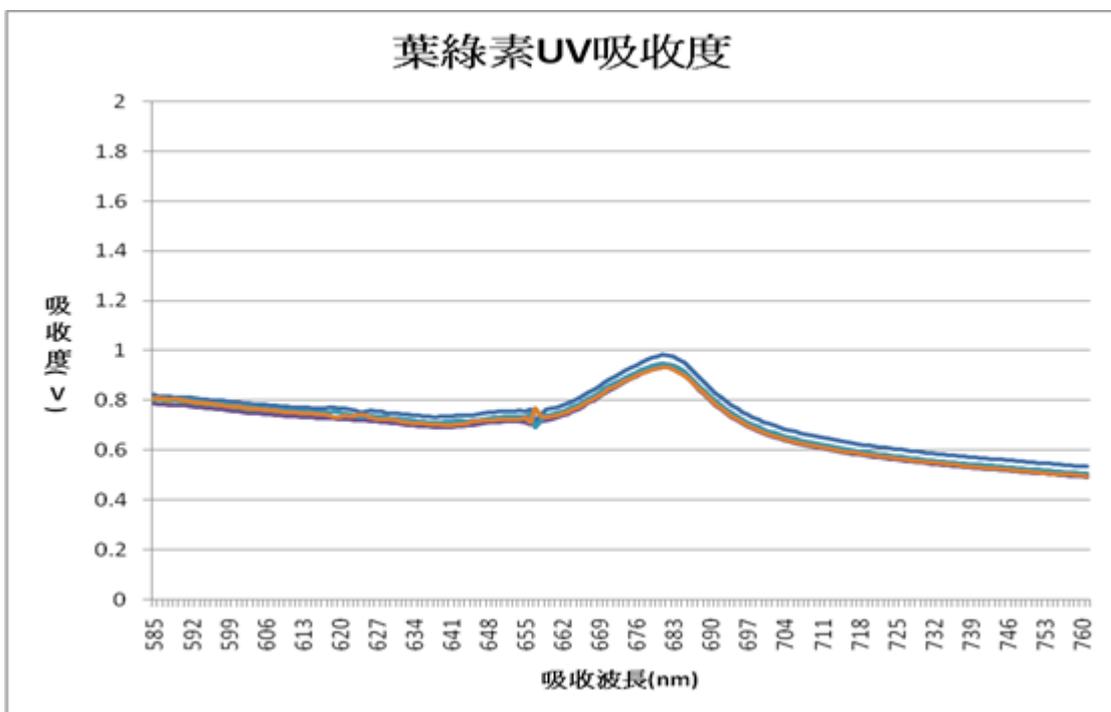
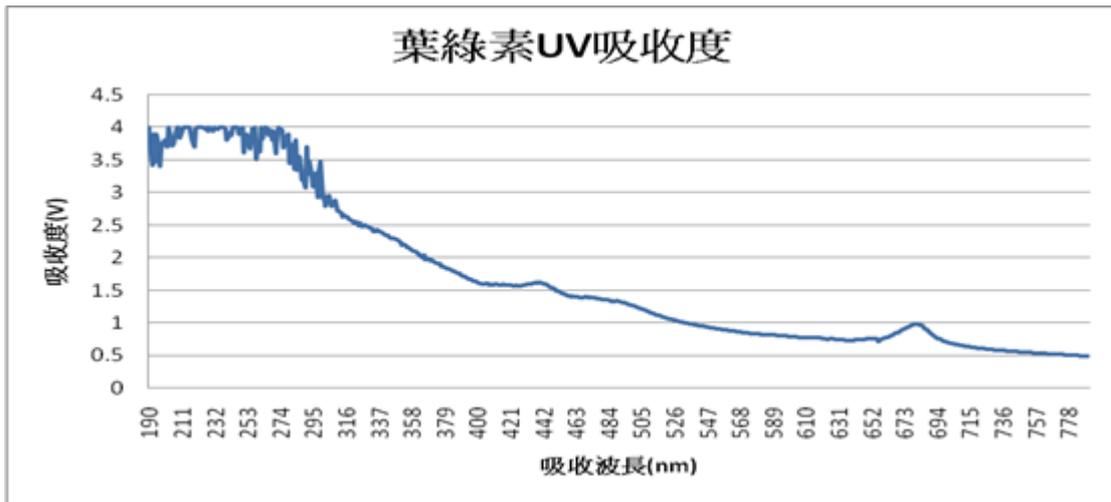
(1) 以酒精、丙酮萃取綠茶粉中的葉綠體，以 250un 光照射 10 分鐘後，偵測其對 uv 的吸收度衰減情形。

(2) 葉綠體囊膜以不同照度的光照射後，偵測其螢光的衰減情形。

(3) 以三個不同濃度換算其衰減率

2. 實驗結果





說明：(1)葉綠體囊膜與葉綠素的濃度大小很難定量，於是建立一套可行的方法來計算其衰減率，由偵測值下降快，表示葉綠體囊膜或葉綠素的活性愈來愈小，製作出來的電池發電時間亦會減少。

(2) 以 uv 測其吸收峰，葉綠體囊膜的吸收峰在 475nm；葉綠素的吸收峰在 492nm

(3) 利用其特定吸收波長的差值除以 10 分鐘，及可得衰減率。

(4) 以衰減率來看，葉綠素的衰減較快。

七、研究目的（五）：不同電解質對葉綠體囊膜電池效率探討

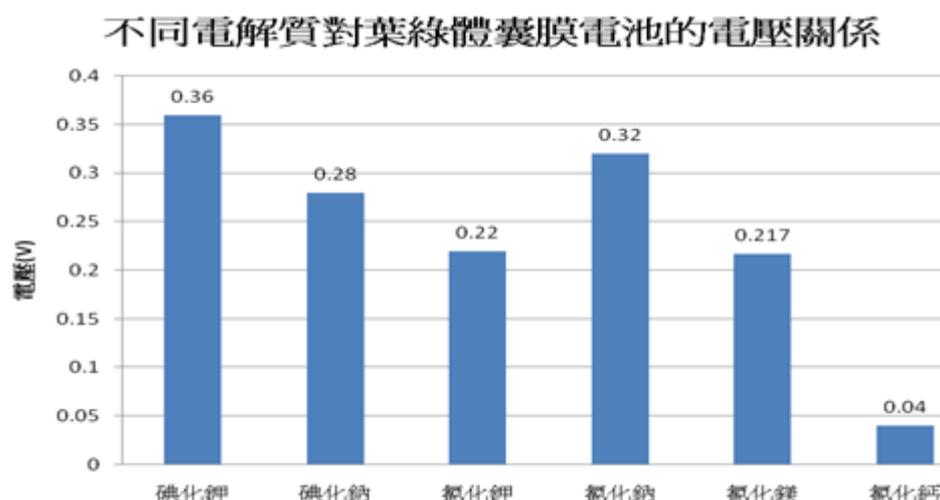
1. 實驗步驟：

(1) 改變電解質，利用前置實驗二完成電池，測其電壓。

2. 實驗結果

單位：伏特 照度：10000lux 植物樣本：水黃皮 濃度：0.5M

碘化鉀	碘化鈉	氯化鉀	氯化鈉	氯化鎂	氯化鈣
0.36	0.28	0.22	0.35	0.45	0.04



說明：

(1) 不同電解質中，以碘化鉀效果最為顯著，電壓可達 0.36V，與文獻資料的結果一致。氯化鈉次之，電壓亦可達 0.32V。

八、研究目的(六):探討不同林下植物對葉綠體囊膜電池發電的影響

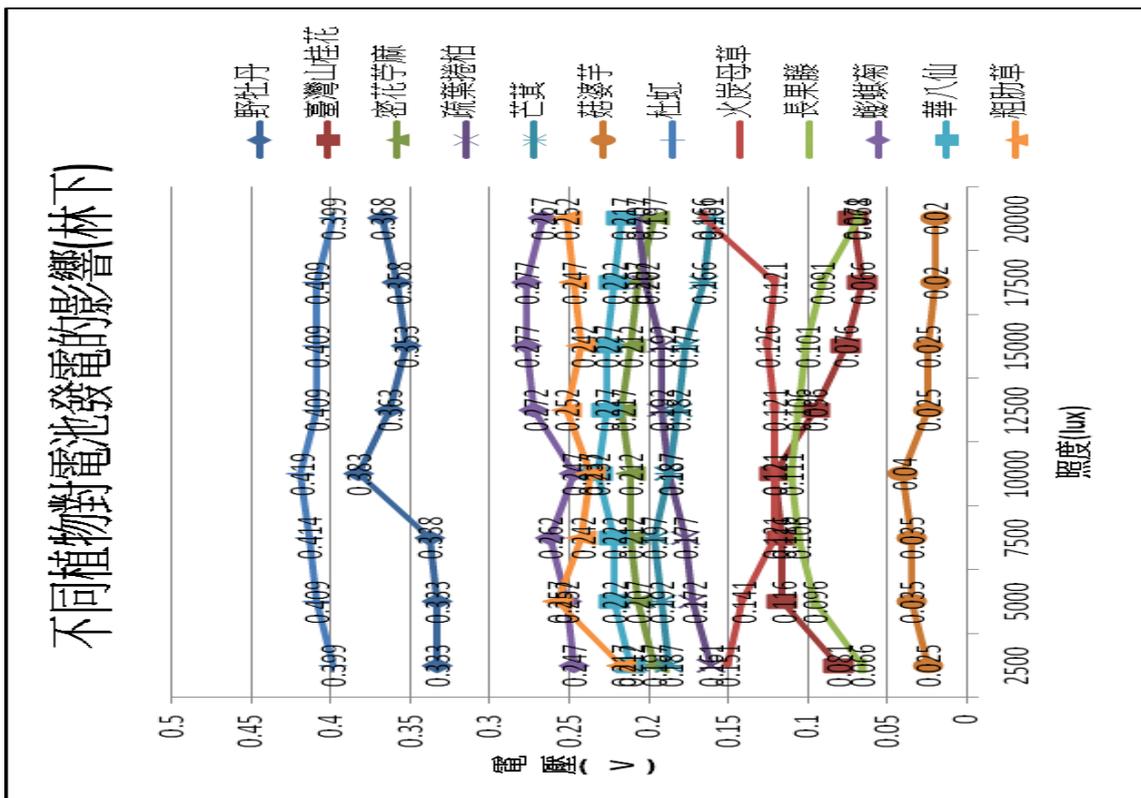
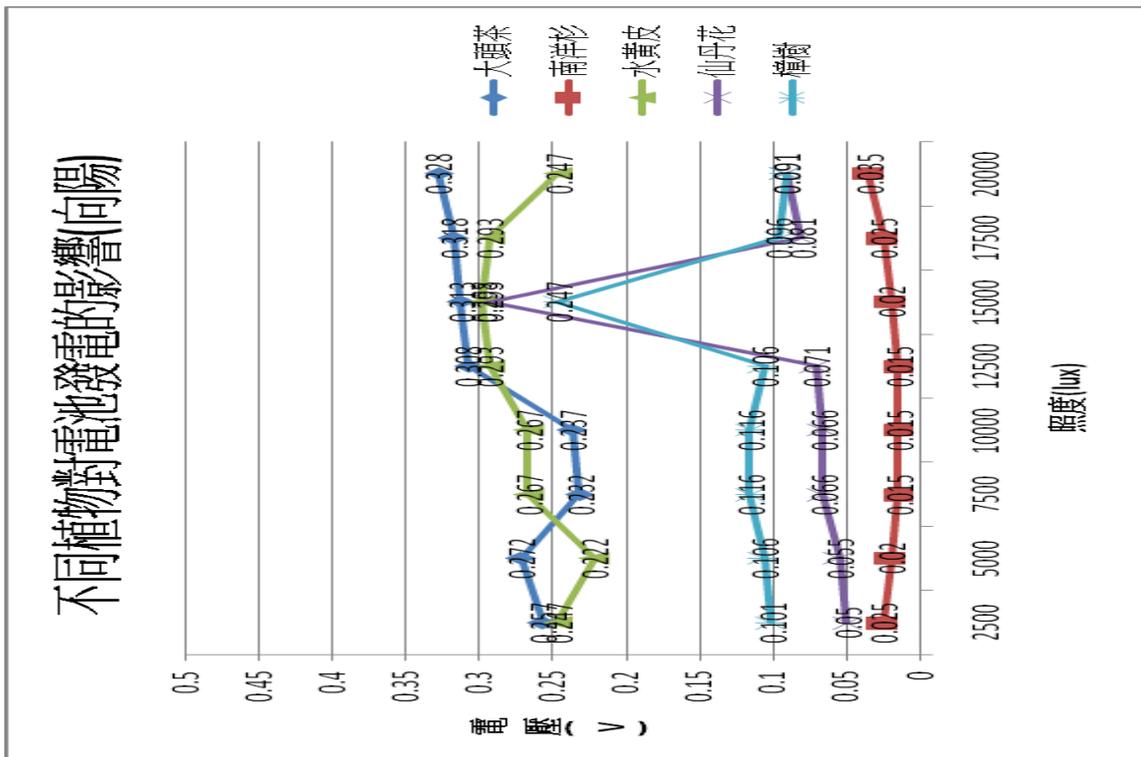
1. 實驗步驟:

- (1) 利用前置實驗一的方法得到葉綠囊膜
- (2) 利用前置實驗二完成電池
- (3) 在不同的照度下測量電壓
- (4) 將數據紀錄下來並比較發電電壓

2. 實驗結果

單位：伏特

植物		照度							
		2500lux	5000lux	7500lux	10000lux	12500lux	15000lux	17500lux	20000lux
實驗組	野牡丹	0.333	0.333	0.338	0.383	0.363	0.353	0.358	0.368
	臺灣山桂花	0.081	0.116	0.116	0.121	0.096	0.076	0.066	0.071
	密花苧麻	0.197	0.207	0.212	0.212	0.217	0.212	0.207	0.197
	疏葉捲柏	0.161	0.172	0.177	0.187	0.192	0.192	0.202	0.207
	芒萁	0.187	0.192	0.197	0.187	0.182	0.177	0.166	0.161
	姑婆芋	0.025	0.035	0.035	0.040	0.025	0.025	0.020	0.020
	杜虹	0.399	0.409	0.414	0.419	0.409	0.409	0.409	0.399
	火炭母草	0.151	0.141	0.121	0.121	0.121	0.126	0.121	0.166
	長果藤	0.066	0.096	0.106	0.111	0.106	0.101	0.091	0.068
	蟛蜞菊	0.247	0.252	0.262	0.247	0.272	0.277	0.277	0.267
	華八仙	0.212	0.222	0.222	0.232	0.227	0.227	0.222	0.217
	粗肋草	0.217	0.257	0.242	0.237	0.252	0.242	0.247	0.252
對照組	大頭茶	0.257	0.272	0.232	0.237	0.308	0.313	0.318	0.328
	南洋杉	0.025	0.020	0.015	0.015	0.015	0.020	0.025	0.035
	水黃皮	0.247	0.222	0.267	0.267	0.293	0.298	0.293	0.247
	仙丹花	0.050	0.055	0.066	0.066	0.071	0.293	0.081	0.091
	樟樹	0.101	0.106	0.116	0.116	0.106	0.247	0.096	0.091



從圖中可得知：

- (1) 林下植物以杜虹和野牡丹的效果為最好，最高電壓可達 0.404V 和 0.383V。
- (2) 向陽植物則以大頭茶為最佳，最高電壓可達 0.328V。

(3) 林下植物的電壓普遍比向陽植物來的高，足見以林下植物之葉綠體囊膜作為電池更能提高其發電效率。

九、研究目的(七)：加入其他物質改善葉綠體囊膜電池之探討

1. 實驗步驟：

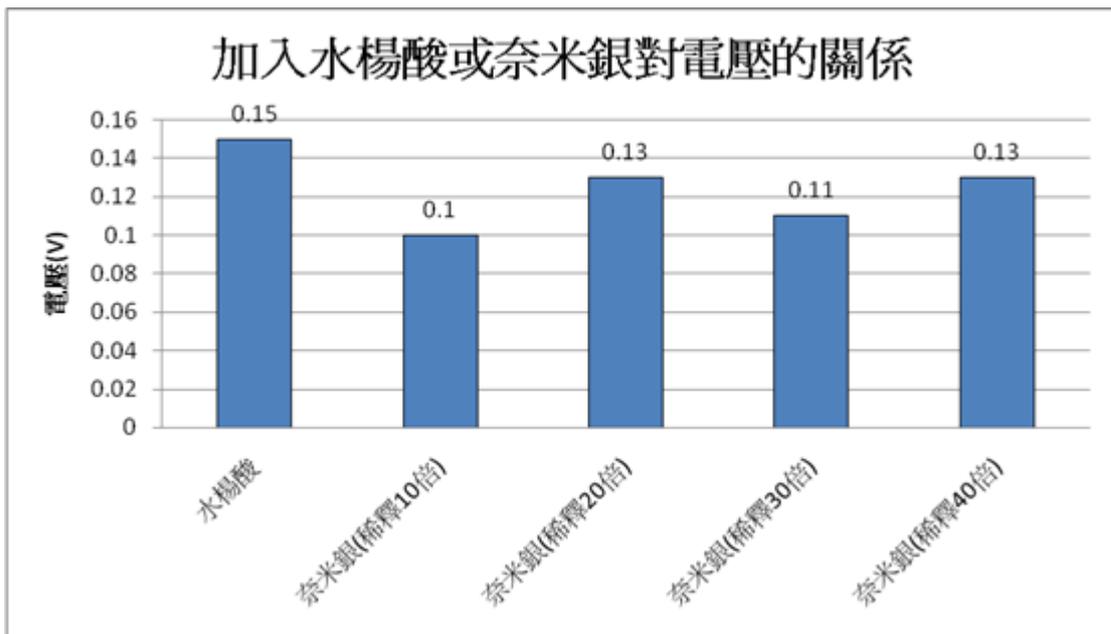
(1) 於葉綠體囊膜液中加入水楊酸，利用前置實驗二完成電池，測其電壓。

(2) 於碘化鉀(電解質)中加入奈米銀，利用前置實驗二完成電池，測其電壓。

2. 實驗結果

單位：伏特 照度：10000lux 植物樣本：水黃皮

水楊酸	奈米銀 (稀釋 10 倍)	奈米銀 (稀釋 20 倍)	奈米銀 (稀釋 30 倍)	奈米銀 (稀釋 40 倍)
0.15	0.1	0.13	0.11	0.13



說明：(1) 加入水楊酸是生物上常用的方法，由實驗得知其電壓偵測值優於加入奈米銀。

(2) 由數據中顯示，加入水楊酸或奈米銀並沒有優於對葉綠體囊膜電池之電壓(0.36V)。

捌、 討論

- 一、本次實驗中所偵測的電壓值，利用數據擷取軟體Data Studio，以電壓大小紀錄各葉綠體囊膜之電壓值，再逐一討論林下植物與向陽植物之間的差異性。
- 二、二氧化鈦浸泡葉綠體囊膜液效果比葉綠素佳，可能是囊膜液中除了葉綠素還有其他蛋白質複合體，協助電子的傳遞及葉綠素還原，所以偵測的電壓均較高，所以綠體囊膜電池便是本實驗發展的目標。
- 三、二氧化鈦浸泡葉綠體中的囊膜液 6 小時可得到較高的電壓，浸泡越久電壓越低，可能與囊膜液的新鮮度有關，當囊膜液出現腐敗會影響電壓大小，可重新操作實驗，確認電壓的衰退曲線。
- 四、就本實驗所偵測的電壓值：以單純浸泡囊膜液最佳，浸泡甲基藍第二，甲基藍會降低囊膜的發電效果，可能的原因可能是甲基藍與葉綠體囊膜表面的蛋白質結合，而降低了活性。
- 五、不同電解質中，以碘化鉀效果最為顯著，電壓可達 0.36V，與文獻資料的結果一致。氯化鈉次之，電壓可達 0.32V。
- 六、將囊膜液直接塗在 ITO 玻璃上製作的電池，電壓電流很小，可能是葉綠體囊膜激發後產生的電子無法有效被導出至外部電路，而本實驗中以加入奈米銀做比對，發現加入前後差異不大。
- 七、本研究最大輸出電壓為 404mV，每平方公分輸出電壓為 101mV，為文獻中每平方公分 80~88m 高，顯示林下植物葉綠體囊膜電池發展的可行性。
- 八、經由本研究發現，杜虹囊膜液電池電壓可達 0.404 伏特，
- 九、葉綠體中的囊膜中已具有能讓激發態葉綠素還原的酵素，如製作過程不加入電解液是否也能運作，可再延伸討論。

玖、 結論

- 一、葉綠體囊膜電池電壓優於葉綠素電池，相差約 3 倍。
- 二、浸泡囊膜液以 6 小時為最佳，時間越久電壓反而下降，我們推測是其囊膜衰退的緣故。
- 三、浸泡葉綠體囊膜液 6 小時比浸泡甲基藍佳，而同時或分別浸泡葉綠體囊膜液和甲基藍效果並不顯著。
- 四、林下植物其葉綠體囊膜的發光效率是相當好的，野牡丹及杜虹都有不錯的發電情形，最高電壓可達 0.404V 和 0.383V。向陽植物的部分以大頭茶較好，最高電壓可達 0.328V。
- 五、在不同照度時，大部分葉綠體囊膜的發光效率：林下植物 > 向陽植物
- 六、加入水楊酸是生物上常用的方法，由實驗得知其電壓偵測值優於加入奈米銀。
- 七、由數據中顯示，加入水楊酸或奈米銀並沒有優於對葉綠體囊膜電池之電壓(0.36V)。

壹拾、 參考資料

- 一、戴明鳳、邱立翰。奈米 TiO₂ 晶粒和藍莓或覆盆子汁液作為染料 DIY 製作染料敏化奈米晶化太陽能電池。國立清華大學、吳鳳技術學院 (21 頁)
- 二、錦囊妙計--葉綠體中的囊膜在太陽能電池上的應用 (12 頁)

Thylakoid-Sensitized Solar Cell Using Shade Plants and Sunny Plants

Background

Shade plants live in places with little sunshine, however they still continue to thrive. These plants are inferred to perform photosynthesis more efficiently, thus, allowing them to live well even without plenty of sunlight. Therefore, this study aims to discuss the thylakoid-sensitized solar cells (TSSC) made from shade plants and develop more efficient TSSCs.

Objective

- 1 Compare the electrical outputs of TSSCs and chlorophyll solar cells.
- 2 Investigate the stability of thylakoid and chlorophyll by measuring decay rates.
- 3 Find the optimal soaking time for cells by measuring photoelectric conversion efficiencies.
- 4 Compare between the thylakoid solution and methyl blue by measuring photoelectric conversion efficiencies.
- 5 Compare the efficiency of different electrolytes by measuring photoelectric conversion efficiencies.
- 6 Compare the electrical outputs of TSSCs made from different plants.

Procedure

- 1 Preparation of plant specimens

1.1 Shade plants





1.2 Sunny plants



2 Procedure for constructing TSSC

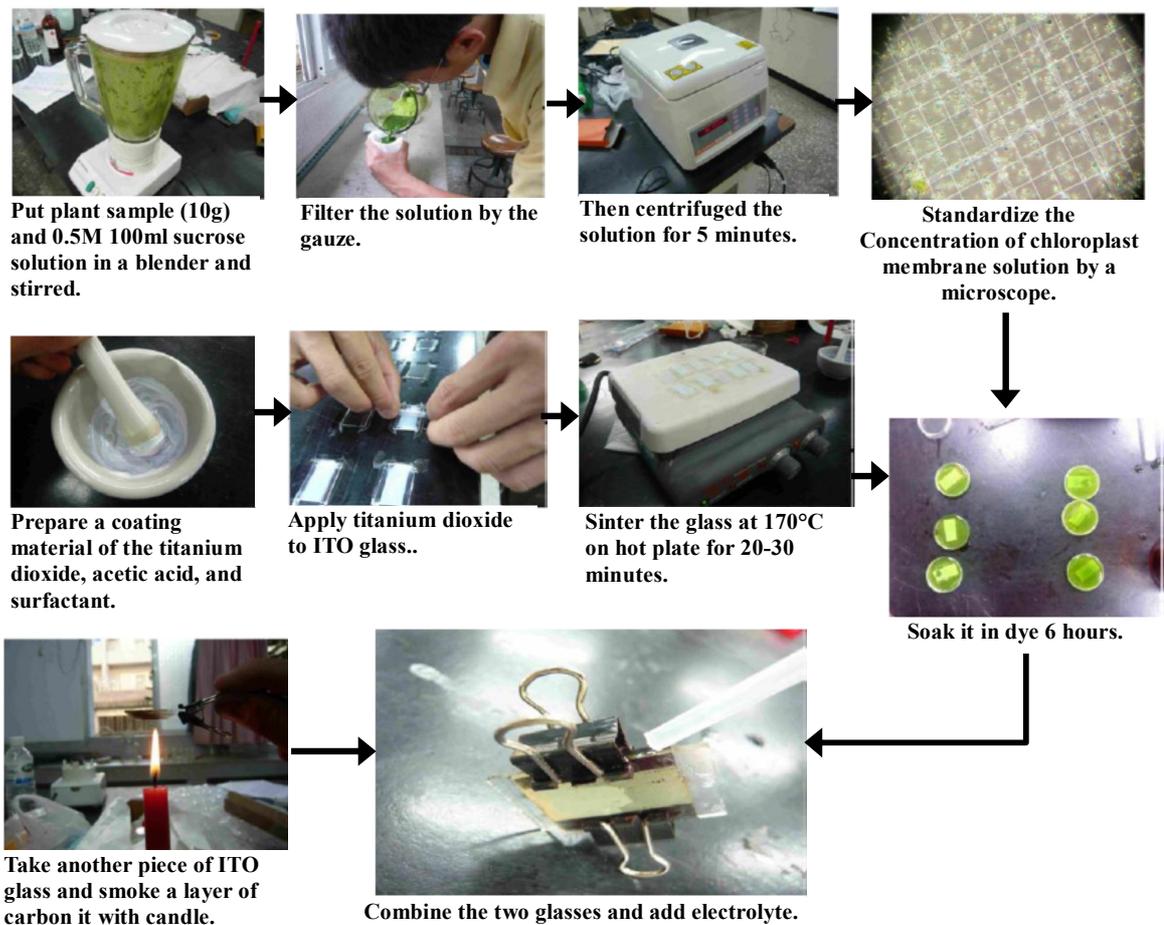


Fig. 1- Procedure in constructing TSSC (Active area: 3cm×2cm)

3 Introduction of DSSC (dye-sensitized solar cell)

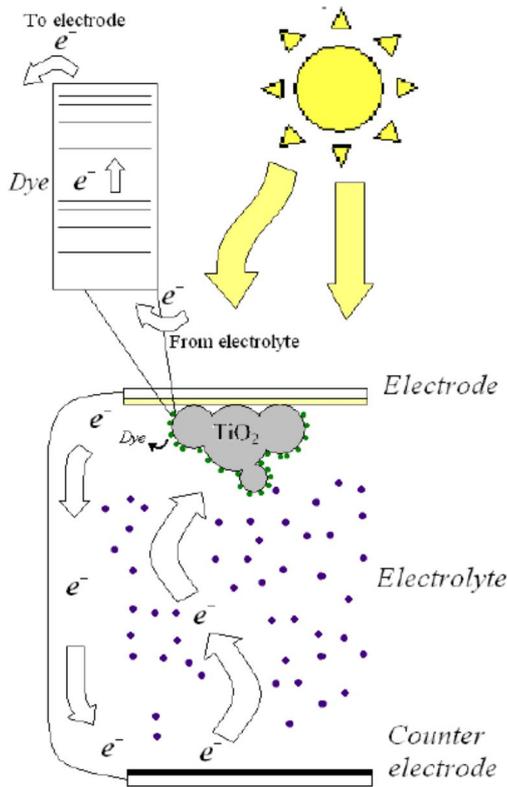


Fig. 2- Typical DSSC

Dye-sensitized solar cell has a sandwich-like structure. Titanium dioxide nanoparticles are sintered on conductive glass, and then the photosensitive dye is embedded in porous nanometer titanium dioxide surface to form a working electrode. Between the working electrode and counter electrode (usually a catalytic amount of platinum or carbon loading conductive glass) is a liquid electrolyte that contains redox substances (commonly I₂ and I⁻). It is dipped in the cavities of nanometer titanium dioxide contacted with photosensitive dye. Under incident light irradiation, photosensitive dye on the surface of titanium dioxide nanoparticle absorbs photons,

transits to the excited state, and then adds the electron to the titanium dioxide conduction band. The dyes become the oxidation states of positive ions. Electrons pass through the external circuit, forming the current to the counter electrode. Dye positive ions accept the electrons from the reductant in the electrolyte solution and reduce to initial dye. The oxidant in electrolyte diffuses to the counter electrode, accepts the electrons to regenerate the reductant, and forms a complete loop. Throughout the entire process, the chemical substance does not change and light energy converts into electrical energy. [ref. 1, 2, 3]

Results

1 Compare the electrical outputs of TSSCs and chlorophyll solar cells

1.1 Design

Aside from chlorophyll, thylakoid contains enzymes and pigments. Enzymes can break water molecules to help reduce chlorophyll when it is activated, and the

pigments facilitate the reaction. [ref. 4] Thylakoid and chlorophyll are used to create the dye, and the efficiency of the cells is observed.

1.2 Result

Plant specimen : *Boehmeria densiglomerata* Illuminance: 23 W/m²

Chlorophyll concentration: 7.8×10⁷ kg/m³

- The charts in Fig. 3 show that photoelectric conversion efficiencies of thylakoid-sensitized solar cells are better than those of chlorophyll solar cells.

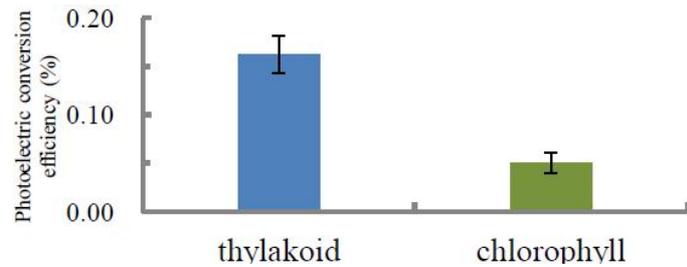


Fig. 3- Photoelectric conversion efficiencies of T.S.S.C.s and chlorophyll solar cells (Margin of error is at 95% confidence.)

2 Investigate the stability of thylakoid and chlorophyll by measuring decay rates

2.1 Design

Decay rates are calculated by measuring the remainders of specific peak and dividing them by 10 (once every 10 minutes).

2.2 Result

Plant specimen: *Boehmeria densiglomerata*

Chlorophyll concentration: 4.5×10⁷ kg/m³

Light wavelength: 6.8×10⁻⁷ m

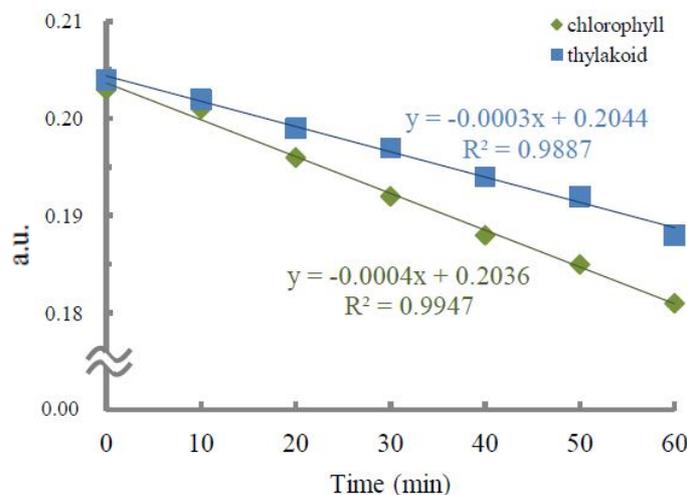


Fig. 4- Absorptions of chlorophyll and thylakoid

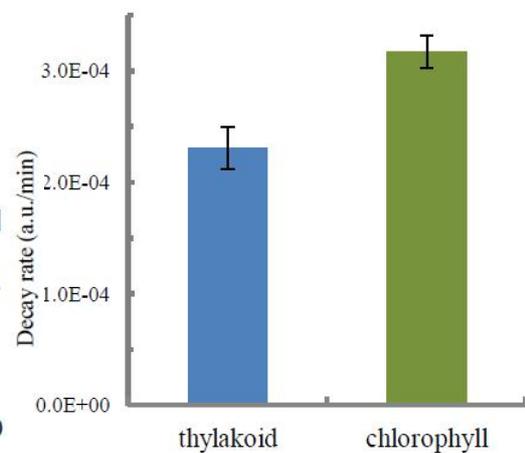


Fig. 7- Decay rates of chlorophyll and thylakoid (Margin of error is at 95% confidence.)

- The charts in Figs. 4 and 5 show that the decay rate of chlorophyll is higher. Therefore, cells made from thylakoid can be used for a longer period of time than those made from chlorophyll.
- 3 Find the optimal soaking time for cells by measuring photoelectric conversion efficiencies

3.1 Design

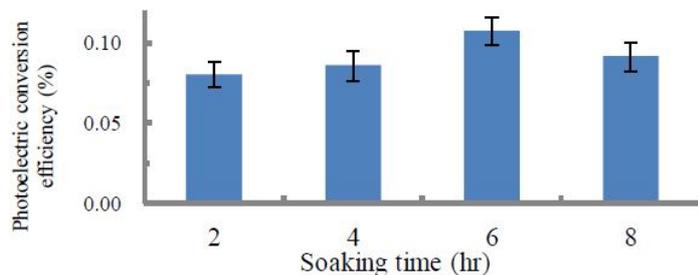
In literature, the dye and TiO_2 can be combined by soaking the cells in the dye. In addition, the best soaking time of thylakoid is not the same as that of chlorophyll or other pigments (about two to eight hours). The following experiment was designed to find the best soaking time of the thylakoid solution.

3.2 Result

Plant specimen: *Boehmeria densiglomerata* Illuminance: 23 W/m^2

Thylakoid concentration: $1.25 \times 10^6/\text{m}^3$

- The dye (thylakoid) and TiO_2 can be combined by soaking the cells in the dye.



- The chart in Fig. 6 shows that the optimal soaking time is six hours (0.11%).

Fig. 6- Photoelectric conversion efficiencies of TSSCs with different soaking times (Margin of error is at 95% confidence.)

- 4 Compare between the thylakoid solution and methyl blue by measuring photoelectric conversion efficiencies

4.1 Design

In the literature, methyl blue (M.B.) is commonly used to create dye for DSSC. Therefore, this study aims to determine whether the combination of thylakoid and methyl blue can improve the efficiency of cells.

4.2 Result

Plant specimen: *Boehmeria densiglomerata* Illuminance: 23 W/m²

T. concentration: 1.25 ×10¹² /m³

- Methyl blue is an artificial dye.
- Thylakoid solution soaked on its own for six hours performs best (0.15%). A combination of the thylakoid solution and methyl blue soaked for six hours exhibited the worst performance (0.08%).

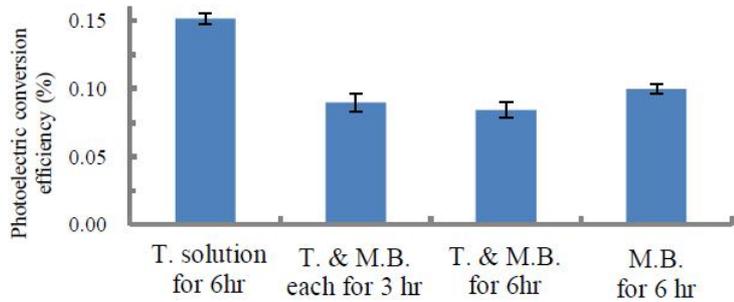


Fig. 7- Photoelectric conversion efficiencies of TSSCs with different soaking times (Margin of error is at 95% confidence.)

5 To compare different electrolytes by measuring the photoelectric conversion efficiencies.

5.1 Design

Based on literature, potassium iodide is the best electrolyte for cells. Different electrolytes are compared by measuring the photoelectric conversion efficiencies to find the best electrolyte.

5.2 Result

Plant specimen: *Boehmeria densiglomerata*

Illuminance: 23 W/m²

T. concentration: 1.25 ×10¹² /m³

Electrolyte concentration: 0.5 M

- Among different electrolytes, potassium iodide performs best (0.125%), which was the same with the results in the literature. Potassium chloride exhibited the worst performance (0.034%).

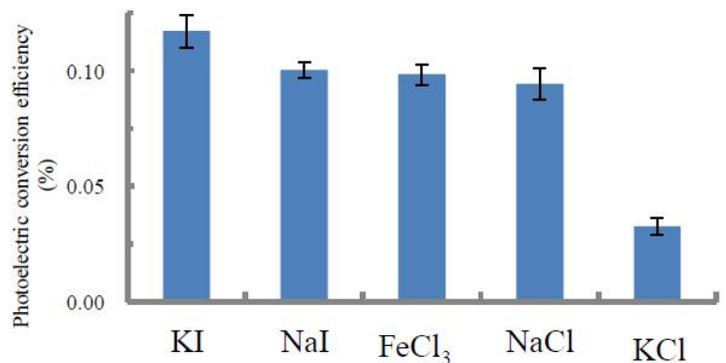


Fig. 8- Photoelectric conversion efficiencies of TSSCs with different electrolytes (Errors are 95% confidence.)

6 Comparison of the electrical outputs of different plant solar cells

6.1 Design

Ten different kinds of shade plants and five kinds of sunny plants were tested in the following experiment.

6.2 Result

Illuminance: 23 W/m² Thylakoid concentration: 1.25 ×10¹² /m³

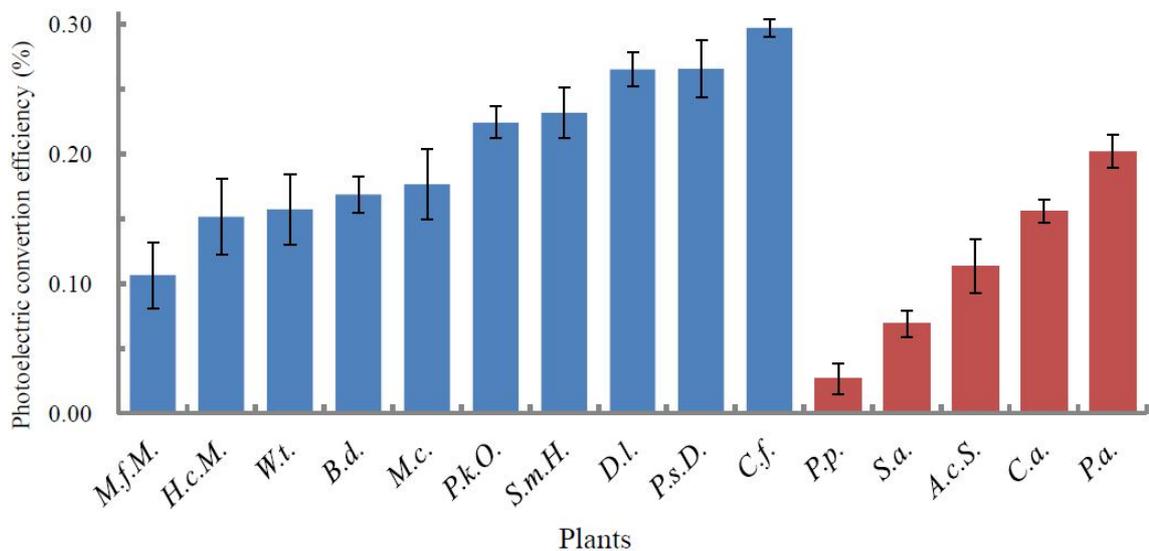


Fig. 9- Photoelectric conversion efficiencies of T.S.S.C.s made from different plants (Margin of error is at 95% confidence.)

- The chart in Fig. 9 shows that shade plants are generally more efficient than sunny plants by approximately 26%.
- Among shade plants (blue), *Callicarpa formosana* (Formosan beautyberry) performs best. Its photoelectric conversion efficiency can reach 0.3%.

Conclusions

- 1 The photoelectric conversion efficiency of TSSC is about three times better than that of chlorophyll solar cell.
- 2 The optimal soaking time is six hours.
- 3 The thylakoid solution is the optimal dye among those tested.
- 4 Potassium iodide is the optimal electrolyte among those tested.

- 5 Shade plants are generally more efficient than sunny plants by approximately 26%, proving the feasibility of thylakoid-sensitized solar cells of shade plants.
- 6 The photoelectric conversion efficiency of *Callicarpa formosana* (Formosan beauty-berry) TSSC in this study can reach up to 0.3%.

Acknowledgements

We sincerely thank Professor Shang-Lien Lo in National Taiwan University, Professor Chin-Jung Lin in National Ilan University, and Chien-Hsun Li in Lo-Tung Senior High School for the experiment designs and instructions in DSSC. We also express our appreciation to Yi-Fang Tsay in Academia Sinica for instructions on thylakoids and chlorophyll, and to Professor Jung-Yaw Lin in National Taiwan University for revising the report and the poster.

References

- 1 B. O'Regan and M. Grätzel, "A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films," *Nature*, vol. 353, no. 6346, 1991.
- 2 M. Grätzel, "Solar energy conversion by dye-sensitized photovoltaic cells," *Inorganic Chemistry*, vol. 44, no. 20, 2005, pp. 6841-6851.
- 3 D. Cahen, G. Hodes, M. Grätzel, J. F. Guillemoles and I. Riess, "Nature of photovoltaic action in dye-sensitized solar cells," *Journal of Physical Chemistry B*, vol.104, no. 9, 2000, pp.2053-2059.
- 4 T. Ma, K. Inoue, H. Noma, K. Yao and E. Abe, "Effect of functional group on photochemical properties and photosensitization if TiO₂ electrode sensitized by porphyrin derivatives," *J. Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, vol. 152, 2002, pp. 207-212.

評語

本研究之作者嘗試去比較不同曝光之植物其葉綠素作為染劑敏化太陽能電池之染料，是否有功能上之差別。此研究相當有創意，也代表作者有敏銳觀察力，本研究或可在不同植物葉綠體本身之差異作較深入之研究以了解其造成性能差異之原因，當較完美。