

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 化學科

佳作

040210

自製臺灣植物染敏太陽能電池及性質研究

學校名稱：國立彰化高級中學

<p>作者：</p> <p>高二 陳弘誌</p> <p>高二 白祐瑋</p> <p>高二 林建甫</p> <p>高二 詹鈞皓</p>	<p>指導老師：</p> <p>劉曉倩</p>
--	-------------------------

關鍵詞：光敏染料、pH 值、吸收光譜

自製臺灣植物染敏太陽能電池及其性質研究

摘要

由於染敏太陽能電池製作成本與較早發展的單晶矽太陽電池比較起來低廉許多，且發展潛力頗大，但由於一般學生難以取得其中的關鍵材料（導電玻璃、人工光敏染料）使得此有意義的綠色實驗於中小學的普及度並不高。本實驗的目的便是利用日常生活可隨手取得的資源來自製染敏太陽能電池，一方面透過研究太陽輻射的能量分佈來選取某些高發電效率的顏色染料，另一方面探討染料酸鹼度對其電子傳輸及共價鍵結強度的影響程度，不但希望能提高電池效率，更希冀能普及成中小學實驗而大量製造，在大量及價格低廉的優勢下，再結合美學製作成窗簾等產品，不僅人人皆能為我們日漸暖化的地球盡一份心力，更能美化我們的生活。

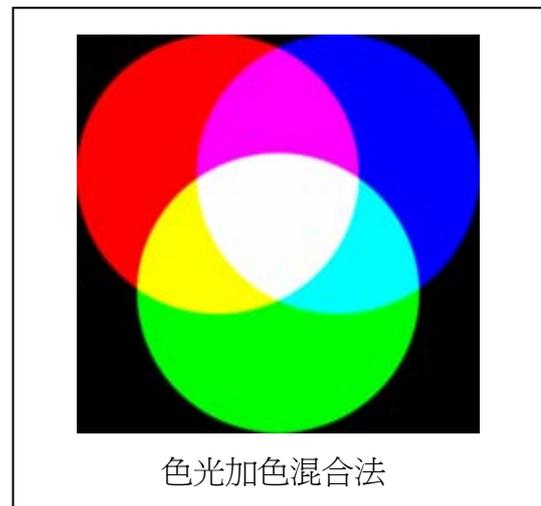
壹、研究動機

鑒於現今世界的能源短缺，全人類積極開發再生能源的情況下，又太陽能是目前炙手可熱且發展潛力最大者。而目前業界轉換效率最高者為單晶矽太陽電池(15-24%)，但發展情形已趨於飽和。而第二型太陽能電池Dye-Sensitized Solar Cells (DSSC)的研發如火如荼地展開，目前轉換效率可達8-12%。又因為實驗器材（如導電玻璃、人工光敏染料等）大多取得不易且價格昂貴（如由Michael Gratzel掌控的獨家配方——專利染料「釷金屬有機錯合物（Ru-complex）」售價仍比黃金還貴，每公克售價高達新台幣十一萬元），便將念頭轉向利用一般中小學實驗室的材料，來自行製造導電玻璃；更利用便宜且較環保的天然有機染料來探討發電效率的問題。

貳、研究目的

- 一、製作光敏染化太陽能電池基板
- 二、製作光敏染化太陽能電池正負極
- 三、非酸鹼指示劑植物染料（蕃茄、台灣柑橘、台灣欒樹）之萃取及在不同pH值下的光譜檢測
- 四、酸鹼指示劑植物染料（紫甘藍）之萃取及在不同pH值下的光譜檢測
- 五、封裝與測試光敏染化太陽能電池

自然界植物大多演化成綠色，即含葉綠素居多，而非葉紅素、葉藍素，表示其本身反射綠色光波長能量、吸收其他波長能量來行光合作用。又光的三原色為紅、藍、綠，根據在大氣層之外與在地球表面的太陽放光頻譜（圖 2-1）得知太陽輻射能量分佈密集處約在 550nm 處，即綠色光波長的部分。依科學的步驟來進行，先假設如果植物一開始演化成藍色比演化成綠色還要能夠吸收更多能量（由圖 2-1 可以觀察到太陽能量在可見光區的波峰明顯偏左，即偏短波長），因為演化成藍色可吸收藍色光波長以外的能量，此能量大於演化成綠色所吸收綠色光波長以外的能量。要驗證這個假設恰可利用本實驗的發電效率高低來一窺究竟。又正好自然界中有一種天然的酸鹼指示劑—紫甘藍，藉由改變其 pH 值可呈現出不同的顏色（pH 值 1~2 為紅色，3 為粉紅，4 為粉紫，5 為淡藍紫，6 為藍紫，7 為紫青，8 為青綠，9~10 為翠綠，10~11 為草綠，11~13 為黃綠，13 以上則為深黃）可免去使用不同材料所造成的種種變因。當然 pH 值對發電效率的影響程度也要透過另一對照組來探討。藉由這二個實驗希望能探討出是否藍色染料的效率高於綠色染料。



此外另一實驗目的便是自行利用簡單材料製作出染敏太陽能電池的正負極，一般 ITO 導電玻璃係在原本無法導電的母玻璃（mother glass）基板上，鍍上一層可以導電的氧化銦錫（indium tin oxide, ITO），從而可以扮演電極。利用原理相似的鍍膜法，材料是幾乎每個生物實驗室都有的載玻片來製作，應該能去除一次訂購要大量購買，且一般中小學無法輕易購得的困境。

正極的部分一般專業製程甚至用鉑（白金）鍍膜，在現今白金比黃金價格為 2：1 的物價飛漲下，用石墨（鉛筆）塗佈顯得低廉及方便許多，或許使得效率降低，但在經濟學的比較利益概念下便成立了。

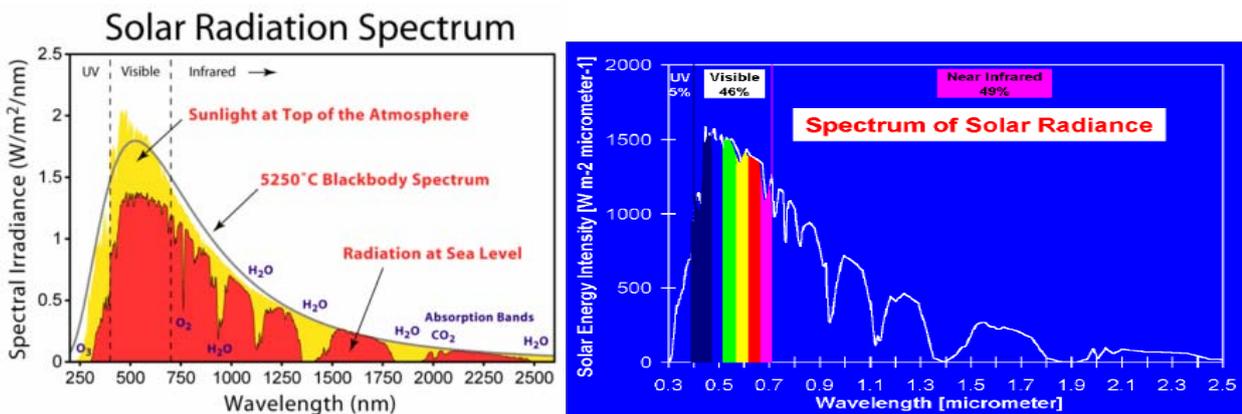


圖 2-1 太陽放光頻譜

參、研究設備及器材

一、器材：

- (一) 坩堝蓋、研鉢及杵、鑷子
- (二) 滴管、量筒(10mL)、定量瓶(100mL、1000mL)、玻璃培養皿、玻璃棒、載玻片(7.5cm*2.5cm*0.1cm)
- (三) 電子秤、計時器
- (四) 熱熔膠、長尾夾、HB、2B、4B、6B、8B鉛筆、膠帶

二、藥品：

- (一) 奈米級二氧化鈦 (Titan(IV)-oxid, TiO_2)
- (二) 電解液 (0.5MKI/0.05MI₂無水乙二醇溶液)
- (三) 硝酸 (Nitric Acid, HNO_3)
- (四) 醋酸 (Acetic acid, CH_3COOH)
- (五) 氨水 (Ammonium hydroxide, NH_4OH)
- (六) 萃取溶劑：95%乙醇 (Ethyl Alcohol, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)
- (七) 去離子水 (Water, H_2O)
- (八) 天然染料

1. 紫甘藍 (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra*) (圖3-1)
2. 番茄 (*Lycopersicon esculentum*) (圖3-2)
3. 台灣柑橘 (*Citrus*) (圖3-3)
4. 台灣欒樹 (*Koelreuteria formosana*) (圖3-4)



圖3-1 紫甘藍



圖3-2 番茄



圖3-3 台灣柑橘



圖3-4 台灣欒樹

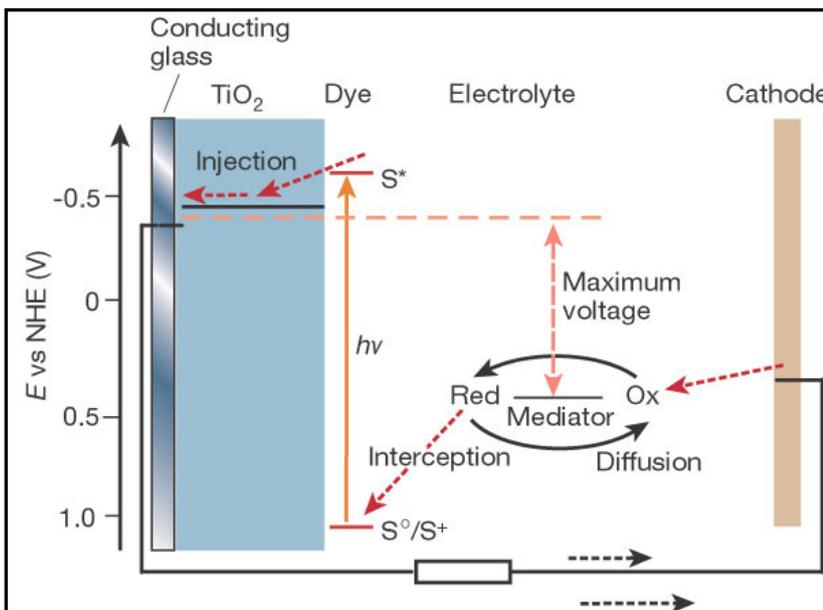
三、儀器：

- (一) 離心儀 (Centrifuge)
- (二) 分光光譜儀 (Thermo)
- (三) 烘箱 (Channel)
- (四) 50W 附拋物面鏡及 UV、IR 濾鏡之鎢-鹵素燈 (Philips)
- (五) 150W HALOGEN LAMP (RADICAL)
- (六) 超音波震盪器 (Delta DC200H)
- (七) 三用電表 (Brother YH370)
- (八) 電磁加熱攪拌器／加熱板 (Corning PC-420)
- (九) 果汁機 (National)
- (十) pH meter (Hanna pH211)
- (十一) 燒結器 (THERMOLYNE)

肆、研究過程或方法

研究原理

(一) 染料敏化太陽能電池 (dye-sensitized solar cell) 原理



DSSC 太陽能電池的工作原理如圖 4-1 所示，主要是利用在二氧化鈦半導體奈米顆粒上的色素 (dye) 分子進行光吸收，使染料變成激發態 (式一)，進而把電子注入進氧化物半導體 (式二)，藉由電子於氧化物半導體傳導帶之傳輸將電子傳遞至負極，此時電子將經由外部通路至正極後，再經由氧化還原電解液，使染料還原到基態 (式三、四)。

圖 4-1 染料敏化太陽能電池運作圖



(二) 太陽能電池效率之計算

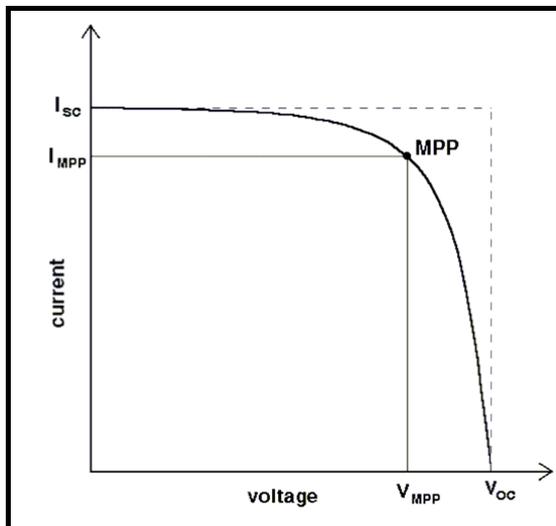


圖4-2 電壓-電流曲線圖

由電壓-電流曲線（圖4-2）可得到幾個太陽能電池的性質，包括短路電流(short circuit current, I_{sc})，開路電壓(open circuit current, V_{oc})，最大功率(P_{max})，填滿因子(Fill Factor, ff)以及光電轉換效率

(light-to-electric energy conversion efficiency, η) 等。短路電流 I_{sc} 為外加電壓為零時的電流值，開路電壓 V_{oc} 則為電流為零時的外加電壓值，最大功率 (P_{max}) 即為電壓電流值相乘後的最大值，代表電池所能提供的最大功率。填滿因子 (ff) 為最大功率除以開路電壓與短路電流的乘積，理論上最大值為1。電池效率 η 則為最大功率除以照光的功率，代表光電轉換能量的效率。

$$ff = \frac{I_{MPP} \times V_{MPP}}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad \cdot \quad P_{max} = ff \times I_{sc} \times V_{oc} \quad \cdot \quad \text{efficiency } \eta = \frac{P_{max}}{P_{input}}$$

各項性質間彼此關係

一、製作光敏染化太陽能電池基板

- (一) 精秤2份25g $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 溶於6mL 甲醇，加熱至50°C。
- (二) 精秤1g Sb_2O_3 ，分別溶於3mL 甲醇，加入第一份（一）液。
- (三) 精秤1g ZnO ，分別溶於3mL 甲醇，加入第二份（一）液。
- (四) 將二片載玻片利用長尾夾固定並於邊緣滴加（二）、（三）液，利用毛細管作用（毛細現象 Capillary action）使液體充滿於玻璃間而成一薄膜。
- (五) 以鑷子拿取（四）之玻璃片並用燒結器加熱。並分別於300、350、400、450、500、550 °C 下加熱3小時。
- (六) 待（五）降至常溫後以三用電表測試玻璃導電面之電阻，並比較在不同溫度下燒結及不同材料所做的基板的電阻。

二、製作光敏染化太陽能電池正負極

- (一) 將製作完成之太陽能電池基板保持導電面朝上備用（至此之後盡量不要以手碰觸其玻璃表面而改以鑷子拿取）。
- (二) 以去離子水配製 10^{-3} M之稀硝酸（pH值約3）備用。
- (三) 秤取約1g的奈米級 TiO_2 ，置放於乾淨乾燥之研鉢中，滴加10滴稀硝酸（約0.5mL）後，以杵將粉末研磨均勻。再滴10滴稀硝酸後再次研磨，重複三次共滴加1.5 mL稀硝酸後製得 TiO_2 膠體溶液（若加太多可放置一會兒使其黏稠化，久置不用而太過濃稠可依情況適量加入數滴稀硝酸）。
- (四) 用膠帶黏貼在太陽能電池基板的兩邊而固定在桌面上，中間約 $50\mu\text{m}$ 的凹下處用以塗抹 TiO_2 膠體溶液（圖4-3）。
- (五) 於凹下處邊緣放置 TiO_2 膠體溶液（圖4-4），並用玻棒快速地水平滑過基板，使其表面均勻塗抹上一層 TiO_2 膠體溶液（圖4-5）（在此建議取路徑較短方向的其中一邊為起點，避免因塗抹路徑過長而導致不易塗抹均勻）晾乾後備用。



圖4-3 固定玻璃基板



圖4-4 放置 TiO_2 膠體溶液



圖4-5 塗抹

- (六) 將塗佈 TiO_2 膠體溶液的玻璃基板撕去膠帶後置於坩堝上，並置入燒結器內以 450°C 燒結60分鐘（圖4-6），取出使其緩慢冷卻至室溫。此為光敏染化太陽能電池之負極。



圖4-6 玻璃基板燒結前後

- (七) 取數片太陽能電池基板分別以HB、2B、4B、6B、8B鉛筆將導電面塗滿，置於燒結器中以 450°C 加熱約5分鐘，取出使其緩慢冷卻至室溫後備用。此為光敏染化太陽能電池之正極。

(八) 以染料與電解液為控制變因，正極板為操縱變因，太陽能電池效率為應變變因，組裝成染敏太陽能電池。

(九) 比較不同比例石墨塗佈的太陽能電池正極板的電子傳導效率（太陽能電池效率包括短路電流，開路電壓，填滿因子以及光電轉換效率）

三、非酸鹼指示劑植物染料之萃取及在不同pH值下的光譜檢測

(一) 取番茄、台灣柑橘的果實及台灣欒樹的樹葉清洗後置入冰箱之冷凍庫一天。

(二) 取出冷凍過之番茄、台灣柑橘的果實及台灣欒樹的樹葉（以下稱對照物）置入烘箱低溫乾燥備用。

(三) 以95%乙醇浸泡處理過之對照物（質量比例，95%乙醇：對照物=1：4），並以超音波震盪器震盪處理3小時後過濾備用。

(四) 將濾液以離心儀離心處理10分鐘，取其澄清液備用。

(五) 配製10、1、0.1M醋酸溶液及10、1、0.1M氨水溶液備用。

(六) 以10、1、0.1M醋酸溶液及10、1、0.1M氨水溶液配製pH值1~14的對照物萃取液。

（濃度比例，原汁：待測液=1：4）。

(七) 以分光光譜儀量測在不同pH值下的對照物萃取液的可見光吸收光譜（absorption spectrum）及吸收度（absorbance, A）。

(八) 分別以不同pH值下對照物萃取液作為染劑，製成同規格之染敏太陽能電池量測其發電效率。

四、酸鹼指示劑植物染料（紫甘藍）之萃取及在不同pH值下的光譜檢測

(一) 將紫甘藍以去離子水清洗後撕成碎片置入冰箱之冷凍庫一天。

(二) 取出冷凍過之紫甘藍置入烘箱低溫乾燥備用。

(三) 分別以95%乙醇浸泡處理過之紫甘藍（質量比例，95%乙醇：紫甘藍=1：4），並以超音波震盪器震盪處理3小時後過濾備用。

(四) 將濾液以離心儀離心處理10分鐘，取其澄清液備用。

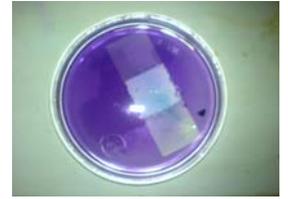
(五) 以10、1、0.1M醋酸溶液及10、1、0.1M氨水溶液配製pH值1~14的紫甘藍萃取液（濃度比例，原汁：待測液=1：4）。



(六) 以分光光譜儀量測在不同pH值下的紫甘藍萃取液的可見光吸收光譜 (absorption spectrum) 及吸收度 (absorbance, A)。

(七) 分別以不同pH值下的紫甘藍萃取液作為染劑，製成同規格之染敏太陽能電池量測其發電效率。

五、封裝與測試光敏染化太陽能電池



(一) 取數個培養皿分別置入欲浸泡之染料，再置入TiO₂負極板，浸泡20hr。

(二) 取出浸泡過TiO₂負極板置入烘箱低溫乾燥備用。

(三) 將塗佈石墨的相對電極與TiO₂負極板疊在一起，使得塗碳面與TiO₂面對疊放，且將TiO₂塗佈處完全覆蓋。而邊緣TiO₂未塗佈處則作為連接測量電表之鱷魚夾連接處。

(四) 於電池本體之另外一側以長尾夾夾住固定，再於固定測之相對邊滴加碘電解液，藉由毛細現象使之潤濕電極內部。

(五) 待其完全潤濕完畢於滴加碘電解液那一測夾上長尾夾固定。

(六) 以黑色塑膠片製作一具有1cm×1cm大小開口的測試用檔版，以固定受光面積。

(七) 以三用電表來量測其最大輸出電流及電壓，連接電表負極之黑色鱷魚夾接至TiO₂負極板，連接電表正極之紅色鱷魚夾接至石墨正極板。

(八) 使用50W附拋物面鏡及UV、IR濾鏡之鎢-鹵素燈照射電池，藉由改變其可變電阻，測量其短路電流、開路電壓、最大功率、填滿因子以及光電轉換效率。



鹵素燈



分光光譜儀

伍、研究結果

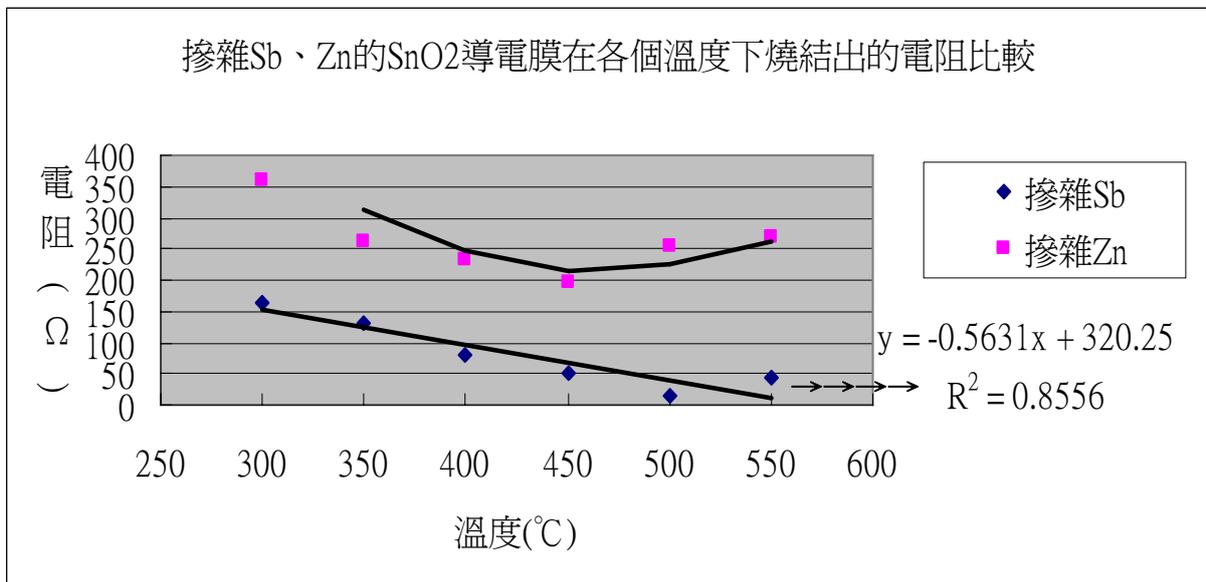
一、製作光敏染色太陽能電池基板

(一) 摻雜Sb的SnO₂導電膜在300、350、400、450、500、550°C下燒結出的電阻比較

溫度〔°C〕	300	350	400	450	500	550
電阻〔Ω〕	164.6	130.4	81.3	52.2	13.6	43.4

(二) 摻雜Zn的SnO₂導電膜在300、350、400、450、500°C下燒結出的電阻比較

溫度〔°C〕	300	350	400	450	500	550
電阻〔Ω〕	361.6	263.4	233.6	197.8	254.4	268.8



燒結器



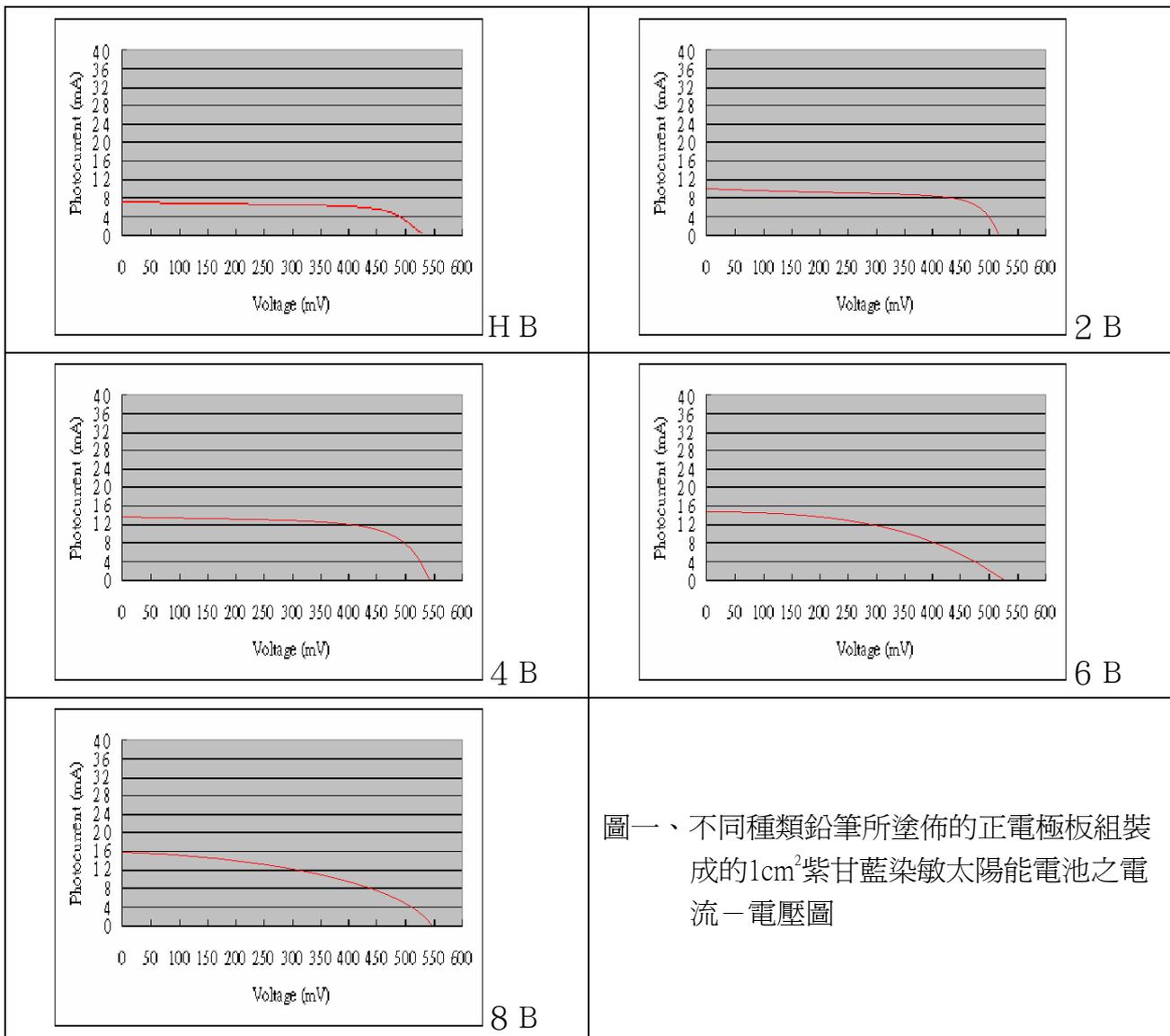
烘箱

二、製作光敏染色太陽能電池正負極

(一) 太陽能電池基板分別以HB、2B、4B、6B、8B鉛筆，在450°C下加熱後，以紫甘藍萃取液為染劑組裝成染敏電池，比較太陽能電池石墨正極板的**Isc**短路電流，**Voc**開路電壓，**ff**填充因子以及 η 光電轉換效率

鉛筆種類	Isc (mA/cm ²)	Voc (mV)	ff (%)	η (%)
HB	7.0	526.5	43.5	0.80160
2B	9.2	517.6	42.9	1.02143
4B	13.4	543.1	35.6	1.29540
6B	14.2	533.6	44.5	1.68591
8B	15.8	546.5	40.6	1.75284

※以上數據已經過誤差估計及統計分析



圖一、不同種類鉛筆所塗佈的正電極板組裝成的1cm²紫甘藍染敏太陽能電池之電流—電壓圖

三、非酸鹼指示劑植物染料之萃取及在不同pH值下的光譜檢測

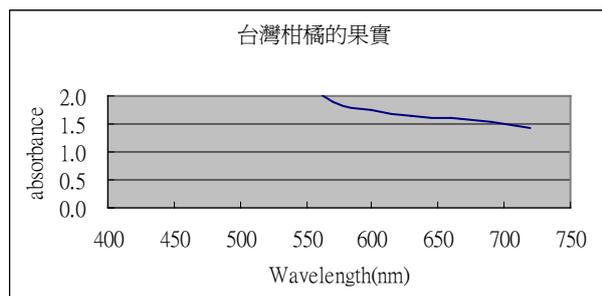
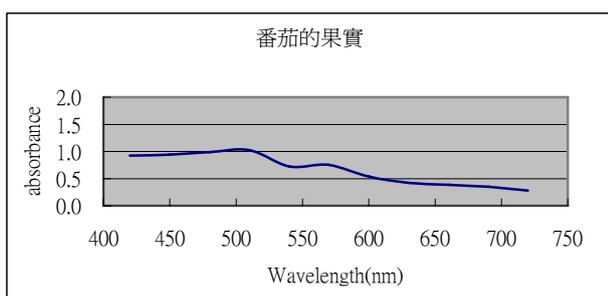
(一) 各種不同種類色素的可見光吸收光譜 (absorption spectrum) 及吸收度 (absorbance, A)
 【以下x者表分光光譜儀無法量測之值】

1. 番茄的果實

波長 (nm)	吸收峰波長 (516)	420	450	480	510	540	570	600	630	660	690	720
吸收度 (A)	1.056	0.923	0.940	0.987	1.025	0.723	0.757	0.536	0.419	0.387	0.350	0.283

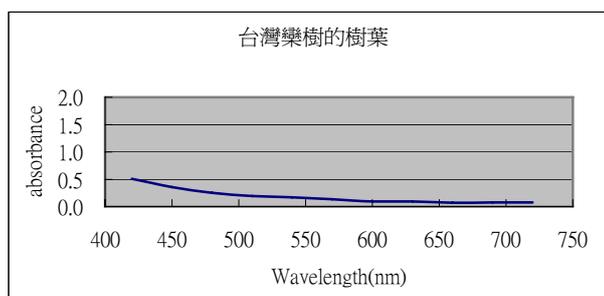
2. 台灣柑橘的果實

波長 (nm)	吸收峰波長 (x)	420	450	480	510	540	570	600	630	660	690	720
吸收度 (A)	x	x	x	x	x	x	1.900	1.733	1.651	1.606	1.543	1.430



3. 台灣欒樹的樹葉

波長 (nm)	吸收峰波長 (x)	420	450	480	510	540	570	600	630	660	690	720
吸收度 (A)	x	0.508	0.359	0.253	0.192	0.167	0.135	0.093	0.094	0.072	0.075	0.075

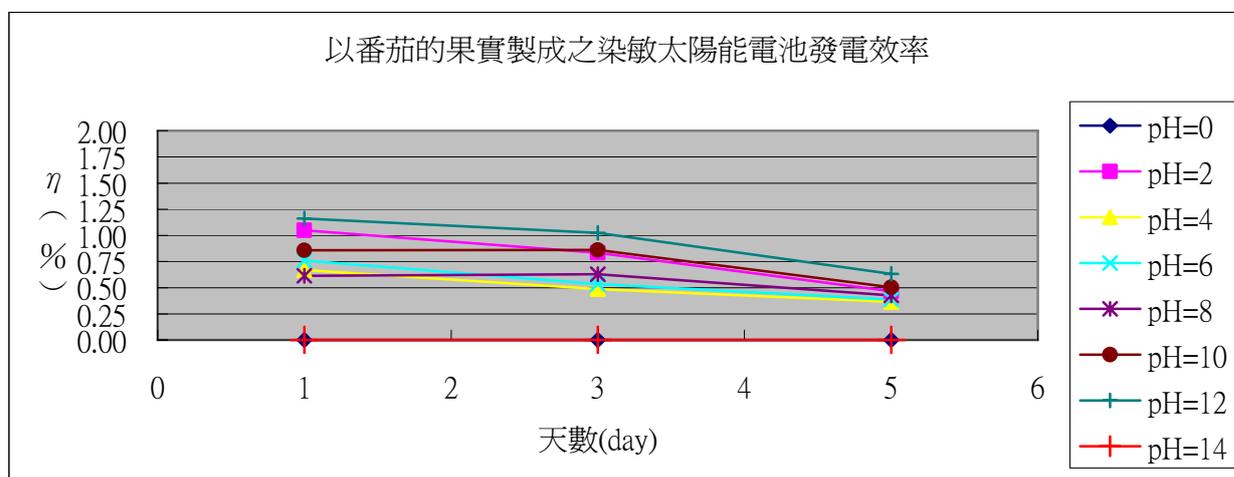


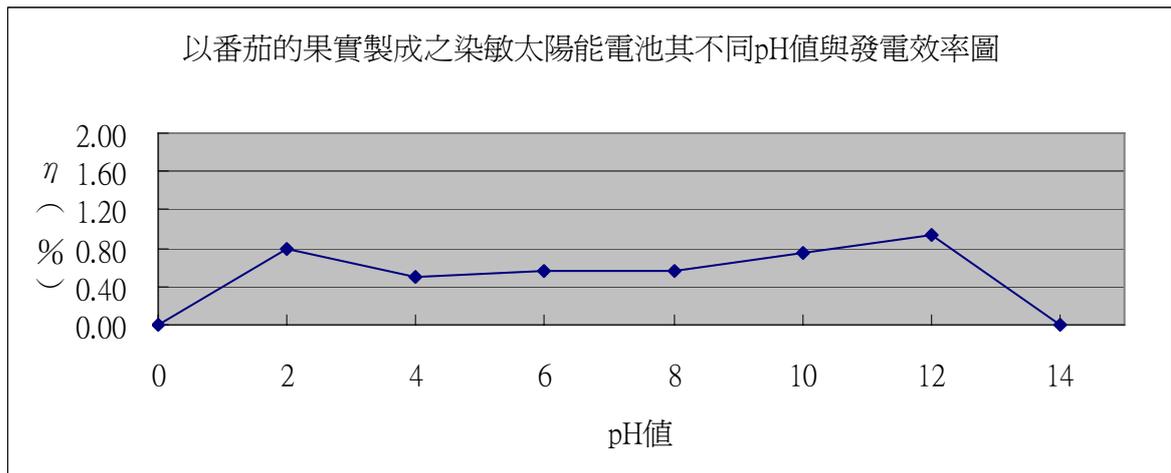
(二) 以不同種類色素製成同規格之染敏太陽能電池量測其發電效率。

1. 番茄的果實

pH值	時間 (天)	Isc (mA/cm ²)	Voc (mV)	ff (%)	η (%)
0	1	0.8	15.6	0.3	0.00004
	3	1.2	15.4	0.1	0.00002
	5	0.6	13.4	0.2	0.00002
2	1	9	295.6	39.4	1.04820
	3	9.2	304.5	29.7	0.83202
	5	7.8	289.6	20.6	0.46533
4	1	6.8	254.7	38.6	0.66854
	3	5.8	245.6	34.2	0.48717
	5	6.6	250.1	22.1	0.36480
6	1	8.2	234.2	39.5	0.75857
	3	6.2	236.7	36.5	0.53565
	5	6.8	230.5	24.6	0.38558
8	1	6.6	240.6	38.6	0.61295
	3	7	239.8	37.5	0.62948
	5	6.8	234.1	26.8	0.42662
10	1	8.2	260.7	40.1	0.85723
	3	9.2	269.8	34.6	0.85883
	5	8.6	265.1	22.1	0.50385
12	1	9.8	321.3	36.9	1.16189
	3	9.6	330.1	32.3	1.02357
	5	8.6	329.3	22.3	0.63153
14	1	2	31.2	1.2	0.00075
	3	1.8	28.8	1.6	0.00083
	5	1.2	26.4	1.1	0.00035

※以上數據已經過誤差估計及統計分析

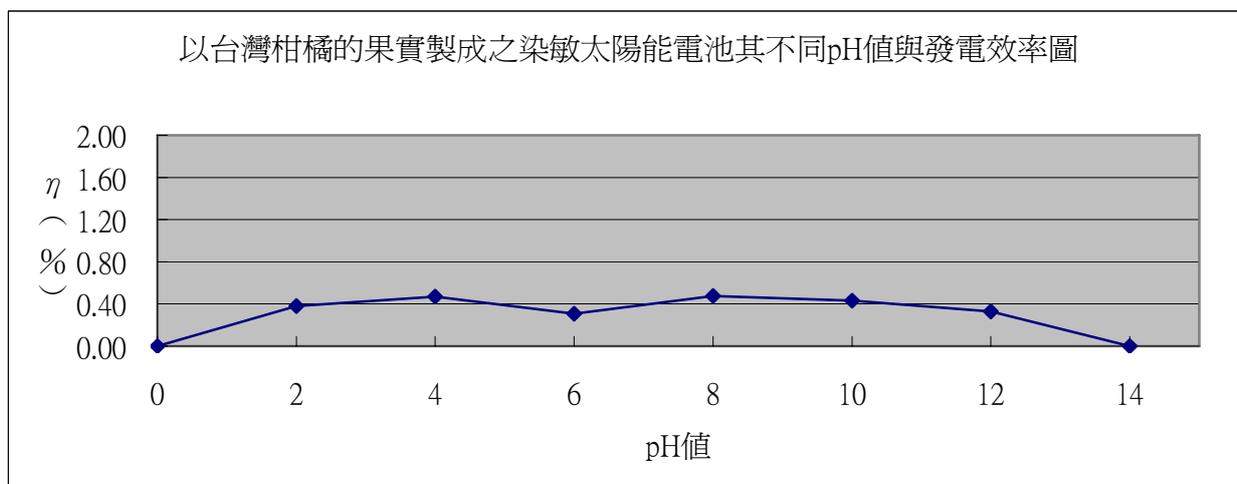
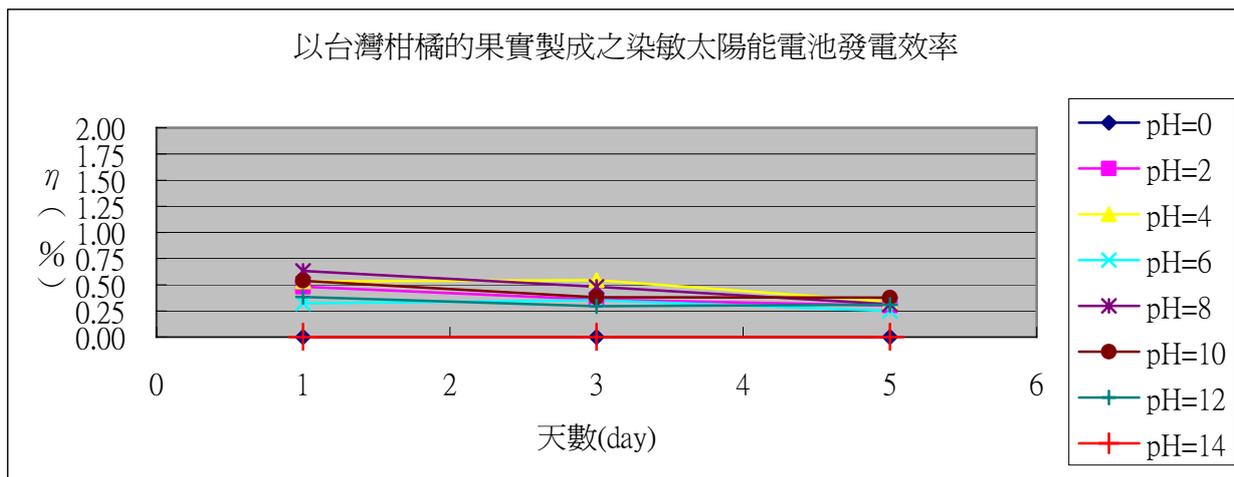




2. 台灣柑橘的果實

pH值	時間 (天)	Isc (mA/cm ²)	Voc (mV)	ff (%)	η (%)
0	1	1.4	2.3	1.3	0.00004
	3	1.6	2.4	1	0.00004
	5	1.4	1.6	0.8	0.00002
2	1	3.2	506.6	29.6	0.47985
	3	3	519.4	23.1	0.35994
	5	3	516.6	19.4	0.30066
4	1	3.4	450.6	34.7	0.53162
	3	3.8	458.7	31.2	0.54383
	5	3	459.8	24.4	0.33657
6	1	2.6	406.8	30.4	0.32153
	3	3.2	415.6	26.5	0.35243
	5	2.8	413.2	21.6	0.24990
8	1	4.2	423.8	35.6	0.63367
	3	4.4	429.6	25.4	0.48012
	5	3.2	416.4	23.6	0.31447
10	1	3.4	465.6	33.9	0.53665
	3	3	478.8	26.5	0.38065
	5	3.8	469.9	21.1	0.37677
12	1	2.6	498.6	29.6	0.38372
	3	2.4	510.3	24.1	0.29516
	5	3.2	513.3	18.8	0.30880
14	1	0.2	3.6	1.3	0.00001
	3	0.6	4.2	1.6	0.00004
	5	0.2	3.9	1.2	0.00001

※以上數據已經過誤差估計及統計分析

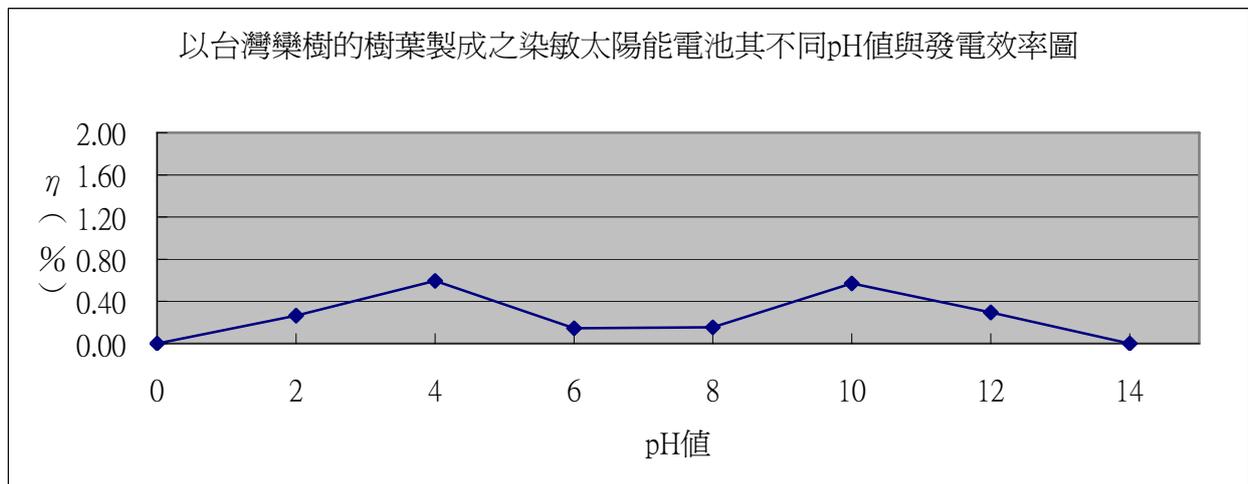
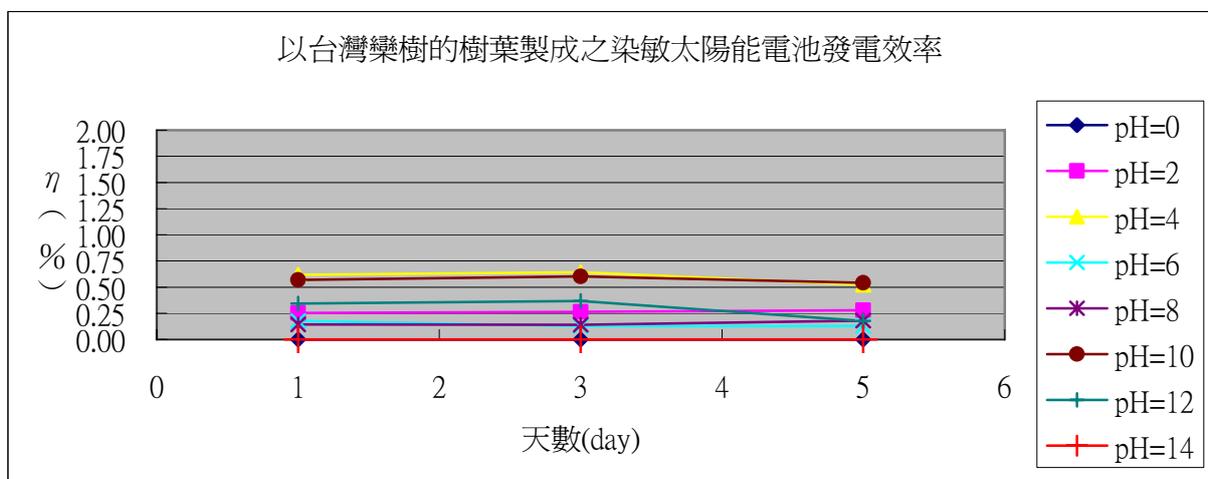


3. 台灣欒樹的樹葉

pH值	時間 (天)	Isc (mA/cm ²)	Voc (mV)	ff (%)	η (%)
0	1	0.6	9.8	0.4	0.00002
	3	0.6	10.6	0.3	0.00002
	5	0.2	9.9	0.1	0.00000
2	1	4	245.6	25.7	0.25248
	3	4.6	254.1	22.6	0.26416
	5	5.2	251.6	21.3	0.27867
4	1	5.8	380.7	27.9	0.61605
	3	6.2	425.5	24.3	0.64106
	5	5.2	426.9	23.6	0.52389
6	1	4	177.4	24.8	0.17598
	3	3.6	158.9	22.5	0.12871
	5	3.8	166.4	20.3	0.12836
8	1	4.2	158.4	21.6	0.14370
	3	4.4	166.4	19.3	0.14131
	5	5.2	197.1	17.6	0.18039

10	1	5.6	299.8	33.9	0.56914
	3	5	414.1	29.1	0.60252
	5	4.6	400.9	29.3	0.54033
12	1	4.4	279.8	27.9	0.34348
	3	5.4	283.6	24.1	0.36908
	5	3.2	282.1	19.4	0.17513
14	1	0.2	11.2	0.6	0.00001
	3	1.2	14.3	0.3	0.00005
	5	0.4	13.2	0.2	0.00001

※以上數據已經過誤差估計及統計分析



四、酸鹼指示劑植物染料（紫甘藍）之萃取及在不同pH值下的光譜檢測

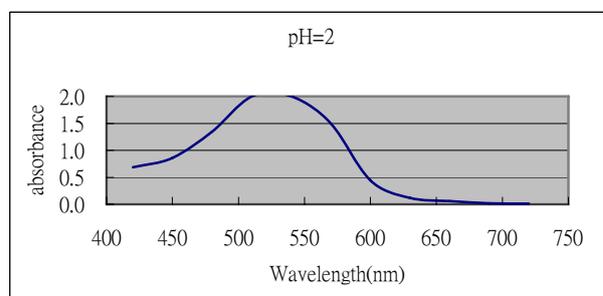
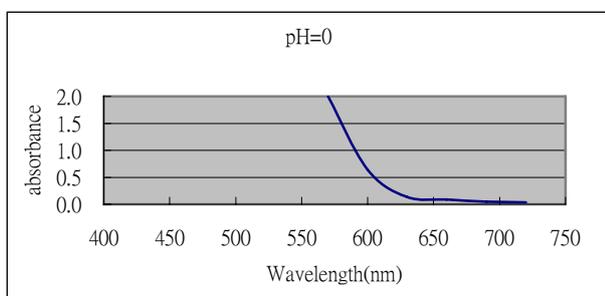
- (一)不同pH值下紫甘藍萃取液的可見光吸收光譜(absorption spectrum)及吸收度(absorbance , A) 【以下x者表分光光譜儀無法量測之值】

1. pH=0 (紅)

波長 (nm)	吸收峰波 長 (×)	420	450	480	510	540	570	600	630	660	690	720
吸収度 (A)	×	×	×	×	×	×	×	0.642	0.136	0.090	0.048	0.035

2. pH=2 (洋紅)

波長 (nm)	吸收峰波 長 (×)	420	450	480	510	540	570	600	630	660	690	720
吸収度 (A)	×	0.684	0.86	1.346	×	×	1.500	0.444	0.118	0.061	0.016	0.014

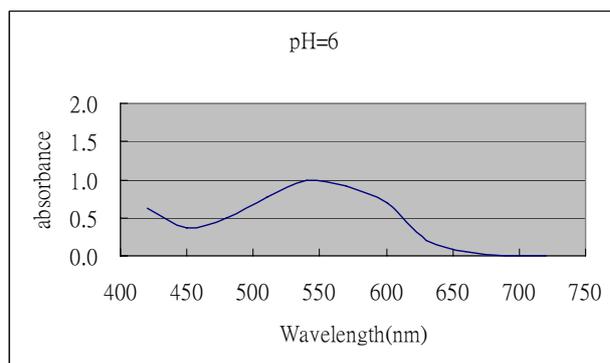
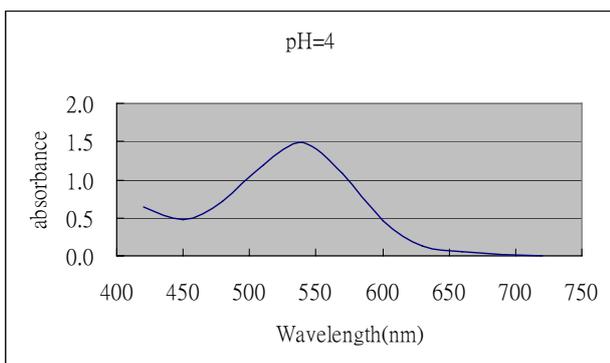


3. pH=4 (紫紅)

波長 (nm)	吸収峰波 長 (522)	420	450	480	510	540	570	600	630	660	690	720
吸収度 (A)	1.521	0.648	0.476	0.708	1.200	1.480	1.080	0.462	0.132	0.049	0.015	0.001

4. pH=6 (藍紫)

波長 (nm)	吸収峰波 長 (545)	420	450	480	510	540	570	600	630	660	690	720
吸収度 (A)	0.990	0.632	0.358	0.492	0.770	0.985	0.920	0.696	0.204	0.060	0.003	0.001

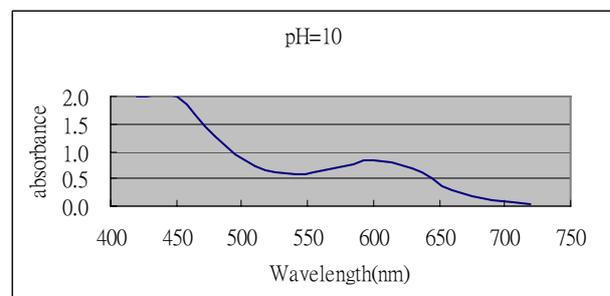
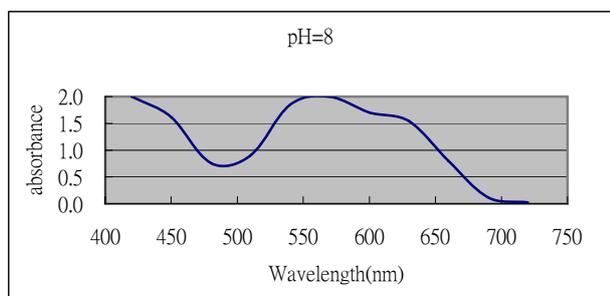


5. pH=8 (青綠)

波長 (nm)	吸收峰波長 (x)	420	450	480	510	540	570	600	630	660	690	720
吸收度 (A)	x	x	1.620	0.756	0.905	1.850	x	1.700	1.540	0.796	0.118	0.026

6. pH=10 (黃綠)

波長 (nm)	吸收峰波長 (x)	420	450	480	510	540	570	600	630	660	690	720
吸收度 (A)	x	x	x	1.290	0.716	0.584	0.702	0.845	0.702	0.301	0.099	0.049

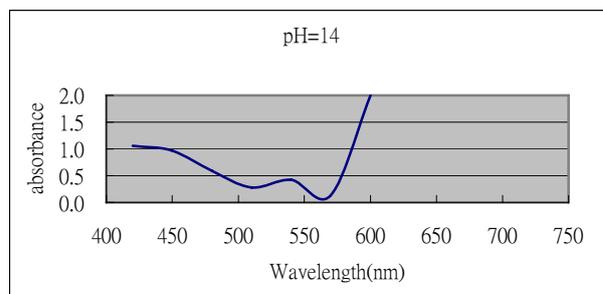
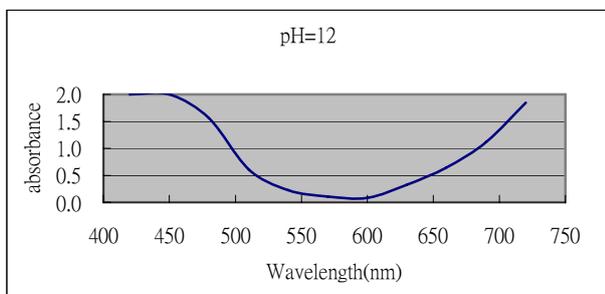


7. pH=12 (綠黃)

波長 (nm)	吸收峰波長 (x)	420	450	480	510	540	570	600	630	660	690	720
吸收度 (A)	x	x	x	1.56	0.608	0.223	0.109	0.084	0.323	0.644	1.121	1.847

8. pH=14 (黃)

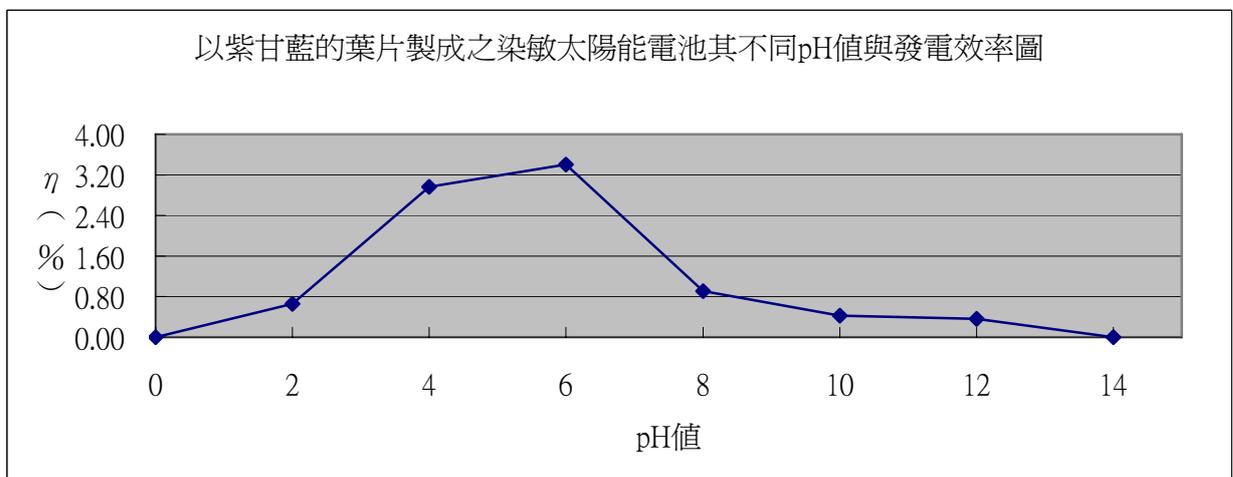
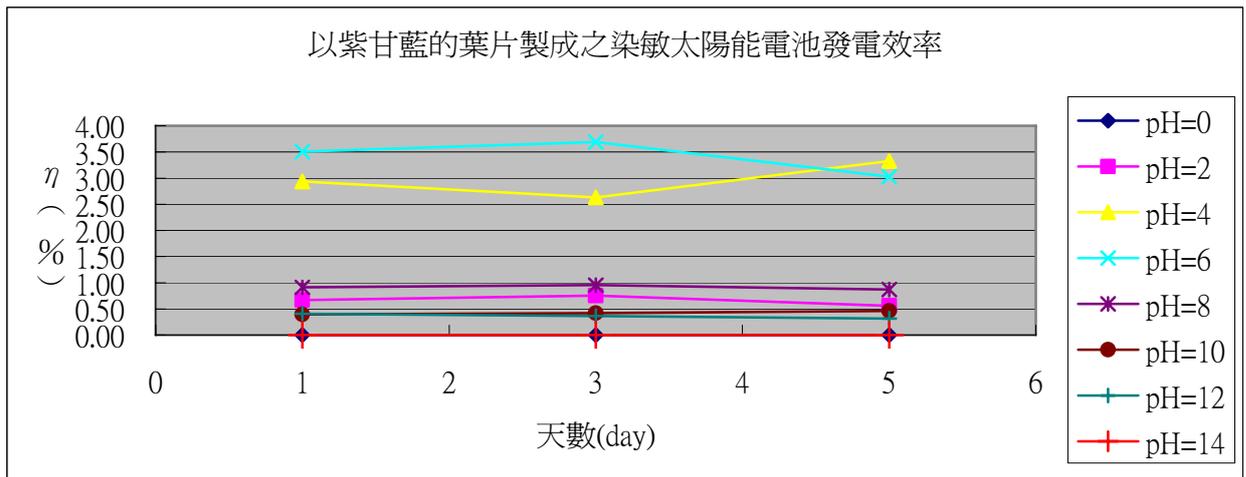
波長 (nm)	吸收峰波 長 (x)	420	450	480	510	540	570	600	630	660	690	720
吸收度 (A)	x	1.06	0.97	0.592	0.278	0.423	0.131	x	x	x	x	x



(二)以不同pH值下紫甘藍萃取液作為染劑，製成同規格之染敏太陽能電池量測其發電效率。

pH值	時間 (天)	Isc (mA/cm ²)	Voc (mV)	ff (%)	η (%)
0	1	0.4	10.6	1.3	0.00006
	3	1.2	22.5	0.9	0.00024
	5	0.8	11.3	0.8	0.00007
2	1	6.2	278.9	38.6	0.66746
	3	7.6	265.4	37.4	0.75437
	5	5.6	273.2	36.6	0.55995
4	1	13.4	532.1	41.2	2.93762
	3	12.2	531.6	40.6	2.63312
	5	15.2	529.8	41.3	3.32587
6	1	15.8	546.5	40.6	3.50569
	3	16.8	544.6	40.3	3.68716
	5	14.4	531.2	39.6	3.02911
8	1	6.2	480.6	30.6	0.91179
	3	6	491.6	32.3	0.95272
	5	5.8	479.1	31.2	0.86698
10	1	3.4	456.6	25.6	0.39742
	3	3.8	457.8	24.1	0.41925
	5	3.8	460.0	26.5	0.46322
12	1	5.2	321.3	24.5	0.40934
	3	4.6	341.2	23.3	0.36570
	5	4.2	340.9	21.9	0.31356
14	1	0.4	6.7	0.3	0.00001
	3	0.2	6.4	0.4	0.00001
	5	0.6	7.9	0.8	0.00004

※以上數據已經過誤差估計及統計分析



陸、討論

一、製作光敏染化太陽能電池基板

- (一) 根據文獻(美國化學教育雜誌Journal of Chemical Education)可利用 $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 加入金屬氧化物加熱反應形成摻有該金屬的 SnO_2 導電膜層。而摻有不同金屬將造成不同的電池內電阻。
- (二) 實驗結果明顯可以看出摻雜Sb的 SnO_2 導電膜電阻明顯低於摻雜Zn的 SnO_2 導電膜，雖然Sb的電導率(2.88×10^6 /(米歐姆))略低於Zn的電導率(16.6×10^6 /(米歐姆))，推測應為高溫燒結下的晶格結構所影響，導致摻雜Sb的 SnO_2 導電膜電阻較低，這一部分仍需進一步探討其結晶狀態的相互關係。
- (三) 另外有部分數據呈現誤差，推測應為利用毛細現象使液體充滿於玻璃的步驟時移動玻璃本體導致液體不均勻分佈或混入了空氣而造成電阻值的極大差異，基於統計原則已將在平均值 $\pm 50\%$ 以外數據刪去。

- (四) 實驗結果普遍呈現摻雜Zn的SnO₂導電膜在450°C、摻雜Sb的SnO₂導電膜在500°C左右有最小的電阻，推測其在該溫度下Zn、Sb與SnO₂能夠在導電性質上呈現最佳比例。
- (五) 會選擇這二項材料的原因是因為能階高低的不同也會造成TiO₂在傳遞電子給導電膜層的效率高低。在圖6-1可看到一些半導體的能階高低，其中與TiO₂能階相近的材料中選用了SnO₂、ZnO，不選擇Fe₂O₃的原因在於Fe₂O₃容易存有雜質難以定量，且難溶於甲醇溶劑，有可能在製成電池後還原出來造成電池顏色的變化而影響後面的實驗結果。

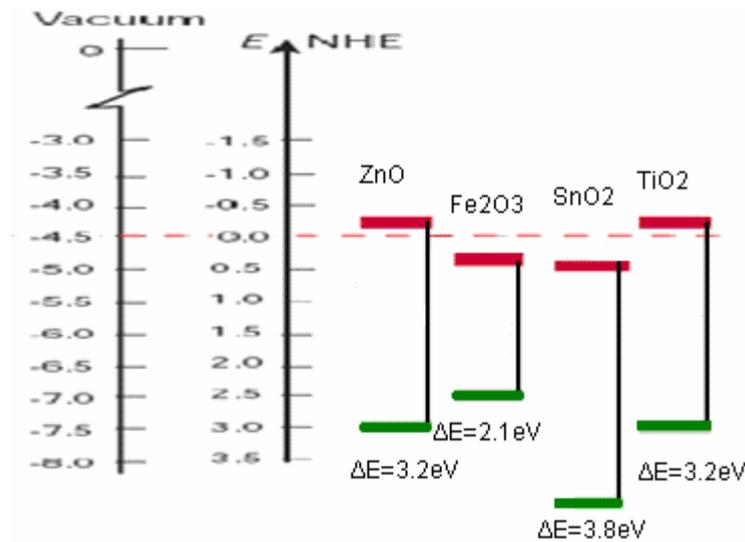
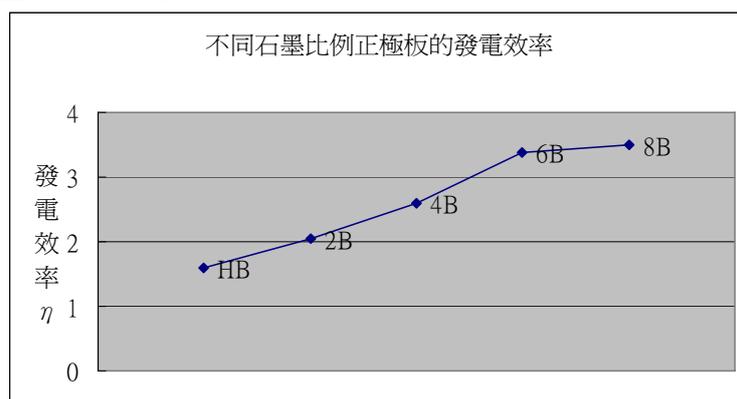


圖6-1 半導體能階

二、製作光敏染化太陽能電池正負極

- (一) 其他製作對電極(counter electrode)的方法是在導電玻璃沈積上白金薄膜，其主要功能為提供催化之作用。本實驗中改用鉛筆塗抹一層薄石墨層於玻璃導電面，此石墨層將作為三碘離子I₃⁻與碘離子I⁻氧化還原反應的催化劑。
- (二) 實驗發現(如下表)，含石墨量高的8B塗佈而成的正極板組裝的太陽能電池發電效率優於含石墨量低的HB，除6B的數據外可發現石墨含量與發電效率形成正向線性關係，推測在此不勻相催化反應中，扮演催化劑角色的石墨含量將會影響催化速率，而催化速率會影響到整體的電池發電效率。



三、非酸鹼指示劑植物染料（番茄、台灣柑橘、台灣欒樹）與酸鹼指示劑植物染料（紫甘藍）的綜合比較

(一)由番茄之果實萃取染料中主成分為茄紅素(Lycopene)亦屬於類胡蘿蔔素(Carotenoids)的一種(圖6-2)。由台灣柑橘之果實萃取染料主成分為類胡蘿蔔素。由台灣欒樹的樹葉萃取染料中主成分為葉綠素(Chlorophyll) (圖6-3)。由紫甘藍的葉片萃取染料主成分為花青素(Anthocyanins) (圖6-4)。

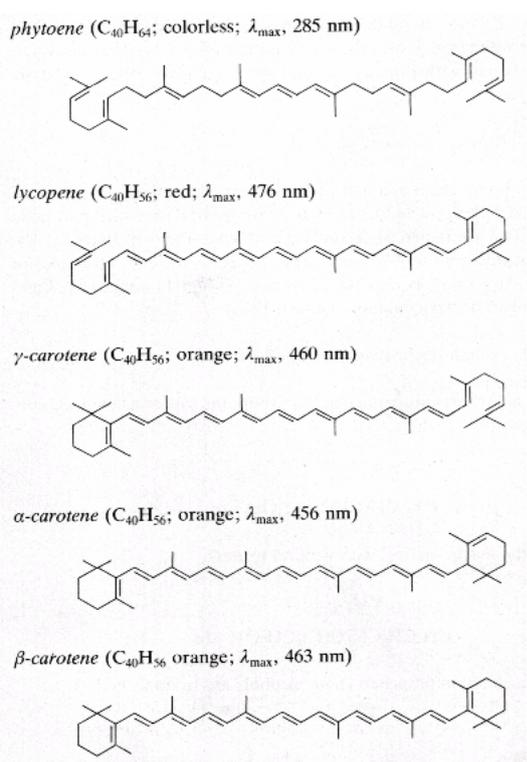


圖6-2 類胡蘿蔔素之結構

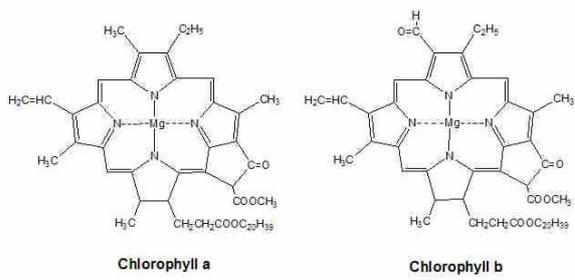
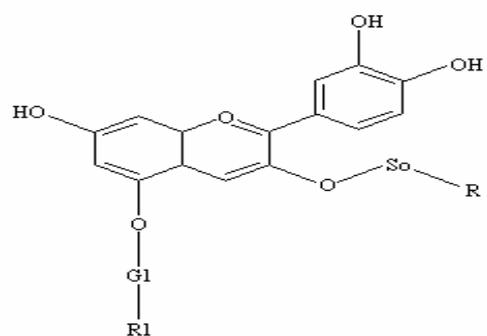


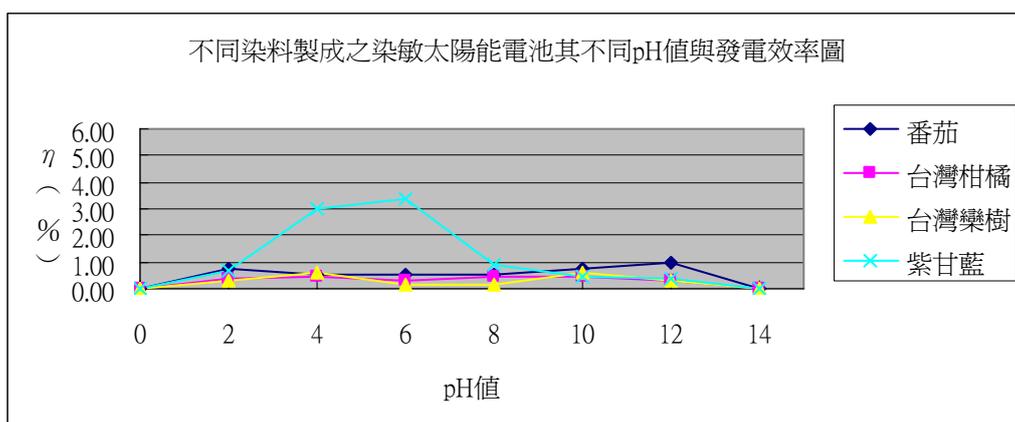
圖6-3 葉綠素a、b之結構



紫甘藍的色素 rubrobrassicine 為 anthocyanin 的配醣體，其中 So 為 sorbose 山梨糖；G1 為 glucose 葡萄糖

圖6-4 紫甘藍中花青素之結構

(二)因為實驗三中番茄的果實、台灣柑橘的果實、台灣欒樹的樹葉這些非酸鹼指示劑植物染料之萃取液的顏色不隨pH值的變化而產生太大程度的改變，故實驗三中以染料顏色為控制變因，以pH值為操縱變因，並做出四組對照組與實驗四紫甘藍萃取液相互比較。



(三) 實驗三中，發現酸性環境下及鹼性環境下所浸泡染料而組成的電池發電效率都比不處理的染料高。其中從原液pH值到酸鹼化處理後電池發電效率最大之pH值的電池發電效率增加幅度，番茄的果實及台灣柑橘的果實的較台灣欖樹的樹葉來的低（蕃茄從pH值=4~pH值=2的電池發電效率增加54.26%、從pH值=4~pH值=12的電池發電效率增加85.27%；柑橘從pH值=6~pH值=4的電池發電效率增加52.84%、從pH值=6~pH值=8的電池發電效率增加54.59%；欖樹從pH值=6~pH值=4的電池發電效率增加311.27%、從pH值=6~pH值=10的電池發電效率增加295.33%）推測因為欖樹有葉綠素，而葉綠素中含有酯基，可在鹼性環境下水解成酸（酸性環境也可，但效果較差，因尚可中和水解中生成的酸），而文獻中表示染料以羧基和二氧化鈦形成鍵結，如專業製程中常見的染料N3、N719、black dye（圖6-5）都含有多個羧基，推測因此酸性處理及鹼性處理都有較高的發電效率。但浸泡酸鹼化程度高的染料而組成的電池發電效率反而下降，推測是因高濃度的H⁺或OH⁻會破壞染料本身，但這一方面仍需再提出證據來支持。

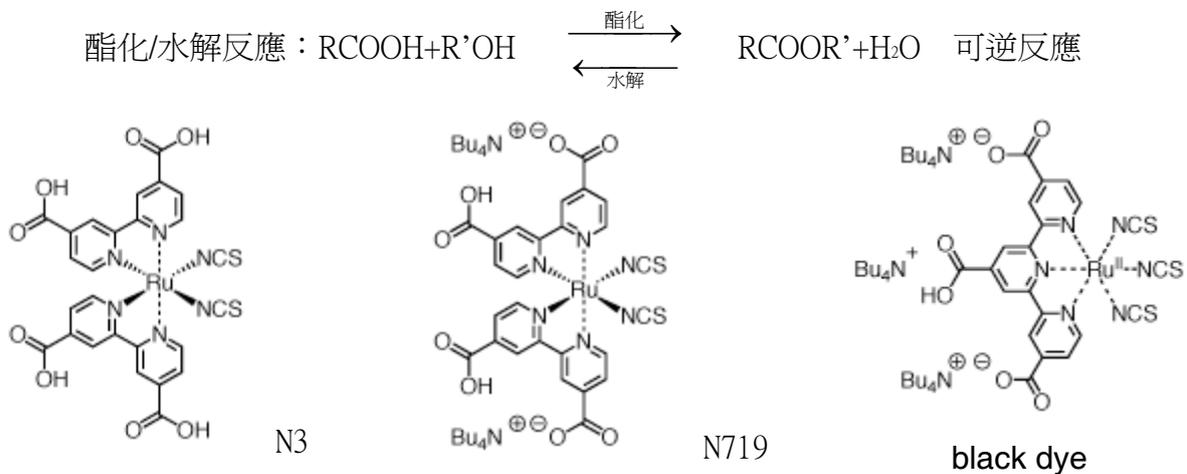
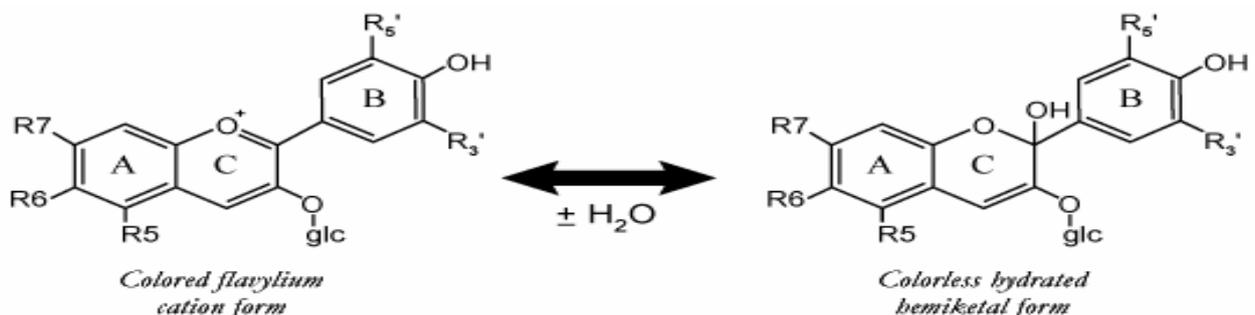


圖6-5 光敏染料的結構

(四) 實驗四中紫甘藍因為其顏色會隨pH值的不同而改變，故若將實驗三之酸鹼度對發光效率的影響程度變因加以修正，可修正出同一種物質（紫甘藍）中，顏色的改變對吸光效率的影響。許多存於花朵或葉子的植物色素如紅色、紫色、藍色，大都是因為含有花青素Anthocyanins（圖6-6）。而花青素隨酸鹼度不同呈現不同顏色，故實驗三中，在選擇材料的考量上避開含有這些特性的植物，避免增加顏色的變因。



(Bonillard et al., J. Am. Chem. Soc. 99:8461-8468, 1977)

圖6-6 花青素之結構

(五) 在不改變染料本身pH值下，發電效率由高而低為紫甘藍的葉片、番茄的果實、台灣柑橘的果實、台灣欒樹的樹葉，推測因日光能量約有一半分佈於可見光波長，而可見光波長中又以綠色波段（約500—565奈米）能量分佈最多（圖6-7），因此吸收波段落於靠綠色波段的染料有較高的吸光效率，即在光的混成關係中與綠色成補色的洋紅（紫）色。

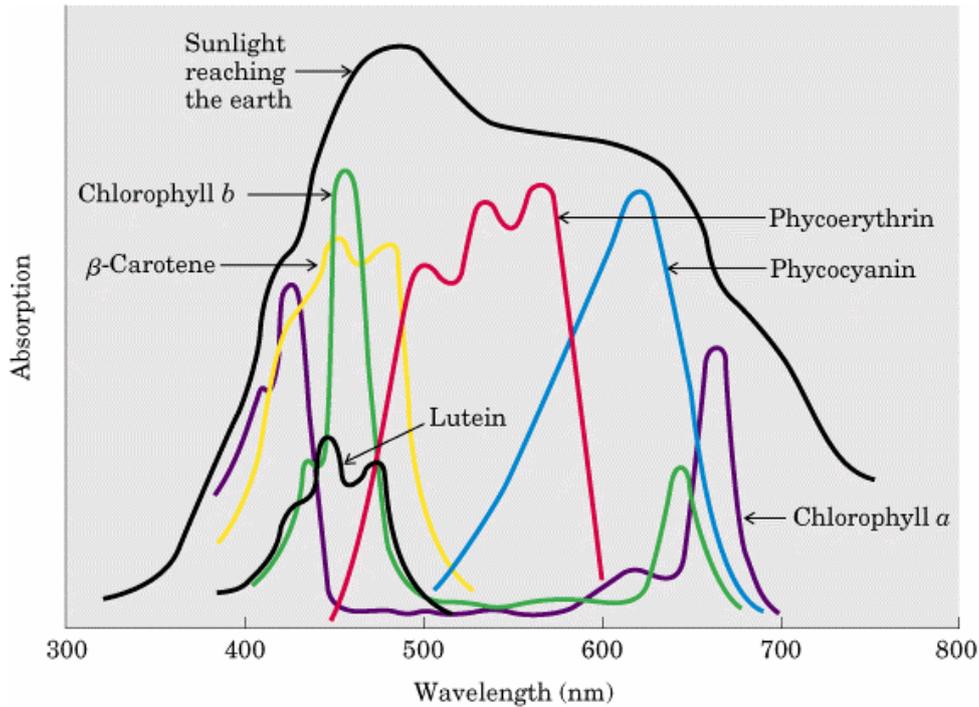


圖6-7 太陽輻射與些許光合色素的吸收光譜

- (六) 以鍵結來看，要有好的發電效率染料必須要與二氧化鈦有好的鍵結，由於茄紅素、類胡蘿蔔素、葉綠素皆為低極性物質，不易與極性較高的二氧化鈦形成鍵結，故發電效率相對於含高極性花青素之紫甘藍萃取液普遍不高。
- (七) 隨著製成電池時間愈長，發電效率也呈現減弱的關係，我們稱此關係為效率劣化。推測是因部分染料在加入電解液後溶於其中。觀察實驗數據得知以番茄的果實、台灣柑橘的果實、台灣欒樹的樹葉為染劑的電池較紫甘藍的葉片劣化程度高（因在極性低的染料填充因子都較低），推測是由於電解液是低極性的KI/I₂無水乙二醇溶液，造成低極性的染料容易溶解其中，造成效率偏低。又或者二氧化鈦在吸收部份紫外光波長的能量後展現其光觸媒的特性，進而分解了有機染料，這部分須設計實驗以證明之。

四、實驗方法設計及延伸方向的討論

- (一) 萃取植物染料方面，本實驗採用95%乙醇，在未來可採用極性更高的水或非極性的有機溶劑來萃取，藉此取得更純的植物染料。另外其他文獻在萃取紫甘藍色素的方法中，有用熱水煮紫甘藍葉片，但如此一來可能破壞其他未知的有機物造成定性的不便。
- (二) 目前在二氧化鈦中參雜部分金屬的研究很多，另一方面在磁性物質上包覆另一種物質的研究也正流行，如果能將此二者結合在一起，探討出染敏太陽能電池發電效率及磁性之間的關係，或許有更進一步的突破。
- (三) 燒結二氧化鈦部分採用溶膠凝膠法，在燒結的顆粒度大小及均勻度上皆未做定性的分析，在溫度方面會影響多孔性，這些控制變因若無法確實將會影響後面的結果，這些都是以後要再努力的部分。

(註) 溶膠凝膠法：溶膠凝膠是一種膠狀懸浮液，可藉由膠化作用得到固體。其產生的多孔性凝膠可藉由化學方法的純化以及高溫火燒，得到高純度的氧化物。溶膠凝膠法最主要的應用是在製作薄膜上——利用旋轉塗佈法、浸入塗佈法、噴霧法、電泳法、噴墨法、滾壓塗佈法等方法在基材表面產生薄膜。不僅能在玻璃、金屬上，也能在其他各式各樣的基質上生成光學鍍膜、保護用鍍膜、裝飾用鍍膜、以及製作電光材料。

- (四) 本實驗的主要目的是普及實驗，將製程簡化到不須高級器材就能製作的程度，以最低的成本來製作電池，以最高的效率來生產電力，未來在這兩方面的是著重的目標。
- (五) 運用經濟學公式推論出單一製作成本與發電效益的比例，對照以專業製程的比例差別，推論是否在長期或短期內本實驗產品的效能較好。

五、成品應用方向

- (一) 在石墨正極板部分，可設計成雙面電極板，組成一連串並聯電池以節省空間。(圖6-8)
- (二) 除並聯外，更可以將單位的太陽能電池互相疊加造成串聯的效果，藉此達成提升電壓的功能。(圖6-9)

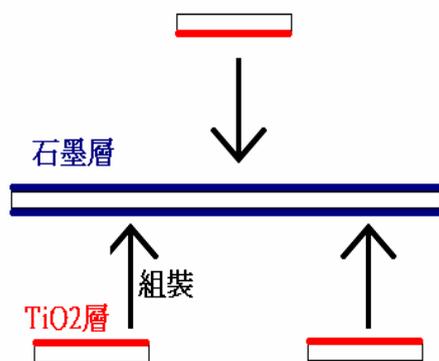


圖6-8、雙面電極板與並聯電池

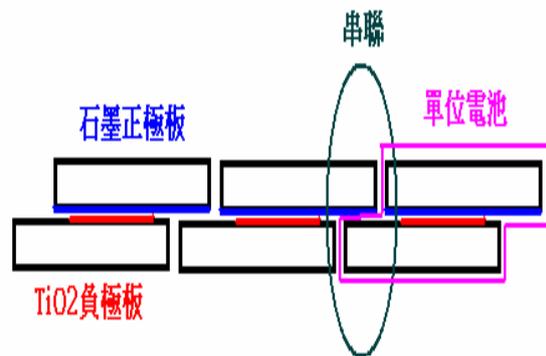


圖6-9、串聯電池

(三) 根據瑞利散射 (Rayleigh scattering)，線度小於光的波長的微粒對入射光的散射。瑞利散射光的強度是和 f^4 是正比例的，也就是說其頻率 f 的4次方：

$$I(\lambda)_{scattering} \propto \frac{I(\lambda)_{incident}}{\lambda^4}$$

其中 $I(\lambda)_{incident}$ 是入射光的光強分佈函數。透過瑞利散射可以解釋天空為什麼是藍色。光通過大氣層遇到空氣中的微粒會發生瑞利散射，因為藍光的頻率比紅光要高，因此散射發生的比較激烈。這就是為什麼白天天空是藍色的而日出日落時天空是紅色的。白天的時候，太陽在天空的高位，光只需要走很短的路程就可以通過大氣層。同時值得一提的是只有短波光，光譜範圍中的藍光被散射。天空是藍色的。這就是為什麼在月球上，因為沒有大氣層，所以天空在白天的時候也是黑的。

當太陽在天空的低位的時候，太陽光要走向對較長的路程通過大氣層。則反之會有大部分的高波光被散射，大部分的紅光被散射，人們看到的顏色也就相對偏紅。

根據此大氣性質可利用可撓屈性物質做成電極板，再根據當地緯度來設計出配合當地的太陽角度及不同時間的日光波長，搭配吸收峰不同的染料，或仿照植物在光合作用時會釋放出 H^+ 的特性來改變染料的顏色，如此便能在該時間吸收到較高能的光能，藉此產生較多的電量。

柒、結論

染敏太陽能電池 (DSSC) 的研究已不容忽視，尤其在邁向高油價的時代，替代能源的研發更是一項重要的課題。本實驗選用幾種台灣本土的植物，利用自製導電玻璃及電極進行染料顏色、酸鹼度與發電效率的探討。

在酸鹼度方面，普遍發現些微酸鹼化處理之染料比未處理的發電效率高，強烈酸鹼化處理則造成發電效率低落。將來可延伸探討酸鹼度對染料本質上的改變及改變後與二氧化鈦的鍵結強度，或是酸鹼度在電子傳輸過程是否造成影響。

在染料顏色方面，本實驗中紫色染料的發電效率可達3.69%，是未來選擇染料顏色時的一大考量。將來可挑選一系列紫色植物來探討其成分中較微量的物質與發電效率的探討，或許能有一大突破。

用更便宜的材料，更簡化的製程，更高的效率，更環保的精神來製作每一個太陽能電池，以期能在替代能源的發展上貢獻一份心力。

「如果利用地表陸地的 1%的面積來截取太陽能，再假設太陽能的轉換率是 10%的話，其所產生的瓦數，將是相等於我們目前全世界能源消耗量的兩倍。」

捌、參考資料

- 一、楊寶旺，高中物質科學化學篇（下），龍騰文化事業股份有限公司，2007
- 二、楊寶旺，化學（下），龍騰文化事業股份有限公司，2007
- 三、呂宗昕，圖解奈米科技與光觸媒，商周出版社，2003
- 四、臺灣二〇〇七年國際科學展覽會作品，天然植物色素與人工染料敏化之太陽能電池
- 五、維基百科，<http://zh.wikipedia.org>
- 六、第四十六屆中小學科學展覽會化學科作品，臺灣植物染與光敏有機太陽能電池
- 七、鄭湧涇、林金盾，選修生物〈上〉，康熹文化事業股份有限公司，2008
- 八、Greg P.Smestad，Solar Energy Materials and Solar Cells，P.OBOX 51038，Pacific Grove，CA93950
- 九、Michael Gratzel，Institute of Chemistry，Icp-2，Swiss Federal Institute of Technology，CH-1015，Lausanne，Switzerland
- 十、梁國淦，應用科學中心，染料敏化太陽能電池中之超快光致電子轉移過程
<http://www.sinica.edu.tw/as/advisory/journal/15-1/55-58.pdf>
- 十一、材料世界網，染料敏化型太陽能電池的發展和未來研究課題
<http://www.materialsnet.com.tw/DocView.aspx?id=6558>
- 十二、奈米科技研發中心，奈米辭典，<http://www.ntrc.itri.org.tw/dict/index.jsp>
- 十三、SOLARONIX，Products-Dye，
http://images.google.com/imgres?imgurl=http://www.solaronix.ch/products/dyes/ruthenium535bistba_structure.gif&imgrefurl=http://www.solaronix.ch/products/dyes/&h=110&w=90&sz=3&hl=zh-TW&start=29&um=1&tbnid=2KqalSQUgG3nBM:&tbnh=85&tbnw=70&prev=/images%3Fq%3DN719%26start%3D20%26ndsp%3D20%26um%3D1%26hl%3Dzh-TW%26lr%3Dlang_zh-TW%26rls%3Dcom.microsoft:zh-tw:IE-SearchBox%26rlz%3D1I7SUNA%26sa%3DN
- 十四、賴俊吉，國立台北科技大學有機高分子研究所，新型高效率染料敏化奈米TiO₂太陽能電池（DSSCs）之研究
http://www.che.nthu.edu.tw/nsc_polymer/nsc-polymer/image_report2003/POLYMER/NSC%2091-2216-E-027-001.pdf
- 十五、南台科技大學，再生能源應用之整合研發與人才培育，
http://www3.stut.edu.tw/project/renew/new%20energy/re_04_3.htm
- 十六、刁維光，國立交通大學太陽光電實驗室，
http://www0.nttu.edu.tw/cse/2007meeting/gstag/handout/02_.pdf

【評語】 040210

這是熱門的主題，與太陽能電池的自製相關。特別是自製導電玻璃，雖然導電效果不如商用之 ITO 等導電玻璃佳，但研究精神，克服困難的毅力，值得鼓勵。作品完整，特給予佳作之鼓勵。