

中華民國第 54 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 化學科

第二名

最佳創意獎

040211

青青紫「金」—染料敏化太陽能電池之效能分析

學校名稱：臺北市立第一女子高級中學

作者： 高二 吳欣芳 高二 許天鈞 高二 陳咨廷	指導老師： 江慧玉 張永佶
---	-----------------------------

關鍵詞：染敏電池、花青素色素、奈米金

摘要

近年來不斷探討能源議題，其中以太陽能源深具前景！在各式太陽能電池中，染料敏化太陽能電池具有成本低、透明、簡易等優點。本實驗採以改變染敏電池中的染料種類，並探討添加不同比例、酸鹼性之奈米金，發現紫色高麗菜汁不論在何種環境及混合比例下，皆有較為均等的效能表現，在花青素染料分子作為光敏化劑時的選擇上較為合適。實驗結果發現，酸性環境下的電池效能雖有提升，但是與奈米金的添加似乎沒有關係，而鹼性環境下，添加奈米金比例為 8/2 (染料/奈米金)者皆有較佳的電池效能，其中又以染料茄子汁的電池組其轉換效率可達 0.519%(測量面積 0.01cm^2)；我們進一步檢測 I-V 曲線發現，奈米金的存在能有效縮短分子能隙，提升染敏電池的開路電壓及光電轉換效率。

壹、研究動機

在高二上學期的化學課程中，第三章『化學與能源』介紹許多生活中常用的能源，由於環境資源逐漸枯竭，能源開發的成了我們當前需要努力的課題；此外，在第四章的『化學與化工』課程中，老師介紹奈米材料的性質與應用，這樣新穎的材料立即引起我們的興趣：

『若是將奈米物質運用在能源的開發設計，或許能夠減少資源的使用與浪費，同時提高能源的效能…』因此我們利用網路查詢有關染料敏化太陽能電池的相關資料，發現這正是我們想要探討的主題！由於在選修課程中曾使用作為酸鹼指示劑的紫色高麗菜汁，且也曾進行過奈米金的製作，因此我們將這兩項現成的物質結合在一起，以此為起點來進行染料敏化太陽能電池的研究。在本實驗中將著眼在同色系的不同染料種類、奈米金比例、酸鹼性以及混合染料的性質等因素進行研究、探討，希望能找出提升電池效能的最佳因素。

◆ 相關課程概念：

- 基礎化學(一) 第四章 常見的化學反應(酸鹼、氧化還原)
- 基礎化學(二) 第三章 化學與能源、第四章 化學與化工
- 選修化學(下) 第六章 氧化還原反應(電化學)
- 選修化學(下) 第八章 化學的應用與發展(先進科技)

貳、研究目的

- 一、選擇同色系之有機染料分子，混合奈米金溶液，觀察了解其吸收光譜之變化。
- 二、添加不同比例之奈米金溶液，探討染料敏化電池之輸出效能有無差異。
- 三、添加不同酸鹼性之奈米金，探討酸鹼性環境對染料敏化電池之輸出效能的影響。
- 四、組裝不同實驗條件之染敏電池，量測 I-V 曲線及其特性進行比較。
- 五、比較不同實驗條件之電池組合，比較其開路電壓、短路電流及轉換效率。

參、研究設備及器材

一、研究藥品或溶液

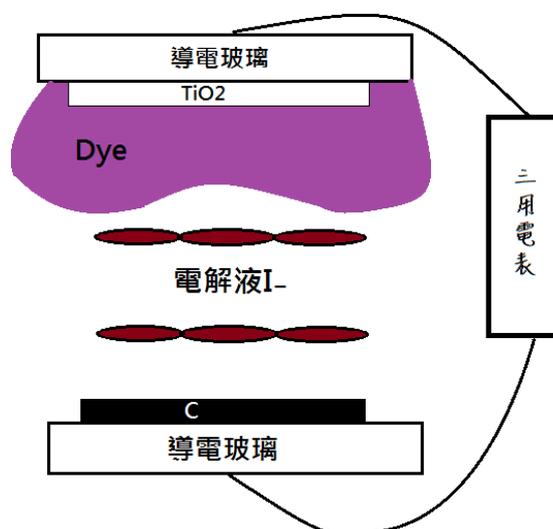
名稱	規格或數量	名稱	數量
紫色高麗菜	1 顆	二氧化鈦粉末(奈米級)	20 克
紫色茄子	2~3 條	碘液(市售品)	1 瓶
紫皮葡萄	8~10 顆	界面活性劑(清潔劑)	1 瓶
過氯金酸溶液	2.5 mM	乙醇	1 瓶
十六烷基三甲基溴化銨 (CTAB)溶液	75 mM	蒸餾水或去離子水	1 桶
氫氧化鈉溶液	1.0 M	奈米金溶液	1 瓶

二、研究設備與器材

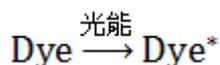
名稱	規格或數量	名稱	數量
ITO 導電玻璃	2cmx2cm(20 片)	蠟燭	1 支
載玻片	10 個	玻璃棒	數隻
三用電表	3 台	吹風機	2 隻
鱷魚夾電線	3 套	烘箱	1 台
粒徑分析儀	台大高分子研究所	燕尾夾	數個
I-V 曲線測量儀	師大工教系所	膠帶	2 捲

肆、研究過程或方法

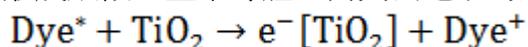
一、染料敏化太陽能電池的工作原理



(一) 染料分子(Dye)吸收光能後，由基態躍升至不穩定的激發態(Dye*)

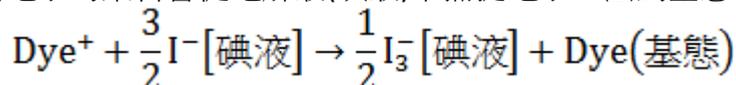


(二) 激發態染料分子(Dye*)將其激發電子注入二氧化鈦內，此時得到額外電子的二氧化鈦即形成類似 n 型半導體，而失去電子的染料分子則成為氧化型態(Dye⁺)。

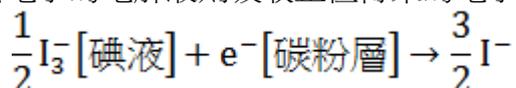


(三) 進入二氧化鈦的電子躍遷至傳導帶，且匯集於導電玻璃(負極)上，再經由外部迴路傳至塗有碳粉的另一塊導電玻璃(正極)，以構成電流。

(四) 失去電子的染料會從電解液(碘液)中捕捉電子，回到基態。



(五) 失去電子的電解液則吸收正極傳來的電子，如此便形成一穩定循環電路。



二、基礎原型染料敏化太陽能電池之製作：

(一) 正極：表面覆蓋碳粉之導電玻璃

1. 取出一片 ITO 導電玻璃，使用三用電表確定其導電面。
2. 使用蠟燭燻黑 ITO 導電玻璃之導電表面，使其表面覆蓋著上一層薄碳，以作為太陽能電池之正極材料(圖一)

(二) 負極：染料敏化二氧化鈦薄膜片

1. 製作二氧化鈦薄膜片：

- (1) 精稱 11.5 克的二氧化鈦奈米晶粉置入乾淨的燒杯中，於杯內加入少量去離子水充分攪拌，並滴入兩滴界面活性劑後調和均勻成膏狀(圖二)。
- (2) 使用三用電表確定 ITO 導電玻璃之導電面，再以透明膠帶固定導電玻璃於桌面。
- (3) 使用玻璃棒沾取二氧化鈦膏狀物，將其塗覆在 ITO 導電玻璃上。
- (4) 另外取一片載玻片，使用透明膠帶封住其中一邊，使之成為「頓邊」，沿著載玻片「頓邊」輕輕刮勻導電玻璃上的二氧化鈦糊狀物(圖三、四)。
- (5) 使二氧化鈦塗佈層稍稍凝固，再拆掉固定導電玻璃的膠帶，使用吹風機冷風吹乾後，再置入 80°C 的烘箱中 10 分鐘，使其乾燥貼附，形成二氧化鈦薄膜片。



圖一



圖二



圖三



圖四

2. 製作染料汁液：紫色高麗菜汁

- (1) 將新鮮的紫色高麗菜切成細碎的片段。
 - (2) 稱取 20 克的菜片碎塊置入燒杯中，倒入 100 mL、60°C 的溫水，使用玻璃棒、湯匙充分搗碎紫高麗菜碎塊，將其汁液擠壓滲出(圖五~七)。
3. 將二氧化鈦薄膜片完全浸泡至紫高麗菜汁中約 20 分鐘(圖八)，之後取出完成電池

負極材料。



圖五



圖六



圖七



圖八

(三) 電池組裝：

1. 在電池負極材料上滴加 2~3 滴市售碘液，再將正、負電極材料疊合在一起、固定，即完成基礎原型染料敏化太陽能電池(圖九、十)。
2. 使用三用電表連接太陽能電池之正、負電極，測量其電壓數值變化(圖十一)。



圖九



圖十



圖十一

三、 改變電池中的染料種類

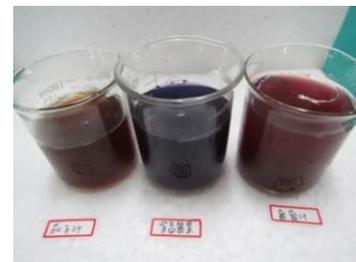
- (一) 為比較染料種類對於電池輸出效率的影響，我們決定先以同色系之染料進行比較。
- (二) 我們選擇與高麗菜同為紫色系列的茄子以及葡萄，進行實驗組操作(圖十二)。

1. 製作染料汁液：茄子皮汁

- (1) 將紫色茄子削下外皮，稱取 20 克外皮置入燒杯中。
- (2) 再倒入 100 mL、60°C 的溫水，使用玻璃棒、湯匙充分搗碎茄子皮碎塊，將其汁液擠壓滲出。
- (3) 待外皮碎屑幾乎完全褪色，茄子皮汁液製備完成。

2. 製作染料汁液：葡萄皮汁

依上述同樣方法，製作出葡萄皮汁液。



圖十二

- (三) 我們以手動調整波長型的分光光度計，測量染料在該波長下的吸收數值，將數值進行繪圖，以了解其吸收光譜之曲線。

四、 製備鹼性環境與酸性環境的奈米金溶液

(一) 鹼性環境：

1. 配製 75mM CTAB(十六烷基三甲基溴化銨)、2.5 mM 過氯金酸溶液以及 1.0 M 氫氧化鈉溶液
2. 將 CTAB : HAuCl₄ : C₂H₅OH : NaOH_(aq) 體積比例為 10 : 3 : 2 : 2 進行混合，溶液顏色從無色逐漸轉變成黑色，再轉變至暗紅色，得到鹼性環境下的奈米金溶液。

(二) 酸性環境：

1. 將 2.5 mM、20 mL 的過氯酸金溶液及 75mM、30 mL 的 CTAB 溶液均勻混合，緩緩加熱至沸騰。

- 上述溶液沸騰時，立即加入 1.0%、2.0 mL 的檸檬酸鈉溶液，並持續加熱約 10 分鐘，可見溶液先變黑色再轉呈暗紅色，奈米金溶液製備完成。

五、添加奈米金(Gold nanoparticles，以下簡寫為 g)溶液

(一) 以三種不同有機染料為基底，將奈米金溶液依不同比例添加至染料溶液中，分別配製成五種比例的混合染料。

(二) 以紫色高麗菜汁來說明：

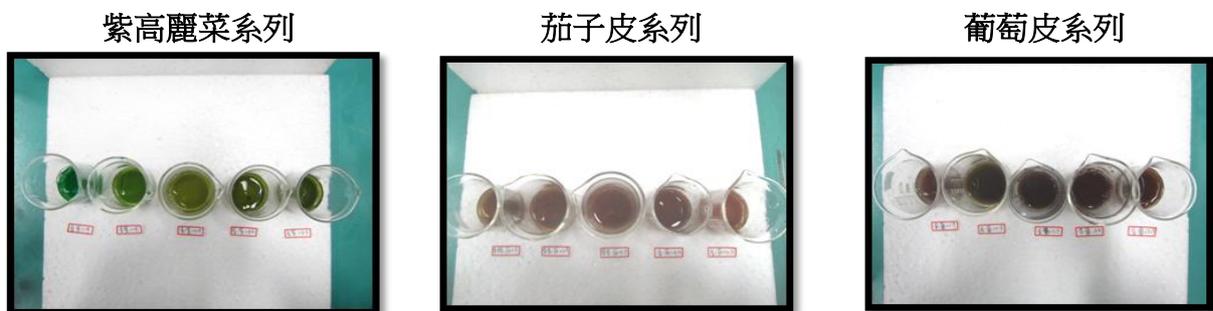
- 取用步驟二-(二)-2 所製備完成的紫高麗菜汁，使用 10 mL 規格的量筒，先置入 9.0mL 的紫高麗菜汁，再加入 1.0mL 的奈米金溶液，使兩者從接觸界面開始混合，並記錄其顏色變化。
- 同上述步驟，改變染料/奈米金之比例為 8/2、7/3、6/4、5/5 等同體積之混合染料，並標示編號以區別之。

(三) 茄子皮汁與葡萄皮汁的作法同紫高麗菜汁，重複操作配製各種混合染料(圖十三)。

(四) 上述混合染料的組成與比例如下表表一所示：

表一

染料/奈米金	紫高麗菜系列	茄子皮系列	葡萄皮系列
9 : 1	標示編號為 C-9/1-g	標示編號為 E-9/1-g	標示編號為 G-9/1-g
8 : 2	標示編號為 C-8/2-g	標示編號為 E-8/2-g	標示編號為 G-8/2-g
7 : 3	標示編號為 C-7/3-g	標示編號為 E-7/3-g	標示編號為 G-7/3-g
6 : 4	標示編號為 C-6/4-g	標示編號為 E-6/4-g	標示編號為 G-6/4-g
5 : 5	標示編號為 C-5/5-g	標示編號為 E-5/5-g	標示編號為 G-5/5-g

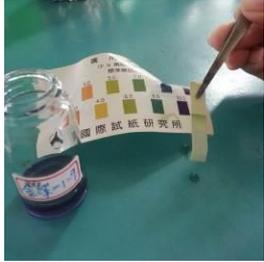
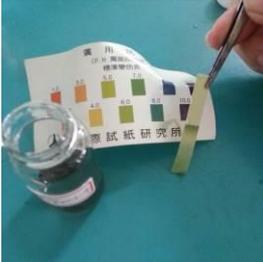
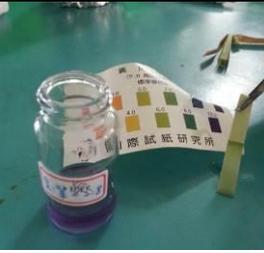
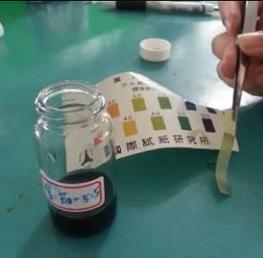


圖十三 (由左至右染料與奈米金之比例依序為 9 : 1、8 : 2、3 : 7、4 : 6、5 : 5)

(五) 從上述不同比例之混合染料，選出顏色差異較大者作為實驗比較之標準，如表二：

表二

染料/奈米金	紫高麗菜系列	茄子皮系列	葡萄皮系列
9 : 1	C-9/1-g-酸	E-9/1-g-酸	G-9/1-g-酸
	C-9/1-g-鹼	E-9/1-g-鹼	G-9/1-g-鹼
8 : 2	C-8/2-g-酸	E-8/2-g-酸	G-8/2-g-酸
	C-8/2-g-鹼	E-8/2-g-鹼	G-8/2-g-鹼
5 : 5	C-5/5-g-酸	E-5/5-g-酸	G-5/5-g-酸
	C-5/5-g-鹼	E-5/5-g-鹼	G-5/5-g-鹼

<p>C-9/1-g-酸</p> 	<p>E-9/1-g-酸</p> 	<p>G-9/1-g-酸</p> 
<p>C-8/2-g-酸</p> 	<p>E-8/2-g-酸</p> 	<p>G-8/2-g-酸</p> 
<p>C-5/5-g-酸</p> 	<p>E-5/5-g-酸</p> 	<p>G-5/5-g-酸</p> 

<p>C-9/1-g-鹼</p> 	<p>E-9/1-g-鹼</p> 	<p>G-9/1-g-鹼</p> 
<p>C-8/2-g-鹼</p> 	<p>E-8/2-g-鹼</p> 	<p>G-8/2-g-鹼</p> 
<p>C-5/5-g-鹼</p> 	<p>E-5/5-g-鹼</p> 	<p>G-5/5-g-鹼</p> 

六、混合染料之粒徑分析

- (一) 選擇電池性能表現較佳的鹼性環境混合染料進行粒徑分析探討。
- (二) 將所欲測定之混合染料以去離子水進行稀釋，使之呈現接近無色透明狀態。
- (三) 將稀釋溶液過濾掉雜質，再裝入石英試驗瓶中，以粒徑分析儀[90Plus/BI-MAS]掃描溶液樣品，設定時間總共為 100 秒，且每 10 秒記錄一次影像，收集資料以了解其顆粒大小分布。

七、組裝實驗組之染料敏化太陽能電池

- (一) 將 18 種不同條件比例之混合染料取代原型中的紫高麗菜汁，並將其組裝成完整的染敏電池，進行電壓、電流及效率之測定。
 1. 正極：表面覆蓋碳粉之導電玻璃，製作過程如步驟二-(一)
 2. 負極：染料敏化二氧化鈦薄膜片，製作過程如步驟二-(二)，但是改變染料為不同比例之混合染料。
 3. 不同混合染料之 18 組染料敏化太陽能電池，如圖十三。



圖十三 酸性組、鹼性組電池

(二) 實驗室中檢測染敏電池的電壓輸出：

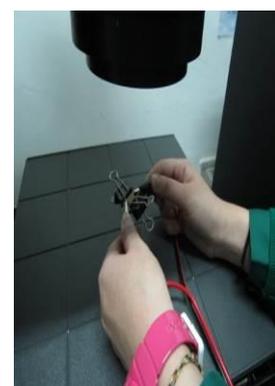
1. 使用三用電表量測18組電池的電壓輸出趨勢。
2. 將電池分成酸性組(9個)及鹼性組(9個)，以室外太陽光為光源，量測我們自己組裝的電池之電壓輸出變化。
3. 每個電池量測時間約 10 分鐘，紀錄電壓變化數據進行分析探討。
4. 依據上述實驗的結果，選擇性能表現較佳的電池組，再以白光手電筒、綠光手電筒重複操作，紀錄實驗數據。

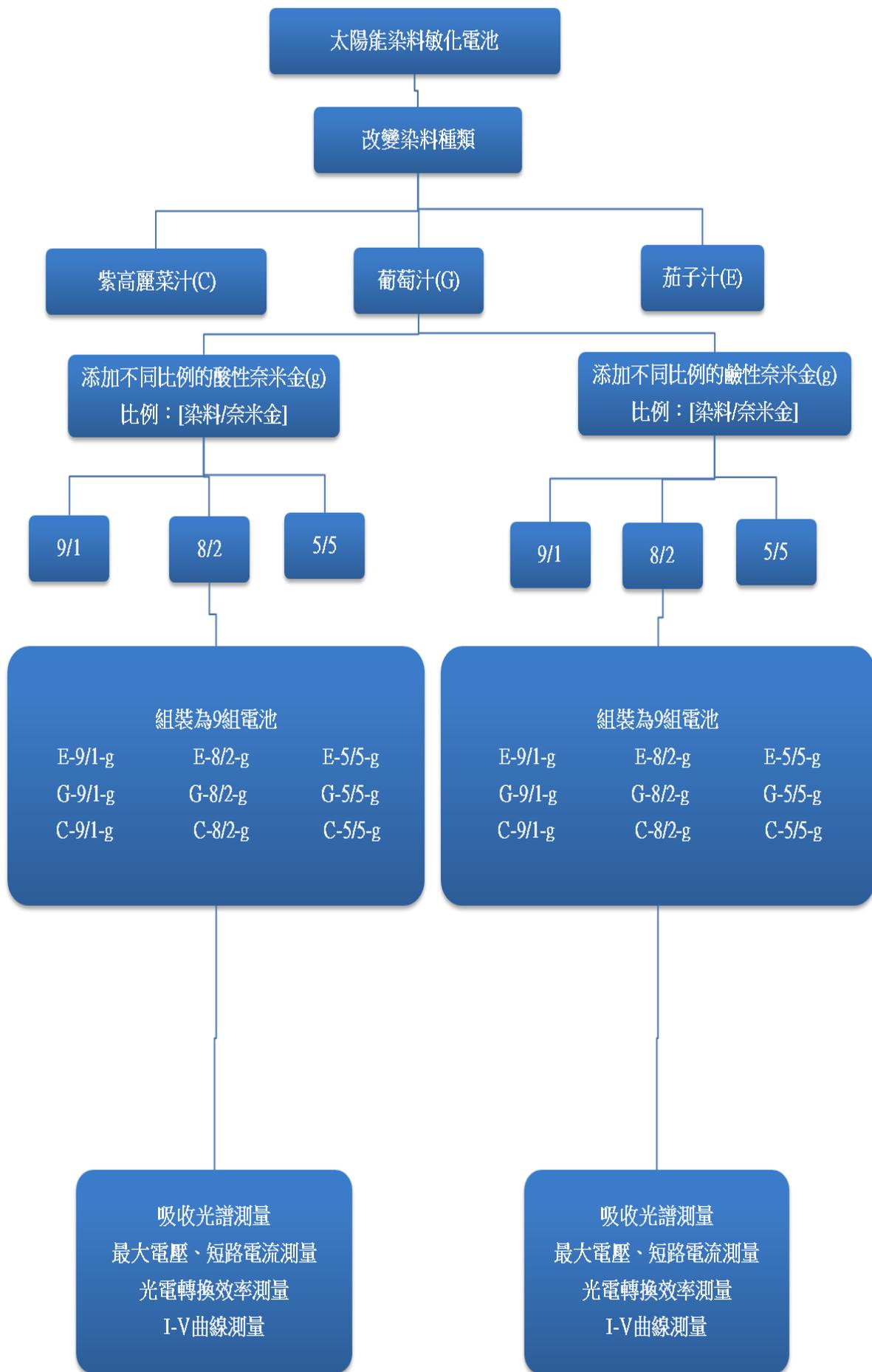


圖十四

(三) 進行染敏電池的 I-V 曲線測量：

1. 使用太陽能電池 I-V Curve 特性曲線量測及 Class 3A 太陽光模擬器系統，作為實驗器材(圖十四)
2. 調整模擬太陽光的功率為 100 mW/cm^2 ，設定 I-V 曲線量測系統的電流為 1.2 A，DevArea 設定為 0.01 cm^2
3. 將所欲測量的染敏太陽能電池置於載台上；打開模擬光源，關上室內燈光，開始測量，等待 IV Curve Graph 出現，分別儲存九組數據資料。

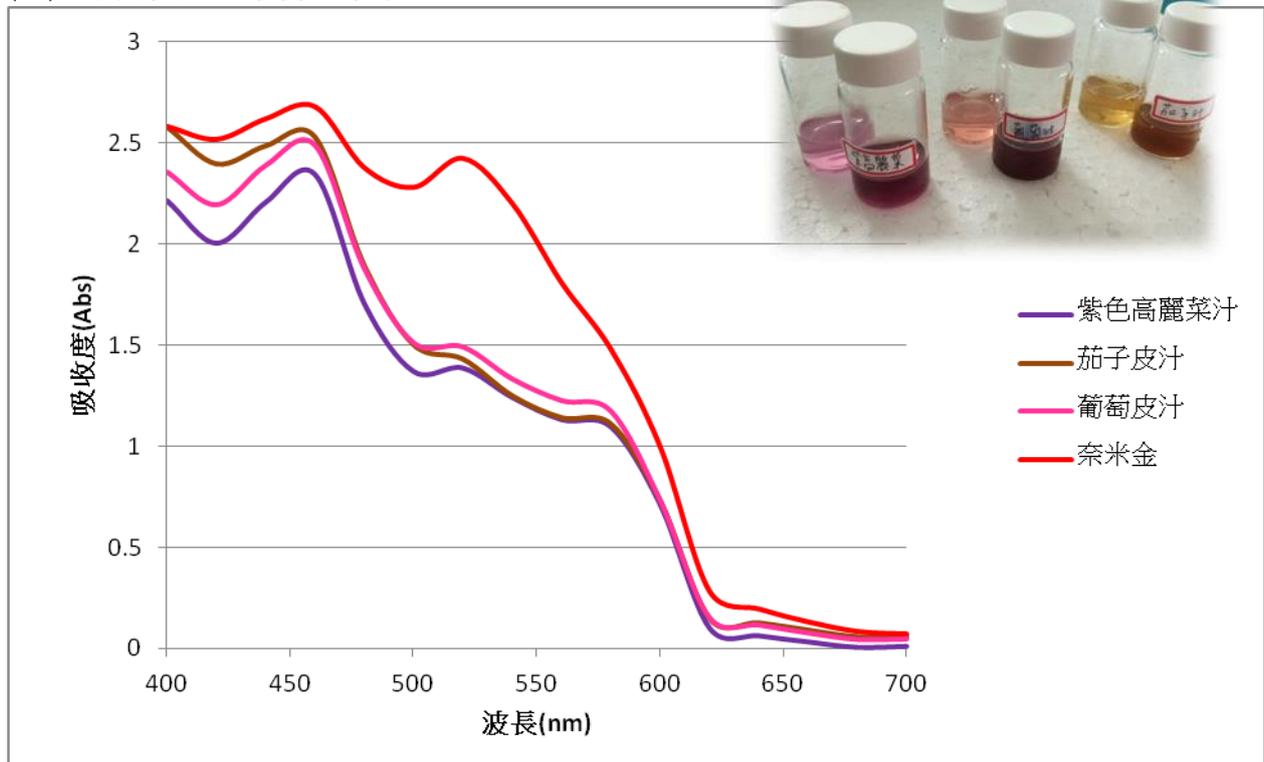




伍、研究結果

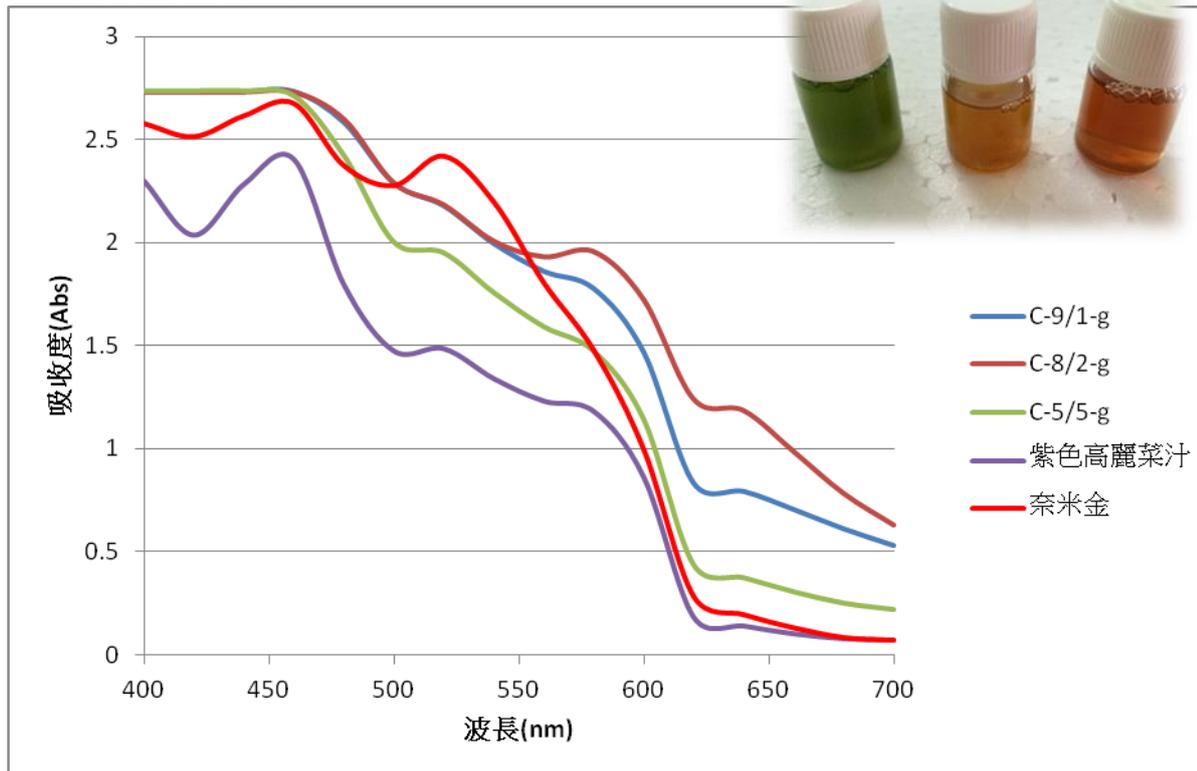
一、吸收光譜之測定

(一) 不同種類之染料、奈米金

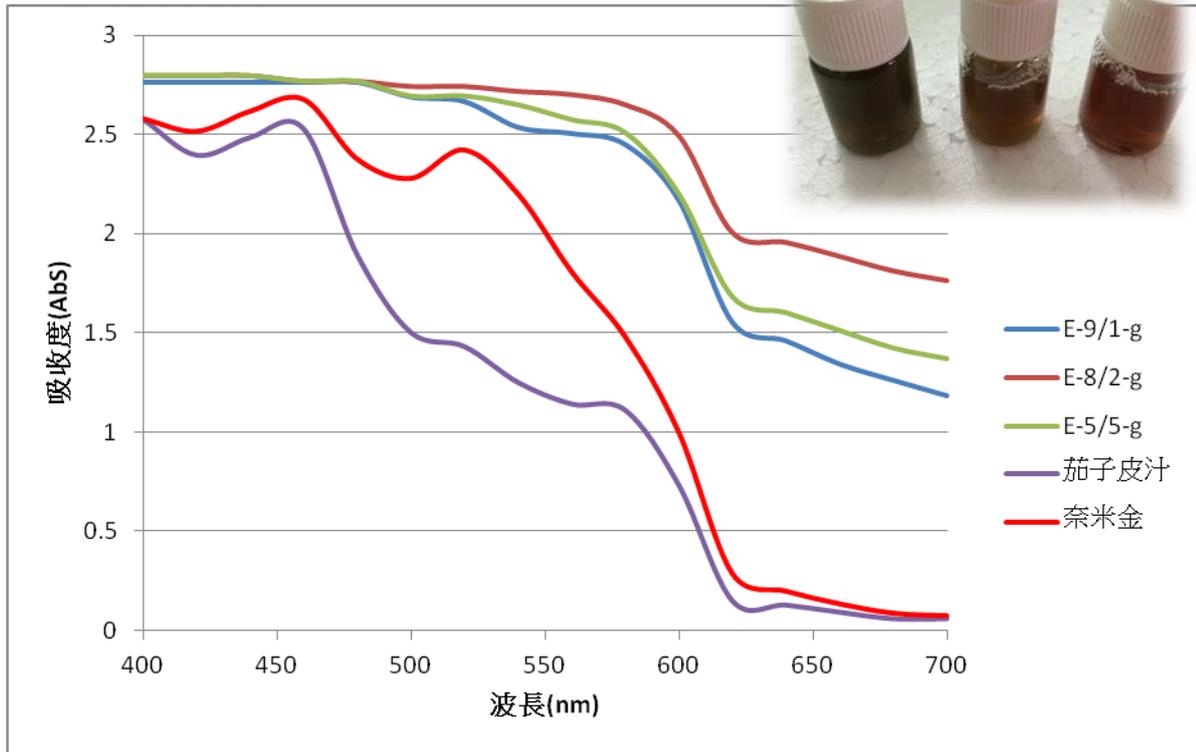


(二) 不同種類之染料混合奈米金

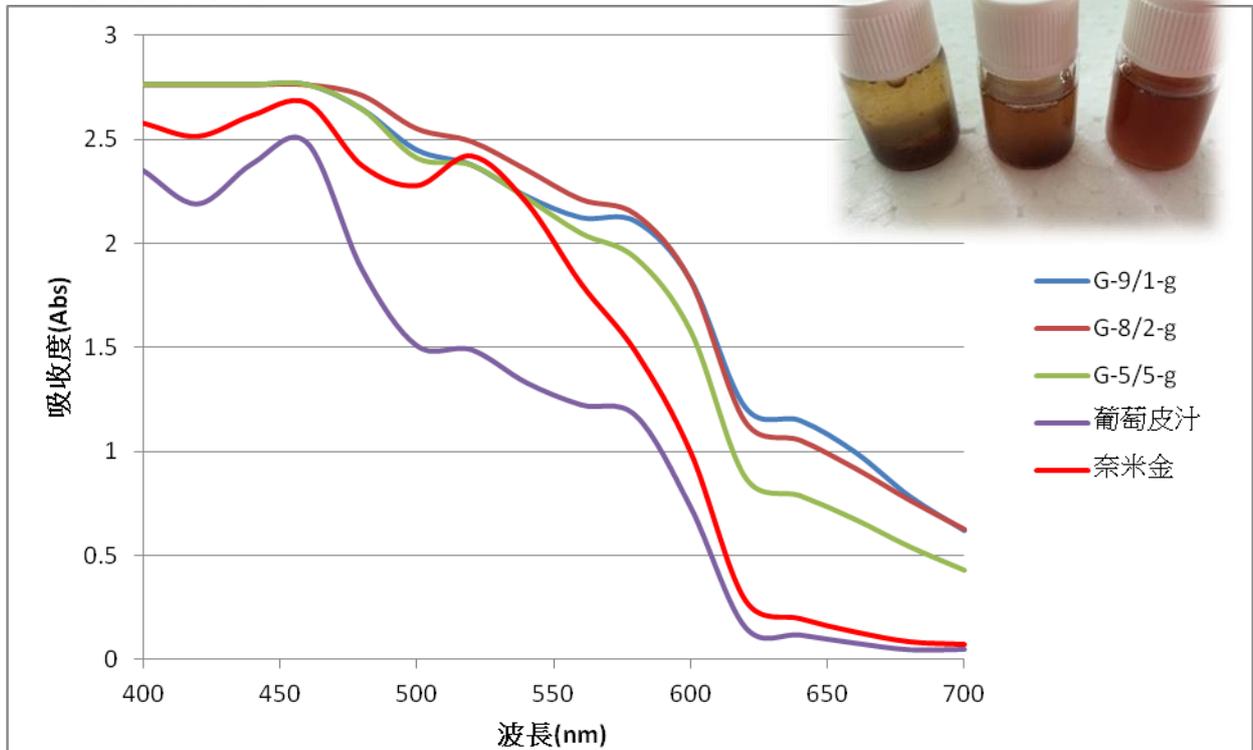
1. 紫高麗菜汁系列



2. 茄子皮汁系列

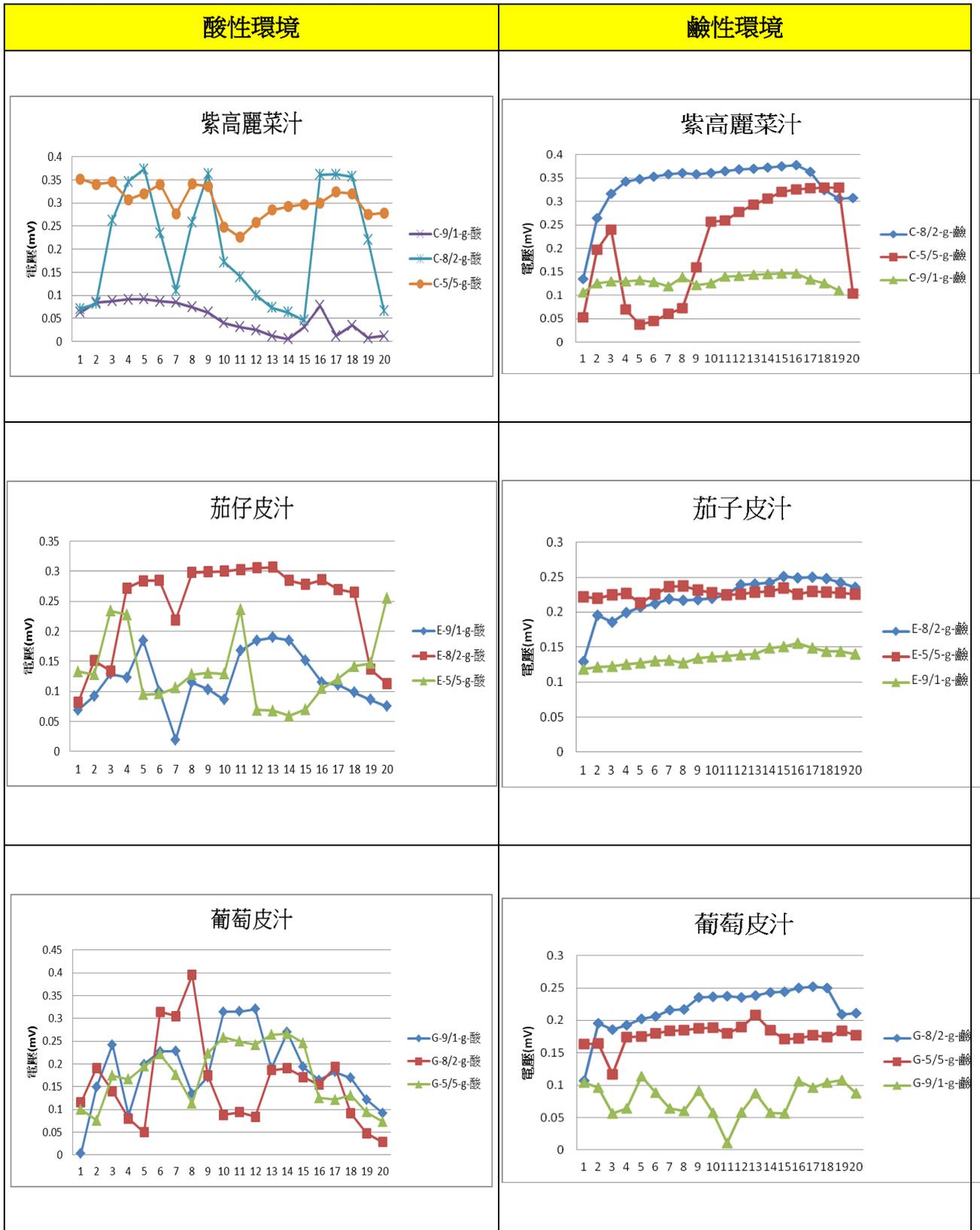


3. 葡萄皮汁系列



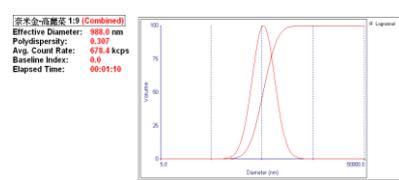
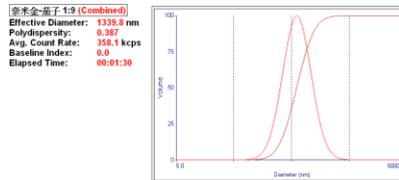
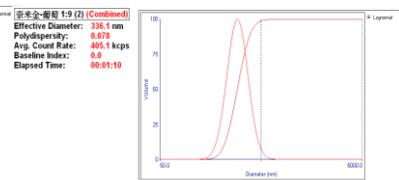
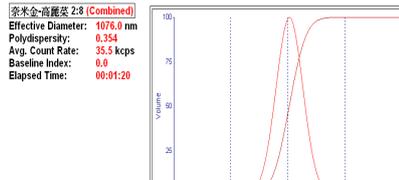
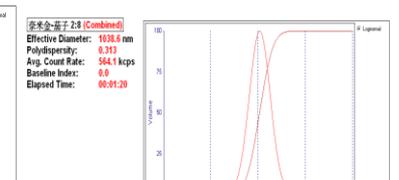
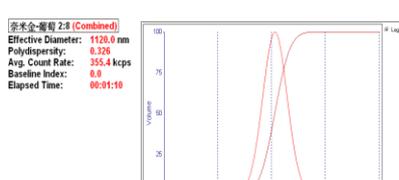
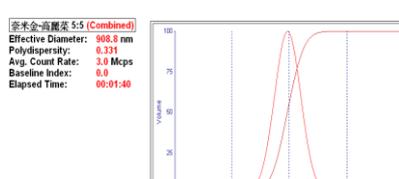
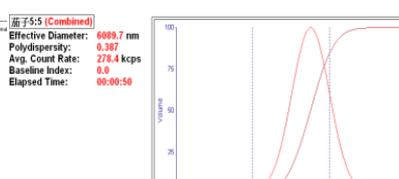
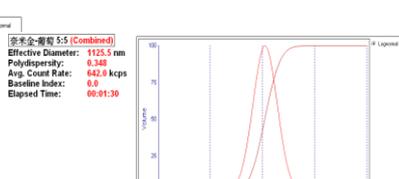
小結：混合染料溶液的吸光度皆有明顯增加，且均以《染料/奈米金》=8/2 者增加幅度較大

二、實驗室中量測電池的電壓輸出：



小結：酸性組電池的電壓輸出非常不穩定，鹼性組電池的電壓輸出較具穩定及規律性，且以《染料/奈米金》=8/2 者其電壓值較大

三、鹼性環境混合染料的粒徑分析：

C-9/1-g-鹼	E-9/1-g-鹼	G-9/1-g-鹼																																																																											
 <p>奈米金-海藍亮 1:9 (Combined) Effective Diameter: 988.0 nm Polydispersity: 0.387 Avg. Count Rate: 678.4 kcps Baseline Index: 0.0 Elapsed Time: 00:01:10</p> <table border="1" data-bbox="159 560 558 649"> <thead> <tr> <th>Run</th> <th>Eff. Diam. (nm)</th> <th>Half Width (nm)</th> <th>Polydispersity</th> <th>Baseline Index</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>988.0</td> <td>100.0</td> <td>0.387</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Mean</td> <td>988.0</td> <td>100.0</td> <td>0.387</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Std. Dev.</td> <td>988.0</td> <td>100.0</td> <td>0.387</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Combined</td> <td>988.0</td> <td>100.0</td> <td>0.387</td> <td>0.0</td> </tr> </tbody> </table>	Run	Eff. Diam. (nm)	Half Width (nm)	Polydispersity	Baseline Index	1	988.0	100.0	0.387	0.0	Mean	988.0	100.0	0.387	0.0	Std. Dev.	988.0	100.0	0.387	0.0	Combined	988.0	100.0	0.387	0.0	 <p>奈米金-硝子 1:9 (Combined) Effective Diameter: 1339.8 nm Polydispersity: 0.387 Avg. Count Rate: 358.1 kcps Baseline Index: 0.0 Elapsed Time: 00:01:30</p> <table border="1" data-bbox="590 560 989 649"> <thead> <tr> <th>Run</th> <th>Eff. Diam. (nm)</th> <th>Half Width (nm)</th> <th>Polydispersity</th> <th>Baseline Index</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1339.8</td> <td>100.0</td> <td>0.387</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Mean</td> <td>1339.8</td> <td>100.0</td> <td>0.387</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Std. Dev.</td> <td>1339.8</td> <td>100.0</td> <td>0.387</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Combined</td> <td>1339.8</td> <td>100.0</td> <td>0.387</td> <td>0.0</td> </tr> </tbody> </table>	Run	Eff. Diam. (nm)	Half Width (nm)	Polydispersity	Baseline Index	1	1339.8	100.0	0.387	0.0	Mean	1339.8	100.0	0.387	0.0	Std. Dev.	1339.8	100.0	0.387	0.0	Combined	1339.8	100.0	0.387	0.0	 <p>奈米金-葡萄 1:9 (G) (Combined) Effective Diameter: 336.1 nm Polydispersity: 0.078 Avg. Count Rate: 405.1 kcps Baseline Index: 0.0 Elapsed Time: 00:01:10</p> <table border="1" data-bbox="1021 560 1420 649"> <thead> <tr> <th>Run</th> <th>Eff. Diam. (nm)</th> <th>Half Width (nm)</th> <th>Polydispersity</th> <th>Baseline Index</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>336.1</td> <td>100.0</td> <td>0.078</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Mean</td> <td>336.1</td> <td>100.0</td> <td>0.078</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Std. Dev.</td> <td>336.1</td> <td>100.0</td> <td>0.078</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Combined</td> <td>336.1</td> <td>100.0</td> <td>0.078</td> <td>0.0</td> </tr> </tbody> </table>	Run	Eff. Diam. (nm)	Half Width (nm)	Polydispersity	Baseline Index	1	336.1	100.0	0.078	0.0	Mean	336.1	100.0	0.078	0.0	Std. Dev.	336.1	100.0	0.078	0.0	Combined	336.1	100.0	0.078	0.0
Run	Eff. Diam. (nm)	Half Width (nm)	Polydispersity	Baseline Index																																																																									
1	988.0	100.0	0.387	0.0																																																																									
Mean	988.0	100.0	0.387	0.0																																																																									
Std. Dev.	988.0	100.0	0.387	0.0																																																																									
Combined	988.0	100.0	0.387	0.0																																																																									
Run	Eff. Diam. (nm)	Half Width (nm)	Polydispersity	Baseline Index																																																																									
1	1339.8	100.0	0.387	0.0																																																																									
Mean	1339.8	100.0	0.387	0.0																																																																									
Std. Dev.	1339.8	100.0	0.387	0.0																																																																									
Combined	1339.8	100.0	0.387	0.0																																																																									
Run	Eff. Diam. (nm)	Half Width (nm)	Polydispersity	Baseline Index																																																																									
1	336.1	100.0	0.078	0.0																																																																									
Mean	336.1	100.0	0.078	0.0																																																																									
Std. Dev.	336.1	100.0	0.078	0.0																																																																									
Combined	336.1	100.0	0.078	0.0																																																																									
平均粒徑：988 nm	平均粒徑：1339.8 nm	平均粒徑：336.1 nm																																																																											
C-8/2-g-鹼	E-8/2-g-鹼	G-8/2-g-鹼																																																																											
 <p>奈米金-海藍亮 2:8 (Combined) Effective Diameter: 1076.0 nm Polydispersity: 0.354 Avg. Count Rate: 35.5 kcps Baseline Index: 0.0 Elapsed Time: 00:01:20</p> <table border="1" data-bbox="159 1120 558 1209"> <thead> <tr> <th>Run</th> <th>Eff. Diam. (nm)</th> <th>Half Width (nm)</th> <th>Polydispersity</th> <th>Baseline Index</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1076.0</td> <td>100.0</td> <td>0.354</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Mean</td> <td>1076.0</td> <td>100.0</td> <td>0.354</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Std. Dev.</td> <td>1076.0</td> <td>100.0</td> <td>0.354</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Combined</td> <td>1076.0</td> <td>100.0</td> <td>0.354</td> <td>0.0</td> </tr> </tbody> </table>	Run	Eff. Diam. (nm)	Half Width (nm)	Polydispersity	Baseline Index	1	1076.0	100.0	0.354	0.0	Mean	1076.0	100.0	0.354	0.0	Std. Dev.	1076.0	100.0	0.354	0.0	Combined	1076.0	100.0	0.354	0.0	 <p>奈米金-硝子 2:8 (Combined) Effective Diameter: 1038.6 nm Polydispersity: 0.393 Avg. Count Rate: 564.1 kcps Baseline Index: 0.0 Elapsed Time: 00:01:20</p> <table border="1" data-bbox="590 1120 989 1209"> <thead> <tr> <th>Run</th> <th>Eff. Diam. (nm)</th> <th>Half Width (nm)</th> <th>Polydispersity</th> <th>Baseline Index</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1038.6</td> <td>100.0</td> <td>0.393</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Mean</td> <td>1038.6</td> <td>100.0</td> <td>0.393</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Std. Dev.</td> <td>1038.6</td> <td>100.0</td> <td>0.393</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Combined</td> <td>1038.6</td> <td>100.0</td> <td>0.393</td> <td>0.0</td> </tr> </tbody> </table>	Run	Eff. Diam. (nm)	Half Width (nm)	Polydispersity	Baseline Index	1	1038.6	100.0	0.393	0.0	Mean	1038.6	100.0	0.393	0.0	Std. Dev.	1038.6	100.0	0.393	0.0	Combined	1038.6	100.0	0.393	0.0	 <p>奈米金-葡萄 2:8 (Combined) Effective Diameter: 1120.0 nm Polydispersity: 0.326 Avg. Count Rate: 355.4 kcps Baseline Index: 0.0 Elapsed Time: 00:01:10</p> <table border="1" data-bbox="1021 1120 1420 1209"> <thead> <tr> <th>Run</th> <th>Eff. Diam. (nm)</th> <th>Half Width (nm)</th> <th>Polydispersity</th> <th>Baseline Index</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1120.0</td> <td>100.0</td> <td>0.326</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Mean</td> <td>1120.0</td> <td>100.0</td> <td>0.326</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Std. Dev.</td> <td>1120.0</td> <td>100.0</td> <td>0.326</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Combined</td> <td>1120.0</td> <td>100.0</td> <td>0.326</td> <td>0.0</td> </tr> </tbody> </table>	Run	Eff. Diam. (nm)	Half Width (nm)	Polydispersity	Baseline Index	1	1120.0	100.0	0.326	0.0	Mean	1120.0	100.0	0.326	0.0	Std. Dev.	1120.0	100.0	0.326	0.0	Combined	1120.0	100.0	0.326	0.0
Run	Eff. Diam. (nm)	Half Width (nm)	Polydispersity	Baseline Index																																																																									
1	1076.0	100.0	0.354	0.0																																																																									
Mean	1076.0	100.0	0.354	0.0																																																																									
Std. Dev.	1076.0	100.0	0.354	0.0																																																																									
Combined	1076.0	100.0	0.354	0.0																																																																									
Run	Eff. Diam. (nm)	Half Width (nm)	Polydispersity	Baseline Index																																																																									
1	1038.6	100.0	0.393	0.0																																																																									
Mean	1038.6	100.0	0.393	0.0																																																																									
Std. Dev.	1038.6	100.0	0.393	0.0																																																																									
Combined	1038.6	100.0	0.393	0.0																																																																									
Run	Eff. Diam. (nm)	Half Width (nm)	Polydispersity	Baseline Index																																																																									
1	1120.0	100.0	0.326	0.0																																																																									
Mean	1120.0	100.0	0.326	0.0																																																																									
Std. Dev.	1120.0	100.0	0.326	0.0																																																																									
Combined	1120.0	100.0	0.326	0.0																																																																									
平均粒徑：1076 nm	平均粒徑：1038.6 nm	平均粒徑：1120.0 nm																																																																											
C-5/5-g-鹼	E-5/5-g-鹼	G-5/5-g-鹼																																																																											
 <p>奈米金-海藍亮 5:5 (Combined) Effective Diameter: 908.8 nm Polydispersity: 0.331 Avg. Count Rate: 3.0 kcps Baseline Index: 0.0 Elapsed Time: 00:01:40</p> <table border="1" data-bbox="159 1702 558 1792"> <thead> <tr> <th>Run</th> <th>Eff. Diam. (nm)</th> <th>Half Width (nm)</th> <th>Polydispersity</th> <th>Baseline Index</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>908.8</td> <td>100.0</td> <td>0.331</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Mean</td> <td>908.8</td> <td>100.0</td> <td>0.331</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Std. Dev.</td> <td>908.8</td> <td>100.0</td> <td>0.331</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Combined</td> <td>908.8</td> <td>100.0</td> <td>0.331</td> <td>0.0</td> </tr> </tbody> </table>	Run	Eff. Diam. (nm)	Half Width (nm)	Polydispersity	Baseline Index	1	908.8	100.0	0.331	0.0	Mean	908.8	100.0	0.331	0.0	Std. Dev.	908.8	100.0	0.331	0.0	Combined	908.8	100.0	0.331	0.0	 <p>硝子 5:5 (Combined) Effective Diameter: 6089.7 nm Polydispersity: 0.387 Avg. Count Rate: 278.4 kcps Baseline Index: 0.0 Elapsed Time: 00:00:50</p> <table border="1" data-bbox="590 1702 989 1792"> <thead> <tr> <th>Run</th> <th>Eff. Diam. (nm)</th> <th>Half Width (nm)</th> <th>Polydispersity</th> <th>Baseline Index</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>6089.7</td> <td>100.0</td> <td>0.387</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Mean</td> <td>6089.7</td> <td>100.0</td> <td>0.387</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Std. Dev.</td> <td>6089.7</td> <td>100.0</td> <td>0.387</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Combined</td> <td>6089.7</td> <td>100.0</td> <td>0.387</td> <td>0.0</td> </tr> </tbody> </table>	Run	Eff. Diam. (nm)	Half Width (nm)	Polydispersity	Baseline Index	1	6089.7	100.0	0.387	0.0	Mean	6089.7	100.0	0.387	0.0	Std. Dev.	6089.7	100.0	0.387	0.0	Combined	6089.7	100.0	0.387	0.0	 <p>奈米金-葡萄 5:5 (Combined) Effective Diameter: 1125.5 nm Polydispersity: 0.348 Avg. Count Rate: 645.8 kcps Baseline Index: 0.0 Elapsed Time: 00:01:30</p> <table border="1" data-bbox="1021 1702 1420 1792"> <thead> <tr> <th>Run</th> <th>Eff. Diam. (nm)</th> <th>Half Width (nm)</th> <th>Polydispersity</th> <th>Baseline Index</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1125.5</td> <td>100.0</td> <td>0.348</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Mean</td> <td>1125.5</td> <td>100.0</td> <td>0.348</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Std. Dev.</td> <td>1125.5</td> <td>100.0</td> <td>0.348</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Combined</td> <td>1125.5</td> <td>100.0</td> <td>0.348</td> <td>0.0</td> </tr> </tbody> </table>	Run	Eff. Diam. (nm)	Half Width (nm)	Polydispersity	Baseline Index	1	1125.5	100.0	0.348	0.0	Mean	1125.5	100.0	0.348	0.0	Std. Dev.	1125.5	100.0	0.348	0.0	Combined	1125.5	100.0	0.348	0.0
Run	Eff. Diam. (nm)	Half Width (nm)	Polydispersity	Baseline Index																																																																									
1	908.8	100.0	0.331	0.0																																																																									
Mean	908.8	100.0	0.331	0.0																																																																									
Std. Dev.	908.8	100.0	0.331	0.0																																																																									
Combined	908.8	100.0	0.331	0.0																																																																									
Run	Eff. Diam. (nm)	Half Width (nm)	Polydispersity	Baseline Index																																																																									
1	6089.7	100.0	0.387	0.0																																																																									
Mean	6089.7	100.0	0.387	0.0																																																																									
Std. Dev.	6089.7	100.0	0.387	0.0																																																																									
Combined	6089.7	100.0	0.387	0.0																																																																									
Run	Eff. Diam. (nm)	Half Width (nm)	Polydispersity	Baseline Index																																																																									
1	1125.5	100.0	0.348	0.0																																																																									
Mean	1125.5	100.0	0.348	0.0																																																																									
Std. Dev.	1125.5	100.0	0.348	0.0																																																																									
Combined	1125.5	100.0	0.348	0.0																																																																									
平均粒徑：908.8 nm	平均粒徑：6089 nm	平均粒徑：1125.5nm																																																																											

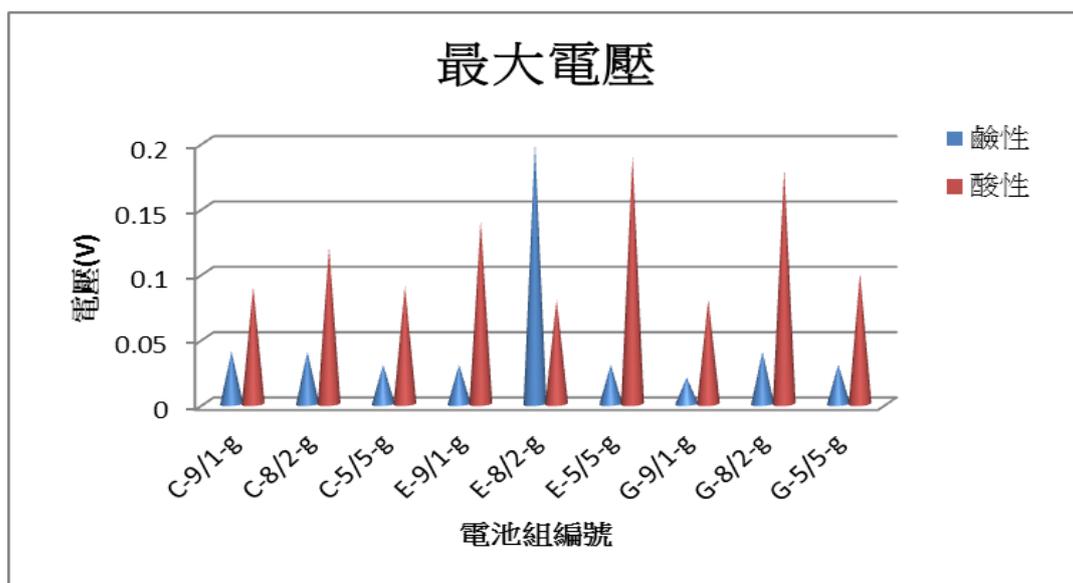
小結：混合染料溶液中的溶質的粒徑大小，在《染料/奈米金》=8/2 時其顆粒大小較為接近

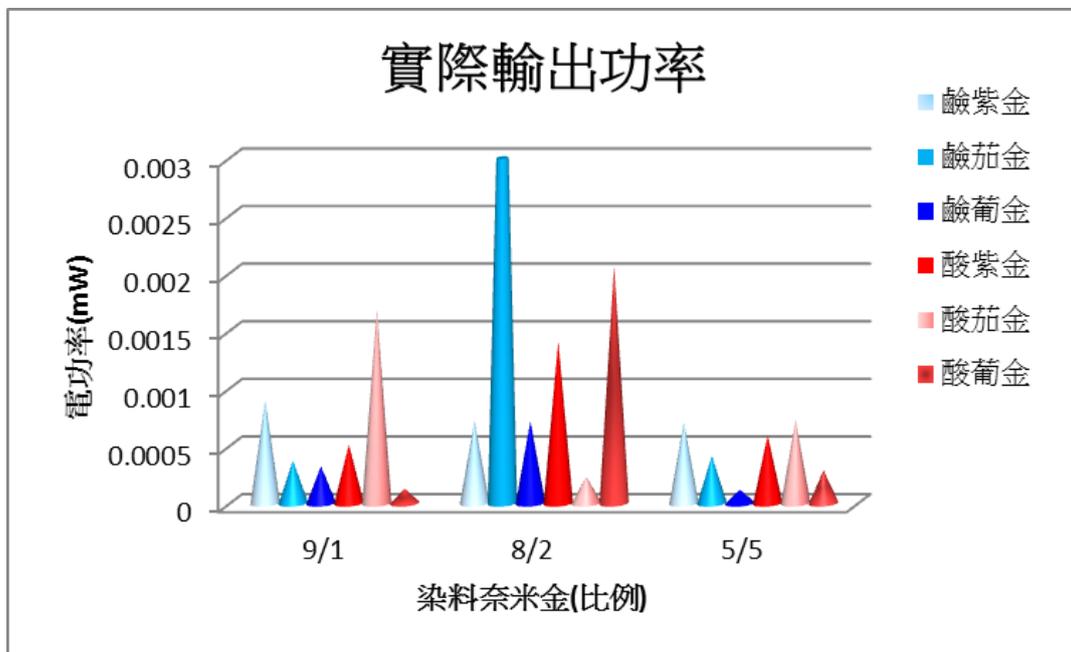
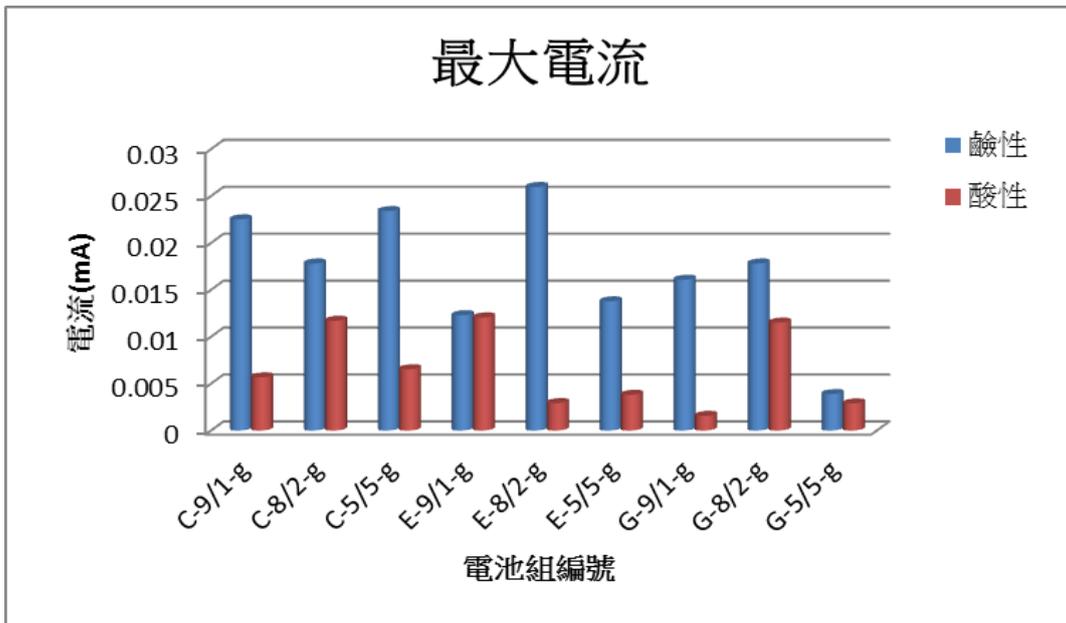
染料太陽電池之 I-V 曲線測量

(一) 最大電壓、最大電流以及實際功率

基礎原型	0.1481	0.0023	0.0003
	最大電壓 V_m (V)	最大電流 I_m (mA)	實際功率 (mW)
C-9/1-g-酸	0.0901	0.0057	0.0005
C-8/2-g-酸	0.1200	0.0117	0.0014
C-5/5-g-酸	0.0900	0.0065	0.0006
E-9/1-g-酸	0.1400	0.0121	0.0017
E-8/2-g-酸	0.0800	0.0029	0.0002
E-5/5-g-酸	0.1900	0.0038	0.0007
G-9/1-g-酸	0.0800	0.0016	0.0001
G-8/2-g-酸	0.1799	0.0115	0.0021
G-5/5-g-酸	0.1000	0.0029	0.0003

	最大電壓 V_m (V)	最大電流 I_m (mA)	實際功率 (mW)
C-9/1-g-鹼	0.0400	0.0225	0.0009
C-8/2-g-鹼	0.0402	0.0178	0.0007
C-5/5-g-鹼	0.0300	0.0234	0.0007
E-9/1-g-鹼	0.0301	0.0123	0.0004
E-8/2-g-鹼	0.2000	0.0260	0.0052
E-5/5-g-鹼	0.0300	0.0138	0.0004
G-9/1-g-鹼	0.0200	0.0161	0.0003
G-8/2-g-鹼	0.0402	0.0178	0.0007
G-5/5-g-鹼	0.0301	0.0039	0.0001

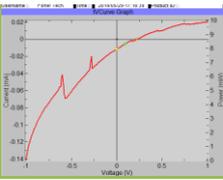
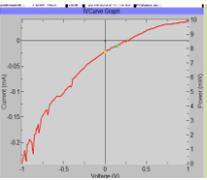
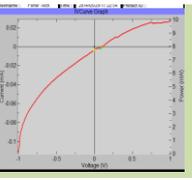
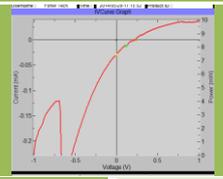
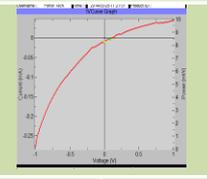
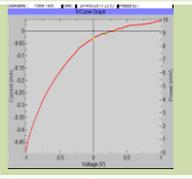
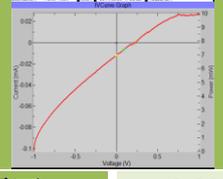


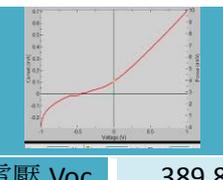
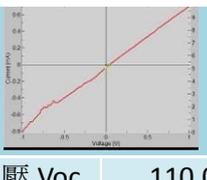
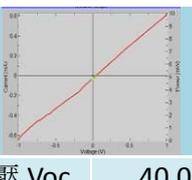
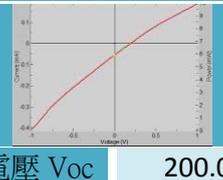
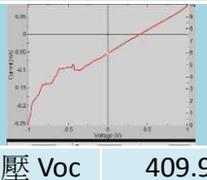
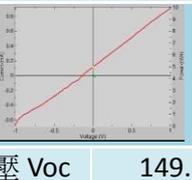
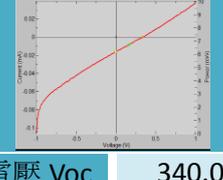
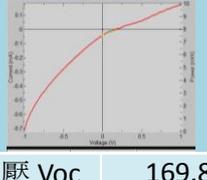
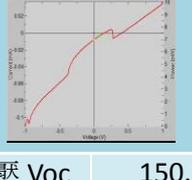


小結：

- ✓ 最大電壓：酸性組 > 鹼性組，只有 E-8/2-g 電池組除外
- ✓ 最大電流：鹼性組 > 酸性組，且 E-8/2-g 電池組相差數值最大
- ✓ 實際輸出功率：酸性組、鹼性組皆參差不齊，但是仍可看出混合染料比例 8/2 系列的功率較其他兩者為高。

(二) 開路電壓、短路電流以及理想功率

C-9/1-g 酸		E-9/1-g 酸		G-9/1-g 酸	
					
開路電壓 Voc	0.22022	開路電壓 Voc	0.28026	開路電壓 Voc	0.10002
短路電流 Isc	0.01154	短路電流 Isc	0.02222	短路電流 Isc	0.00364
C-8/2-g 酸		E-8/2-g 酸		G-8/2-g 酸	
					
開路電壓 Voc	0.21999	開路電壓 Voc	0.11004	開路電壓 Voc	0.31002
短路電流 Isc	0.02837	短路電流 Isc	0.00985	短路電流 Isc	0.03007
C-5/5-g 酸		E-5/5-g 酸		G-5/5-g 酸	
					
開路電壓 Voc	0.22006	開路電壓 Voc	0.27007	開路電壓 Voc	0.14002
短路電流 Isc	0.01183	短路電流 Isc	0.01120	短路電流 Isc	0.00850

C-9/1-g-鹼		E-9/1-g-鹼		G-9/1-g-鹼	
					
開路電壓 Voc	389.8 mV	開路電壓 Voc	110.0 mV	開路電壓 Voc	40.01 mV
短路電流 Isc	0.01812mA	短路電流 Isc	0.0100 mA	短路電流 Isc	0.02918mA
C-8/2-g-鹼		E-8/2-g-鹼		G-8/2-g-鹼	
					
開路電壓 Voc	200.0mV	開路電壓 Voc	409.92mV	開路電壓 Voc	149.8m V
短路電流 Isc	0.0550mA	短路電流 Isc	0.05351mA	短路電流 Isc	0.0674 mA
C-5/5-g-鹼		E-5/5-g-鹼		G-5/5-g-鹼	
					
開路電壓 Voc	340.0 mV	開路電壓 Voc	169.89mV	開路電壓 Voc	150.2 mV
短路電流 Isc	0.0161mA	短路電流 Isc	0.04065 mA	短路電流 Isc	0.0080mA

(三) 計算實驗組染敏太陽能電池之光電轉換效率(η)

1. 填充因子(FF)：最大功率與(短路電流×開路電壓)之比值： $FF = \frac{I_m \times V_m}{I_{sc} \times V_{oc}}$
 2. 轉換效率：電池輸出之最大功率與輸入功率的比值：

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{I_m \times V_m}{P_{in}} \times 100\%$$

以鹼性組茄子皮汁/奈米金=8/2 為例(太陽能電池之工作面積 0.010 cm²)

短路電流(Isc)	開路電壓(Voc)	電流峰值(Im)	電壓峰值(Vm)
0.05351mA	409.92mV	0.02595mA	199.95 mV
電流密度 (Jsc)	填充因數(FF)	Pin 輸入功率	轉換效率(η %)
5.351mA/cm ²	0.237	100 mW /cm ²	0.519

$$FF = \frac{I_m \times V_m}{I_{sc} \times V_{oc}} = \frac{0.02595 \times 199.95}{0.05351 \times 409.92} = 0.237$$

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{0.02595 \times 199.95}{100} = 0.519 \%$$

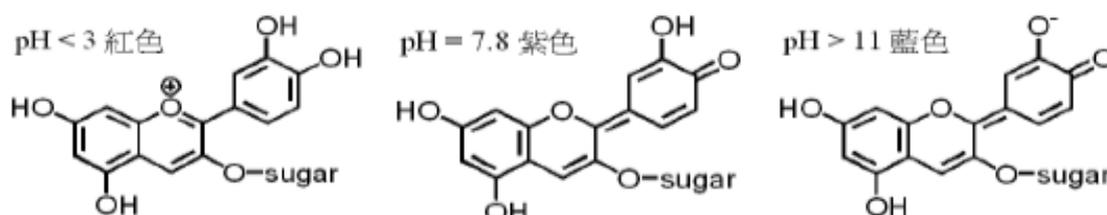
	開路電壓 Voc(V)	短路電流 Isc(mA)	理想功率 (mW)	光電轉換效 率%	填充因子
C-9/1-g-酸	0.2202	0.0115	0.0254	0.051	0.201
C-8/2-g-酸	0.2200	0.0284	0.0624	0.149	0.225
C-5/5-g-酸	0.2201	0.0118	0.0260	0.059	0.226
E-9/1-g-酸	0.2803	0.0222	0.0623	0.169	0.271
E-8/2-g-酸	0.1100	0.0099	0.0108	0.023	0.216
E-5/5-g-酸	0.2701	0.0112	0.0302	0.072	0.239
G-9/1-g-酸	0.1000	0.0036	0.0036	0.012	0.342
G-8/2-g-酸	0.3100	0.0301	0.0932	0.207	0.222
G-5/5-g-酸	0.1400	0.0085	0.0119	0.029	0.242

	開路電壓 Voc	短路電流 Isc	理想功率	光電轉換效 率%	填充因子
C-9/1-g-鹼	0.3899	0.0181	0.0071	0.090	0.127
C-8/2-g-鹼	0.2000	0.0550	0.0110	0.264	0.240
C-5/5-g-鹼	0.3400	0.0161	0.0055	0.140	0.255
E-9/1-g-鹼	0.1100	0.0100	0.0011	0.037	0.335
E-8/2-g-鹼	0.4099	0.0535	0.0219	0.519	0.237
E-5/5-g-鹼	0.1699	0.0407	0.0069	0.041	0.060
G-9/1-g-鹼	0.0400	0.0292	0.0012	0.032	0.275
G-8/2-g-鹼	0.1498	0.0674	0.0101	0.072	0.071
G-5/5-g-鹼	0.1502	0.0080	0.0012	0.012	0.098

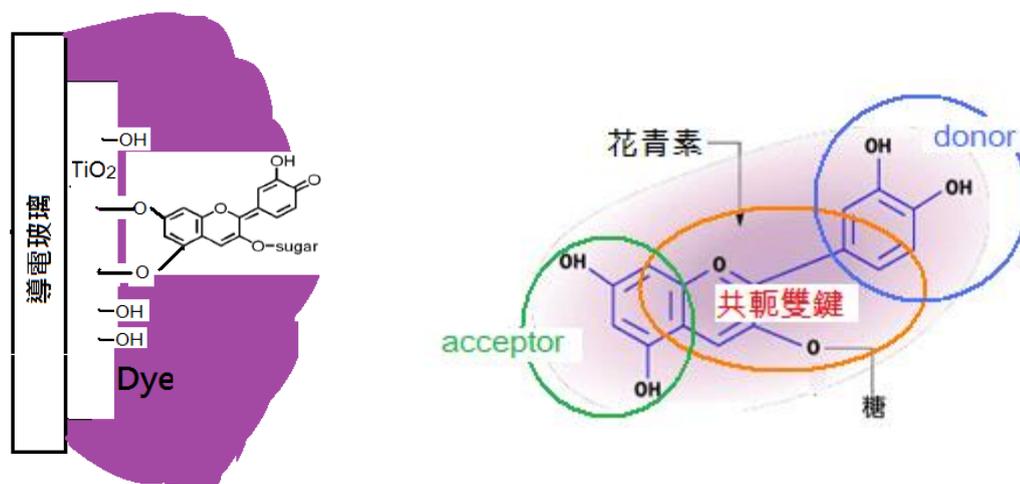
陸、討論

一、分析染料、奈米金以及混合染料之吸收光譜

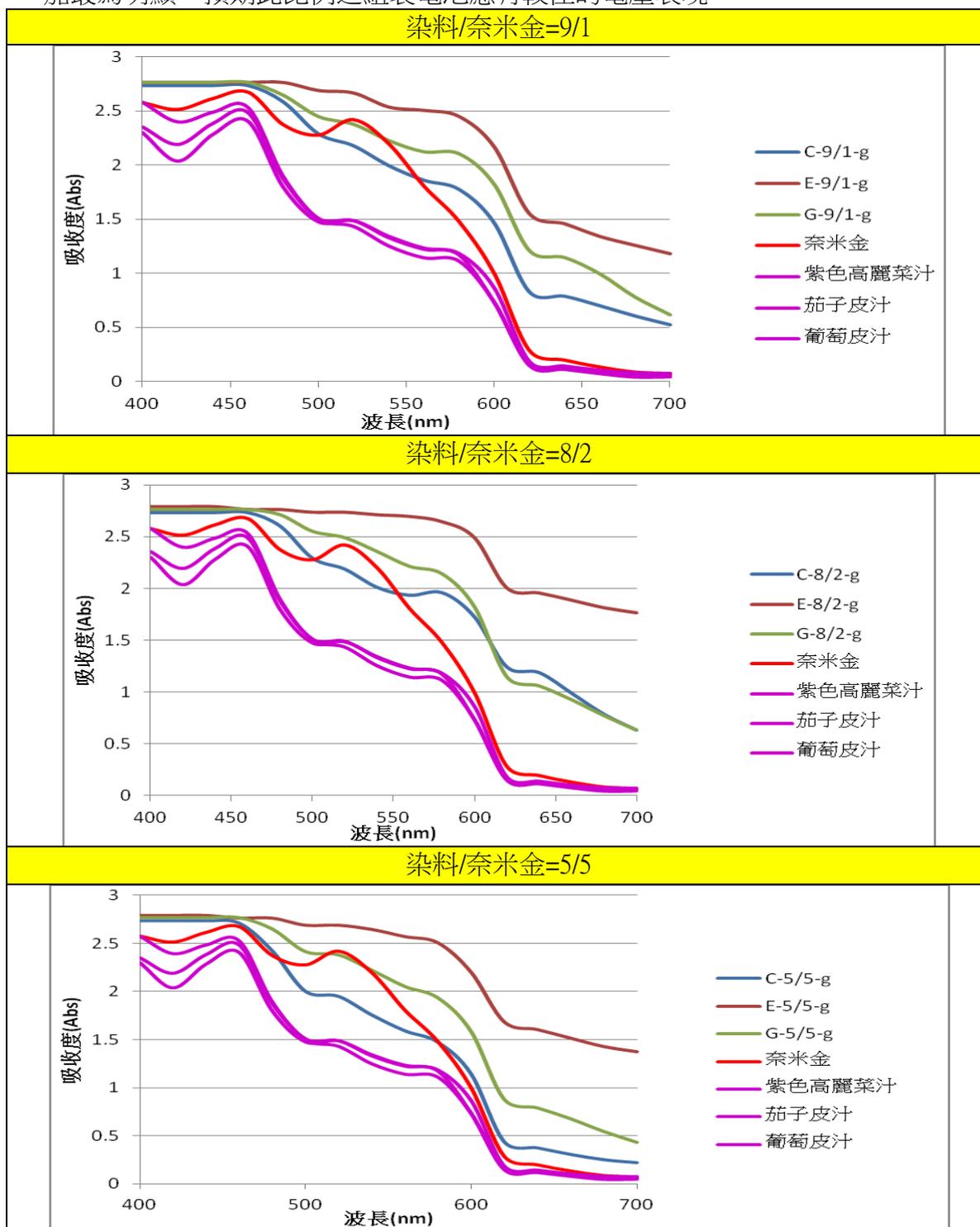
- (一) 三種染料皆是來自紫色色系的蔬果，然而其汁液的顏色仍有明顯差異，紫高麗菜汁為紫色、茄子皮汁偏褐色、葡萄皮汁為紅紫色；由吸收光譜可知，三種染料在460 nm、500~600 nm附近有明顯的吸收，使物質外觀呈現紅橙色或紫紅色。
- (二) 我們在此次實驗中選擇紅色的奈米金為實驗材料，其最大吸收在530 nm；然而添加奈米金於染料中時，溶液的顏色產生變化，例如紫高麗菜汁與葡萄皮汁皆偏向綠色，我們認為這是溶液的酸鹼性發生變化所造成。
- (三) 從吸收光譜來看，吸收圖譜並無太大的改變，只是最大吸收有些微紅位移的趨勢，顯示奈米金顆粒並未與染料分子發生化學反應，然而奈米金粒子可能吸附在染料分子上，形成粒徑較大之奈米顆粒。
- (四) 我們所選擇的紫高麗菜、茄子以及葡萄皆含有豐富的花青素，其主要結構如右圖所示，屬於多酚類化合物，亦稱為植物類黃酮。由於花青素在不同pH值環境下，共軛結構產生電子的傳遞效應，使得吸收波長改變而顯現不同的顏色。此外，奈米金粒子的表面電漿效應與其粒徑大小有關，當染料混合奈米金時發生顏色變化，我們認為除了酸鹼性的因素外，其奈米粒子結合染料的團聚亦是導致溶液改變顏色的原因。



- (五) 藉由花青素結構上的-OH官能基，能夠與TiO₂表面的OH基團鍵結，使得花青素染料能穩定的吸附在染敏電池的負電極上，如右圖所示；此外，花青素分子結構上具有給予電子基團(donor)、共軛π鍵以及接受電子團(acceptor)，這有助於染料電子傳遞至TiO₂，減少電子-電洞復合的機會。



(六) 比較混合染料之吸收光譜，三種染料皆在500~600 nm附近具有寬帶吸收，且奈米金的添加明顯使得花青素染料的吸光度增加，其中又以《染料/奈米金》=8/2者其吸收度增加最為明顯，預期此比例之組裝電池應有較佳的電壓表現。



二、不同酸鹼性之混合染料：

(一) 我們在實驗室中利用三用電表測量染敏電池，發現酸性組電池的電壓輸出非常不穩定，其中又以葡萄皮汁系列的電池最為紊亂。鹼性組電池的電壓輸出初時會逐漸增大，而後即呈現一穩定的狀態

1. 實驗結果發現，混合染料比例《染料/奈米金》=9/1者，其輸出電壓均較低，而比例為

8/2及5/5者表現接近。我們認為奈米金的存在主要是降低TiO₂的費米能階，減少電子-電洞復合，因此需有足量的奈米金才能達到較佳的電池效能。

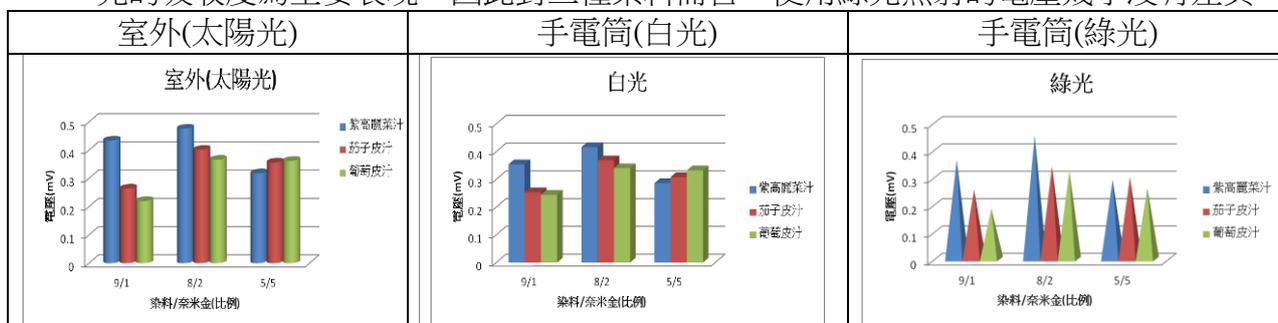
2. 從實驗曲線明顯可看出，《染料/奈米金》=8/2系列的電壓輸出皆高於另兩組比例，我們認為這與染料的吸收度提升有正相關的關係。

(二) 由於鹼性組電池的表現較為平穩，因此我們針對鹼性組電池進行不同光源的檢測。

1. 外觀呈現紫色的花青素染料主要是吸收綠光，故在實驗上我們選擇白光以及綠光光源，紀錄其電壓的最大值，其結果分析如下。各組電池所呈現的電壓效能趨勢幾乎一致，比例8/2系列較優於9/1、5/5兩系列。

2. 使用室外太陽光的量測數據較高於其他兩光源，我們認為測量時為正午大太陽之時，其烈陽強度勝於手電筒之強度，因此單位時間內染料吸收光能愈多、電壓值較大。

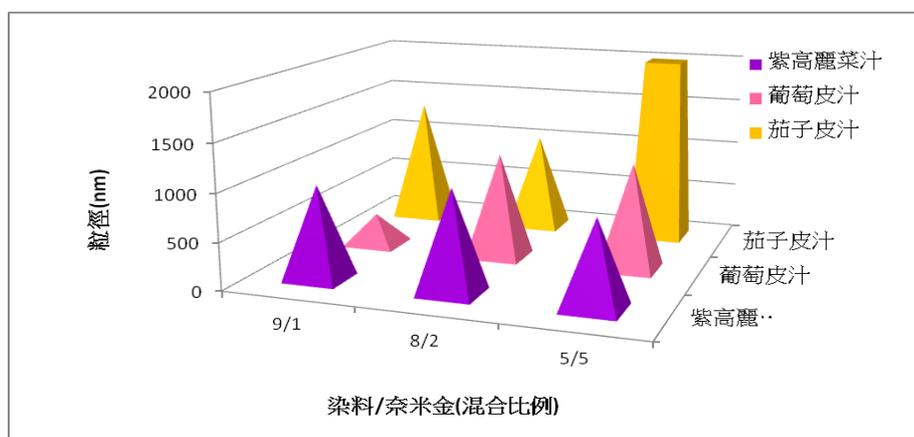
3. 不論是何種光源照射，各系列的電壓表現趨勢幾乎一致，唯獨在綠光照射《染料/奈米金》=5/5其趨勢較為不同。我們認為奈米金的存在比例較高時，奈米金粒子對於綠光的吸收度為主要表現，因此對三種染料而言，使用綠光照射的電壓幾乎沒有差異。



(三) 我們發現鹼性組的混合染料會有些許固體渣渣的沉積物，因此我們想要了解混合染料中顆粒大小的分布情況。

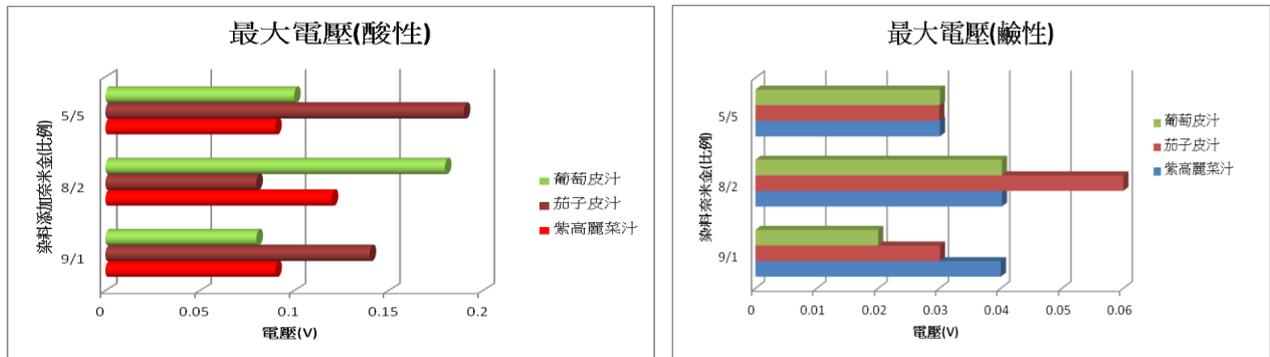
1. 使用粒徑分析儀後發現：混合染料中溶質的粒徑大小不一!紫高麗菜汁系列的溶質粒徑相差不多，其餘兩者變化較大。此外，我們發現混合染料比例8/2的粒徑皆落在1000 nm上下，且其最大電壓輸出的表現最佳，我們認為這個比例恰好是適當的奈米金與染料混合後，其吸附在染料分子或TiO₂負電極上的適切含量，故落於此粒徑範圍可使染料吸光的效果明顯增加。

2. 雖然混合染料的粒徑大小有極大的差異，然而其分子量分布指數(polydispersity)的值皆小於1，表示溶液中粒子的分子量分布範圍小，即混合染料組為一均勻分布的狀態。

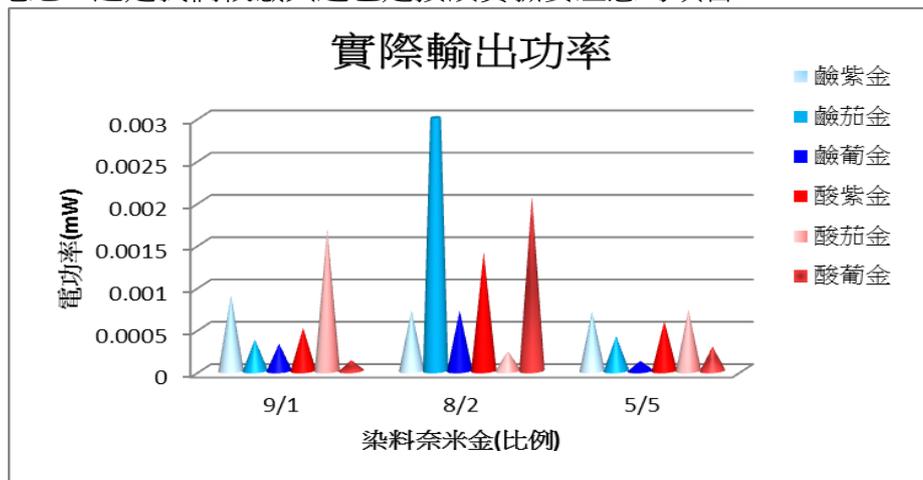


(四) 酸鹼性環境對於電池輸出的最大效益

1. 比較酸性組及鹼性組電池的輸出最大電壓以及最大電流，我們發現酸性組的最大電壓高於鹼性組，然而最大電流卻低於鹼性組。比較最大電壓發現，酸性組電池的電壓雖然較高，但是並無明顯的規則性，反之鹼性組電池的電壓輸出皆以其中《染料/奈米金》=8/2者明顯較高，證明其吸收波長的增強效應反應在輸出電壓上，且這與我們自己在實驗室使用三用電表量測的結果吻合。



2. 比較兩組電池的實際輸出最大功率： $P=IV$ 。紫高麗菜汁系列的電功率較為平均，不論在何種混合比例下皆有一致的輸出功率。平均而言，《染料/奈米金》=8/2 系列有較高的功率，其他兩種比例系列明顯較低，此外，E-8/2-g-鹼此電池的輸出功率明顯遠高於其他電池，這是我們較感興趣也是接續實驗要注意的項目！



三、 染敏電池之效能分析：

(一) 染料敏化太陽能電池的效率主要由開路電壓、短路電流以及轉換效率來評估。通常三者數值愈大，表示此電池的效率愈高。

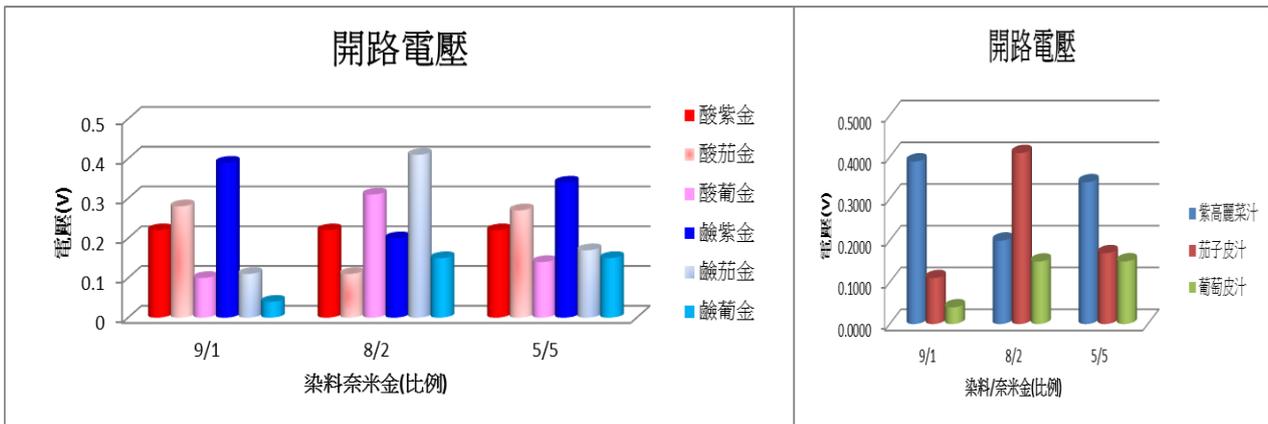
(二) 開路電壓：

1. 各組電池的開路電壓表現不盡相同，我們認為奈米金的多寡與染料的種類直接影響電子的傳遞快慢以及能階差距，也因此決定電池兩極間的電位差。
2. 如下左圖，整體來說，鹼性組的電壓表現較優於酸性組。酸性組的開路電壓大小與奈米金添加的多寡沒有太大關係，加上其電壓值變動較大，與我們在實驗室量測的結果相符合。

3. 比較鹼性組電池結果，如下右圖：

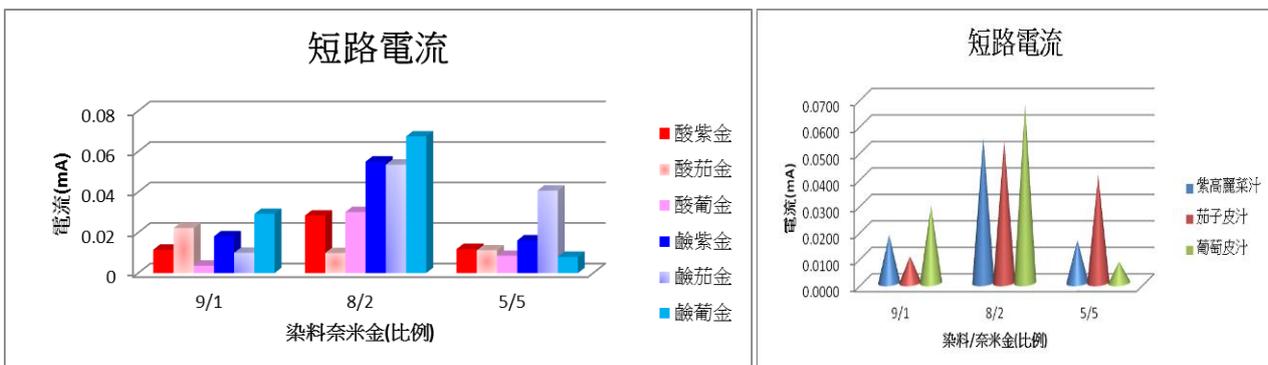
- (1) 在比例 9/1 組合中紫高麗菜汁的電壓明顯較大，且茄子皮汁與葡萄皮汁的開路電壓值為所有組合中較低者，這現象與我們在實驗室使用三用電表測量的結果相符合。
- (2) 在比例 8/2 組合中，染料為茄子皮汁者具有較高的開路電壓，我們認為這與此染料對光吸收度明顯提升的因素有直接的關係。

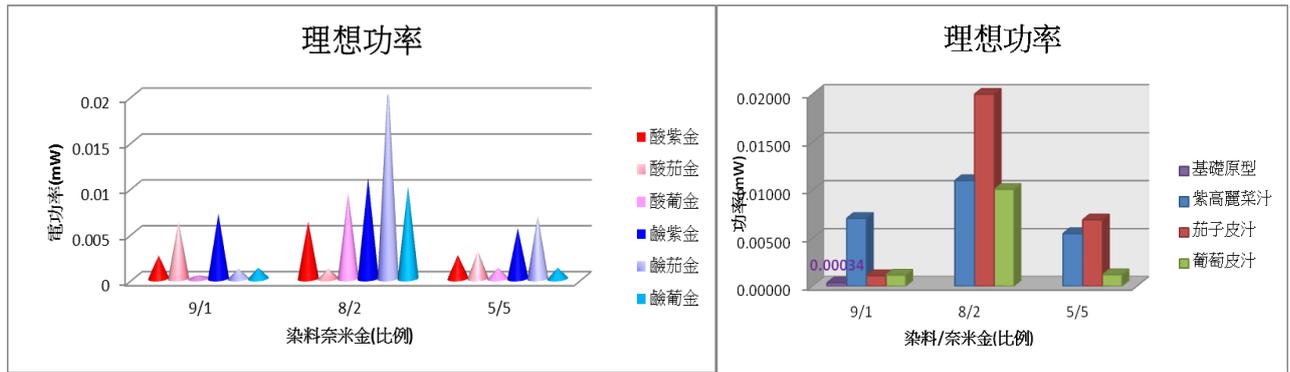
4. 整體來說，紫高麗菜汁系列的電池在開路電壓的表現較優於其他兩者，顯示在染料種類的選擇上，以紫高麗菜汁為較佳的選擇。



(三) 短路電流、理想功率(最大輸出功率)：

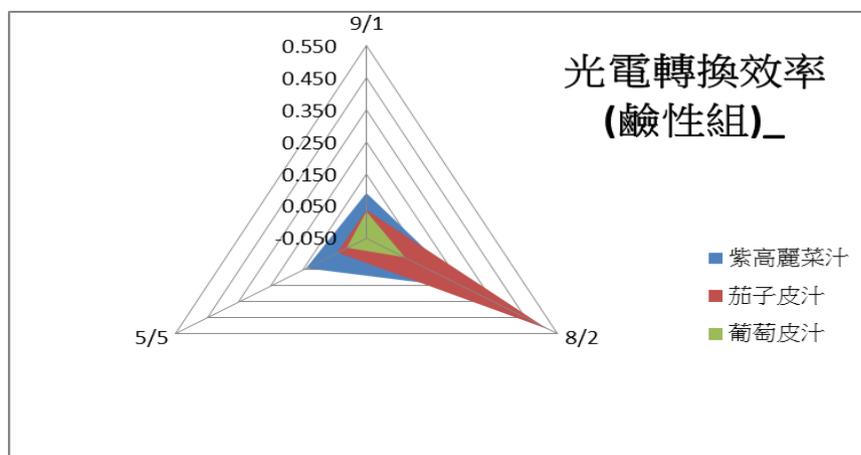
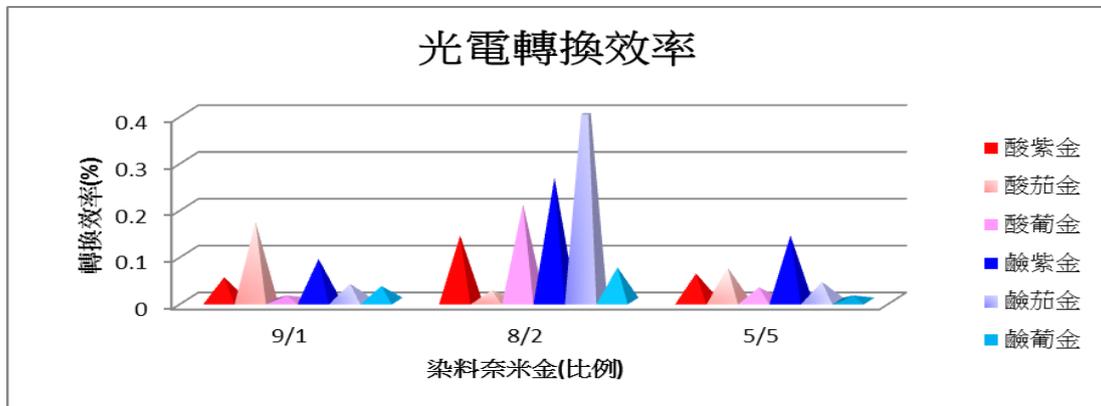
1. 依電功率之定義： $P=I \times V$ ，將開路電壓及短路電流設定為太陽能電池之工作極限，以此作為其最大輸出電功率的依據。
2. 依左圖，整體而言，不論是短路電流以及理想功率，鹼性組的表現較優於酸性組。酸性組的表現同樣參差不齊，但可看出 5/5 比例系列的電流輸出較低。
3. 比較鹼性組電池的結果，如右圖：
 - (1) 短路電流：添加奈米金使混合比例為 8/2 的電池組明顯優於其他兩組，且不論染料種類為何皆是如此，顯示此項混合染料比例有最佳電流輸出效果。
 - (2) 理想功率：添加奈米金使混合比例為 8/2 的電池組明顯優於其他兩組，且不論染料種類為何皆是如此，顯示此項混合染料比例有最佳電功率輸出。
4. 整體來說，紫高麗菜汁在各比例有較平均的表現；反之，茄子皮與葡萄皮系列且有明顯的落差。我們認為染料與奈米金混合時，溶液不但顏色改變，甚至出現混濁懸浮的現象，這在後兩者染料的操作上有明顯有變化。





(四) 轉換效率

1. 太陽能電池的轉換效率是指將光能轉換成電能輸出的效果，此值愈大表示電池效能愈佳。本實驗量測之工作電極面積僅 0.01cm^2 ，一般而言太陽能電池工作面積愈大，其光電轉換效率會較高。
2. 如圖所示，整體而言，混合染料 8/2 系列的轉換效率明顯較佳，5/5 比例系列較差；此外鹼性組的表現較優於酸性組，酸性組的表現同樣參差不齊。
3. 比較鹼性組電池的結果，如最下方雷達圖：
 - (1) 在鹼性組中，紫高麗菜汁系列不論是何種混合比例，其轉換效率較為平均。混合比例 8/2 者明顯有較佳的光電轉換效率，這幾乎可從其他實驗結果推求得知。
 - (2) 由實驗數據發現，以茄子皮汁與奈米金混合比例 8：2 者，其轉換效率最佳；由於添加奈米金使其對光的吸收度有較明顯的提升，因此光電效應的現象也同樣顯著。



柒、結論

- 一、奈米金溶液的添加可提高有機染料的吸收度，對於三種染料的增強效果：茄子皮汁 > 葡萄皮汁 > 紫高麗菜汁。
- 二、不論何種光源，實驗電池組的最高電壓以：染料/奈米金=8/2 之混合比例為佳。
- 三、奈米金的添加皆使得染料物質的吸收度增加。奈米金降低 TiO₂ 的費米能階，使電池開路電壓增大，減少電子洞結合的機會。可增加光吸收量以轉換成光電流，且紫高麗菜汁與茄子皮系列的光吸收度增大效果明顯高於葡萄皮系列。
- 四、酸性混合染料其電池效能表現參差不一，若以個別來看，以紫高麗菜汁系列的酸性電池組表現最佳。
- 五、鹼性混合染料的電池效能表現較酸性組為佳，且以混合比例 8/2 者有最佳電池效能。
- 六、在所有實驗電池組中，鹼性環境、茄子皮汁與奈米金混合比例 8：2 者，有最佳的理想電功率、實際輸出效率以及光電轉換效率。
- 七、奈米金粒子加入染料中發生粒徑增大的現象，如此將造成電子傳遞能量障蔽，使得奈米材料的量子效應喪失，因此添加奈米金的量應適當，本實驗結果評估以染料/奈米金=8/2 之混合比例較佳。
- 八、實驗使用同是富含花青素的天然色素，除了花青素分子吸收光能，染料中的其他成分可能影響太陽能電池的效能，尤其是添加奈米金溶液之後。
- 九、整體來說，依染料種類來選擇，不論是何種混合比例，紫高麗菜汁系列的電池皆有較均等的呈現，因此若是選擇光敏化劑應以紫高麗菜汁較為適當。
- 十、整體來說，依混合奈米金的結果，富含花青素的染料與奈米金之混合比例以【染料/奈米金】=8/2 為佳，會有最好的光電轉換效率。
- 十一、本實驗因測試之電池組的工作面積較小，因而呈現數值較低的情況，目前並未能找到相同條件之範例可以比較。然而我們在實驗室自己所組裝的各式電池，先經過檢測後再以儀器測量 I-V 圖譜相關數據，發現可以佐證我們在實驗室所量測的結果。
- 十二、相較於基礎染敏電池，加入奈米金於染料中皆明顯提高電壓、電流以及功率等特性。奈米金的存在使電子的傳遞速率增快，避免電子-電洞對又再度回復至原狀態。
- 十三、染料敏化太陽能電池是一個環保、廉價、方便製作的能源電池，同時也是我們最初選擇其作為研究題材的原因。我們利用選修課程所使用過的材料，進行電池效率的改良，討論染料種類並混入奈米粒子，成功地提升染料敏化太陽能電池的導電效率、持久度以及輸出電功率。雖然電壓、電流數值仍差強人意，但是只要能減少製作時的誤差，例如改善 TiO₂ 層的塗佈、使用吸光率較佳的有機染料或複合不同染料以加成其功效，再添加輔助電子傳遞的奈米金溶液、使用較大面積的工作電極等，增加吸收光能的時效，相信便能更大幅度地提升整體電池組的效用。

捌、參考資料及其他

- 一、賴瑩臻、陳喬薇、陳學儀。《奈米金屬之介紹及其光學特性研究》。北一女中。
- 二、朱宏偉。《石墨烯：結構、製備方法與性能表徵》。清華大學出版社。
- 三、姚品全 王立民 姜穎宏 何浩千 陳禹誠。《以奈米 TiO₂ 製作色素增感型太陽電池工作電極之初步探討》。科學與工程技術期刊。4, 1, p35~42
- 四、戴明鳳、邱立翰。《實驗九、染料敏化太陽電池》。清華大學物理系

【評語】 040211

學生嘗試用各種含吸光染料分子的蔬菜汁作為溶液來製備染料敏化太陽能電池的做法相當有創意，加入金奈米粒子以增加可見光吸收及電子傳導也是不錯的創意。