

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

高級中等學校組 化學科  
(鄉土)教材獎

050210

美美之光-利用原住民特色染料改善染敏電池的  
發電效率

學校名稱：桃園市立武陵高級中等學校

作者： 高一 林孟澐 高一 胡芸	指導老師： 張明娟 吳德鵬
------------------------	---------------------

關鍵詞： 染敏電池、原住民染料、薯榔

## 壹、研究動機

本研究源於對阿美族傳統服飾中使用的薯榔染料的興趣。傳統上，阿美族服飾以白色和紅土色為主，其中紅土色來自於薯榔染料。透過與長輩的交流，我們了解到薯榔染料不僅用於染色衣物和紗線，還能用於棉麻製成的魚網，增強纖維的韌性並抵抗海水腐蝕。

隨著太陽能發電技術的進步，特別是染料敏化太陽能電池（DSSC）因其製作簡易和成本低廉而受到關注。我們的研究旨在探索將薯榔染料應用於 DSSC，取代或混合傳統化學染料，以期提高電池的發電效率和耐久性。這項跨領域的研究不僅致力於傳統文化的保存，也尋求可持續能源技術的創新途徑。

## 貳、研究目的

1. 使用薯榔色素為染料的染敏電池，是否能提高發電效率。
2. 薯榔色素為染料或者混合染料中含有薯榔色素的染敏電池，是否能降低電池發電效率的衰退程度。

## 參、研究設備及材料

### 一、器材：

- (一) 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) 長尾夾、蠟燭、膠帶
- (五) 單面導電玻璃 (銳隆光電 RL35SD ITO 470\*370\*t0.7mm 切 35\*35mm)

### 二、藥品：

- (一) 奈米級二氧化鈦  
(TITANIUM DIOXIDE P25 21NM Nano grade (Anatase-80% , Rutile-20% , 友和)
- (二) 碘酒 (杏輝 金碘藥水 30mL)

- (三) 醋酸 (Acetic acid, CH<sub>3</sub>COOH)
- (四) 乙醇 (Ethyl Alcohol, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH)
- (五) 蒸餾水 (Water, H<sub>2</sub>O)
- (六) 氧化鈣 (CaO) (原住民會以草木灰固定色素，以此驗測試性質)
- (七) 天然染料
  - 1. 薯榔 (*Dioscorea rhipogonioides*) 藤本植物塊莖 (圖 2-1)
  - 2. 秋薑黃粉 (圖 2-2)
  - 3. 蝶豆花 (*Clitoria ternatea*) (圖 2-3)
  - 4. 甜菜根 (*Beta vulgaris*) (圖 2-4)



圖 2-1 薯榔



圖 2-2 秋薑黃粉



圖 2-3 蝶豆花



圖 2-4 甜菜根

### 三、儀器：

- (一) 紫外光分光光度計 (PUV550C) (圖 3-1)
- (二) 烘箱 (DENG YNG) (圖 3-2)
- (三) 三用電表 (德輝儀器 DMM-98 TRMS) (圖 3-3)
- (四) 電磁加熱攪拌器／加熱板 (Thermo Scientific SW-SP7100) (圖 3-4)
- (五) 太陽光模擬器 (xenon lamp power supply YSS-50S) (圖 3-5)
- (六) 電流、電壓及光電轉換效率測量系統 (PEC-320)



圖 3-1 紫外光分光光度計



圖 3-2 烘箱



圖 3-3 三用電表



圖 3-4 電磁加熱攪拌器



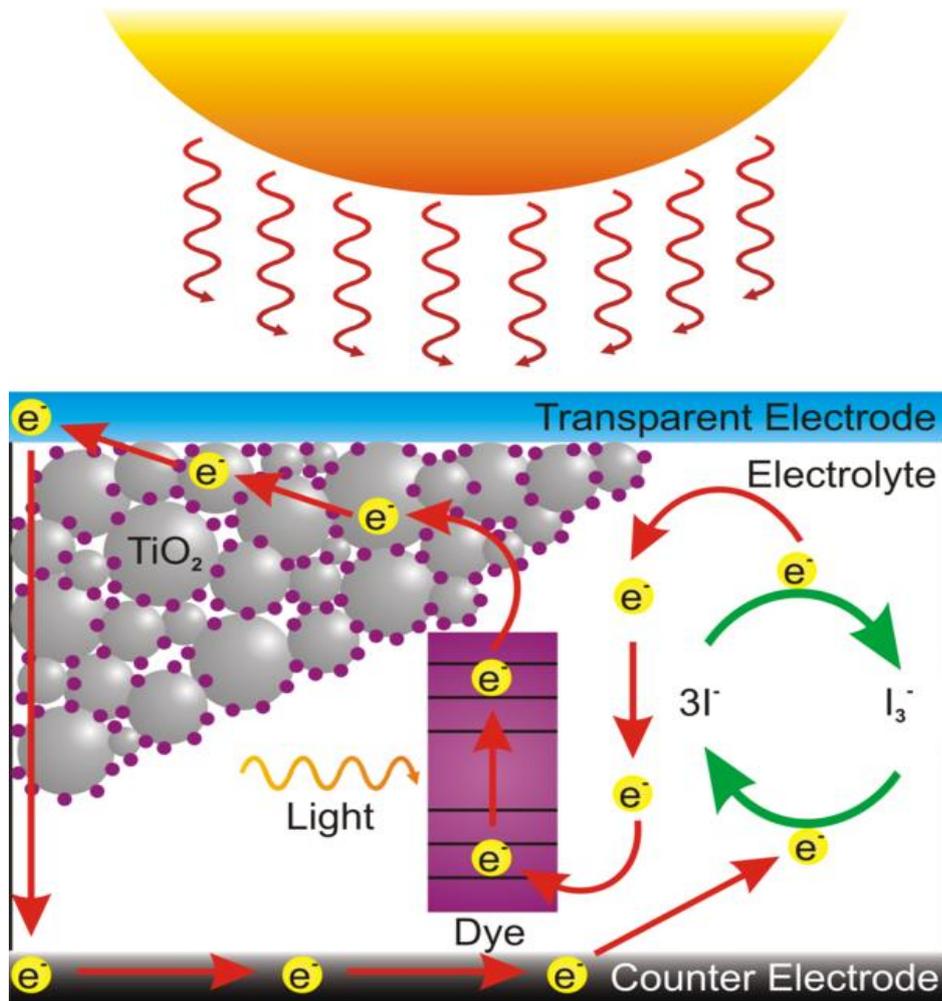
圖 3-5 太陽光模擬器

## 肆、研究過程或方法

### 一、原理探討：

染料敏化太陽能電池 (dye-sensitized solar cell) 是一種薄膜太陽能電池，模仿光合作用原理所開發出來的太陽能電池。以二氧化鈦(直徑約 20 nm)和光敏染料為主要原料，運作機制如同自然界植物中的葉綠素吸收太陽光後所發生的一連串氧化還原反應，將光能轉變為電能。染敏電池的最大優勢在於室內光線等弱光環境下仍可發電，僅需 100~200 流明 (Lux) 的弱光 (約 3 根蠟燭的燭光量)，染敏電池就可以產生電，適合在低照度環境下使用，且電池的轉換效率較不易受日照角度影響，而模組的雙面構造有利於吸收散射光，它可以用低廉的材料製成，不需要用精細的儀器來製造。

然而， $\text{TiO}_2$  僅吸收一小部分太陽光子 (紫外線中的光子)，附著在導體表面的分子敏化劑 (染料分子) 用於收集大部分太陽光能量。DSC 太陽能電池的工作原理如圖(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)。



<https://reurl.cc/bDaGXr>

圖(1) 染料敏化太陽能電池的操作示意圖

## 二、原住民特色染料—薯榔、薑黃、甜菜根等以及對照組蝶豆花的色素萃取。

蝶豆花及薑黃以水比染料重量比 9:1 製成飽和水溶液，完成後以濾紙過濾；甜菜根及薯榔外皮切除，放入烘箱以攝氏 120 度烘乾 120 分鐘後以乾燥物重量 10%比例加水搗出色素，完成後以濾紙過濾，如圖(4)。



圖(2) 薯榔外皮切除後切片



圖(3) 搗碎後萃取色素



圖(4) 色素萃取液

## 三、製作光敏染化太陽能電池基板詳細步驟：



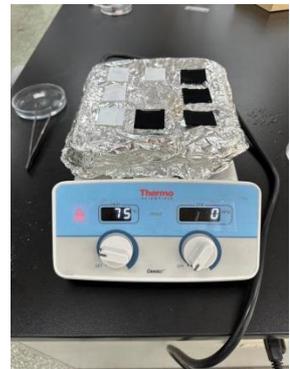
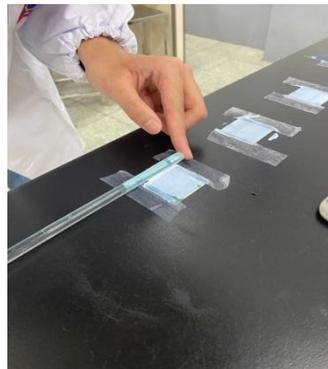
圖(5)陽極製作流程

### (一)製作陽極：

- 1、取 1 克  $\text{TiO}_2$  置於 50mL 燒杯，慢慢加入約 1.25 毫升的 0.4 vol% 醋酸水溶液，攪拌成  $\text{TiO}_2$  膏狀溶液備用如圖(6)。
- 2、取一片單面導電玻璃，導電面朝上，在使用膠帶黏玻璃兩邊 0.5 公分，黏貼於桌面上。(此步驟用意為使  $\text{TiO}_2$  塗層厚度一致)(導電玻璃塗層面積為 2.8cm\*3.5cm)
- 3、用攪拌棒取  $\text{TiO}_2$  膏狀溶液，塗在導電玻璃導電面，以玻璃棒均勻塗抹薄薄的一層如圖(7)。
- 4、乾燥後將塗抹  $\text{TiO}_2$  膏狀溶液的玻璃導電面向上，放置於加熱板上加熱約 10 分鐘左右，期間每分鐘約調高  $50^\circ\text{C}$ ，由室溫加熱到  $450^\circ\text{C}$  如圖(8)。

5、加熱 10 分鐘後取出工作電極(陽極)放入培養皿中，待冷卻後以滴管由側面加入染料，使  $TiO_2$  薄層吸附染料，靜置 20 分鐘後取出等待乾燥，如圖(9)

6、吸附染料部分是將薯榔、薑黃、甜菜根以及蝶豆花等色素萃取液，分別滴入染料使工作電極吸附，每個編號的染料總共 20 滴，視所含染料種類數目而平均分配滴數，並分別予以編號為 (1)蝶豆花、(2)薯榔、(3)薑黃、(4)薯榔+蝶豆花、(5)薯榔+薑黃、(6)薯榔+薑黃+蝶豆花、(7)薯榔+蝶豆花+薑黃+ $CaO(aq)$ 、(8)薯榔+蝶豆花+薑黃含過濾渣+ $CaO(aq)$ 。



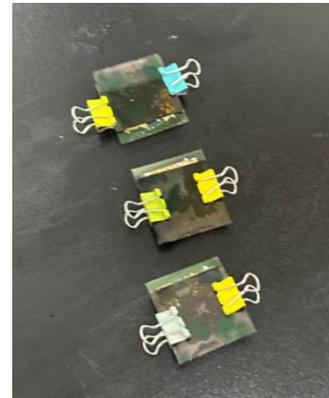
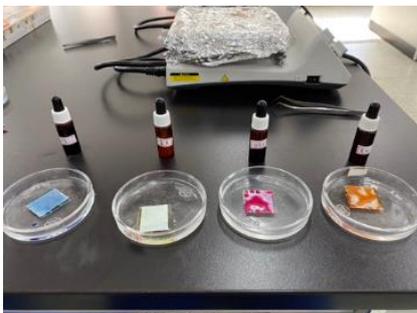
圖(6)  $TiO_2$  膏狀溶液

圖(7)用玻棒均勻塗抹導電玻璃圖

圖(8)陽極及陰極加熱板上

## (二) 陰極製作：

蠟燭燃燒鍍碳：以鑷子將導電玻璃導電面，面像蠟燭火焰上方，直到玻璃均勻覆蓋碳微粒為止。(留下約 0.5 公分接電極) 如圖(10)



圖(9)使  $TiO_2$  薄層吸附染料

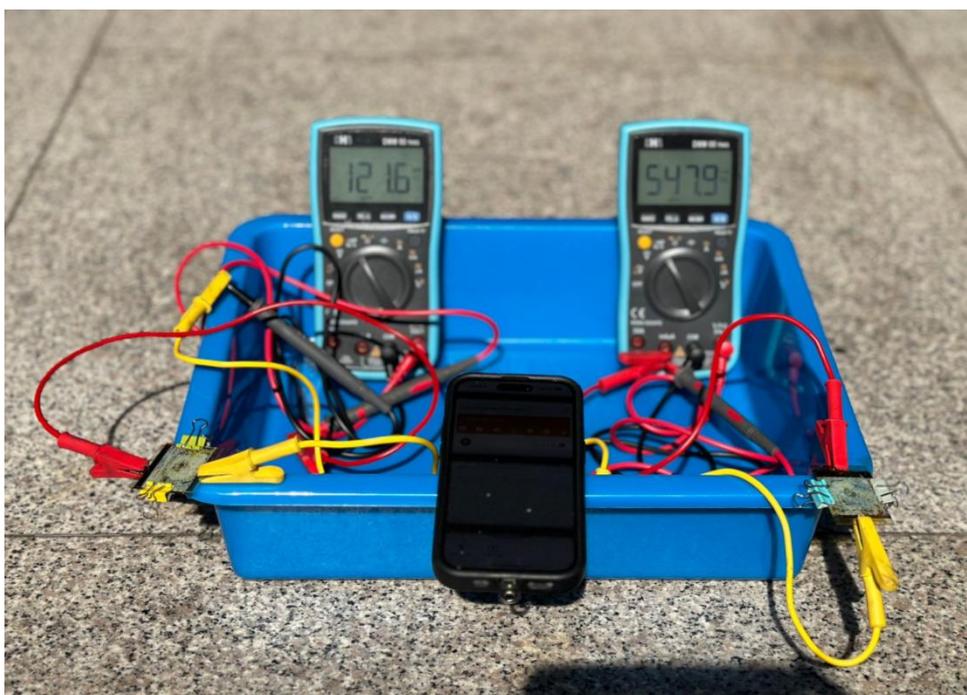
圖(10)蠟燭鍍碳於導電玻璃

圖(11)長尾夾固定電池兩極

### (三)組裝及測量:

1、將陰極、陽極導電面，面面相對結合，並在兩側使用長尾夾固定，中間滴入碘液(市售優碘)當作電解質，如圖(11)

2、再以鱷魚夾連接染敏電池與三用電錶，將組件置於陽光下，工作電極面朝上，同時以手機 APP 測量照度，並以三用電表測量染敏電池的電壓和電流值，如圖(12)



圖(12) 照度及電壓電流測量裝置

## 伍、研究結果

### 一、製作光敏染化太陽能電池基板

(一)一開始使用蝶豆花當染料的染敏電池來測試，學會製作光敏染化太陽能電池基板，測得太陽光照度與電壓如表(一)。

太陽光 10.4EV	5%蝶豆花	10%蝶豆花
電壓(mV)	517(mV)	562.4(mV)

表(一)11/7 測量結果

註：分別以乾燥物重量與蒸餾水 5%及 10%的重量比例進行萃取。

(二)加入原住民染料 - 薑黃：用蝶豆花和薑黃分別萃取 5%和 10%，薑黃無過濾有渣，測得太陽光照度與電壓。

太陽光 10.0EV	5%蝶豆花	10%蝶豆花	5%薑黃	10%薑黃
電壓(mV)	426.2(mV)	418.6(mV)	480.1(mV)	513.4(mV)

表(二)12/1 測量結果

由表(二)可知，薑黃在 5%和 10%時電壓都比蝶豆花高。10%的薑黃電壓比 5%的薑黃電壓高，但 5%的蝶豆花反而略比 10%的蝶豆花電壓高。

因第一次測薑黃(粉)沒有將渣過濾，溶液很濃稠。

為了比較各種不同原住民天然染料對染敏電池的發電效率有無影響，我們在下次實驗增加甜菜根及薯榔當作染料。

(三)加入原住民染料 - 薑黃、甜菜根、薯榔：萃取蝶豆花、薑黃、甜菜根、薯榔的 10%溶液且都有過濾，測得電壓與電流。

太陽光 9.8EV	蝶豆花(10%)	薑黃(10%)	甜菜根(10%)	薯榔(10%)
電壓(mV)	535(mV)	420(mV)	540(mV)	466.6(mV)
電流( $\mu A$ )	238.3( $\mu A$ )	165.1( $\mu A$ )	228.2( $\mu A$ )	1.7( $\mu A$ )

表(三)12/8 測量結果

由表(三)可知，電壓及電流都是甜菜根比較高，但薯榔的電流異常的低，只有 1.4( $\mu A$ )。為了檢驗或濾後的殘渣，對發電效率是否有影響，我們這次將四種染料都過濾再測量。

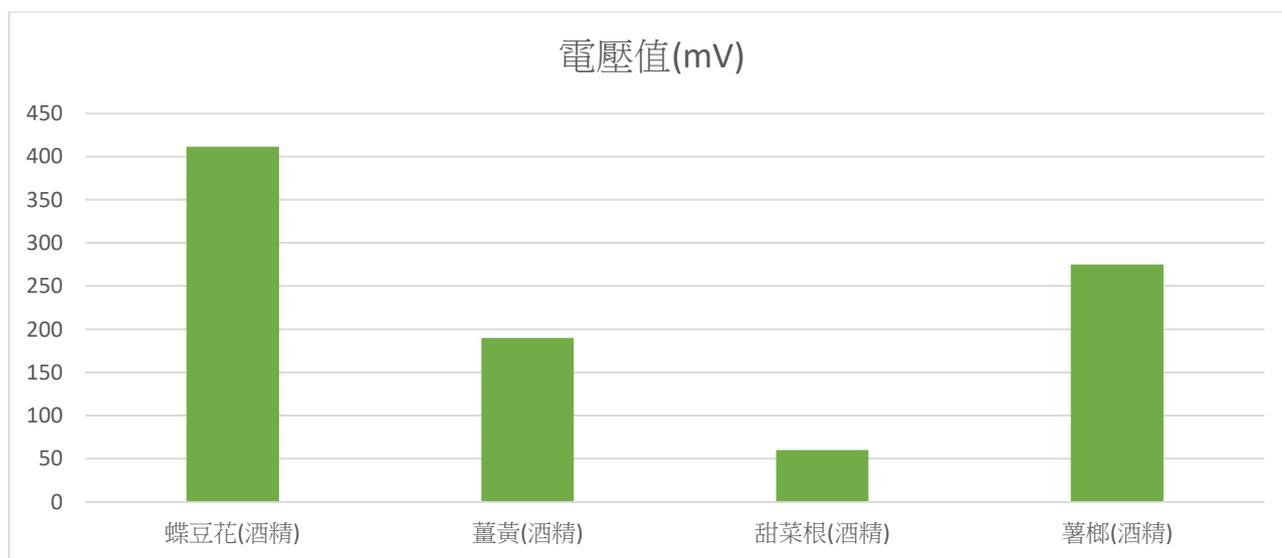
因為酒精極性較低，萃取色素種類會不同，我們下次將比較用蒸餾水及酒精萃取比較差別。

(四)分別用酒精和蒸餾水，萃取蝶豆花、薑黃、甜菜根及薯榔的 10%溶液，皆有過濾，電壓和電流皆有測。這次是用四週放置錫箔紙並裝上黃光燈泡的箱子在室內進行測量。

黃光燈泡 (7.1eV)	蝶豆花(酒精)	薑黃(酒精)	甜菜根(酒精)	薯榔(酒精)
電壓(mV)	411.5(mV)	190(mV)	60(mV)	275(mV)
電流( $\mu A$ )	10.9( $\mu A$ )	5.0( $\mu A$ )	1.0( $\mu A$ )	27.1( $\mu A$ )
	蝶豆花(水)	薑黃(水)	甜菜根(水)	薯榔(水)
電壓(mV)	缺	365(mV)	499(mV)	291.3(mV)
電流( $\mu A$ )	缺	58.0( $\mu A$ )	35.2( $\mu A$ )	67.8( $\mu A$ )

表(四)12/17 測量結果

註：蝶豆花(水)因為導電面塗錯，因此無測量數據



圖(11)在黃光(7.1eV)照光下各染料的電壓值

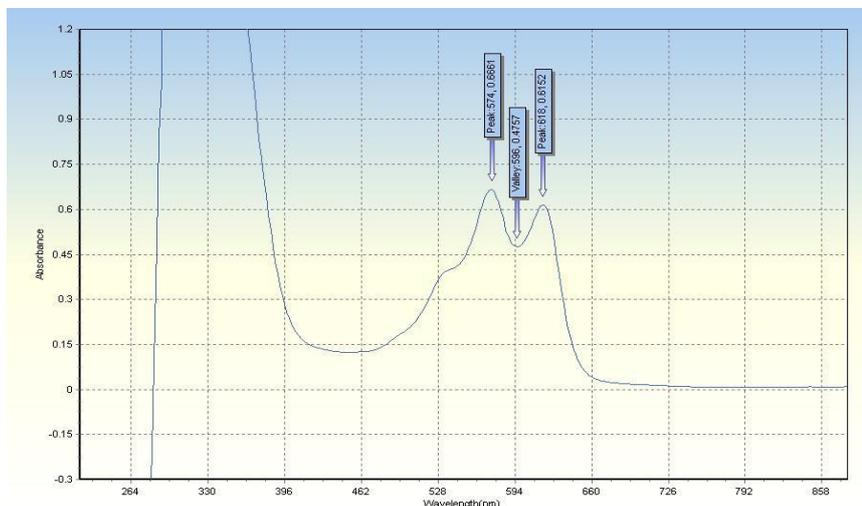
由表(四)可知，用酒精萃取的溶液電壓及電流皆比用水萃取的低。若單從用酒精萃取的來看，電壓最高的是蝶豆花，而電流高的是薯榔。

因為使用酒精萃取染料並沒有提高發電效能，所以將酒精萃取淘汰，皆用水萃取。另外我們查到原住民以前會用草木灰幫助染料固色，所以打算加入  $CaO(aq)$  來代替草木灰，測試染料的效果是否有影響。

## (五) 植物染料的全光譜檢測

各種不同種類色素的紫外線—可見光吸收光譜 (absorption spectrum) 及吸收度 (absorbance, A)

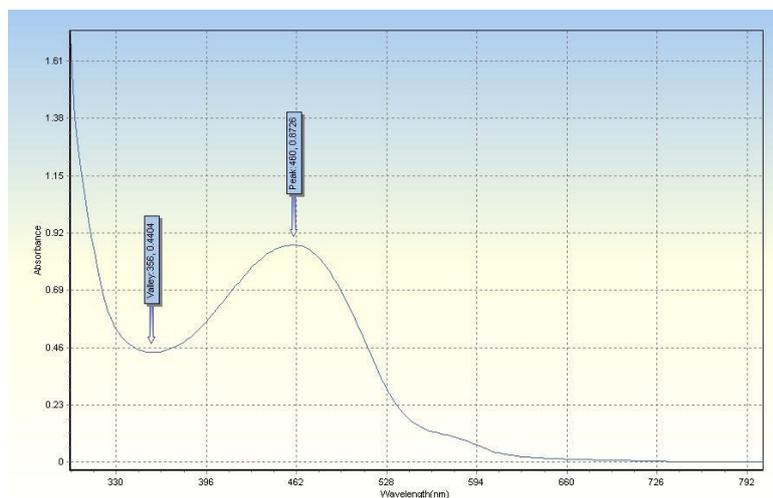
### 1、蝶豆花



圖(12)

由圖(12)可知：蝶豆花在 574nm 與 618nm 附近有很好的吸收度，這或許能夠解釋為何實驗(四)在黃光燈泡的照光下，蝶豆花在電壓的表現上可以說是最佳的。

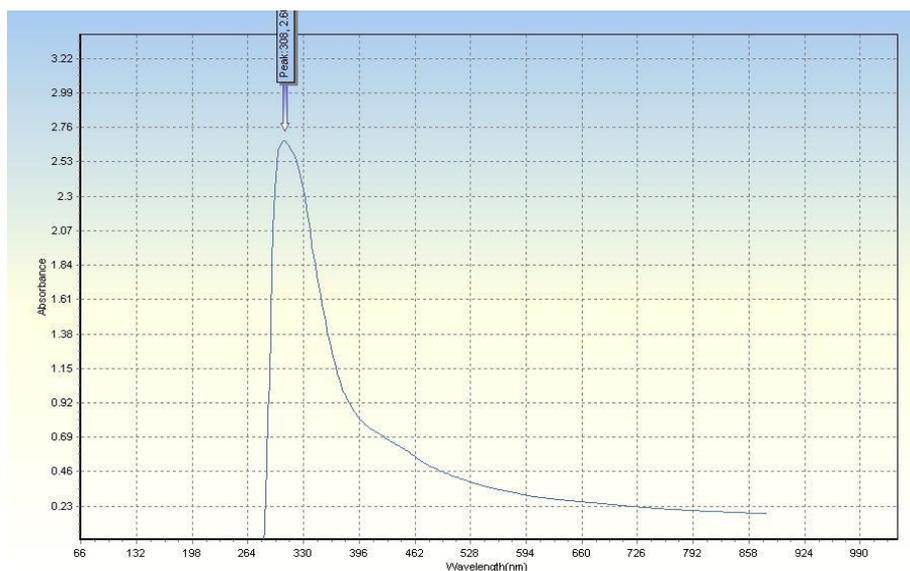
### 2、薯榔



圖(13)

由薯榔的吸收光譜圖(13)可知：薯榔在可見光譜區(460nm)以及紫外光譜區(310nm)都具有很好的吸收度，因此可以推測薯榔在太陽光照度下應該也能有較佳的發電效率，因此實驗(六)之後的實驗皆在太陽光下進行。

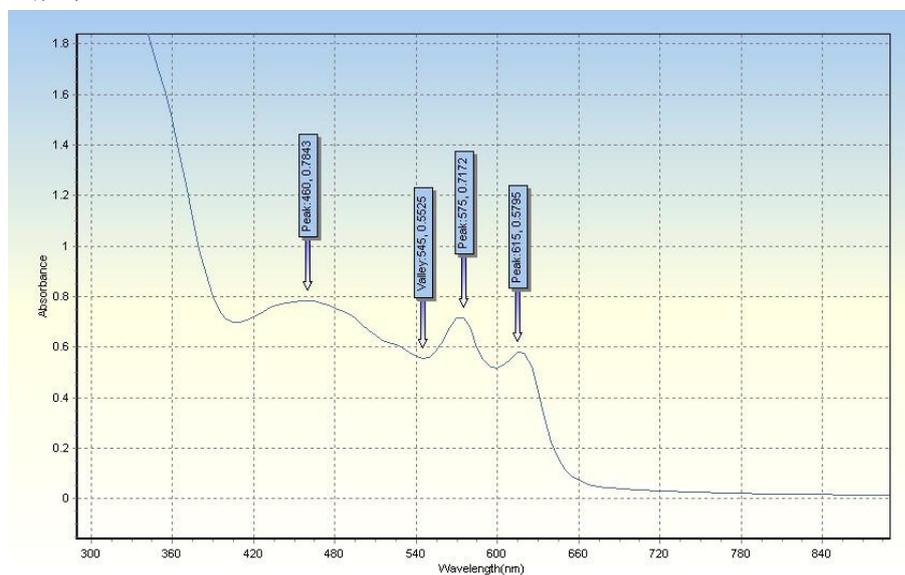
### 3、薑黃



圖(14)

由薑黃的吸收光譜圖(14)可得到:在可見光區的吸收度不如在紫外光區(308nm 有最高吸收度)，可以解釋其在黃光燈泡的照光下，薑黃染料在電壓的表現上較不理想。

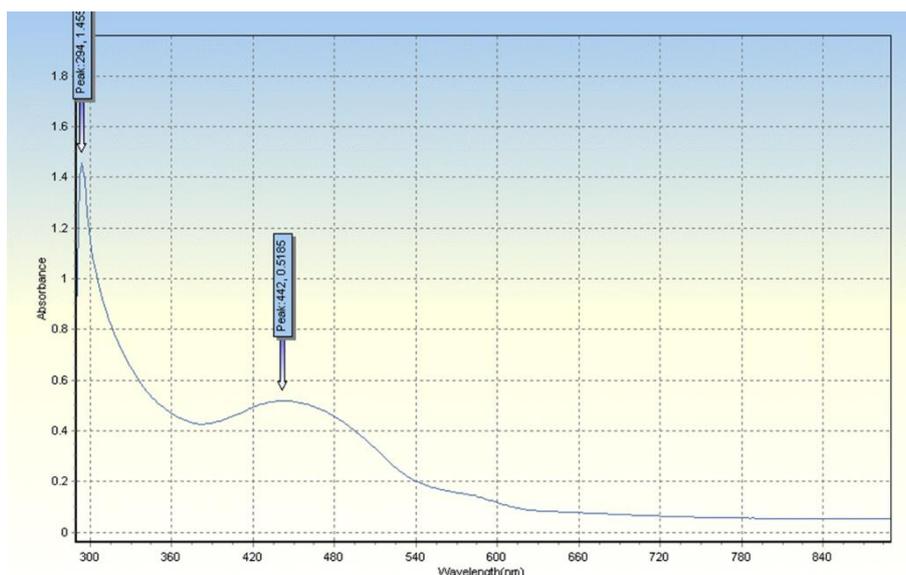
### 4、蝶豆花+薯榔



圖(15)

由圖(15)可知：蝶豆花+薯榔的光譜，各以原萃取溶液 1:1 的比例混合測量，原來蝶豆花 574nm 與 618nm 附近，以及薯榔 460nm 附近有很好的吸收度，混合後的溶液測得的光譜大致相符，可以推測兩者混合並未產生新的吸收峰。

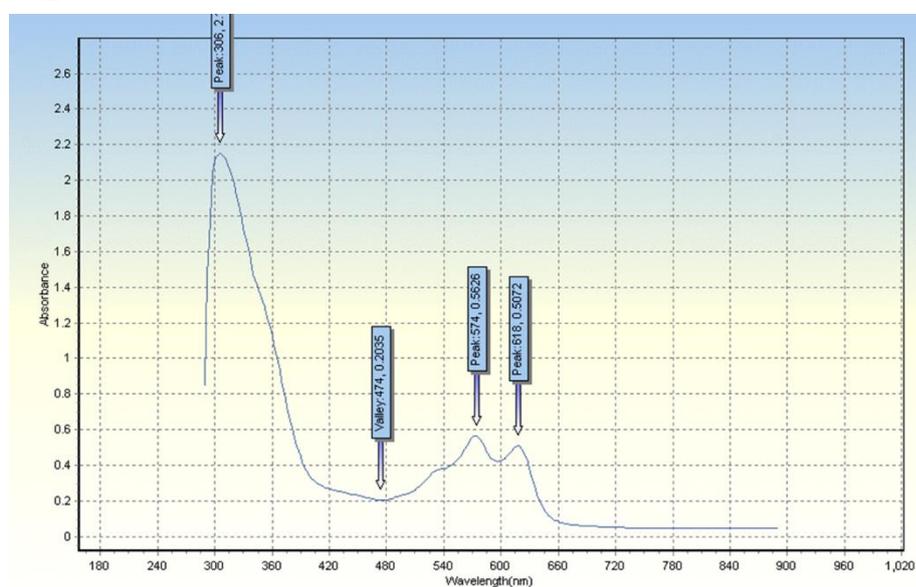
## 5. 薯榔+薑黃



圖(16)

由圖(16)可知：薯榔+薑黃的光譜，各以原萃取溶液 1:1 的比例混合測量，原來薯榔在可見光譜區 460nm 以及紫外光譜區 310nm 附近有很好的吸收度，以及薑黃紫外光區 308nm 附近有最高吸收度，混合後的溶液測得的光譜大致相符，可以推測兩者混合並未產生新的吸收峰。

## 6. 蝶豆花+薑黃



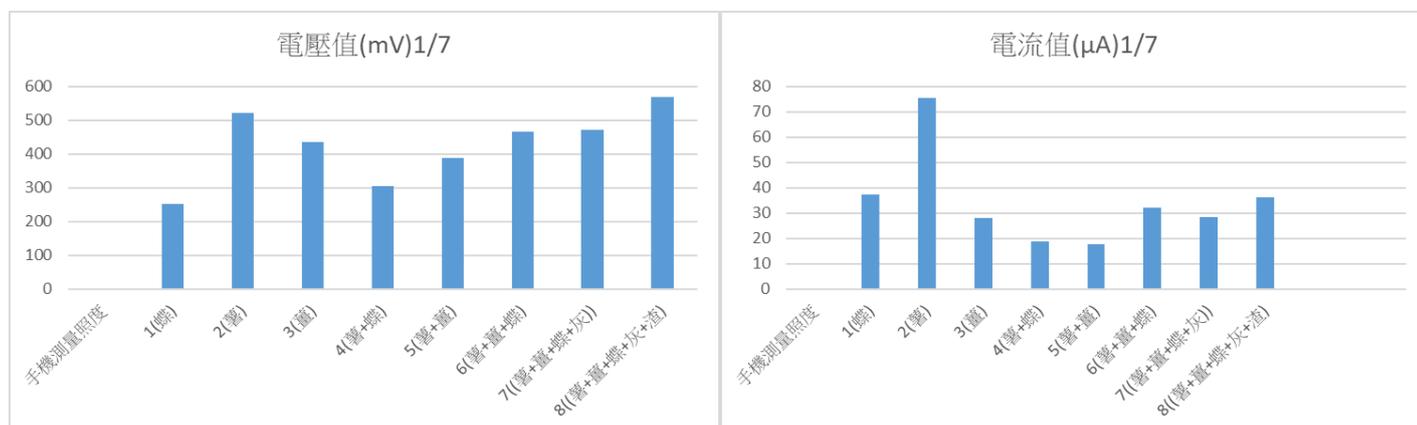
圖(17)

由圖(17)可知：蝶豆花+薑黃的光譜，各以原萃取溶液 1:1 的比例混合測量，原來蝶豆花 574nm 與 618nm 附近，以及薑黃 308nm 附近有很好的吸收度，混合後的溶液測得的光譜大致相符，可以推測兩者混合並未產生新的吸收峰。

(六)混合不同染料：用(1)蝶豆花、(2) 薯榔、(3) 薑黃的 10%溶液混合成 (4)薯榔+蝶豆花、(5)薯榔+薑黃、(6)薯榔+薑黃+蝶豆花、(7)薯榔+薑黃+蝶豆花+CaO(aq)、(8)薯榔+薑黃+蝶豆花+CaO(aq)+殘渣共 8 種染料並測電壓和電流。

太陽光 12EV	(1)蝶豆花	(2)薯榔	(3)薑黃	(4)蝶+薯
電壓(mV)	252(mV)	520(mV)	434(mV)	305(mV)
電流( $\mu A$ )	37.4( $\mu A$ )	75.4( $\mu A$ )	28( $\mu A$ )	18.8( $\mu A$ )
	(5)薑+薯	(6)蝶+薑+薯	(7)蝶+薑+薯+CaO	(8)蝶+薑+薯+CaO+ 殘渣
電壓(mV)	388(mV)	464.8(mV)	469.9(mV)	568.4(mV)
電流( $\mu A$ )	17.8( $\mu A$ )	32( $\mu A$ )	28.5( $\mu A$ )	36( $\mu A$ )

表(五)1/7 測量結果



圖(18)不同染料在相同照度下的電壓值

圖(19)不同染料在相同照度下的電流值

由表(四)與圖(18)(19)可知，若只有一種染料，(2)薯榔的電壓及電流最高。若全部一起比較，則(8)蝶+薑+薯+CaO(aq)+殘渣電壓最高，電流最高的仍然是 (2)薯榔。

這次我們使用了室內的黃光及室外的太陽光測量，發現室內黃光電壓及電流都特別低，因此我們淘汰室內黃光，皆用室外太陽光測量。為了測試原住民染料染敏電池的衰退率，將隔一段時間後再次測量。

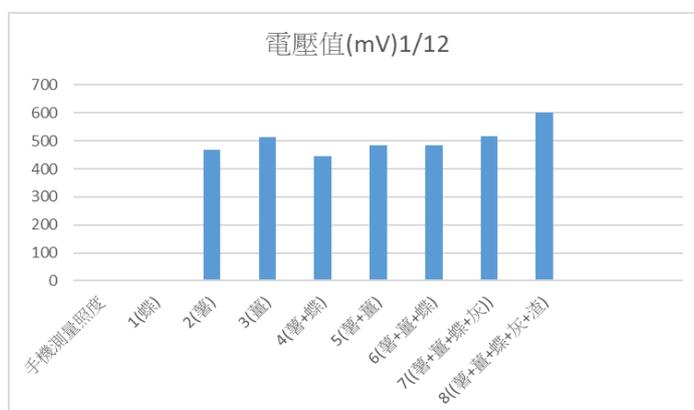
(七)測量電池的衰退率：

1、一週後(1/12)測量電池發電效率

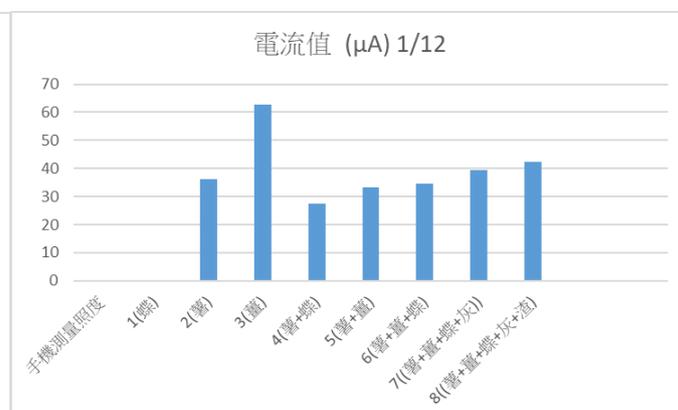
太陽光 11.2EV	(1)蝶豆花	(2)薯榔	(3)薑黃	(4)蝶+薯
電壓(mV)	缺	467.3(mV)	512(mV)	444(mV)
電流( $\mu A$ )	缺	36.3( $\mu A$ )	62.7( $\mu A$ )	27.3( $\mu A$ )
	(5)薑+薯	(6)蝶+薑+薯	(7)蝶+薑+薯+CaO	(8)蝶+薑+薯+CaO+殘渣
電壓(mV)	482.5(mV)	485.3(mV)	514.8(mV)	600.6(mV)
電流( $\mu A$ )	33.3( $\mu A$ )	34.7( $\mu A$ )	39.5( $\mu A$ )	42.3( $\mu A$ )

表(六)一週後(1/12)測量結果

註：因(1)蝶豆花的染敏電池碎裂，因此無測量數據。



圖(20)不同染料在相同照度下的電壓值



圖(21)不同染料在相同照度下的電流值

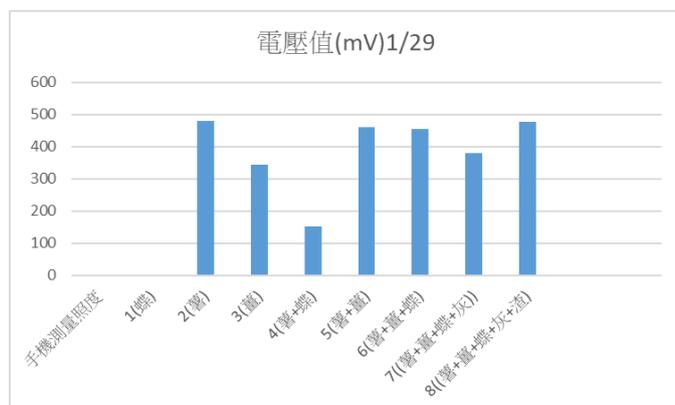
由表(六)與圖(20)(21)可知，若只有一種染料，(3)薑黃的電壓及電流較(2)薯榔高，但若全部比較，則是(8)蝶+薑+薯+CaO+殘渣的電壓較高，電流仍然是(3)薑黃最高。

2、三週後(1/29)測量電池發電效率

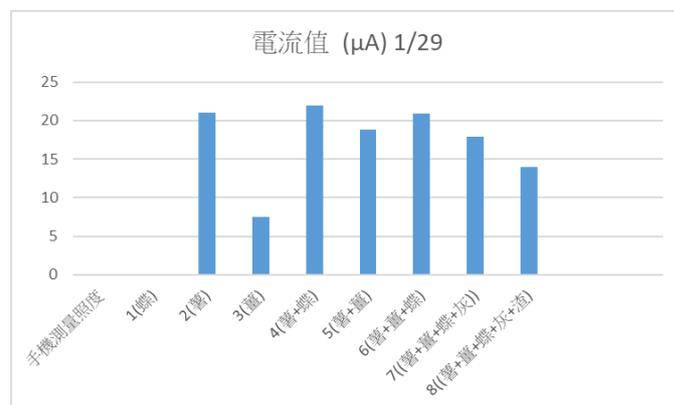
太陽光 11.0EV	(1)蝶豆花	(2)薯榔	(3)薑黃	(4)蝶+薯
電壓(mV)	缺	480.4(mV)	343.8(mV)	151.6(mV)
電流( $\mu A$ )	缺	21.0( $\mu A$ )	7.5( $\mu A$ )	21.9( $\mu A$ )
	(5)薑+薯	(6)蝶+薑+薯	(7)蝶+薑+薯 +CaO	(8)蝶+薑+薯 +CaO+殘渣
電壓(mV)	460.3(mV)	453.6(mV)	380.0(mV)	476.4(mV)
電流( $\mu A$ )	18.8( $\mu A$ )	20.9( $\mu A$ )	17.9( $\mu A$ )	14.0( $\mu A$ )

表(七)三週後(1/29)測量結果

註：因(1)蝶豆花的染敏電池碎裂，因此無測量數據。



圖(22)不同染料在相同照度下的電壓值



圖(23)不同染料在相同照度下的電流值

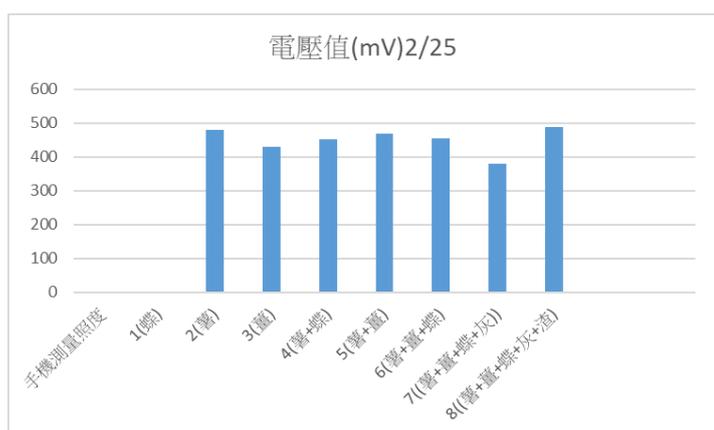
由表(七)與圖(22)(23)可知，若只有一種染料，(2)薯榔的電壓及電流皆比(3)薑黃高。若比較全部，電壓仍然是(2)薯榔最高，但電流則是(4)蝶+薯最高，但和(2)薯榔的電流值，並沒有差很多。

3、六週後(2/25)測量電池發電效率。

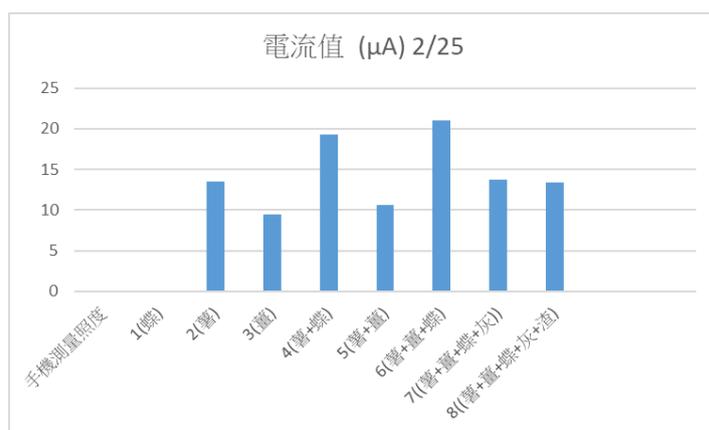
太陽光 10.5EV	(1)蝶豆花	(2)薯榔	(3)薑黃	(4)蝶+薯
電壓(mV)	缺	480.1(mV)	429.5(mV)	451.5(mV)
電流( $\mu A$ )	缺	13.5( $\mu A$ )	9.5( $\mu A$ )	19.3( $\mu A$ )
	(5)薑+薯	(6)蝶+薑+薯	(7)蝶+薑+薯 +CaO	(8)蝶+薑+薯 +CaO+殘渣
電壓(mV)	468.8(mV)	453.6(mV)	380.5(mV)	487.7(mV)
電流( $\mu A$ )	10.6( $\mu A$ )	21.0( $\mu A$ )	13.7( $\mu A$ )	13.4( $\mu A$ )

表(八)2/25 測量結果

註：因(1)蝶豆花的染敏電池碎裂，因此無測量數據。



圖(24)不同染料在相同照度下的電壓值



圖(25)不同染料在相同照度下的電流值

由表(八)與圖(24)(25)可知，若只有一種染料，(2)薯榔的電壓及電流皆比 (3)薑黃高。若比較全部，電流是 (6)蝶+薑+薯最高，但電壓則是 (8)蝶+薑+薯+CaO+殘渣 最高。

(8)與大學實驗室，染敏電池測量方式對照

為了解目前使用三用電表測量電壓電流的方式，對染敏電池的效能探討，是否有一致性，也為了檢測本實驗結果是否有再現性，我們於113年5月31日，再重新製作混合不同染料的電池，清單如下：(1a)蝶豆花、(2a) 薯榔、(3a)薑黃 (4a)薯榔+蝶豆花、(5a)薯榔+薑黃、(6a)薑黃+蝶豆花等，共6種染料並測電壓和電流值。並同時製作(1b)蝶豆花、(2b) 薯榔、(3b)薑黃 (4b)薯榔+蝶豆花、(5b)薯榔+薑黃、(6b)薑黃+蝶豆花等，一樣的6種染料，此1b ~ 6b染料的電池，放置於陽光底下，對照測試其電池衰退率，並於113年6月1日到中興大學化學系葉鎮宇教授實驗室，由碩二學生李明祐代為檢測，此1b ~ 6b染料電池的相關數據，結果如表(九)所示：

		三用電表 電壓值 (mV)	三用電表 電流值 ( $\mu A$ )	Voc / mV	Jsc / $\mu A \text{ cm}^{-2}$	Fill Factor	Efficiency/ %
	測量日期	5月31日	5月31日	6月1日	6月1日	6月1日	6月1日
	手機測量照 度	13 EV	13 EV				
室內	1a (蝶紫)	524.1	312.7				
	2a (薯棕)	486.3	81.9				
	3a (薑黃)	256.2	78.4				
	4a (薯+蝶)	508.4	136.8				
	5a (薯+薑)	575.1	168.6				
	6a (薑+蝶)	344.3	44.2				
照光	1b (蝶紫)	511.4	267.9	589.89	46.8819	0.435834102	0.012053112
	2b (薯棕)	491.3	99.9	524.69	41.3751	0.354356059	0.007692785
	3b (薑黃)	244.1	62.8	373.72	20.3116	0.246373026	0.001870168
	4b (薯+蝶)	502.9	184.3	617.29	52.9954	0.161986784	0.005299157
	5b (薯+薑)	569.7	126.1	527.35	11.7428	0.314806112	0.001949464
	6b (薑+蝶)	435.5	101.3	496.16	21.2009	0.251859581	0.002649315

表(九) 三用電表測量電壓電流，與中興大學化學系葉鎮宇教授實驗室檢測數據

比對表(九)中的數據，其中預計置於太陽光底下，持續照光的電池1b ~ 6b，我們以三用電表測量的電壓值，與大學端儀器的開環電壓(Voc)數值排序，大致相符。

我們製作的染敏電池，工作電極大小為  $3.8\text{cm} * 2.5\text{cm} = 9.8\text{cm}^2$ 。

## 陸、討論

### 一、碘液對染敏電池的影響

測量時我們先將染敏電池置於陽光下，通過遮擋電池上方的陽光，觀察數值的變動，以確保電池是否正常運作。以電壓為例，理論上，遮住吸光區域應該使數值下降。然而，在第一次使用蝶豆花染料的染敏電池實驗中，遮擋時數值卻上升，這使我們推論該染敏電池的某個環節可能存在問題。首先，陽極的二氧化鈦膠體溶液在每組電池中的濃度和厚度均相同。其次，染料的浸泡濃度和時間在每組實驗中也相同。因此，我們初步推斷問題可能出在作為電解質的碘液的使用上。然而，在第五次實驗中，一週後重新測量時，發現染敏電池再次出現和第一次相似的情況。考慮到染敏電池放置超過一週，且夾鏈袋中有水氣，我們聯想到內部碘液蒸發可能導致數值波動。基於對第一次實驗結果的分析，我們推論內部碘液蒸發導致數值浮動。在後續實驗中，我們增加了碘液的用量，結果染敏電池都能正常運作，這也驗證了我們當初的分析結果。

### 二、酒精萃取與蒸餾水萃取色素對發電效能的比較

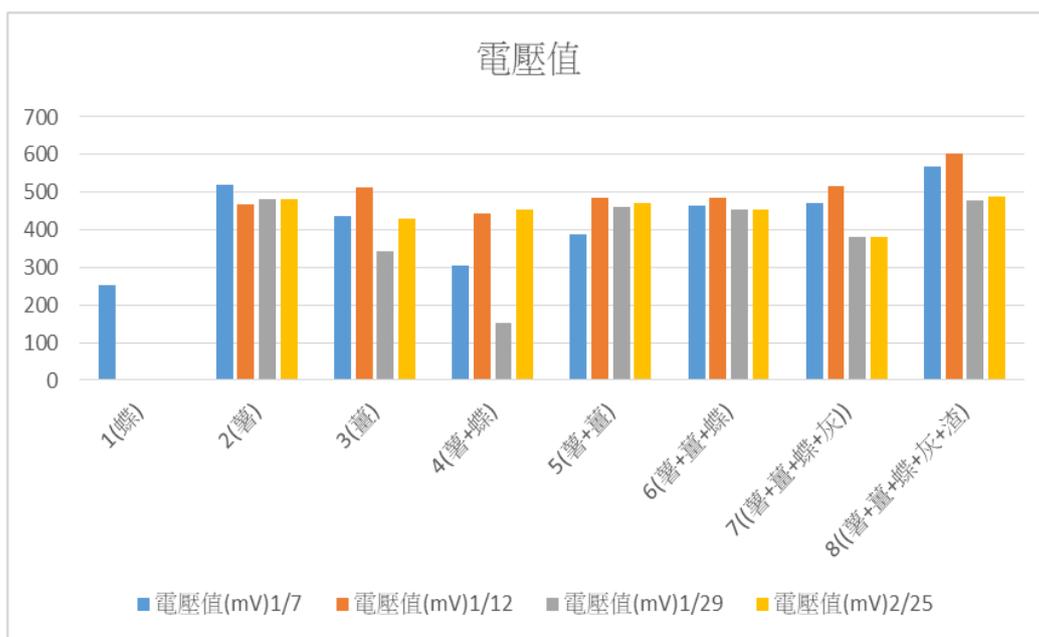
在第二週時我們發現第一週，用蒸餾水萃取染料的水溶液已經長出菌絲，我們連結到以前學過的葉綠素萃取實驗，改用可以消毒殺菌的酒精作為萃取染料的溶劑，因為酒精極性較低，萃取色素種類會不同，再比對相同濃度和染料的染敏電池，我們發現酒精萃取染料的電池發電效能沒有預想較佳的結果，水萃取的電池發電效能還是略勝一籌，所以決定還是使用蒸餾水萃取色素，並加入少量苯甲酸防腐。

### 三、薯榔對電壓的影響

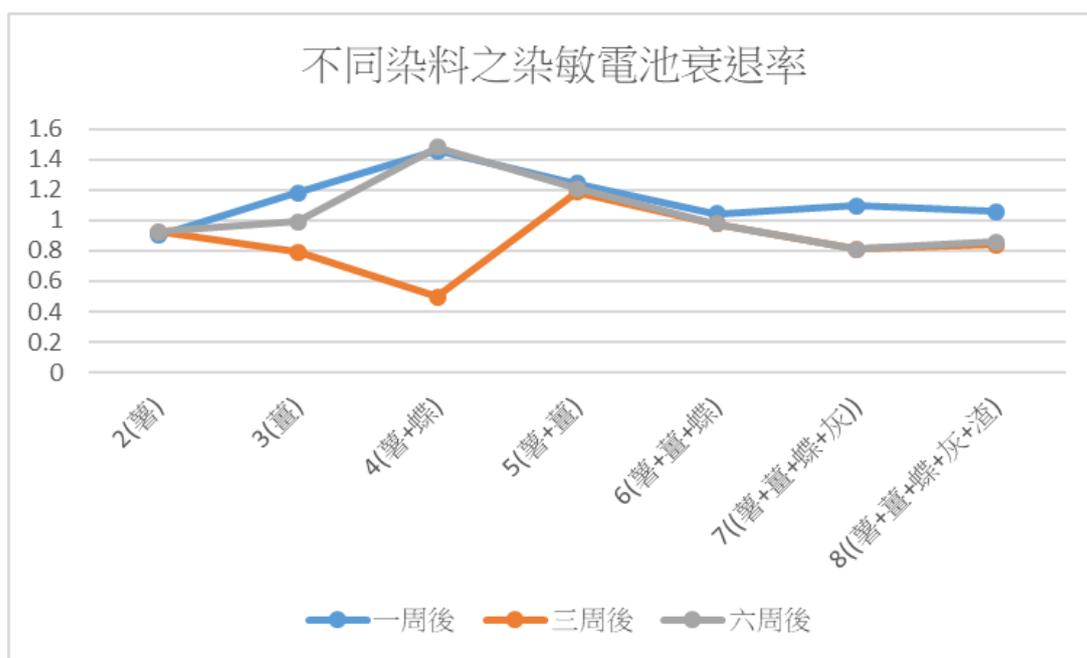
從下表整理的實驗數據發現，再經過一週、三週、六週發現電壓及電壓衰退率以(4)薯+蝶及(5)薯+薑的電壓值較高，且其衰退率也較低，我們推測薯榔對染敏電池的電壓值及衰退率皆有較佳的影響。其中(4)薯+蝶的電壓在第三次測量(1/29)時，得到的電壓值很小，但是第四次的測量(2/25)又回復，我們認為此次是人為測量誤差導致。

	電壓值 (mV)	電壓值 (mV)	電壓值 (mV)	電壓值 (mV)	電流值 ( $\mu$ A)	電流值 ( $\mu$ A)	電流值 ( $\mu$ A)	電流值 ( $\mu$ A)	電壓衰退率1	電壓衰退率2	電壓衰退率3
測量日期	1月7日	1月12日	1月29日	2月25日	1月7日	1月12日	1月29日	2月25日	1/7與1/12比較	1/7與1/29比較	1/7與2/25比較
手機測量照度	12EV (陰)	11.2EV (晴)	11.0EV (陰)	10.5EV (陰)	12EV (陰)	11.2EV (晴)	11.0EV (陰)	10.5EV (陰)			
1(蝶)	252	缺	缺	缺	37.4	缺	缺	缺			
2(薯)	520	467.3	480.4	480.1	75.4	36.3	21	13.5	90%	92%	92%
3(薑)	434	512	343.8	429.5	28	62.7	7.5	9.5	118%	79%	99%
4(薯+蝶)	305	444	151.6	451.5	18.8	27.3	21.9	19.3	146%	50%	148%
5(薯+薑)	388	482.5	460.3	468.8	17.8	33.3	18.8	10.6	124%	119%	121%
6(薯+薑+蝶)	464.8	485.3	453.6	453.6	32	34.7	20.9	21	104%	98%	98%
7((薯+薑+蝶+灰))	469.9	514.8	380	380.5	28.5	39.5	17.9	13.7	110%	81%	81%
8((薯+薑+蝶+灰+渣	568.4	600.6	476.4	487.7	36	42.3	14	13.4	106%	84%	86%

註：電壓衰退率= 後面的電池電壓值 / 第一次(1/7)製作電池時的電壓值



圖(26)不同染料在不同時間測得之電壓值



圖(27)各染料電壓衰退率

#### 四、染料設計的巧思

在文獻研究中，我們了解到原住民在染料應用中為提高固色度，常添加草木灰。我們認為染敏電池的成功與染料的設計密切相關，尤其需要確保陽極染劑附著度高且吸光力強，以提升發電效能。這正好與草木灰的功效相呼應。因此，在後續實驗中，我們引入了氧化鈣

水溶液作為一項探討的因素。在實驗室中，我們調製了 10%濃度的氧化鈣水溶液，並將其加入由三種染料混合製成的染敏電池（(7)蝶豆花+薑黃+薯榔+CaO(aq)）。經過對比實驗結果的分析後，我們發現氧化鈣水溶液對提升染敏電池效能的作用並不顯著。

## 柒、結論

本研究以染料敏化太陽能電池（染敏電池）為主題，結合原住民傳統染布文化，尤其以植物染料「薯榔」為重點研究對象，探討其對染敏電池的影響。實驗中使用了薯榔、薑黃等原住民特色染料，同時進行了與對照組蝶豆花的色素萃取及電池製作的對比實驗。一系列實驗，包括色素萃取、染敏電池製作以及不同染料的發電效率測試。結果顯示，使用薯榔染料的染敏電池在電壓和電流方面表現較佳，且在相同的光照條件下，發電效率相對較高，這對未來的實驗提供了有價值的方向。其次，通過在不同時間點進行電池效能測量，比較染敏電池的衰退程度。結果顯示，在完成染敏電池後，經過一週、三週和六週的測量數據比較發現，電池的發電效率呈現一定的衰退。然而，含有薯榔色素的染料，仍舊保持相對較高的電壓和電流值，顯示其對電池的長期穩定性有一定的幫助。

最後，綜合各項實驗結果，我們得出以下結論：薯榔染料在染敏電池中表現出色的發電效率和相對穩定的長期性能，我們接下來還想進一步探討，不同濃度的薯榔染料，對染敏電池性能的影響，以及薯榔染料對染敏電池的長期穩定性等的探討。這不僅展現了原住民傳統染布文化與現代太陽能技術的結合可行性，同時也為未來開發更環保、可持續的太陽能材料提供有價值的參考。

## 捌、參考文獻資料

- 1、 農業知識入口網: <https://kmweb.moa.gov.tw/subject/subject.php?id=27319>
- 2、 國家文化記憶庫:  
[https://memory.culture.tw/Home/Detail?Id=287425&IndexCode=Culture\\_Object](https://memory.culture.tw/Home/Detail?Id=287425&IndexCode=Culture_Object)
- 3、 中華民國第 52 屆中小學科學展覽作品。國小組。化學科。薯榔之美。李維等
- 4、 2019 染料敏化太陽能電池專題報導。科學發展。564 期，32-37 頁。陳祉雲、李玉郎
- 5、 普通高中選修化學 IV 教師手冊。P66 染料敏化太陽能電池。龍騰出版社。張煥宗等
- 6、 Juan Bisquert, "Dye-sensitized solar cells"  
[https://web.archive.org/web/20111221024031/http://www.elp.uji.es/juan\\_home/research/solar\\_cells.htm](https://web.archive.org/web/20111221024031/http://www.elp.uji.es/juan_home/research/solar_cells.htm)
- 7、 染料敏化太陽能電池 <https://reurl.cc/bDaGXr>
- 8、 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
- 9、 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
- 10、 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>

註:

圖(1)引用來源: <https://reurl.cc/bDaGXr>

除上述圖片引自他處，其他照片、圖片及表格均為作者親自製作。

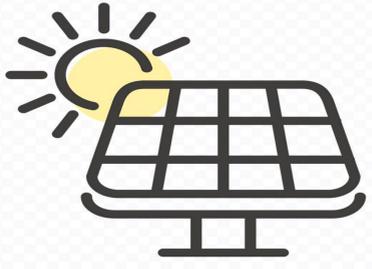
## 【評語】 050210

本研究以染料敏化太陽能電池（染敏電池）為主題，結合原住民傳統染布文化，尤其以植物染料「薯榔」為重點研究對象，探討其對染敏電池的影響。實驗中使用了薯榔、薑黃等原住民特色染料，同時進行了與對照組蝶豆花的色素萃取及電池製作的對比實驗。一系列實驗，包括色素萃取、染敏電池製作以及不同染料的發電效率測試。建議：

- 1) 如同實驗結果顯示，此一染料電池不易保存會發霉，可以嘗試思考如何讓電池可以保存較久，增加其應用性。
- 2) 未來建議可以去試著分析植物染料其真正可以用在電池上的成分(分子結構)。
- 3) 在數據呈現上，除了放入圖片以外，應要加以說明，解釋數據為什麼符合、或是不符合預期。做了很多實驗，在執行上也執行不錯，但是，似乎對於『為何要進行這樣的實驗』以及『為何這實驗可以給我們答案』不是很清楚。

## 作品簡報

# 美美之光-利用原住民特色染料 改善染敏電池的發電效率



# 壹、研究動機

近年來，太陽能發電技術蓬勃發展，其中染敏電池製作方便且低成本而引起我們的關注。身為阿美族的作者在與家中長輩聊天時，聊到阿美族早期因編織染技尚未發展，服飾以白色及紅土色為主，其中紅土色為薯榔染料所染製，薯榔擁有獨特的特性，能加強纖維韌性且防止布料掉色，所以我們設計此實驗觀察薯榔是否能夠提升電池的發電效率或持久性。

## 貳、研究目的

- 一、使用薯榔色素為染料的染敏電池對發電效率的影響
- 二、使用一段時間後，以薯榔色素為染料的染敏電池是否可以降低電池發電效率的衰退程度

## 參、研究設備及器材

### 一、器材:

研鉢及杵、鑷子、電子秤、計時器、長尾夾、蠟燭、膠帶、滴管、量筒(10mL)、玻璃培養皿、玻棒、定量瓶(100mL、1000mL)、載玻片(7.5cm\*2.5cm\*0.1cm)、單面導電玻璃(銳隆光電 RL35SD ITO 470\*370\*t0.7mm 切35\*35mm)

### 二、藥品:

奈米級二氧化鈦、碘酒、醋酸(Acetic acid, CH<sub>3</sub>COOH)、乙醇(Ethyl Alcohol, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH)、蒸餾水(Water, H<sub>2</sub>O)、氧化鈣(CaO)(原住民會以草木灰固定色素，以此驗測試性質)、

天然染料(薯榔(圖1)、秋薑黃粉、蝶豆花、甜菜根)

### 三、儀器:

(一)紫外光分光光度計(圖2)

(二)烘箱

(三)三用電表

(四)電磁加熱攪拌器/加熱板

(五)太陽光模擬器(xenon lamp power supply YSS-50S)(圖3)

(六)電流、電壓及光電轉換效率測量系統(PEC-320)



圖1



圖2



圖3

## 肆、研究過程及方法

### 一、原理探討:

染敏電池以二氧化鈦(直徑約20nm)和光敏染料為主要原料，運作機制如同葉綠素吸收太陽光後所發生的一連串氧化還原反應，將光能轉變為電能，如(圖4)。其中TiO<sub>2</sub>僅吸收小部分紫外線中的光子，主要是利用色素(dye)分子進行光吸收，使染料變成激發態，進而把電子注入進氧化物半導體，透過氧化物半導體傳導帶將電子傳遞至負極，此時電子將經由外部通路至正極後，再藉由還原電解液，使染料還原到基態。

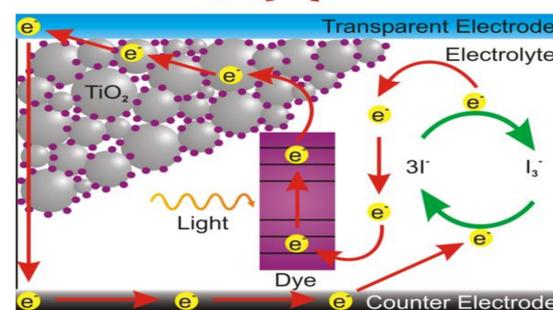
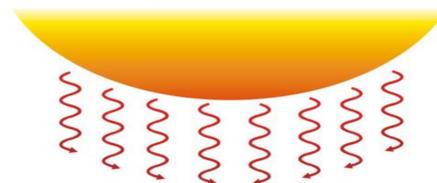


圖4

### 二、原住民特色染料—薯榔及甜菜根的色素萃取。

1. 將外皮切除放入烘箱攝氏120度烘乾120分鐘，放入冰箱冷凍保存
2. 使用時再取出少量切片(以10%乾燥物重量的比例，搗碎)
3. 加入溶劑(水)萃取色素
4. 濾紙簡單過濾後，以點滴瓶蒐集萃取液備用。

### 三、製作光敏染化太陽能電池基板詳細步驟:

#### (一)製作陽極:

1、TiO<sub>2</sub>置於燒杯加入0.4 vol%醋酸攪拌成TiO<sub>2</sub>膏狀溶液

2、導電玻璃的導電面朝上貼於桌面。

3、取TiO<sub>2</sub>膏狀溶液以玻棒均勻塗抹在導電面

4、乾燥後陽極放置於加熱板(10分鐘內由室溫加熱到450°C)

5、冷卻後以滴管由側面加入染料(靜置20分鐘等待乾燥)

染料部分是將薯榔、薑黃、甜菜根以及蝶豆花等色素萃取液，分別滴入染料使工作電極吸附，每個編號的染料總共20滴，視所含染料種類數目而平均分配滴數，並分別予以編號為(1)蝶豆花、(2)薯榔、(3)薑黃、(4)薯榔+蝶豆花、(5)薯榔+薑黃、(6)薯榔+薑黃+蝶豆花、(7)薯榔+蝶豆花+薑黃+CaO(aq)、(8)薯榔+蝶豆花+薑黃含過濾渣+CaO(aq)。

#### (二)陰極製作:

蠟燭燃燒鍍碳: 以鑷子將導電玻璃導電面，面像蠟燭火焰上方，直到玻璃均勻覆蓋碳微粒為止。(留下約0.5公分接電極)

#### (三)組裝及測量:

1. 將陰極、陽極導電面，面面相對結合，並在兩側使用長尾夾固定，中間滴入碘液(市售優碘)當作電解質。
2. 以鱷魚夾連接染敏電池與三用電錶，將組件置於陽光下，工作電極面朝上，同時以手機APP測量照度，並以三用電表測量染敏電池的電壓和電流值。

# 伍、研究結果

## [實驗一:測量光敏染化太陽能電池基板在陽光下發電效率]

(一)加入原住民染料 - 薑黃: 用蝶豆花和薑黃分別萃取5%和10%，薑黃無過濾有渣，測得太陽光照度與電壓。

太陽光 10.0EV	5%蝶豆花	10%蝶豆花	5%薑黃	10%薑黃
電壓(mV)	426.2(mV)	418.6(mV)	480.1(mV)	513.4(mV)

表(1)5%及10%蝶豆花和薑黃電壓測量結果

(二)加入原住民染料 - 薑黃、甜菜根、薯榔: 萃取蝶豆花、薑黃、甜菜根、薯榔的10%溶液且都有過濾，測得電壓與電流。

太陽光9.8EV	蝶豆花(10%)	薑黃(10%)	甜菜根(10%)	薯榔(10%)
電壓(mV)	535(mV)	420(mV)	540(mV)	466.6(mV)
電流(μA)	238.3(μA)	165.1(μA)	228.2(μA)	1.7(μA)

表(2)10%的蝶豆花、薑黃、甜菜根、薯榔電壓及電流測量結果

(三)分別用酒精和蒸餾水，萃取蝶豆花、薑黃、甜菜根及薯榔的10%溶液，皆有過濾，電壓和電流皆有測。這次是用四周放置錫箔紙並裝上黃光燈泡的箱子在室內進行測量。

黃光燈泡(7.1EV)	蝶豆花(酒精)	薑黃(酒精)	甜菜根(酒精)	薯榔(酒精)
電壓(mV)	411.5(mV)	190(mV)	60(mV)	275(mV)
電流(μA)	10.9(μA)	5.0(μA)	1.0(μA)	27.1(μA)
	蝶豆花(水)	薑黃(水)	甜菜根(水)	薯榔(水)
電壓(mV)	缺	365(mV)	499(mV)	291.3(mV)
電流(μA)	缺	58.0(μA)	35.2(μA)	67.8(μA)

表(3)酒精及水萃取蝶豆花、薑黃、甜菜根、薯榔電壓及電流測量結果

(四)混合不同染料: 用(1)蝶豆花、(2)薯榔、(3)薑黃的10%溶液混合成(4)薯榔+蝶豆花、(5)薯榔+薑黃、(6)薯榔+薑黃+蝶豆花、(7)薯榔+薑黃+蝶豆花+CaO(aq)、(8)薯榔+薑黃+蝶豆花+CaO(aq)+殘渣共8種染料並測電壓和電流。

(五)測量電池的衰退率:

1、一週後(1/12)測量電池發電效率

註: 蝶豆花(水)因為導電面塗錯，因此無測量數據

註: 因(1)蝶豆花的染敏電池碎裂，因此無測量數據

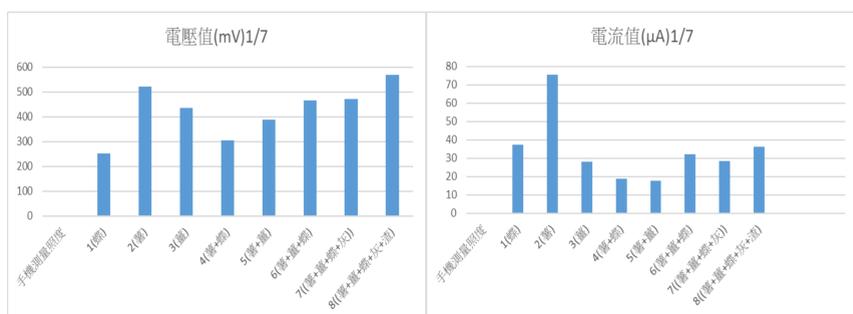


圖5 不同染料在相同照度下的電壓值(1/7)

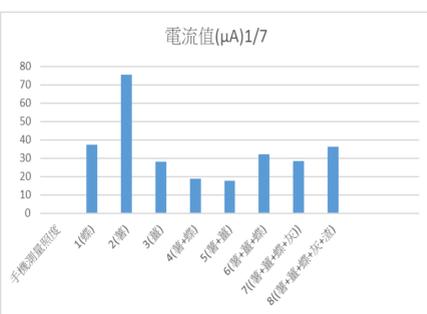


圖6 不同染料在相同照度下的電流值(1/7)

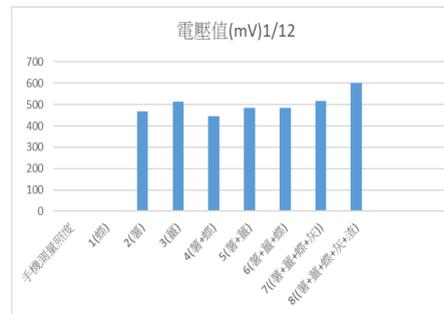


圖7 不同染料在相同照度下的電壓值(1/12)

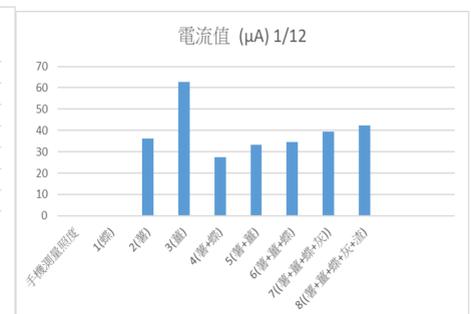


圖8 不同染料在相同照度下的電流值(1/12)

2、三週後(1/29)測量電池發電效率

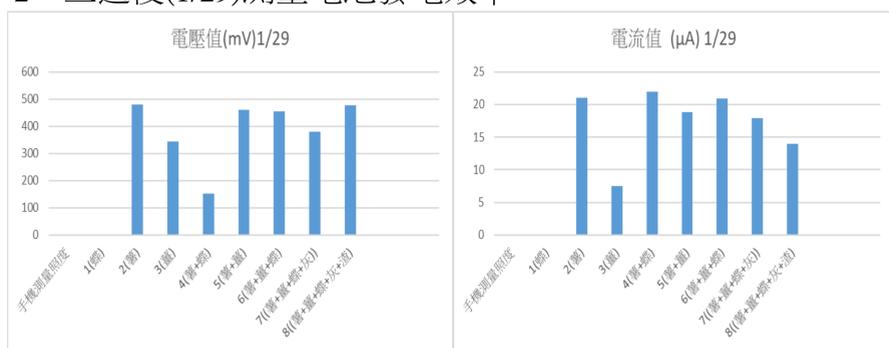


圖9 不同染料在相同照度下的電壓值(1/29)

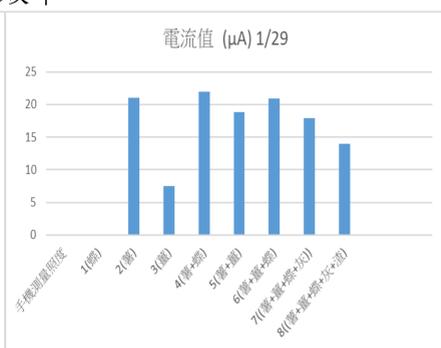


圖10 不同染料在相同照度下的電流值(1/29)

3、六週後(2/25)測量電池發電效率

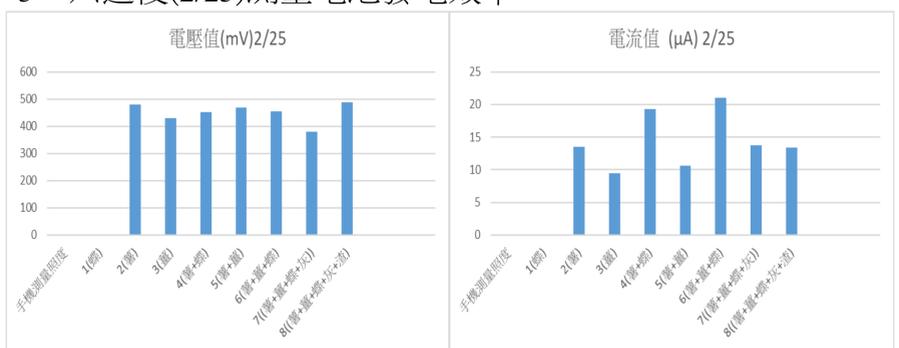


圖11 不同染料在相同照度下的電壓值(2/25)

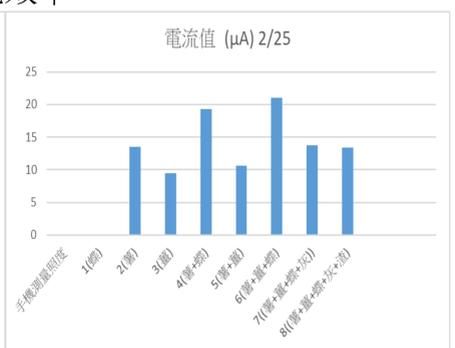


圖12 不同染料在相同照度下的電流值(2/25)

(六)與大學實驗室，染敏電池測量方式對照

為了解使用三用電表測量電壓電流的方式對染敏電池效能的探討是否有一致性及本實驗結果是否有再現性，重新製作混和不同染料的染敏電池(1b)蝶豆花、(2b)薯榔、(3b)薑黃、(4b)蝶豆花+薯榔、(5b)薯榔+薑黃、(6b)蝶豆花+薑黃。

	三用電表電壓值(mV)	三用電表電流值(μA)	Voc/ mV	Jsc/ μA cm <sup>-2</sup>	Fill Factor	Efficiency/ %
測量日期	5/31(13EV)	5/31(13EV)	6/1	6/1	6/1	6/1
1b(蝶紫)	511.4	267.9	589.89	46.8819	0.435834102	0.012053112
2b(薯棕)	491.3	99.9	524.69	41.3751	0.354356059	0.007692785
3b(薑黃)	244.1	62.8	373.72	20.3116	0.246373026	0.001870168
4b(蝶+薯)	502.9	184.3	617.29	52.9954	0.161986784	0.005299157
5b(薯+薑)	569.7	126.1	527.35	11.7428	0.314806112	0.001949464
6b(蝶+薑)	435.5	101.3	496.16	21.2009	0.251859581	0.002649315

表(4) 三用電表測量電壓電流與中興大學化學系葉鎮宇教授實驗室檢測數據

工作電極大小為  
3.8cm\*2.5cm=9.8cm<sup>2</sup>

以三用電表測量的電壓值與大學端儀器的開環電壓(Voc)數值排序大致相同

## 【實驗二:植物染料的全光譜檢測】

混和染料的光譜，各以原萃取溶液1:1的比例混合測量

各種不同種類色素的紫外線—可見光吸收光譜 (absorption spectrum)及吸收度 (absorbance, A)

### 1、蝶豆花

吸收峰:  
574nm與  
618nm

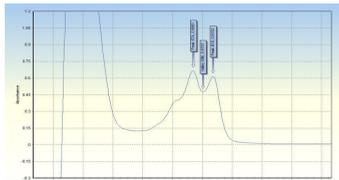


圖13

### 2、薯榔

吸收峰:  
310nm與  
460nm

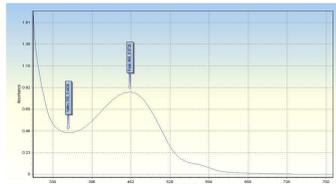


圖14

### 3、薑黃

吸收峰:  
308nm

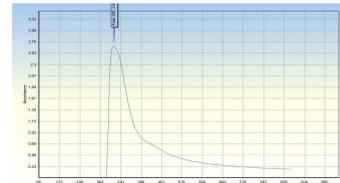


圖15

### 4、蝶豆花+薯榔

兩者混合皆  
未產生新的  
吸收峰。

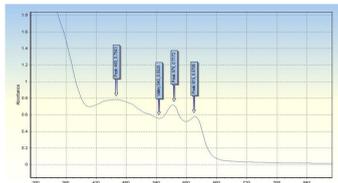


圖16

### 5、薯榔+薑黃

兩者混合皆  
未產生新的  
吸收峰。

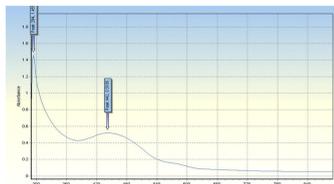


圖17

### 6、蝶豆花+薑黃

兩者混合皆  
未產生新的  
吸收峰。

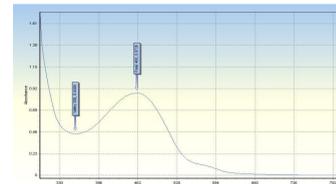


圖18

## 陸、討論

### 一、碘液對染敏電池的影響

染敏電池實驗中，遮擋陽光後數值反而升高，顯示存在著問題。由於已經確保二氧化鈦膠體溶液厚度和染料浸泡條件一致，推斷問題可能在於碘液作為電解質的使用。第五次實驗中也出現類似情況，考慮到是碘液蒸發造成數值波動。為驗證假設，增加了碘液用量，而電池正常運作，驗證了我們的推論。

### 二、酒精萃取與蒸餾水萃取色素對發電效能的比較

在第二週時我們發現第一週，用蒸餾水萃取的已經長出菌絲  
□ 改用可以消毒殺菌的酒精作為萃取染料的溶劑  
但因為酒精極性較低，萃取色素種類會不同，我們發現酒精萃取的發電效能沒有預想較佳的結果  
所以最終決定使用蒸餾水萃取色素，並加入少量苯甲酸防腐。

### 三、薯榔對電壓的影響

從下表(4)整理的實驗數據發現，再經過一週、三週、六週發現電壓及電壓衰退率以(4)薯+蝶及(5)薯+薑的電壓值較高，且其衰退率也較低，我們推測薯榔對染敏電池的電壓值及衰退率皆有較佳的影響。其中(4)薯+蝶的電壓在第三次測量(1/29)時得到的電壓值很小，但是第四次的測量(2/25)又回復，我們認為此次是人為測量誤差導致。

	電壓值 (mV)	電壓值 (mV)	電壓值 (mV)	電壓值 (mV)	電流值 (μA)	電流值 (μA)	電流值 (μA)	電流值 (μA)	電壓衰退率1	電壓衰退率2	電壓衰退率3
測量日期	1月7日	1月12日	1月29日	2月25日	1月7日	1月12日	1月29日	2月25日	1/7與1/12比較	1/7與1/29比較	1/7與2/25比較
手機測量照度	12EV (陰)	11.2EV (晴)	11.0EV (陰)	10.5EV (陰)	12EV (陰)	11.2EV (晴)	11.0EV (陰)	10.5EV (陰)			
1(蝶)	252	缺	缺	缺	37.4	缺	缺	缺			
2(薯)	520	467.3	480.4	480.1	75.4	36.3	21	13.5	90%	92%	92%
3(薑)	434	512	343.8	429.5	28	62.7	7.5	9.5	118%	79%	99%
4(薯+蝶)	305	444	151.6	451.5	18.8	27.3	21.9	19.3	146%	50%	148%
5(薯+薑)	388	482.5	460.3	468.8	17.8	33.3	18.8	10.6	124%	119%	121%
6(薯+薑+蝶)	464.8	485.3	453.6	453.6	32	34.7	20.9	21	104%	98%	98%
7((薯+薑+蝶+灰))	469.9	514.8	380	380.5	28.5	39.5	17.9	13.7	110%	81%	81%
8((薯+薑+蝶+灰+酒))	568.4	600.6	476.4	487.7	36	42.3	14	13.4	106%	84%	86%

表(5)

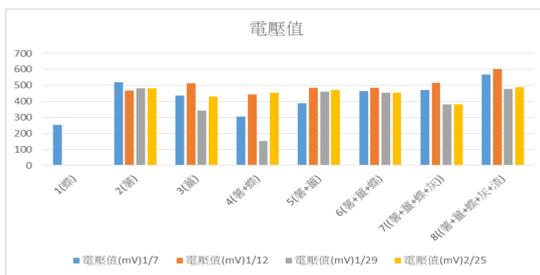


圖19 不同染料在不同時間測得之電壓值

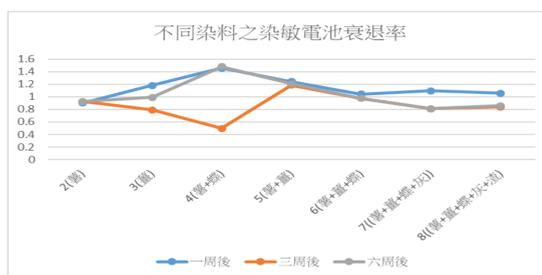


圖20 各染料電壓衰退率

## 柒、結論

本研究以染敏電池為主題，結合原住民傳統染布文化，以植物染料「薯榔」為重點研究對象，探討其對染敏電池的影響。實驗中使用了薯榔、薑黃等原住民特色染料，同時與對照組蝶豆花進行了一系列對比實驗，包括色素萃取、染敏電池製作以及不同染料的發電效率測試。結果顯示，相同的光照條件下，薯榔染料的染敏電池發電效率相對較高。其次，通過在不同時間點進行電池效能測量，比較染敏電池的衰退程度。顯示染敏電池經過一週、三週和六週，各電池的發電效率呈現一定的衰退。然而，含有薯榔色素的染料仍舊保持相對較高的電壓和電流值，顯示其對電池的長期穩定性有一定的幫助。

最後，綜合各項實驗結果，我們得出以下結論：薯榔染料在染敏電池中有出色的發電效率和相對穩定的長期性能，我們接下來還想進一步探討不同濃度的薯榔染料對染敏電池性能的影響，以及薯榔染料對染敏電池的長期穩定性等的探討。這不僅展現了原住民傳統染布文化與現代太陽能技術的結合可行性，同時也為未來開發更環保、可持續的太陽能材料提供有價值的參考。

## 捌、參考資料及其他

- 1、農業知識入口網:<https://kmweb.moa.gov.tw/subject/subject.php?id=27319>
- 2、國家文化記庫:[https://memory.culture.tw/Home/Detail?Id=287425&IndexCode=Culture\\_Object](https://memory.culture.tw/Home/Detail?Id=287425&IndexCode=Culture_Object)
- 3、中華民國第52屆中小學科學展覽作品。國小組。化學科。薯榔之美。李維等
- 4、2019染料敏化太陽能電池專題報導。科學發展。564期，32-37頁。陳祉雲、李玉郎
- 5、普通高中選修化學IV教師手冊。P66染料敏化太陽能電池。龍騰出版社。張煥宗等
- 6、染料敏化太陽能電池<https://reurl.cc/bDaGXr>
- 7、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
- 8、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