

# 中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 生活與應用科學(二)科

032906

探討「植物染料敏化光電池」發電效能及改良式  
光電池適用性之分析

學校名稱：臺中市私立衛道高級中學(附設國中)

|                                               |                  |
|-----------------------------------------------|------------------|
| 作者：<br><br>國二 杜昀翰<br><br>國二 郭昱辰<br><br>國二 邱國洲 | 指導老師：<br><br>蔡乙任 |
|-----------------------------------------------|------------------|

關鍵詞：太陽能電池、植物染料光反應、葉綠素

## 摘要

植物染料敏化光電池是藉由太陽光來激發植物色素中的電子，以引發一連串的光反應而產生電流，其在環保與經濟上的應用，遠遠超過現今普遍使用的太陽能電池。本研究分成兩大部分，第一部份，以一般光電池的製造方式，從蔬菜色素、電解質溶液、色光的種類及濃度等變因找尋最佳的發電條件；第二部分，為改良光電池，我們嘗試固化碳粉、二氧化鈦，並利用洋菜粉將蔬菜色素與電解質溶液果凍化，來改進光電池攜帶不便的缺點。我們更製造出光電池的反應載體，以提升電壓的穩定輸出。研究結果證明，在強酸溶液與藍光照射下，光電池可產生最大的電壓；且改良式光電池在穩定供電及組合串聯兩方面產生不錯的效果。

## 壹、研究動機

近年來，環保意識抬頭，傳統不環保的發電方式因會造成各種汙染，而漸漸不被人們所接受，而正夯的綠能發電又有成本高、效率低等缺點，因此，我們站在能源轉型的十字路上，如何兼顧經濟發展與環境保護，絕對是我們這一代所必須解決的問題。所以，我們發想，家中早已由太陽能電熱器取代傳統的瓦斯熱水器；而學校大樓的頂樓也陸陸續續加裝了太陽能板，除此之外，是否能有更環保又實用的發電方式呢？經過資料搜尋後，我們發現利用植物色素將太陽光經光反應來轉化成電能，這種「植物敏化染料光電池」的存在，而這種光電池強調低成本與容易製造的特性更引起我們的關注，因此我們設計出一連串的研究實驗，期望能找出最適合的發電模組及效能，為環保貢獻一己之力。

## 貳、研究目的

### 一、探討「植物染料敏化光電池」發電效能

- (一) 比較不同種類的植物色素對植物染料敏化光電池發電效能的影響。
- (二) 比較使用不同電解液（電解液種類、濃度）對植物染料敏化光電池的影響。
- (三) 比較植物色素浸泡時間對植物染料敏化光電池效能的影響。
- (四) 比較不同色光光源對植物染料敏化光電池發電效能的影響。
- (五) 比較植物染料敏化光電池電壓效能與時間的關係。
- (六) 探討光電池串聯的發電效能。

### 二、改良式光電池適用性之分析

- (一) 改良光電池反應中電解質容易流失的缺點。
- (二) 改進光電池反應中電極在導電玻璃上附著不佳的缺點。
- (三) 設計光電池的反應載體以利電壓的輸出。
- (四) 利用串聯求得光電池發電的最大電壓。
- (五) 改良式光電池與一般光電池的比較。

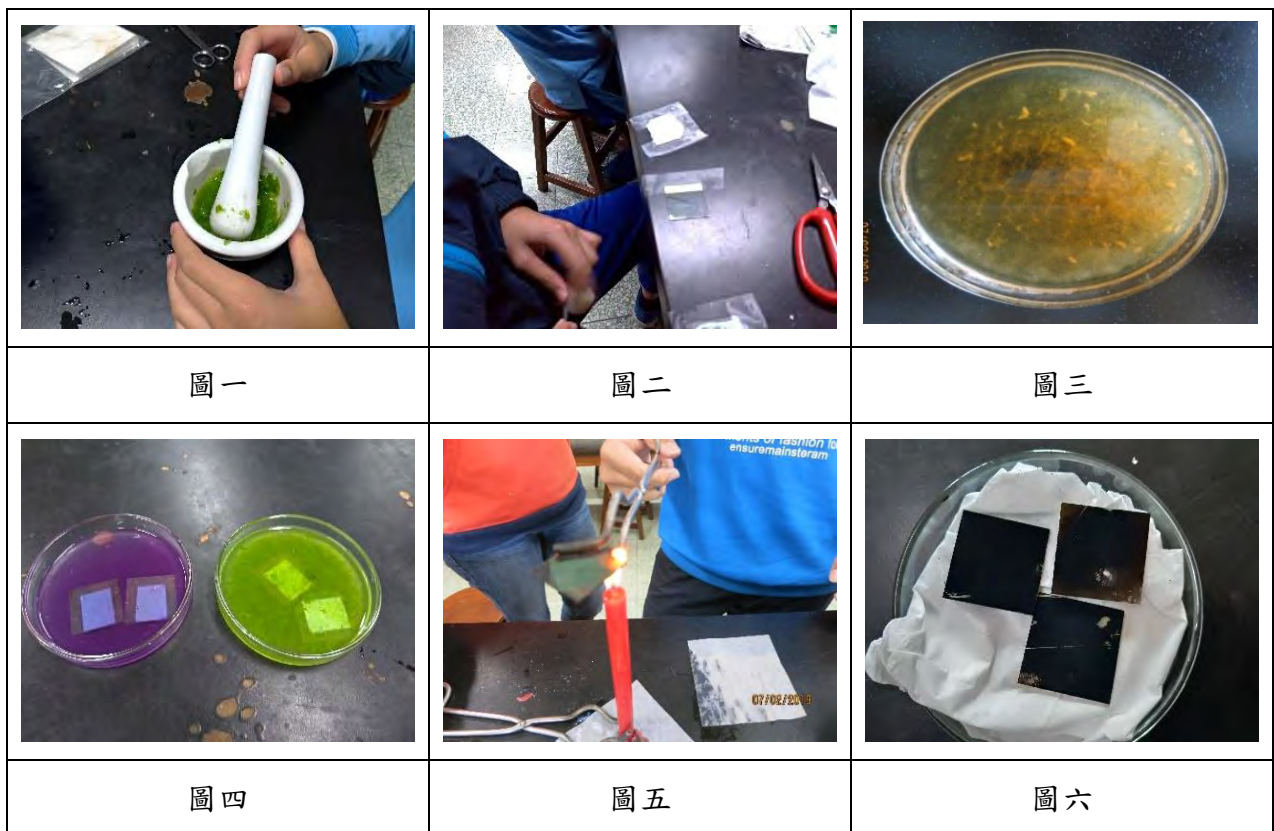
## 參、研究設備及器材

|      |          |        |     |      |      |
|------|----------|--------|-----|------|------|
| 導電玻璃 | 三用電表     | 3D 列印機 | 光度計 | 銅膠帶  | 麵包板  |
| 杜邦線  | 長尾夾      | 三腳架    | 電子秤 | 錫焊槍  | 量筒   |
| 培養皿  | 陶瓷纖維網    | 蠟燭     | 坩堝鉗 | 攝影設備 | 酒精燈  |
| 滴管   | 玻璃紙(紅藍綠) | 研鉢和杵   | 凸透鏡 | 鱷魚夾  | 銲錫   |
| 膠水   | 奈米級二氧化鈦  | 導電凝膠   | 丙酮  | 碘化鉀  | 碳酸氫鈉 |
| 鹽酸   | 氫氧化鈉     | 醋酸     | 碳粉  | 各類蔬菜 | 洋菜粉  |

## 肆、研究過程與方法

### 一、探討「植物染料敏化光電池」發電效能

- (一) 搗碎各類蔬菜葉片並利用丙酮萃取出色素，調製成染料（圖一），並依實驗設計之濃度配製各種電解液與二氧化鈦溶液（二氧化鈦質量：水的質量=1：9）。
- (二) 利用膠帶平貼導電玻璃（圖二），於空白處抹上一層二氧化鈦，並利用壓克力板抹平，讓二氧化鈦能均勻塗抹在玻璃上，靜置 5 分鐘等待二氧化鈦瀝乾。
- (三) 去除玻璃三邊的膠帶，並將玻璃置於陶瓷纖維網上，利用酒精燈加熱 15 分鐘，再冷卻 10 分鐘。
- (四) 將塗上二氧化鈦的玻璃，浸泡在（步驟一）所配製成的植物色素中 20 分鐘（圖三、圖四）。
- (五) 利用燃燒的蠟燭，將另一片導電玻璃燻黑，讓所產生的碳粒能均勻分佈在玻璃表面（圖五、圖六）。



- (六) 取（步驟二）塗上二氧化鈦並已乾燥的玻璃，滴上（步驟一）所配製的電解液。

(七) 把(步驟五)的導電玻璃，與(步驟六)滴上電解液的導電玻璃，利用長尾夾錯開固定在一起(預留電極接觸點)(圖七)。

(八) 利用固定照光距離(15 cm)來控制固定亮度(LED燈, 1603 lux)，並照射各種色光，且利用三用電表測量其所產生的電壓。(圖八、圖九)



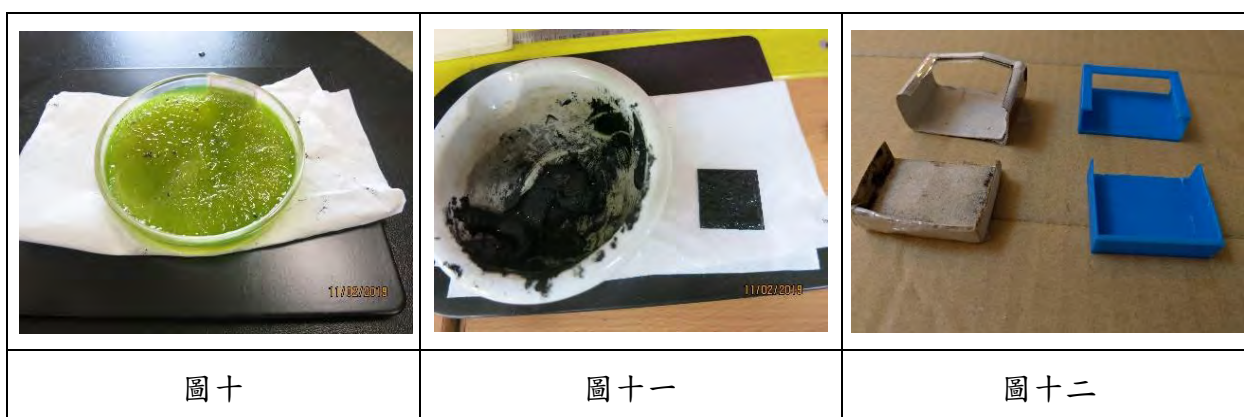
## 二、改良式光電池適用性之分析

(一) 取 3 g 的洋菜絲與 100 mL 的水共煮後取 25 mL 的溶液，與 25 mL 的植物色素及 15 mL 的電解質(KI、1M)溶液混合，配製成果凍體(圖十)。

(二) 利用膠水將二氧化鈦及碳粉調製成糊狀物，並分別均勻塗抹在導電玻璃上，靜置一天，待其成凝固體(圖十一)。

(三) 利用火柴盒設計光電池反應的載體，並以此為模型，利用 3D 列印機製造出最佳的載體(圖十二)。

(四) 利用錫焊、銅膠帶、導電凝膠、杜邦線、麵包板，將電池串聯並測得最大電壓。



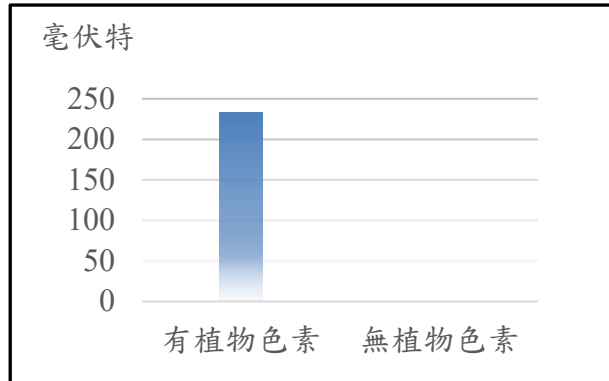
## 伍、研究結果

### 一、探討「植物染料敏化光電池」發電效能

(一) 比較不同種類的植物色素對植物染料敏化光電池發電效能的影響。

1. 確定植物色素在反應中的角色：

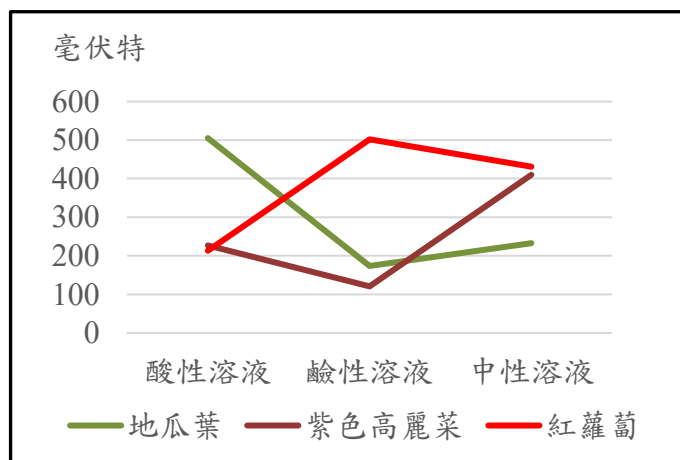
|       | 測量值<br>(mV) |
|-------|-------------|
| 有植物色素 | 232.6       |
| 無植物色素 | 0           |



2. 不同顏色的植物色素對光電池發電效能的影響：

(電解液:酸性 (HCl), 鹼性 (NaOH), 中性 (KI), 濃度: 1M, 單位: mV)

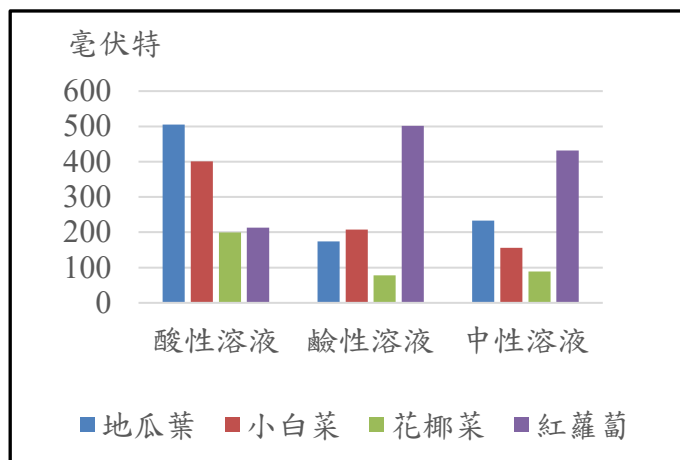
|      | 綠色<br>(地瓜葉) | 紫色<br>(高麗菜) | 紅色<br>(紅蘿蔔) |
|------|-------------|-------------|-------------|
| 酸性溶液 | 505.2       | 227.0       | 213.2       |
| 鹼性溶液 | 173.7       | 120.8       | 501.9       |
| 中性溶液 | 232.6       | 410.1       | 431.3       |



3. 不同種類的植物色素對光電池發電效能的影響：

(電解液:酸性 (HCl), 鹼性 (NaOH), 中性 (KI), 濃度: 1M, 單位: mV)

|      | 地瓜葉<br>(旋花科) | 小白菜<br>(十字花科) | 花椰菜<br>(十字花科) | 紅蘿蔔<br>(繖形科) |
|------|--------------|---------------|---------------|--------------|
| 酸性溶液 | 505.2        | 400.5         | 199.1         | 213.2        |
| 鹼性溶液 | 173.7        | 207.8         | 78.1          | 501.9        |
| 中性溶液 | 232.6        | 155.5         | 88.5          | 431.3        |

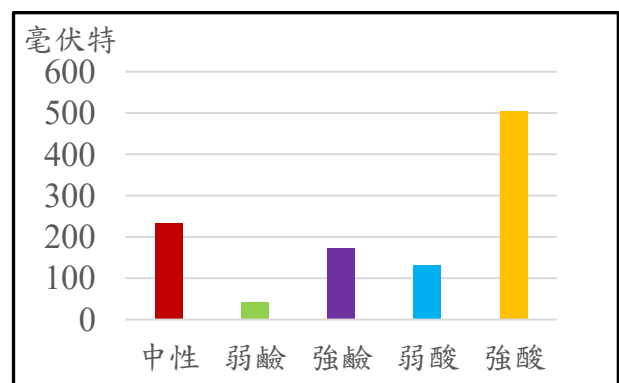


(二) 比較使用不同電解液 (電解液種類、濃度) 對植物染料敏化光電池的影響。

1. 電解液的種類：

(植物: 地瓜葉, 電解液濃度: 1M, 單位: mV):

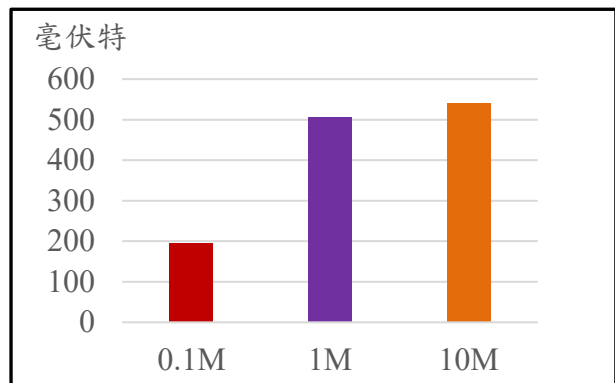
| 溶液                         | 測量值   |
|----------------------------|-------|
| 中性 (KI)                    | 232.6 |
| 弱鹼性 (NaHCO <sub>3</sub> )  | 41.4  |
| 強鹼性 (NaOH)                 | 173.7 |
| 弱酸性 (CH <sub>3</sub> COOH) | 131.0 |
| 強酸性 (HCl)                  | 505.2 |



2. 電解液的濃度：

(植物：地瓜葉，電解液：鹽酸 (HCl)，單位：mV)：

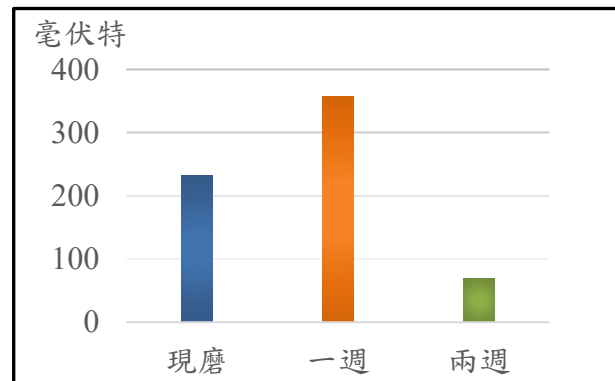
| 鹽酸濃度  | 測量值   |
|-------|-------|
| 0.1 M | 196.4 |
| 1 M   | 505.2 |
| 10 M  | 540.2 |



(三) 比較植物色素浸泡時間對植物染料敏化光電池效能的影響：

(植物：地瓜葉，電解液：碘化鉀 (KI、1 M)，單位：mV)

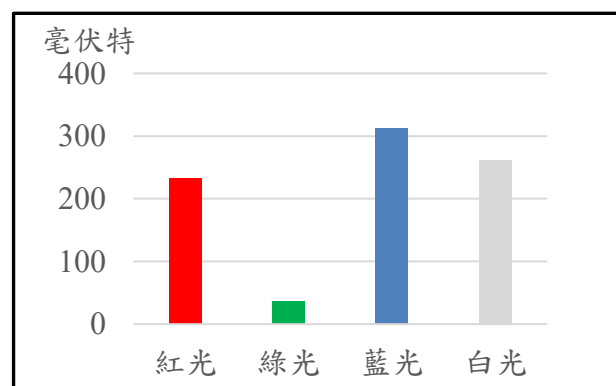
| 浸泡時間 | 測量值   |
|------|-------|
| 現磨使用 | 232.6 |
| 靜置一週 | 357.8 |
| 靜置兩週 | 69.3  |



(四) 比較不同色光光源對植物染料敏化光電池發電效能的影響：

(植物：地瓜葉，電解液：碘化鉀 (KI、1 M)，單位：mV)

| 光源 | 測量值   |
|----|-------|
| 紅光 | 169.6 |
| 綠光 | 33.6  |
| 藍光 | 287.4 |
| 白光 | 232.6 |

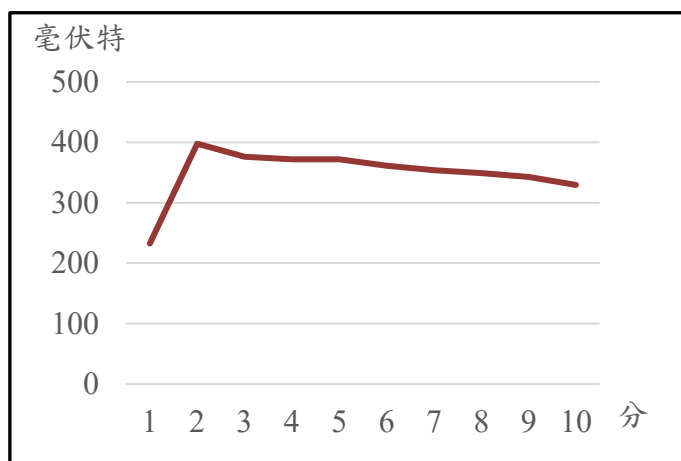




(五) 比較植物染料敏化光電池電壓效能與時間的關係：

(植物：地瓜葉，電解液：碘化鉀 (KI、1 M)，單位：mV)

| 時間<br>(分鐘) | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 平均         | 232.6 | 397.8 | 376.4 | 372.1 | 371.9 | 361.1 | 354.0 | 349.3 | 342.8 | 329.5 |

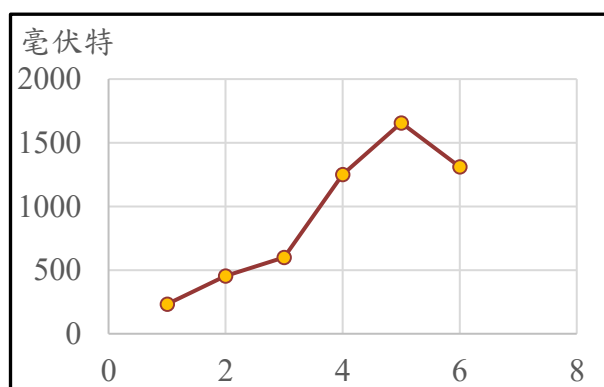


(六) 探討光電池串聯的發電效能：

1. LED 燈光源 (圖十三)

(植物：地瓜葉，電解液：碘化鉀 (KI、1 M)，單位：mV，照度：1603 lux)

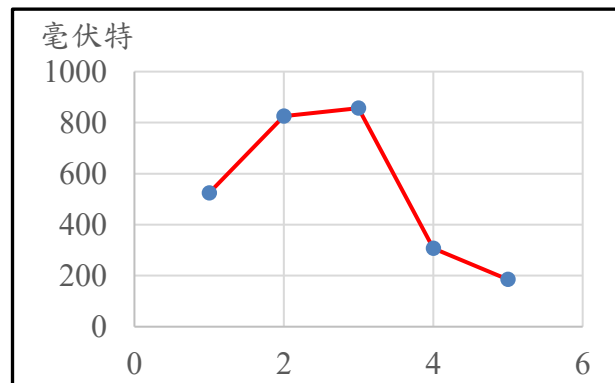
| 電池數 | 電壓 (mV) |
|-----|---------|
| 1   | 232.6   |
| 2   | 453.3   |
| 3   | 600.3   |
| 4   | 1250.3  |
| 5   | 1656.2  |
| 6   | 1310.0  |



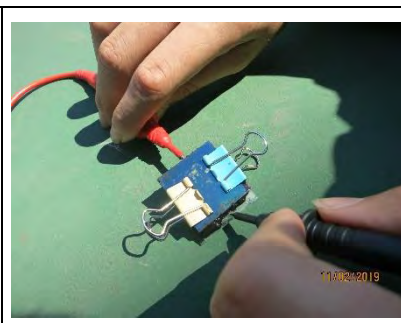
## 2. 日光光源 (圖十四)

(植物：地瓜葉，電解液：碘化鉀 (KI、1 M)，單位：mV，照度：7520 lux)

| 電池數 | 電壓 (mV) |
|-----|---------|
| 1   | 523.7   |
| 2   | 824.8   |
| 3   | 856.7   |
| 4   | 307.1   |
| 5   | 184.9   |



圖十三



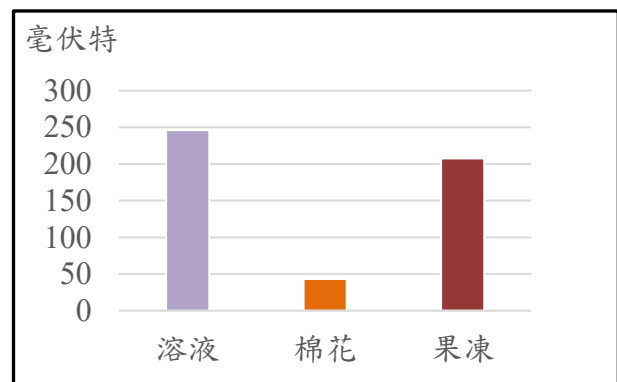
圖十四

## 二、改良式光電池適用性之分析

(一) 改良光電池反應中電解質容易流失的缺點：

(植物：地瓜葉，電解液：碘化鉀 (KI、1 M)，單位：mV)

| 電解質<br>型態 | 溶液    | 棉花<br>吸收 | 果凍狀   |
|-----------|-------|----------|-------|
| 測量值       | 232.6 | 43.3     | 207.6 |

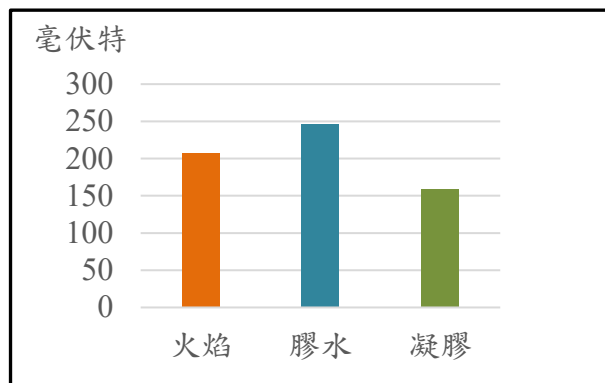


(二) 改進光電池反應中電極在導電玻璃上附著不佳的缺點。

1. 碳粒附著的方式：

(反應物：果凍狀電解質與色素，單位：mV)。

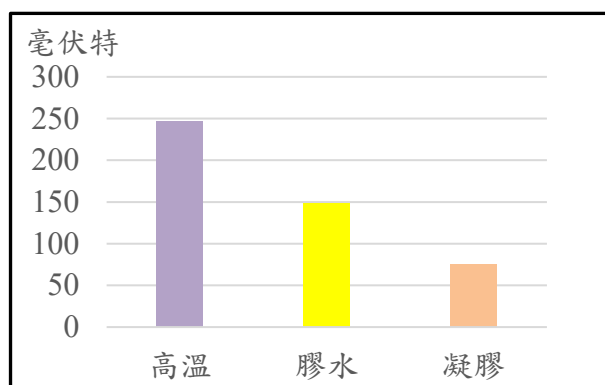
|     |       |       |       |
|-----|-------|-------|-------|
| 碳電極 | 火焰    | 膠水    | 導電凝   |
| 型態  | 燻黑    | 固定    | 膠固定   |
| 測量值 | 207.6 | 246.3 | 159.4 |



2. 二氧化鈦附著的方式：

(反應物：果凍狀電解質與色素，C 電極：膠水固定，單位：mV)

|                  |       |       |      |
|------------------|-------|-------|------|
| TiO <sub>2</sub> | 高溫    | 膠水    | 導電凝  |
| 型態               | 固定    | 固定    | 膠固定  |
| 測量值              | 246.3 | 148.7 | 75.7 |

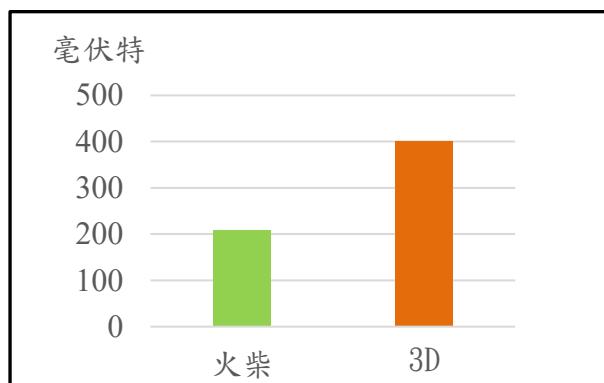


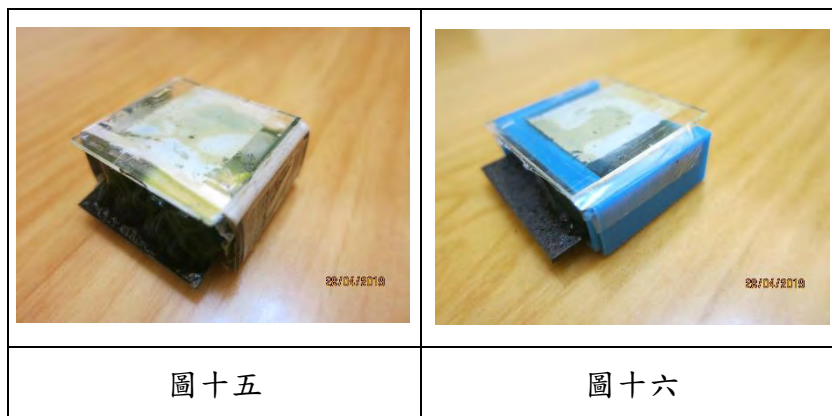
(三) 設計光電池的反應載體以利電壓的輸出。

1. 光電池的載體設計 (圖十五、圖十六)：

(反應物：果凍狀電解質與色素，兩電極：膠水固定，單位：mV)

|     |                    |                      |
|-----|--------------------|----------------------|
|     | 火柴盒<br>載體<br>(圖十四) | 3D 列印<br>載體<br>(圖十五) |
| 測量值 | 207.7              | 401.1                |



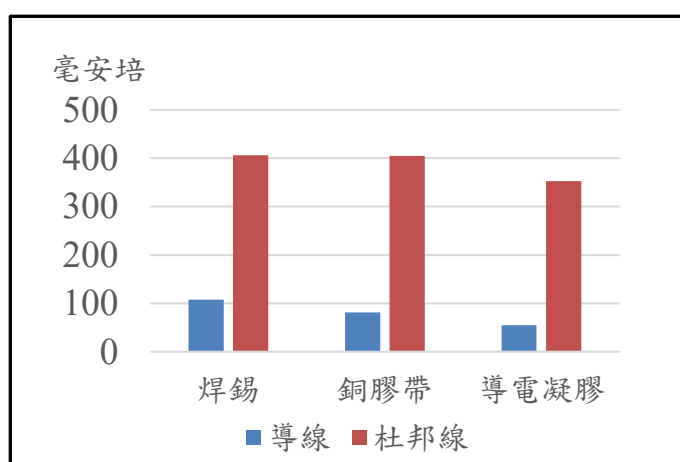


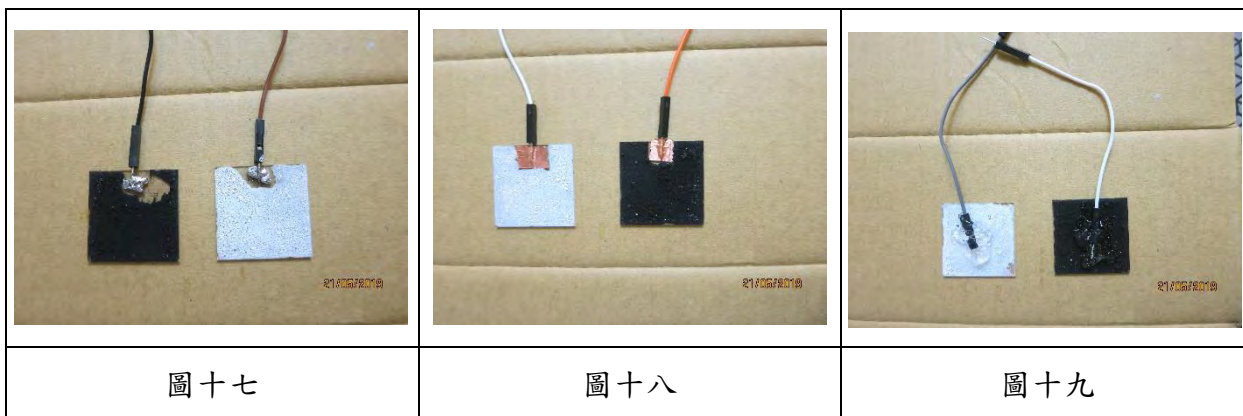
2. 光電池電壓輸出改進（導線規格與兩極接點方式）

（圖十七、圖十八、圖十九）：

（反應物：果凍狀電解質與色素，兩電極：膠水固定，單位：mV）

| 接點方式<br>導線規格 | 焊錫<br>(圖十六) | 銅膠帶<br>(圖十七) | 導電凝膠<br>(圖十八) |
|--------------|-------------|--------------|---------------|
| 傳統導線         | 107.8       | 81.4         | 54.4          |
| 杜邦線          | 405.9       | 405.1        | 352.7         |





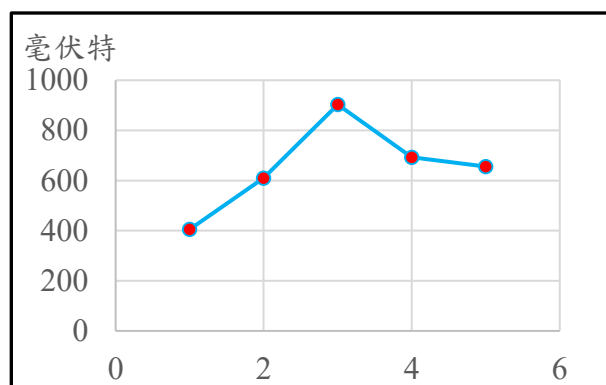
(四) 利用光電池組合求得光電池發電的最大電壓。

1. LED 燈照光下光電池串聯發電電壓 (圖二十)：

(反應物：果凍狀電解質與色素，兩電極：膠水固定，單位：mV、

LED 照度：1603 lux)

| 串聯電池數 | 電壓 (mV) |
|-------|---------|
| 1     | 405.1   |
| 2     | 610.0   |
| 3     | 902.9   |
| 4     | 692.6   |
| 5     | 655.6   |

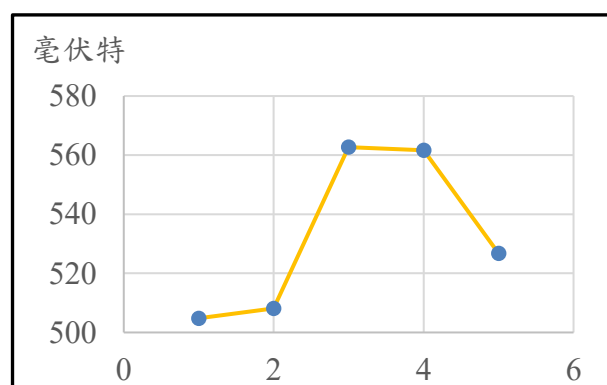


2. 鹵素燈照光下光電池串聯發電電壓 (圖二十一)：

(反應物：果凍狀電解質與色素，兩電極：膠水固定，單位：mV、

鹵素燈照度：116100 lux)

| 串聯電池數 | 電壓 (mV) |
|-------|---------|
| 1     | 504.8   |
| 2     | 508.1   |
| 3     | 562.7   |
| 4     | 561.6   |
| 5     | 526.8   |

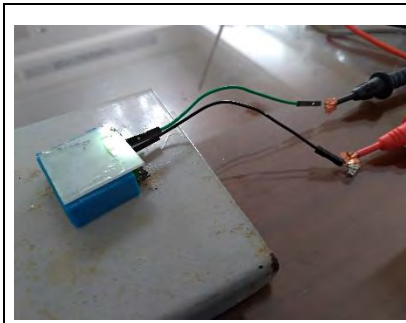
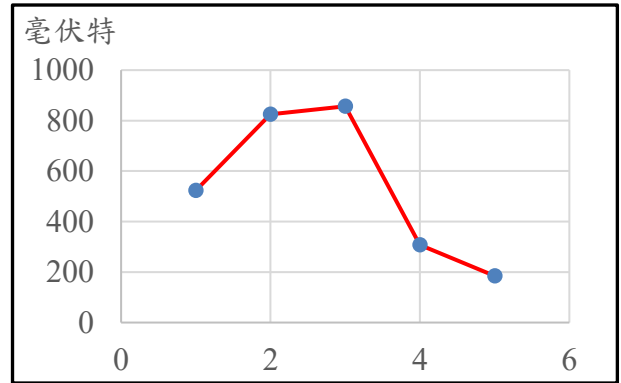


3. 日光照光電池串聯下發電電壓 (圖二十二)：

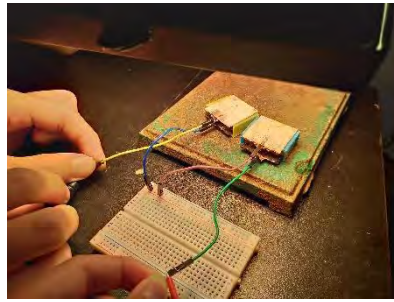
(反應物：果凍狀電解質與色素，兩電極：膠水固定，單位：mV、

日光照度：183000 lux)

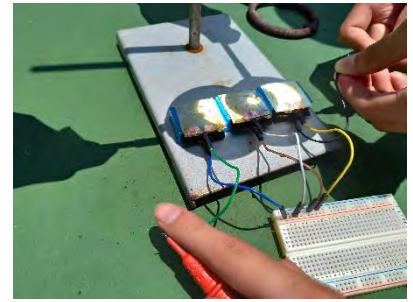
| 串聯電池數 | 電壓 (mV) |
|-------|---------|
| 1     | 523.7   |
| 2     | 824.8   |
| 3     | 856.7   |
| 4     | 307.1   |
| 5     | 184.9   |



圖二十



圖二十一



圖二十二

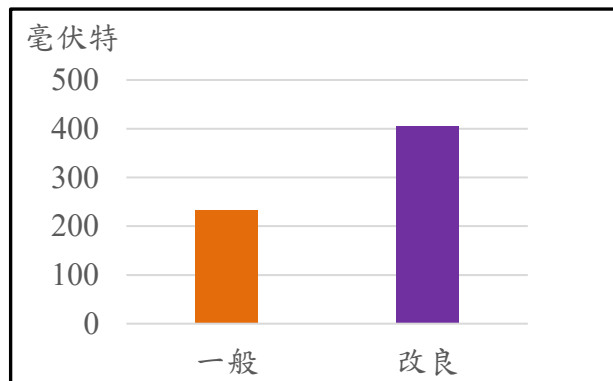
(五) 改良式光電池與一般光電池的比較。

1. 單顆電池發電效能的比較：

(一般：植物：地瓜葉，電解液：碘化鉀 (KI、1 M)，單位：mV

改良式：反應物：果凍狀電解質與色素，兩電極：膠水固定，單位：mV)。

|          | 一般    | 改良式   |
|----------|-------|-------|
| 測量值 (mV) | 232.6 | 405.1 |

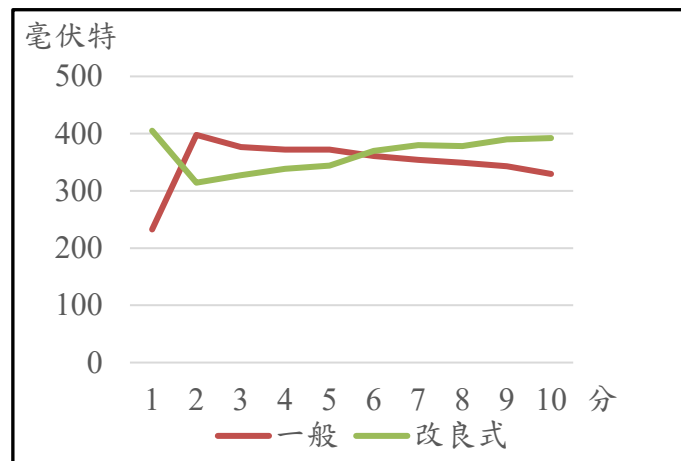


2. 單顆電池發電效能與時間關係的比較：

(一般：植物：地瓜葉，電解液：碘化鉀 (KI、1 M)，單位：mV)

改良式：反應物：果凍狀電解質與色素，兩電極：膠水固定，單位：mV)。

| 時間<br>(分鐘) | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 一般         | 232.6 | 397.8 | 376.4 | 372.1 | 371.9 | 361.1 | 354.0 | 349.3 | 342.8 | 329.5 |
| 改良式        | 405.1 | 314.3 | 327.6 | 338.7 | 344.2 | 370.0 | 380.2 | 378.4 | 390.1 | 392.1 |



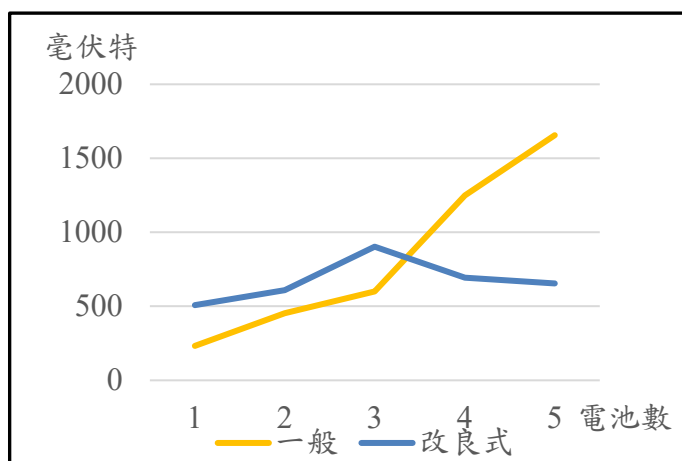
3. 電池組發電效能的比較：

(一般：植物：地瓜葉，電解液：碘化鉀 (KI、1 M)，單位：mV)

改良式：反應物：果凍狀電解質與色素，兩電極：膠水固定，單位：mV)

光源：LED 燈，光度：1603 lux)。

| 電池串聯數 | 1     | 2     | 3     | 4      | 5      |
|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| 一般    | 232.6 | 453.3 | 600.3 | 1250.3 | 1656.2 |
| 改良式   | 508.1 | 610.0 | 902.9 | 692.6  | 655.6  |

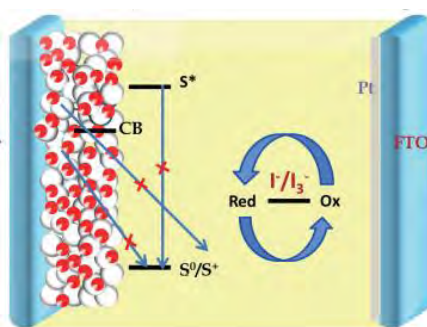


## 陸、討論

### 一、探討「植物染料敏化光電池」發電效能

#### (一) 比較不同種類的蔬菜色素對植物染料敏化光電池發電效能的影響：

1. 本研究可以證明，植物的色素在「光電池」中扮演著非常重要的角色：
  - (1) 利用光能來激發色素產生高能電子，並由二氧化鈦的傳遞來產生電流。
  - (2) 從電解質溶液中獲得電子來維持原來的穩定狀態，並讓電路形成通路。

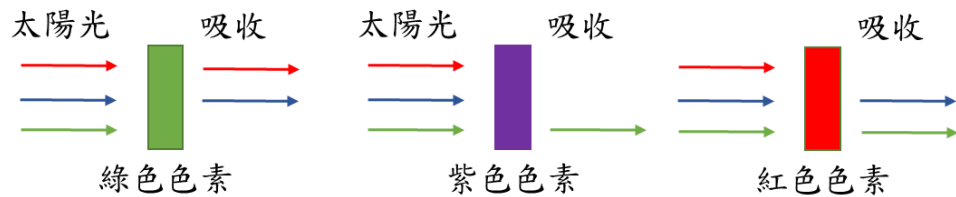


(*Journal of Engineering, National Chung Hsing University, Vol. 25, No. 1, pp. 15-26*)

2. 比較綠色色素（地瓜葉）、紫色色素（紫色高麗菜）與紅色色素（紅蘿蔔）的發電效能，發現綠色色素（地瓜葉）在酸性溶液中，發電效能最佳。若以色素顏色來比較，因紫色色素在照光下（白光），僅能吸收少量綠光，紅色色素會吸收藍



光及少量綠光，而綠色色素則可以吸收紅光及藍光，因此能獲得最大光能，所以光電池的反應條件以綠色色素為最佳。



3. 旋花科中以地瓜葉的色素所製成的光電池，不管在酸、鹼或中性電解質中，所產生的電壓均明顯較其他種類的蔬菜高。因此我們可知道地瓜葉中的綠色色素（花青素）吸收光能與產生自由電子的能力較佳。

(二) 比較使用不同電解液（電解液種類、濃度）對植物染料敏化光電池的影響：我們利用中性電解質（碘化鉀，KI）、弱鹼性電解質（碳酸氫鈉， $\text{NaHCO}_3$ ）、弱酸性電解質（乙酸， $\text{CH}_3\text{COOH}$ ）、強鹼性電解質（氫氧化鈉， $\text{NaOH}$ ）、強酸性電解質（鹽酸， $\text{HCl}$ ）配製成五種不同的溶液，在相同濃度下（1 M），比較光電池產生電壓的高低。我們歸納出：強酸（鹼） > 弱酸（鹼）；酸 > 鹽 > 鹼。因此可推論，離子的多寡會影響光電池的發電效能。而電解質在光反應的過程中，除了維持通路外，另一項功能則是提供電子來維持整個電路的電中性，以利反應能持續進行而不斷發電，實驗結果證明強酸（ $\text{HCl}$ ）導電與提供電子的能力最佳。

(三) 比較植物色素浸泡時間對植物染料敏化光電池效能的影響：我們將各類蔬菜浸泡在丙酮中，研磨萃取出色素。在比較蔬菜浸泡在丙酮中時間的長短發現，浸泡一週後所取得的綠色色素所製成的光電池發電效果最好，這可能是因為浸泡的時間夠長使綠色色素能夠完全溶解出來，讓光電池因色素濃度夠高而能提高發電效能。但若浸泡時間超過一週（如實驗選取的時間：兩週），則必須考量綠色色素氧化的因素，如此反而會降低光電池的發電效能。

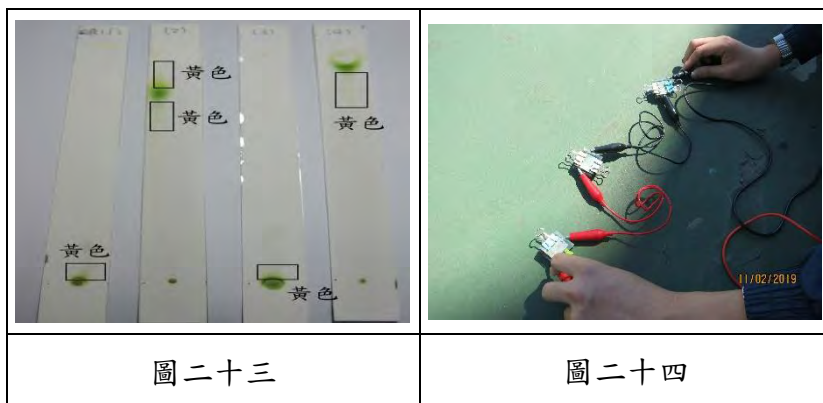
(四) 比較不同色光光源對植物染料敏化光電池發電效能的影響：

1. 本實驗主要採用綠色色素（地瓜葉）來當作植物染料敏化光電池中的染料，而綠色色素會吸收藍光與紅光，因此若照射單一綠光，在光能吸收不足的情況下，以綠色色素為染料所製成的光電池，在綠光的照射下，發電效能最差。

2. 我們再利用 TLC 片（以丙酮為展開液）取地瓜葉所萃取出之綠色色素來做色層分析，發現在綠色色帶邊緣旁出現有黃色色帶（圖二十三），因此可推論，地瓜葉的色素除了含有葉綠素外還含有葉黃素，而黃色色素會反射紅光。因此若以單一紅光照射，則光電池的發電效能也會受到影響。
3. 單一藍光較容易被綠色色素吸收，因此光電池照射藍光時所產生的電壓最大。若照射白光，則綠色色素僅能吸收三分之一的光能（藍光），因此也會影響光電池的發電效能。因此，以藍光照射綠色色素，能使光電池產生最大的電壓。

（五）比較植物染料敏化光電池電壓效能與時間的關係：我們測量光電池產生電壓的變化與時間的關係，發現前 2 分鐘為反應的高峰期（電壓由 232.6mV 急速上升至 397.8mV），之後電壓雖逐漸降低。但到 10 分鐘後電壓仍能維持 330 mV，就發電的穩定度而言已達到不錯的效果。

（六）探討光電池串聯的發電效能：利用鱷魚夾來串聯光電池，並在 LED 燈與日光照射下，比較兩個光電池的發電效能。我們發現，在 LED 燈照射下，光電池串聯 5 個時，會產生最大電壓，但在日光照射下，光電池僅串聯 3 個時會產生最大電壓，且兩者的最大電壓有明顯的差距。初步推測原因，因電池組的體積稍大，照光是否能集中就顯得非常重要。LED 燈光源集中，所以光電池能吸收較多的光能，產生的電壓也會較大；而日光為平行光，不僅容易造成陰影（圖二十四），也無法適當的集中照射面積（若以凸透鏡輔助，則反而會形成過小的照射面積），這個因素直接影響光電池吸收光能的能力。



## 二、改良式電池適用性之分析

在進行實驗時，我們發現一般實驗中所製造的「植物染料敏化光電池」出現了幾項問題而大大影響電池的發電效能與穩定性：

【問題一】：蔬菜色素與電解質均為液體，利用浸泡或滴溶液在玻璃上，會因液體的流失而影響光電池的發電效能，所以光電池發電的穩定性受到限制。

【問題二】：以火焰燻黑玻璃，讓碳粒附著於玻璃表面。實驗發現，碳粒的附著力明顯不足，在測量電壓時，容易因電極的碰觸而剝落，進而影響發電，且實驗後的玻璃因碳粒剝落嚴重而無法再重複使用。

【問題三】：二氧化鈦需在高溫下燒結才能固定在導電玻璃上，因實驗器材有所限制（缺乏專業高溫烤爐），因此燒結效果並不理想，實驗過程中二氧化鈦容易龜裂剝落，影響發電效果。

【問題四】：光電池的正負極缺乏能互相連接且能協助輸出電壓的導線，此外光電池體積過大，在串聯成電池組時，會因為照光吸能的面積不均勻而影響輸出的電壓值。

因此我們設計了改良式的光電池，以解決上述的問題。

### （一）改良光電池反應中電解質容易流失的缺點：

1. 利用棉花吸取電解液與綠色色素，並夾於兩片導電玻璃中（圖二十五）。此種方法製成的光電池效能最差，所產出的電壓為 43.3 mV。
2. 利用洋菜粉將電解液與綠色色素做成果凍狀，並夾於兩片導電玻璃中（圖二十六）。此種方法製成的光電池所產出的電壓為 207.6 mV，較接近於採用一般方式製成的光電池所產生的電壓（232.6 mV）。
3. 不管棉花或果凍狀，在組合成電池時，因兩端長尾夾強大的作用力，會造成溶液流出或果凍被擠出的現象，這也會降低光電池的發電效能。

### （二）改進光電池反應中反應物在導電玻璃上附著不佳的缺點：

1. 碳粒附著的方式：利用膠水將碳粉先攪拌均勻，再塗抹至導電玻璃上，等待膠水凝固再發電使用。經實驗後發現，玻璃上的碳粒經膠水黏著後的確較不易剝落，且玻璃可以重複使用。搭配電解質果凍的光電池，所產生的電壓為 246.3

mV，甚至較一般光電池產生的電壓還要高（232.6 mV）。

2. 二氧化鈦附著的方式：利用膠水將二氧化鈦先攪拌均勻，再塗抹至導電玻璃上，進行發電使用。我們發現，將電解液做成果凍狀，並分別使用膠水將碳粉與二氧化鈦固定在玻璃上，所製成的光電池所產生的電壓效能不甚理想（148.7 mV）。這可能與二氧化鈦和膠水兩者互溶性差不容易凝固，因而容易受到長尾夾的擠壓而脫落有關。
3. 考量膠水的不導電性，我們嘗試用導電凝膠將碳粉與二氧化鈦攪拌均勻後塗抹至導電玻璃上，並配合電解質果凍來發電，結果發現效果非常不理想（75.7 mV）。導電凝膠不易乾燥固化（圖二十七）且容易沾黏其他物質影響光反應，這是造成發電效果不佳的主因。

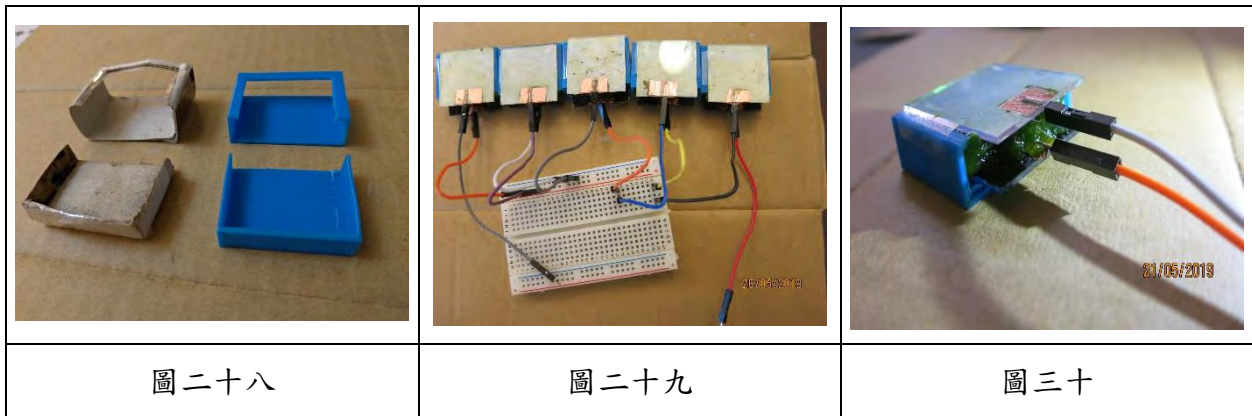


### （三）設計光電池的反應載體以利電壓的輸出：

1. 光電池的載體設計：光電池使用電解質果凍來發電時，若以長尾夾夾住兩片導電玻璃，會造成電解質被擠出而影響發電效能，且無法重複使用，如此非常不便。因此我們利用火柴盒，以「抽屜」為概念設計出第一代反應載體，來解決上述問題，測得的電壓較以一般組裝方式組成的光電池明顯改善許多（148.7mV→207.7 mV），但進一步發現，火柴盒為硬紙製成，遇水容易潮濕軟化，會影響反應物的接觸，因此我們以第一代為模型，利用 3D 列印機列印出第二代載體（圖二十八），並以此載體製成的光電池所發出的電壓可以提升至 401.1 mV。

2. 光電池電壓輸出改進：在測量光電池電壓時，我們將三用電表的檢測探頭碰觸導電玻璃上的碳粉或二氧化鈦來測出讀數，但玻璃上反應物的表面非完全均勻，所以讀出的讀數也不穩定。此外若要將光電池串聯使用，考量以鱷魚夾來連接恐會造成體積與電阻過大，進而影響發電效能。因此我們設計要在導電玻璃上固定一條能輸出電壓的導線，用來解決測量電壓不穩定的問題並利用麵包板連接光電池組（圖二十九），以解決鱷魚夾連接造成體積過於龐大的缺點，因此提出：

- (1) 我們採用傳統導線與杜邦線來測試，發現杜邦線不管是輸出電壓的穩定度或與麵包板連接的方便性，均明顯較傳統導線佳。
- (2) 在導線與玻璃的接點上，我們採用焊錫、銅膠帶與導電凝膠三種方式，實驗結果發現以焊錫的方式連接導線與玻璃，所測量出的電壓最大也最穩定，但是，因玻璃不耐高溫，在焊錫的過程中損壞率極高，因此我們採用銅膠帶來固定導線接頭，也得到不錯的輸出電壓（405.1 mV）（圖三十）。



#### （四）利用串聯求得光電池發電的最大電壓：

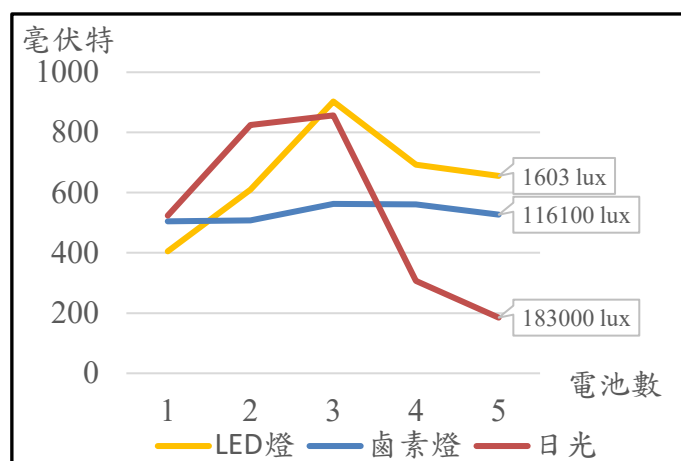
我們分別利用 LED 燈、鹵素燈及日光三種不同照度的光源來測量串聯光電池所能產生的最大電壓，我們發現：

1. 不管光源種類，光電池在串聯 3 個時所產生的電壓均會達到最大，探究原因：

- (1) 極可能為電解質果凍在強光照射下，容易乾燥變質所致。以日光光源為例，光源照度最大，但電壓的減少幅度也最大，因此得到驗證。

(2) 光電池的內電阻在串聯數大於 3 個時，會增大到影響發電的效能。

- 光源的照度會加速光電池中的光反應（由單一顆光電池產生的電壓可知），但是，能產生最大電壓的因素是光源的種類而非照度，LED 燈光源的波長偏藍光，不易被綠色色素反射，因此雖然照度最小反應最慢，但卻可產生最大的電壓。而鹵素燈光源的波長偏黃光，容易被綠色色素反射，因此發電效能最差。



#### (五) 改良式光電池與一般光電池的比較：

- 單顆電池發電效能的比較：改良式光電池（405.1 mV）確實在發電的表現上較一般光電池（232.6 mV）好，在便利性與重複使用性上，也較一般光電池方便。
- 單顆電池發電效能與時間關係的比較：改良式光電池在第 10 分鐘時仍能維持 96.79%（405.1 mV / 392.1 mV）的電壓，相較於一般光電池在 10 分鐘時僅能維持最高電壓的 82.83%（397.8 mV / 329.5 mV），其維持發電電壓的穩定性，著實有明顯的改善。
- 一般光電池在串聯 5 顆時可產生最大電壓（1656.2 mV），而改良式光電池在串聯 3 顆時可產生最大電壓（902.9 mV）。原因為改良式光電池中加入很多無法導電的物質，例如：膠水、洋菜果凍、塑膠載體、銅膠帶上的黏膠等物質，當這些物質串聯到一定數目時，其產生的內電阻即會影響光電池發電的效能。

## 柒、結論

一、在實驗室中，我們找出「植物染料敏化光電池」最佳的發電的條件：

(一) 光敏染料：旋花科綠色植物色素。

(二) 電解液：10 M 的強酸溶液。

(三) 光源：藍色光源。

二、在「植物染料敏化光電池」的光反應中，電解液的離子功能為使連接反應物使成通路並負責傳遞電子。因此離子濃度越大，越有利於反應的進行，所產生的電壓也越大。

三、在「植物染料敏化光電池」的光反應中，二氧化鈦負責接收蔬菜色素被陽光照射所激發的電子，本身是進行還原反應，所以是當電池的正極；電解質主要是提供電子給蔬菜色素，本身進行氧化反應，因此是當電池的負極。而碳粉是協助導電用。

四、綠色色素較其他顏色色素發電能力較佳，因為綠色色素可以吸收藍光與紅光，可以有足夠的能量讓光電池產生反應，若為紫色色素，因只能吸收綠光，反而會大大降低反應中讓電子躍升至激態的能量而影響光電池發電。

五、植物色素中的葉黃素會影響電池的發電效能，因為黃色為綠色與紅色的混合色，葉黃素越多黃光的反射就愈大，就越影響電池的發電效能。

六、光源的照度會影響光電池的反應速率，**照度越大反應速率就越快**，因此照射照度較大的光源，光電池會立即產生電壓，可是照度卻非光電池能否產生較大電壓的主要因素。實驗證明，**偏藍光的光源，即使照度較小，也可使光電池產生較高的電壓。**

七、改良式光電池在單顆電池發電量與電壓的穩定度兩方面皆較一般電池還要好，但卻在電池組串聯上略遜於一般電池，因此可證明，**改良式光電池的內電阻大於一般電池**，且當光電池串聯數大於 3 顆時，內電阻會增大到明顯影響光電池組整體的發電效能。

八、不管是一般電池採用的電解質溶液，或是改良式電池採用的果凍狀電解質，在光源照射下，皆會因為溫度升高而發生水溶液蒸發的現象，這也是**本實驗測得最高電壓 1656.2 mV** 後，無法再向上突破的主要因素，也是未來研究的方向及目標。

## 捌、參考資料

一、湯雨誼等三人，染料敏化太陽能電池分子結構與轉換效率的關係，科展作品。

二、科學 Online，<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=8467>。

三、維基百科，

<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%9F%93%E6%96%99%E6%95%8F%E5%8C%96%E5%A4%AA%E9%98%B3%E8%83%BD%E7%94%B5%E6%B1%A0>

四、吳春桂，國立中興大學，Journal of Engineering, National Chung Hsing University, Vol. 25, No. 1, pp. 15-26。

五、戴明鳳等兩人，國立清華大學，奈米 TiO<sub>2</sub> 晶粒和藍莓或覆盆子的汁液作為染料 DIY 製作染料敏化奈米晶化太陽電池。



## 【評語】 032906

1. 過去已有不少相關的作品，但參考資料所列甚少，且資料、年代等不完整，文獻探討的部分要再加強。
2. 題目與作品內容之間出現落差，部分實驗內容不能完整反應主要研究，實驗數據與分析也不足。但實驗過程改良實驗設計以及操作過程中反應物附著以及電解質流失的缺點，具有科學精神，仍值得嘉許。
3. 主題清楚且聚焦，實驗規劃架構清楚，圖文豐富。以 3D 列印方式製備電池裝置。研究時針對缺點進行改良調整，具備實驗精神。
4. 染敏電池的功能評估，不宜只量電壓，電流同等重要，可參考相關的研究，探討比較，較能呈顯其價值。
5. 利用太陽光可激發色素中電子的性質製作光電池，比較了不同植物來源，不同光源，不同電解液等條件，找出最有效能的條件，比較其與一般光電池的效能，但仍面對光照下，水溶液增加以致電池效能無法維持的現象。

## 壹、研究動機：

近年來，環保意識抬頭，傳統不環保的發電方式因會造成各種汙染，而漸漸不被人們所接受，而正夯的綠能發電卻又有成本高、效率低等缺點，因此，如何兼顧經濟發展與環境保護，絕對是我們這一代刻不容緩所必須解決的問題。同時，我們發現了「植物敏化染料光電池」的存在，而光電池強調低成本與容易製造的特性更引起了我們的關注，所以我們設計出一連串的研究實驗，期望能找出最適合的發電模組及效能，為環保貢獻出一己之力。

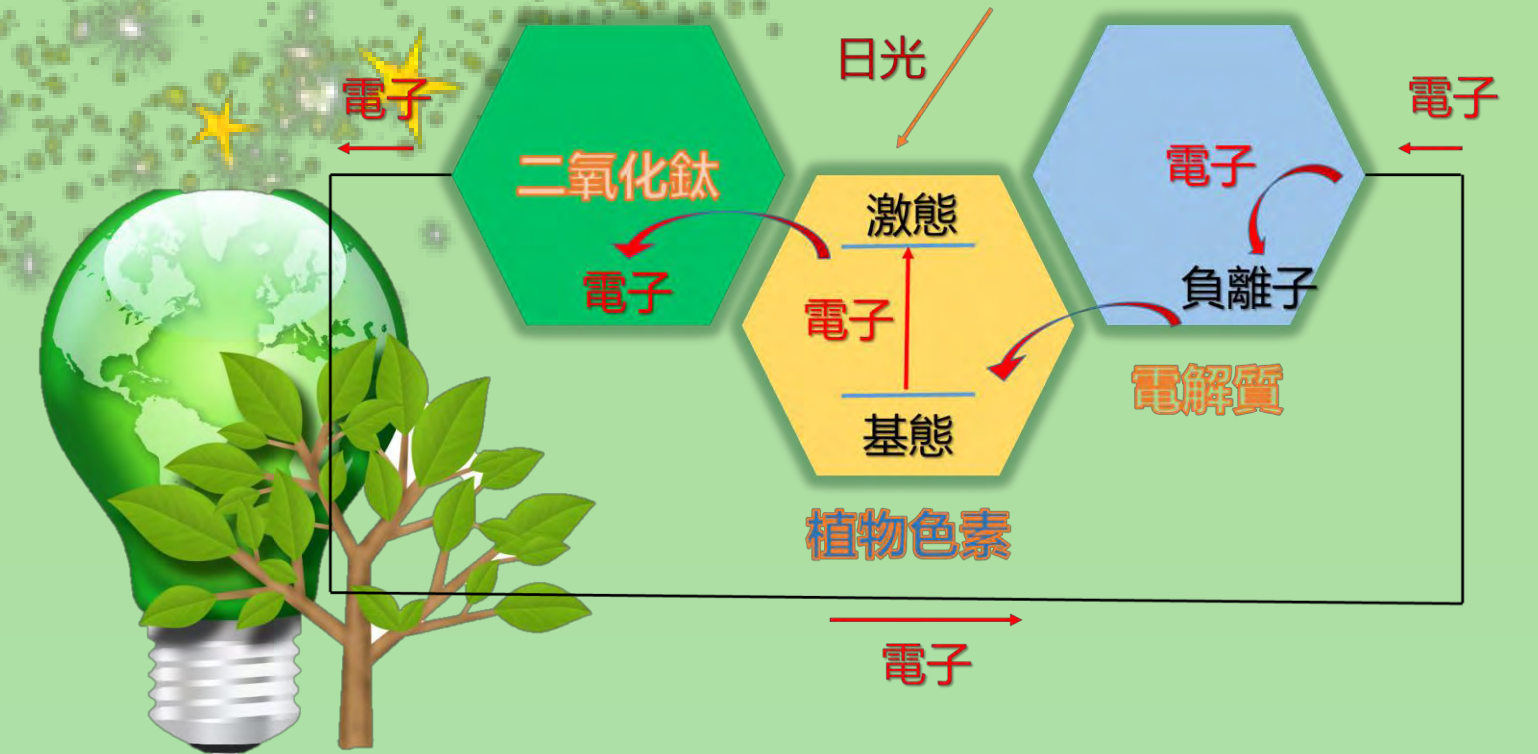
## 貳、研究目的：

### 一、探討「植物染料敏化光電池」發電效能

- (一) 比較不同種類的植物色素對植物染料敏化光電池發電效能的影響。
- (二) 比較使用不同電解液（電解液種類、濃度）對植物染料敏化光電池的影響。
- (三) 比較植物色素浸泡時間對植物染料敏化光電池效能的影響。
- (四) 比較不同色光光源對植物染料敏化光電池發電效能的影響。
- (五) 比較植物染料敏化光電池電壓效能與時間的關係。
- (六) 探討光電池串聯的發電效能。

### 二、改良式光電池適用性之分析

- (一) 改良光電池反應中電解質容易流失的缺點。
- (二) 改進光電池反應中電極在導電玻璃上附著不佳的缺點。
- (三) 設計光電池的反應載體以利電壓的輸出。
- (四) 利用串聯求得光電池發電的最大電壓。
- (五) 改良式光電池與一般光電池的比較。



## 參、研究器材：

導電玻璃（7Ω）、奈米級二氧化鈦、三用電表（0.01 mV）、3D 列印機、光度計、銅膠帶、麵包板、焊錫槍、導電凝膠、各類蔬菜、各類電解質、碳粉（C）、洋菜粉、杜邦線、玻璃紙（紅、藍、綠）、凸透鏡等。

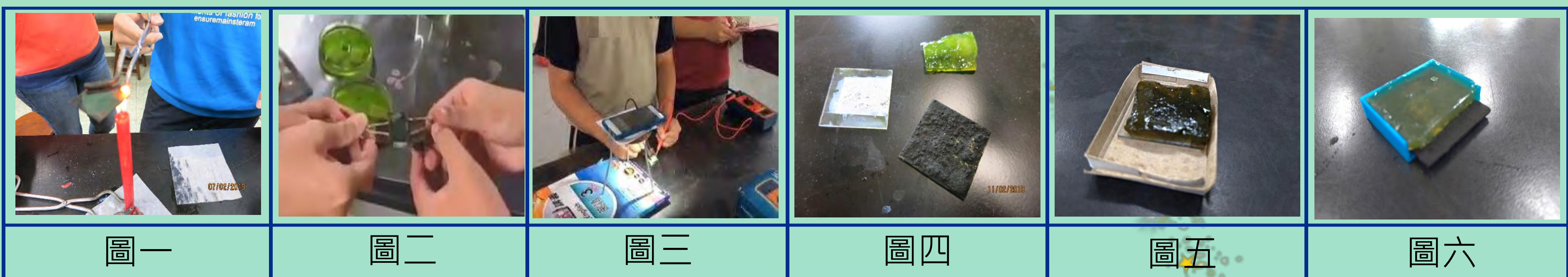
## 肆、研究過程與方法：

### 一、探討「植物染料敏化光電池」發電效能

- (一) 利用丙酮萃取各蔬菜色素，並依實驗設計之濃度配製各種電解質溶液。
- (二) 配製二氧化鈦溶液並加熱 15 分鐘後塗抹上導電玻璃，並置於（步驟一）所配製成的植物色素中 20 分鐘。
- (三) 利用蠟燭將碳粒均勻分佈（圖一）在導電玻璃上，取上述兩導電玻璃滴入電解液後錯開固定在一起（圖二）。
- (四) 利用照光距離來控制固定亮度，並照射各種色光，來測量其所產生的電壓（圖三）。

### 二、改良式光電池適用性之分析

- (一) 利用洋菜絲與水共煮，與加入植物色素及電解質，配製成果凍體。
- (二) 利用膠水將二氧化鈦及碳粉調製成糊狀物，並分別均勻塗抹在導電玻璃上靜置待其成凝固定體（圖四）。
- (三) 利用火柴盒設計光電池反應的載體，並以此為模型，再利用3D列印機製造出最佳的載體（圖五、圖六）。
- (四) 利用錫焊、銅膠帶、導電凝膠、杜邦線、麵包板，將電池串聯並測得最大電壓。

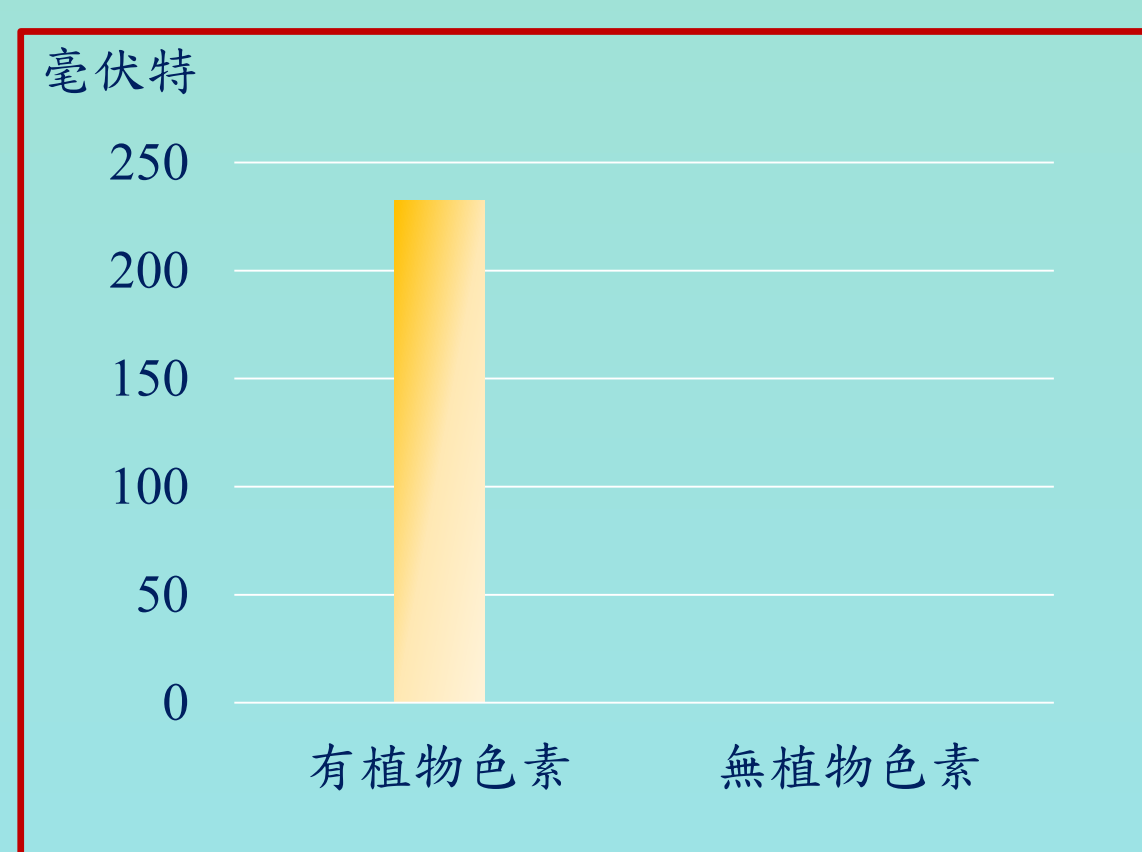


## 伍、研究結果：

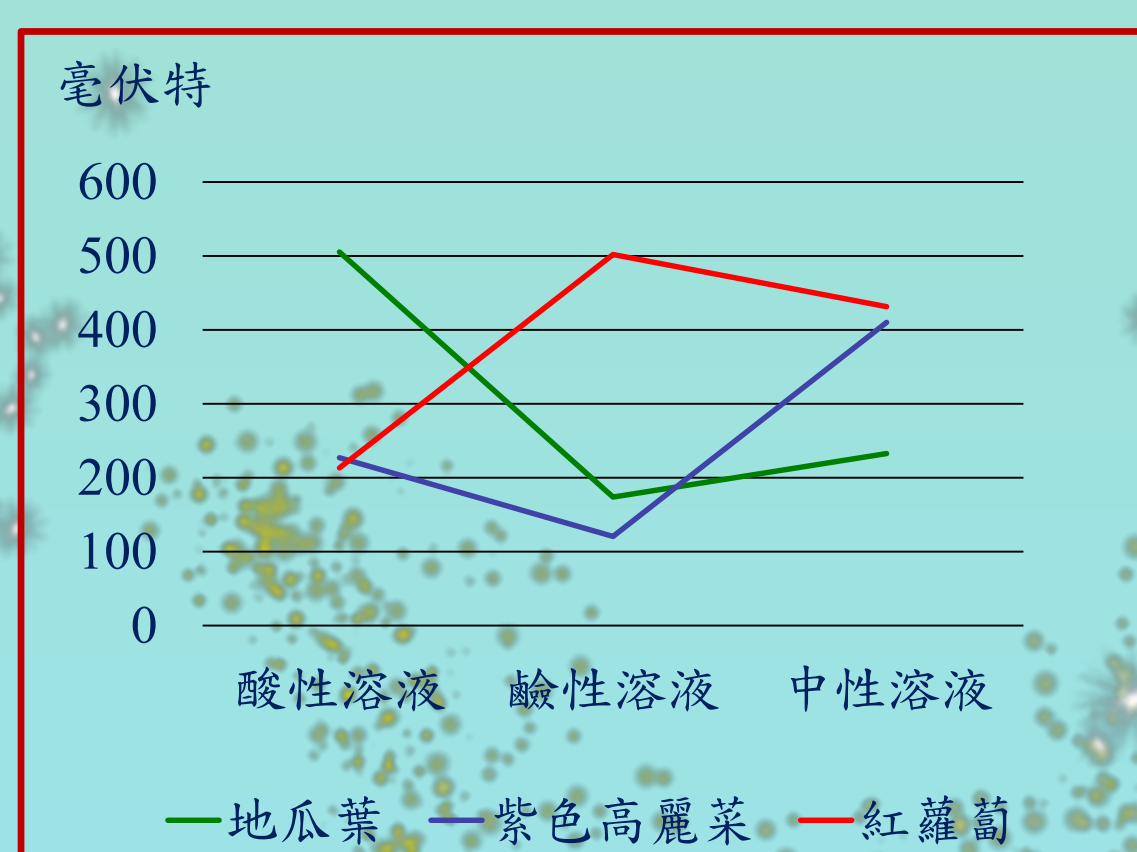
### 一、探討「植物染料敏化光電池」發電效能

#### (一) 比較不同種類的植物色素的影響

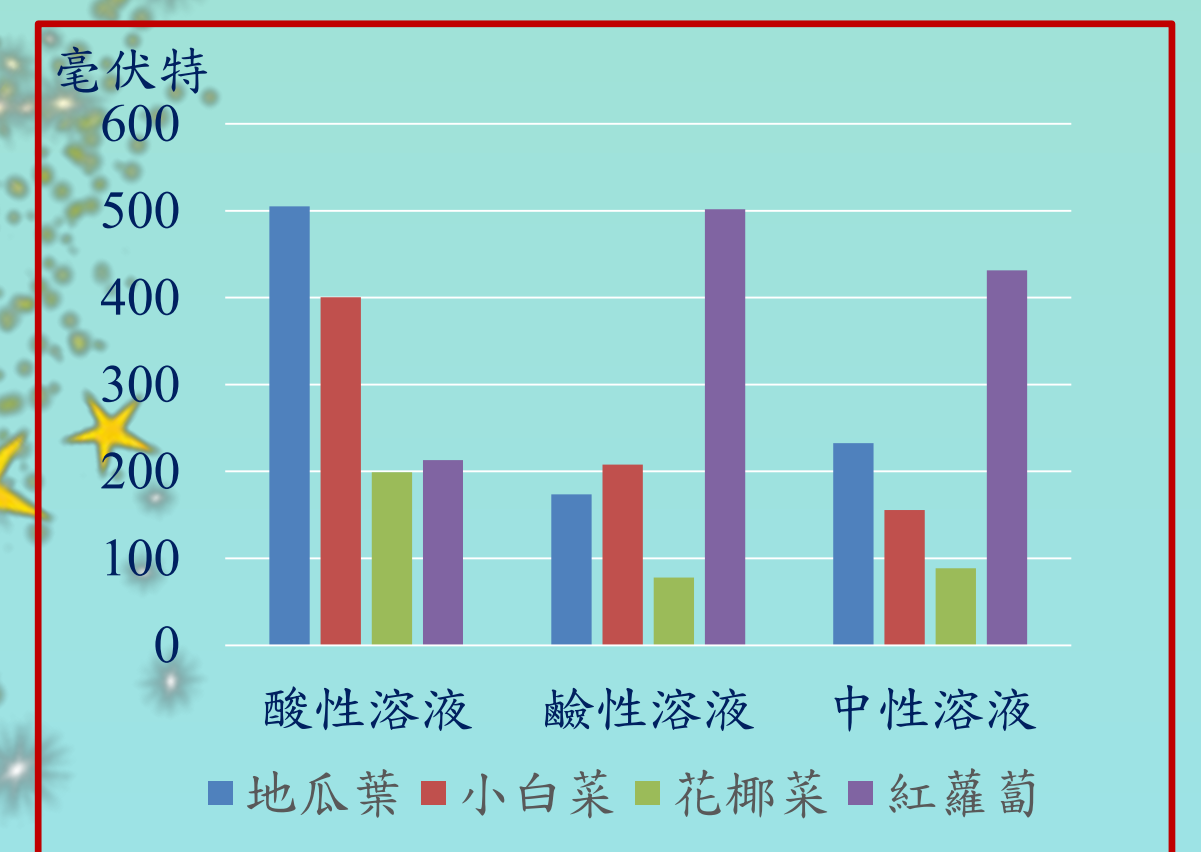
##### 1. 確定植物色素在反應中的角色



##### 2. 不同顏色植物色素的影響

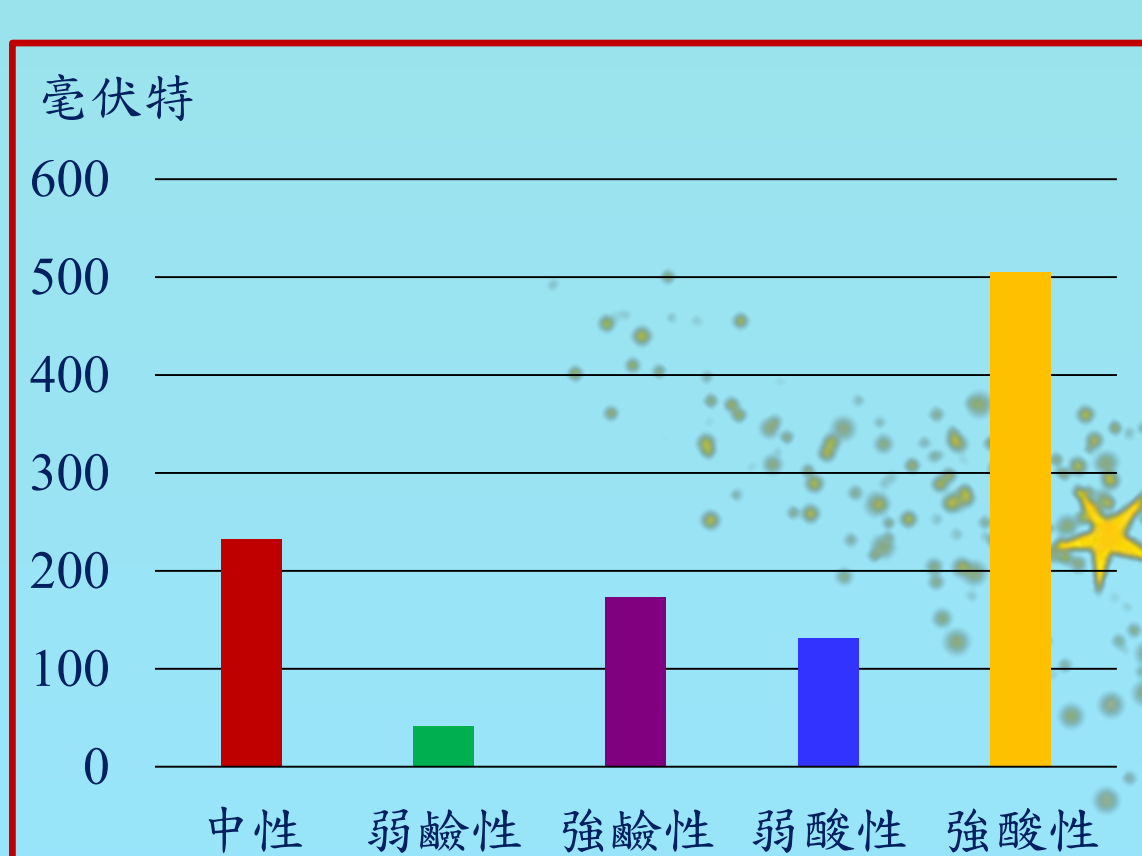


##### 3. 不同種類植物色素的影響

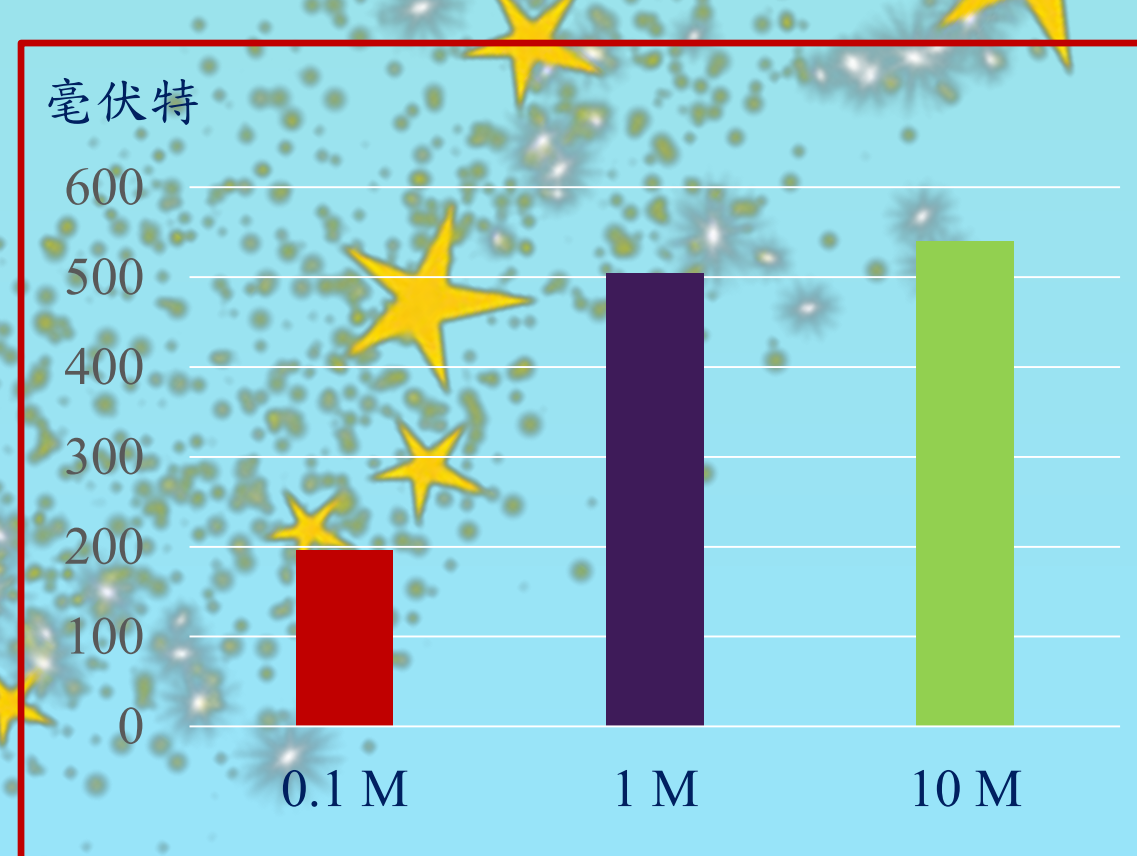


#### (二) 比較使用不同電解液的影響

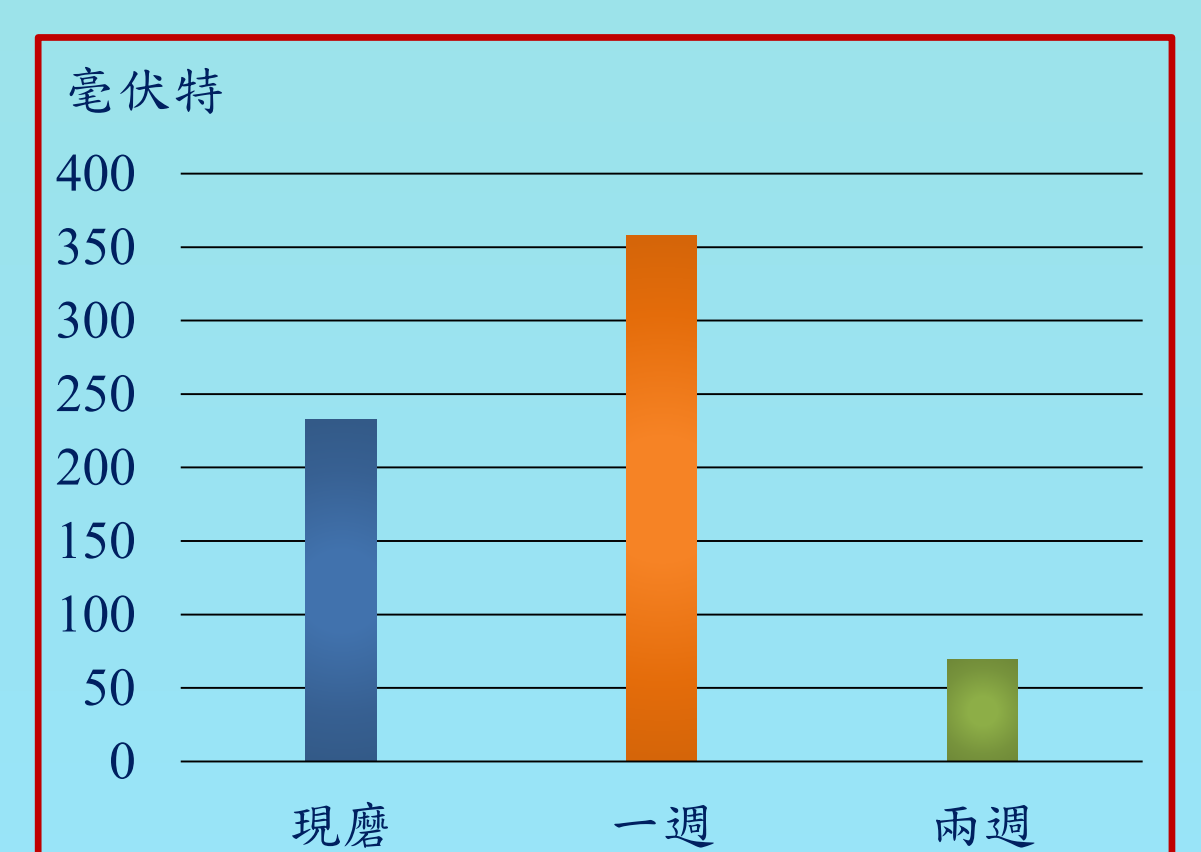
##### 1. 電解液的種類



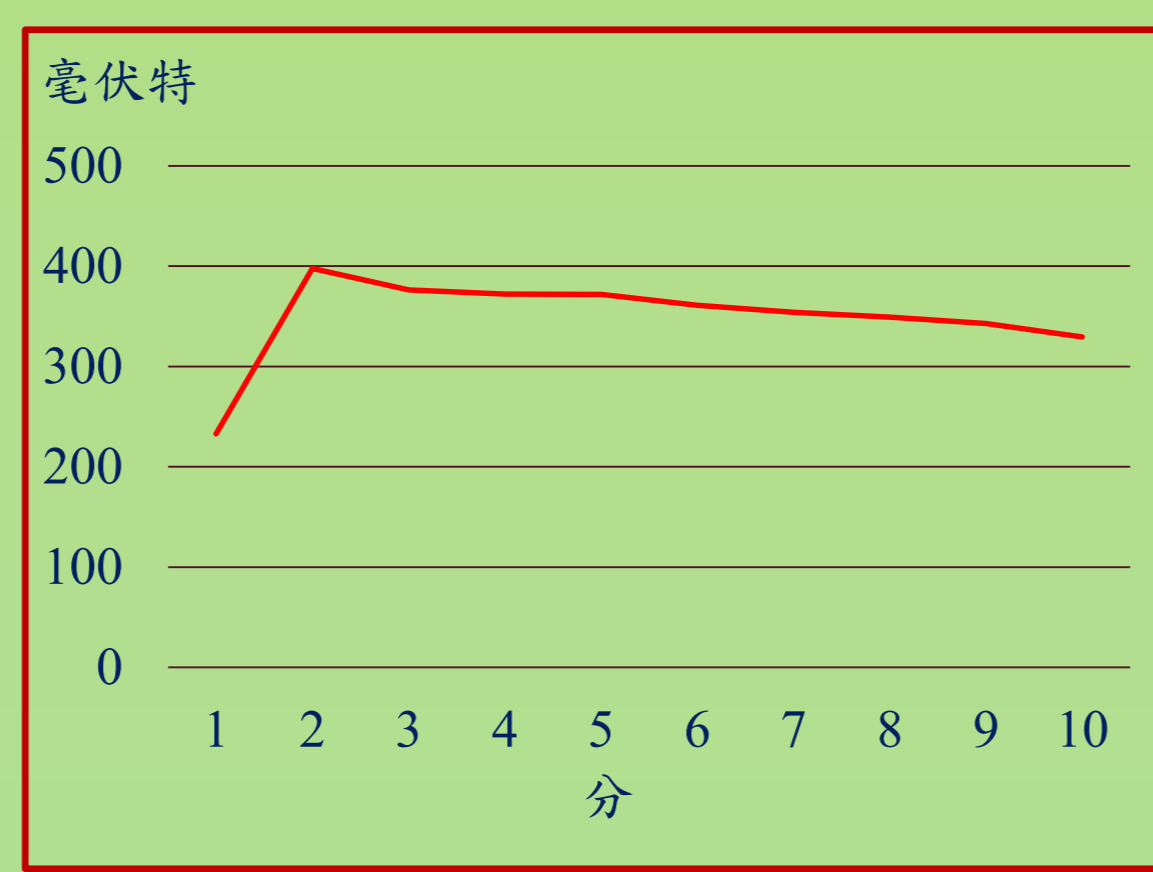
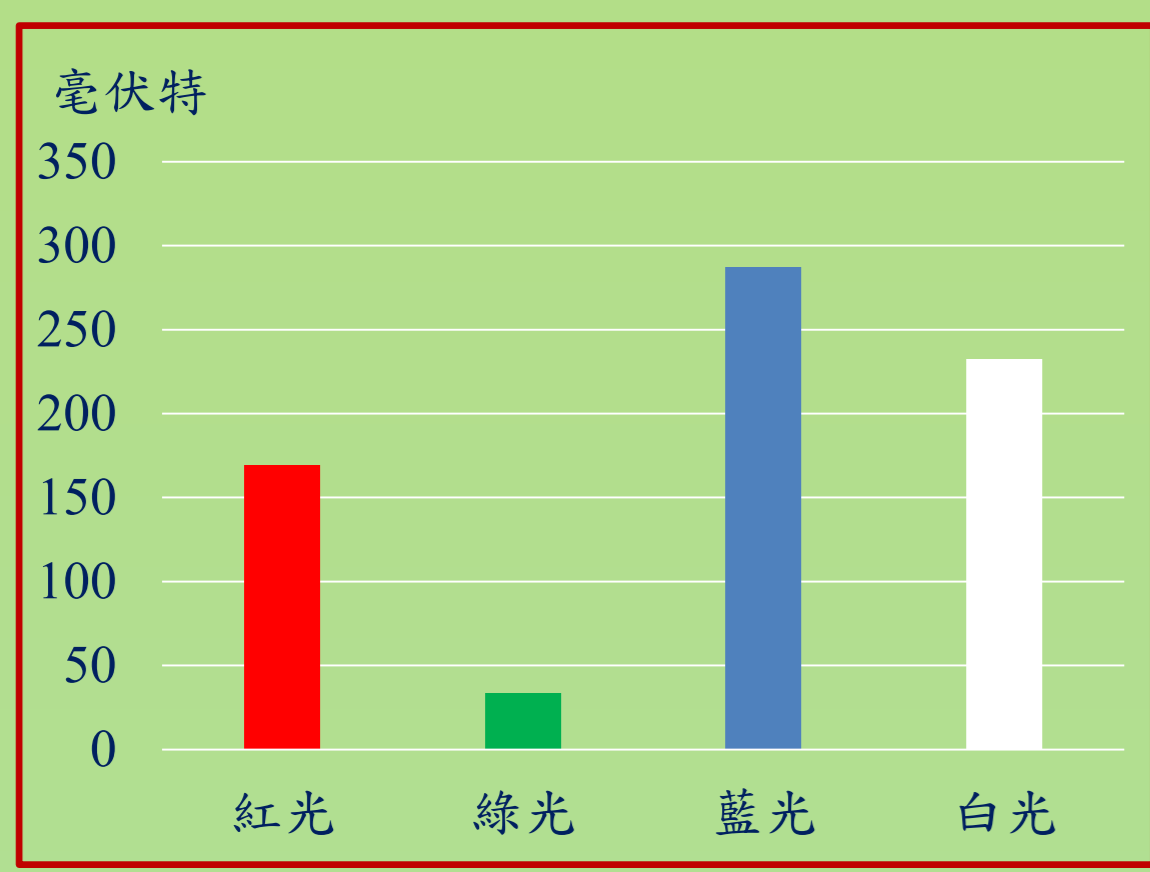
##### 2. 電解液的濃度



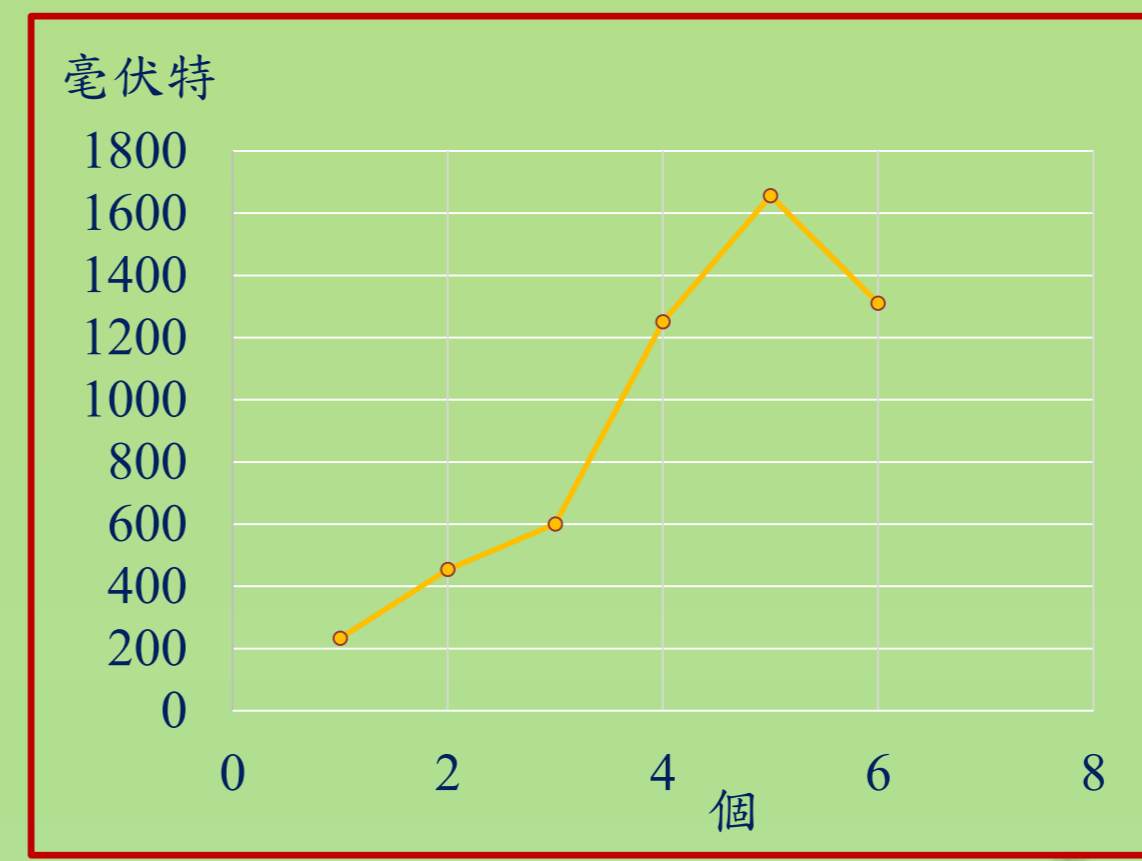
#### (三) 比較植物色素浸泡時間的影響



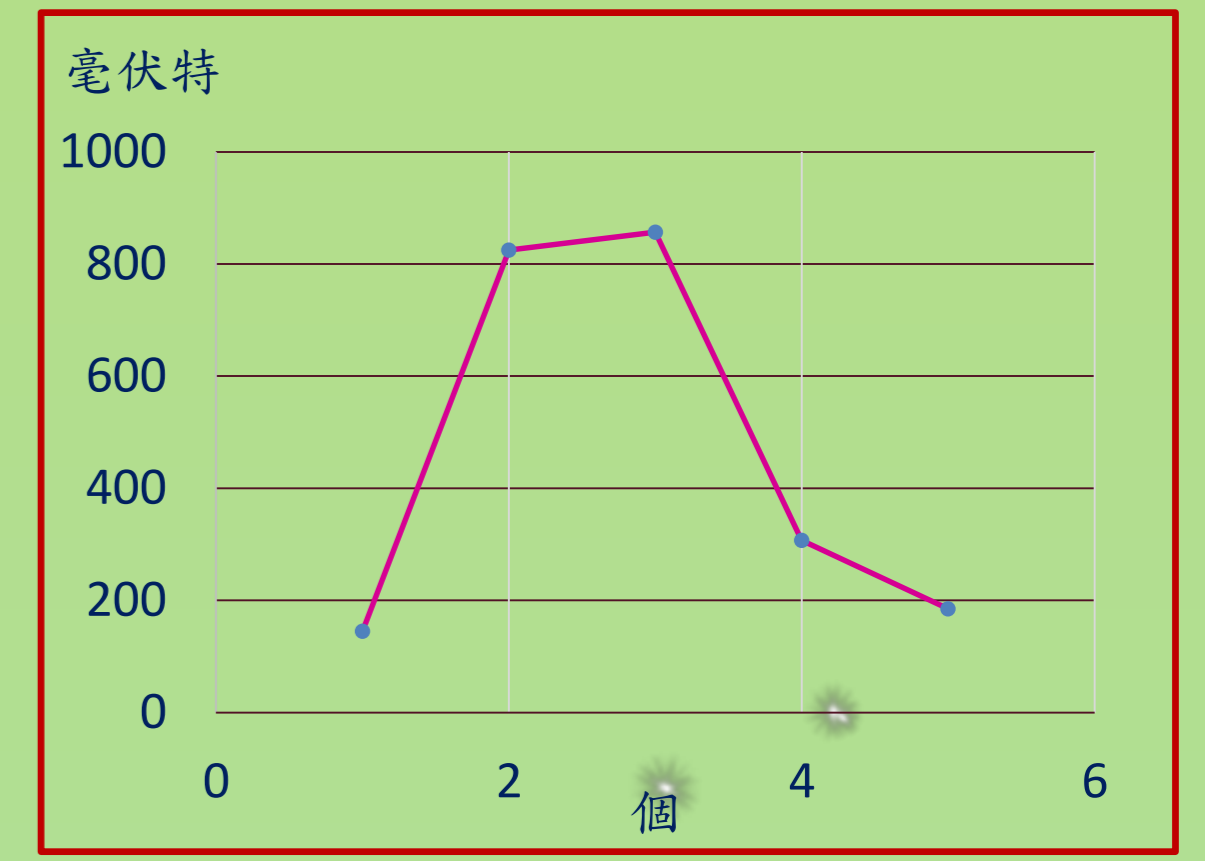
(四) 比較不同色光光源的影響 (五) 光電池電壓效能與時間的關係 (六) 光電池串聯的發電效能



1. LED 燈光源

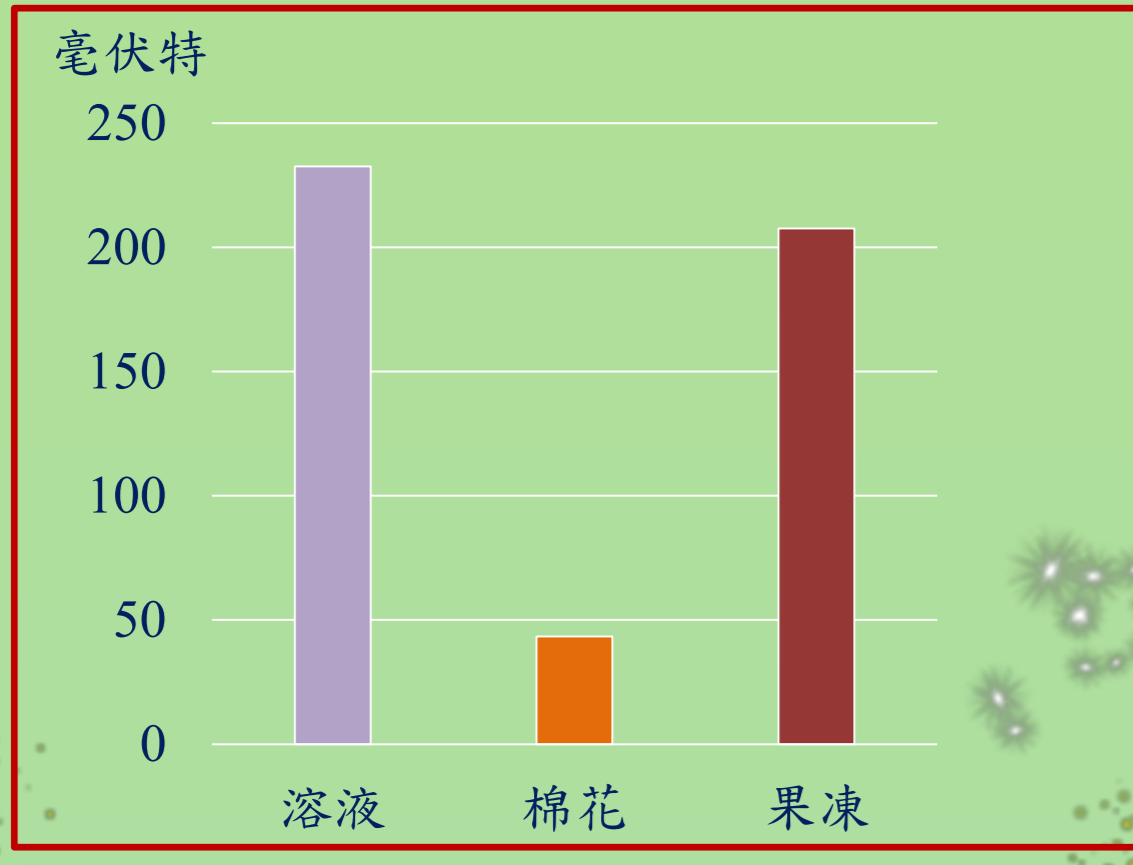


2. 日光光源

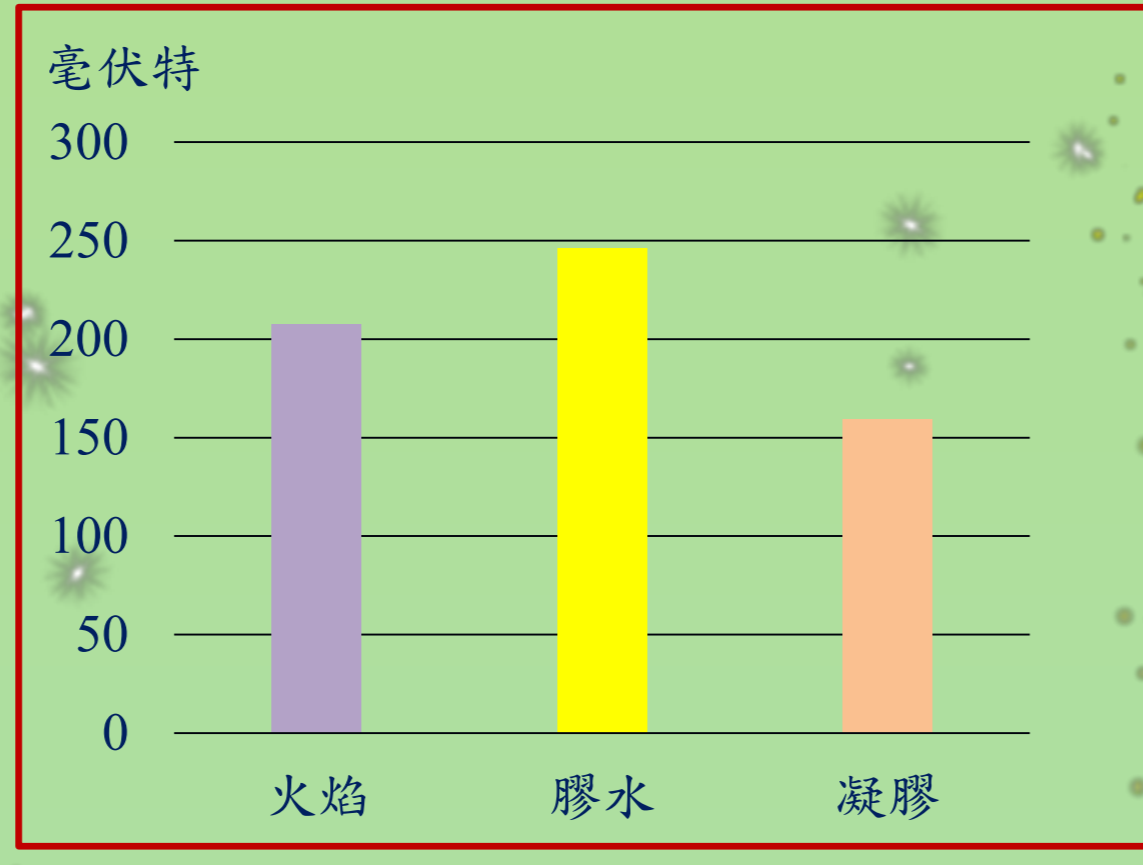


二、改良式光電池適用性之分析

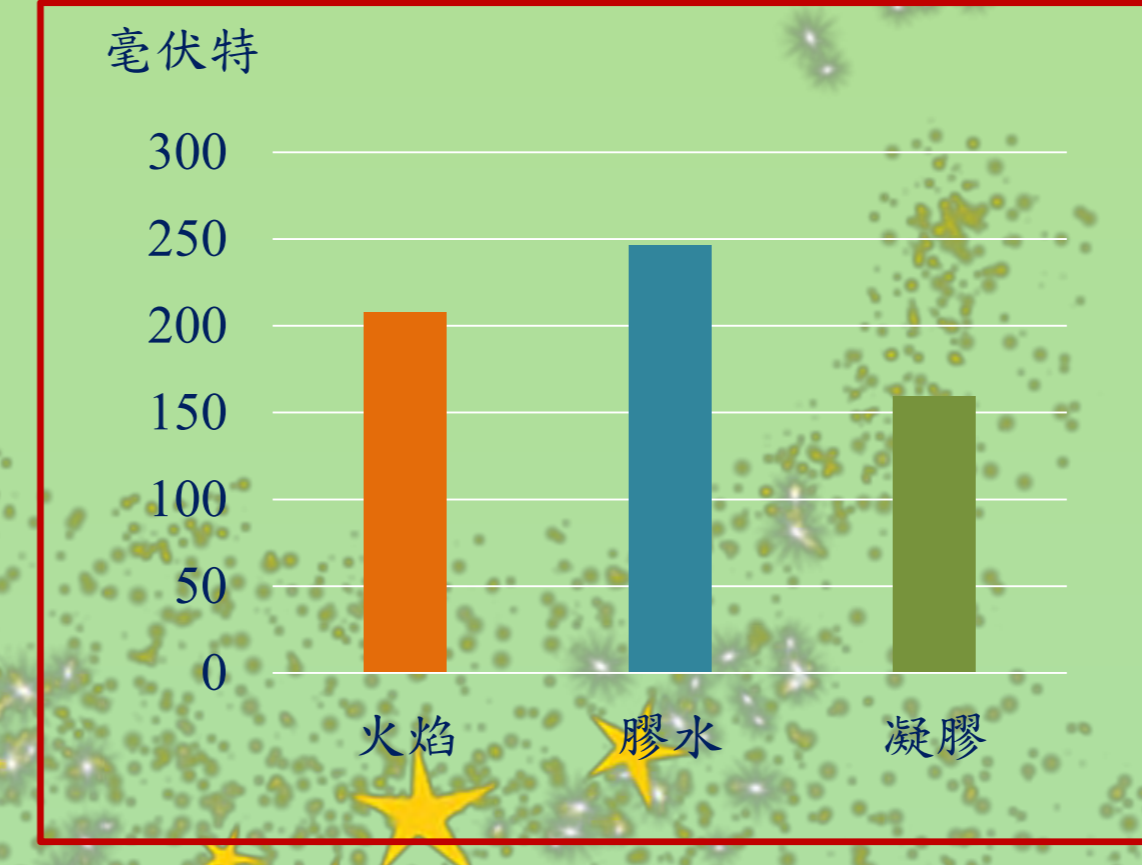
(一) 改良電解質



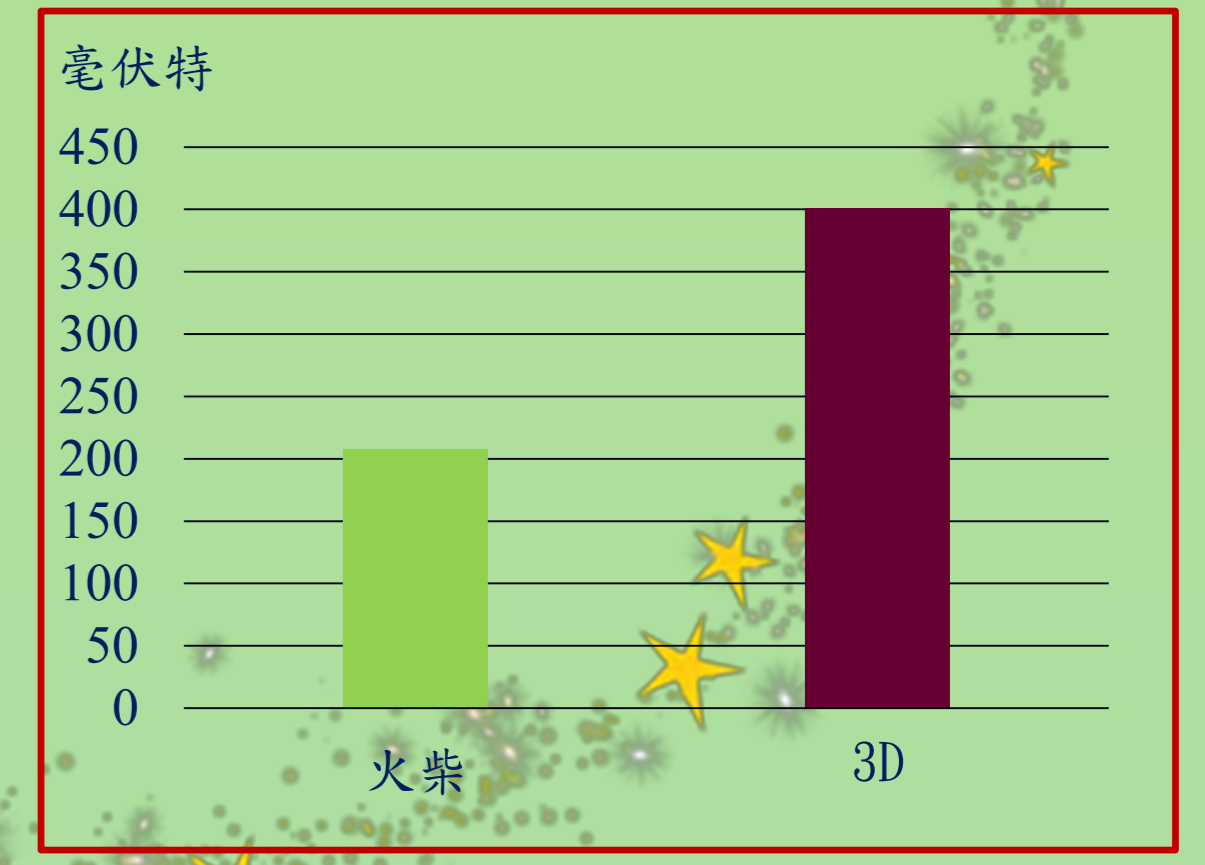
(二) 改良碳電極



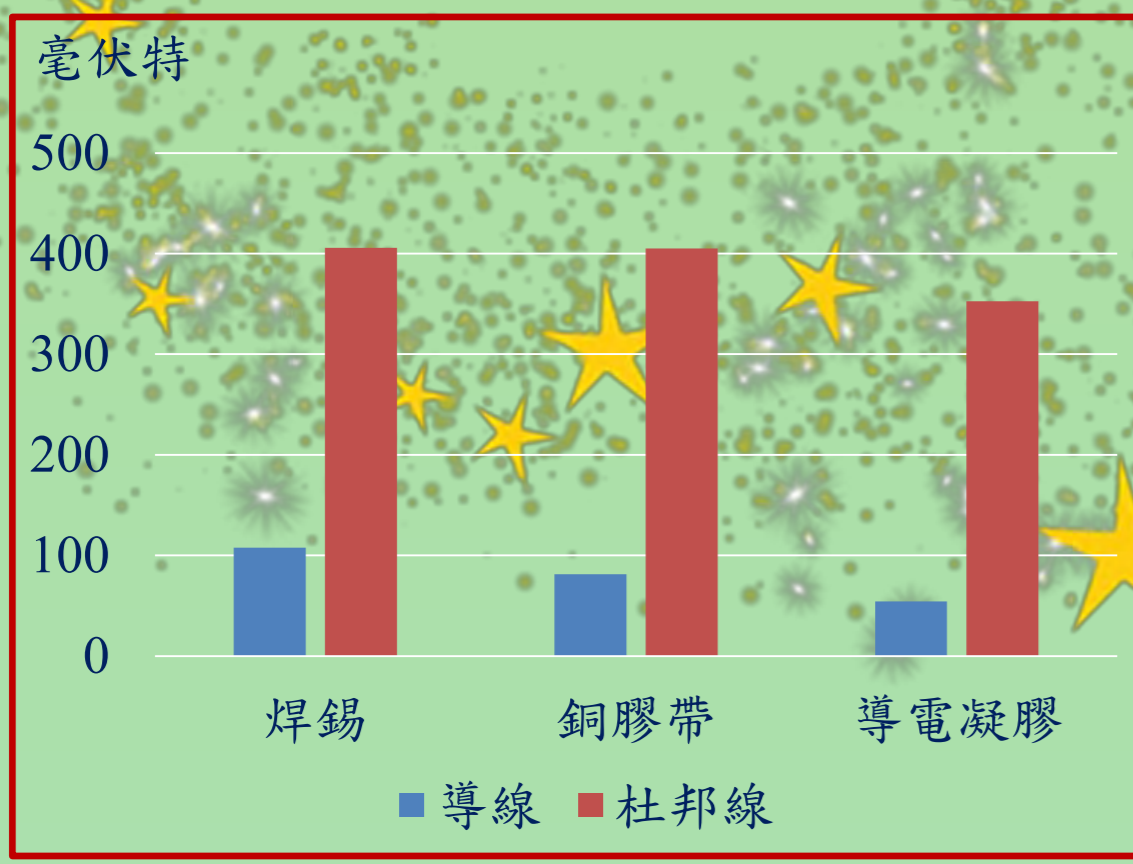
(三) 改良二氧化鈦電極



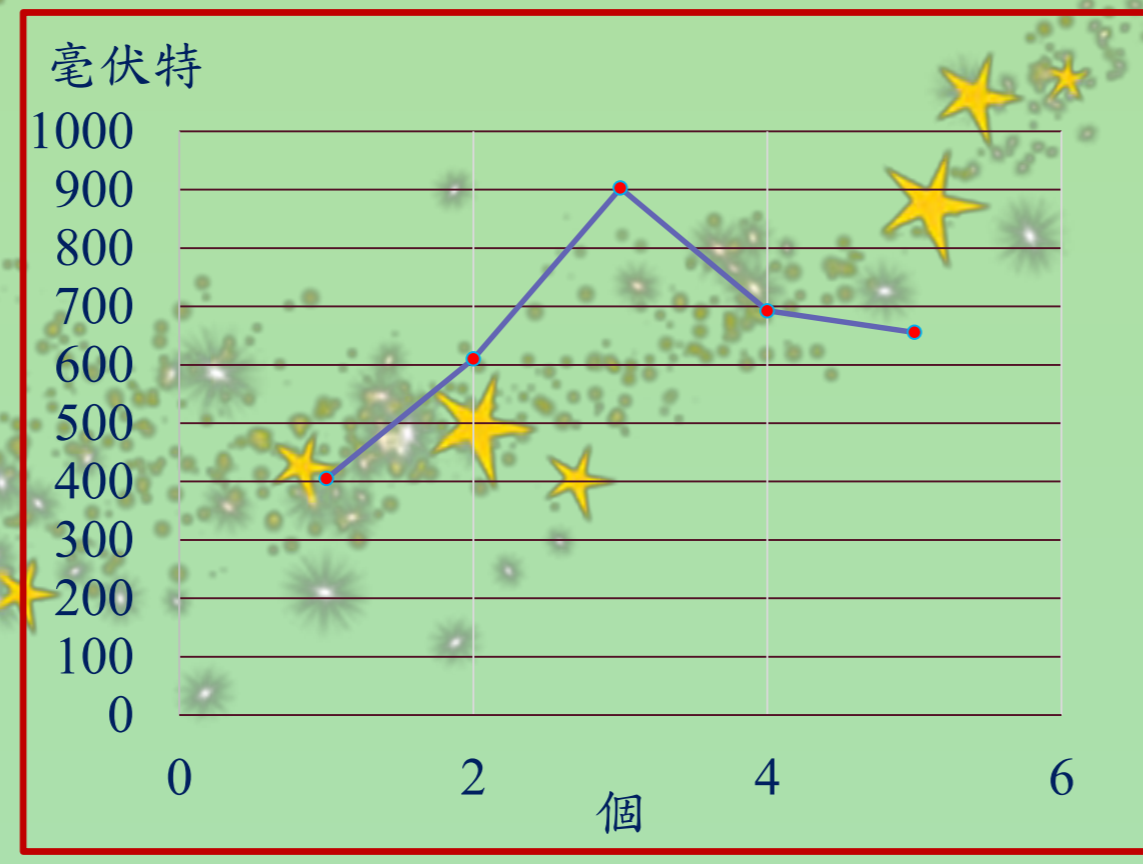
(四) 光電池載體設計 (圖七、八)



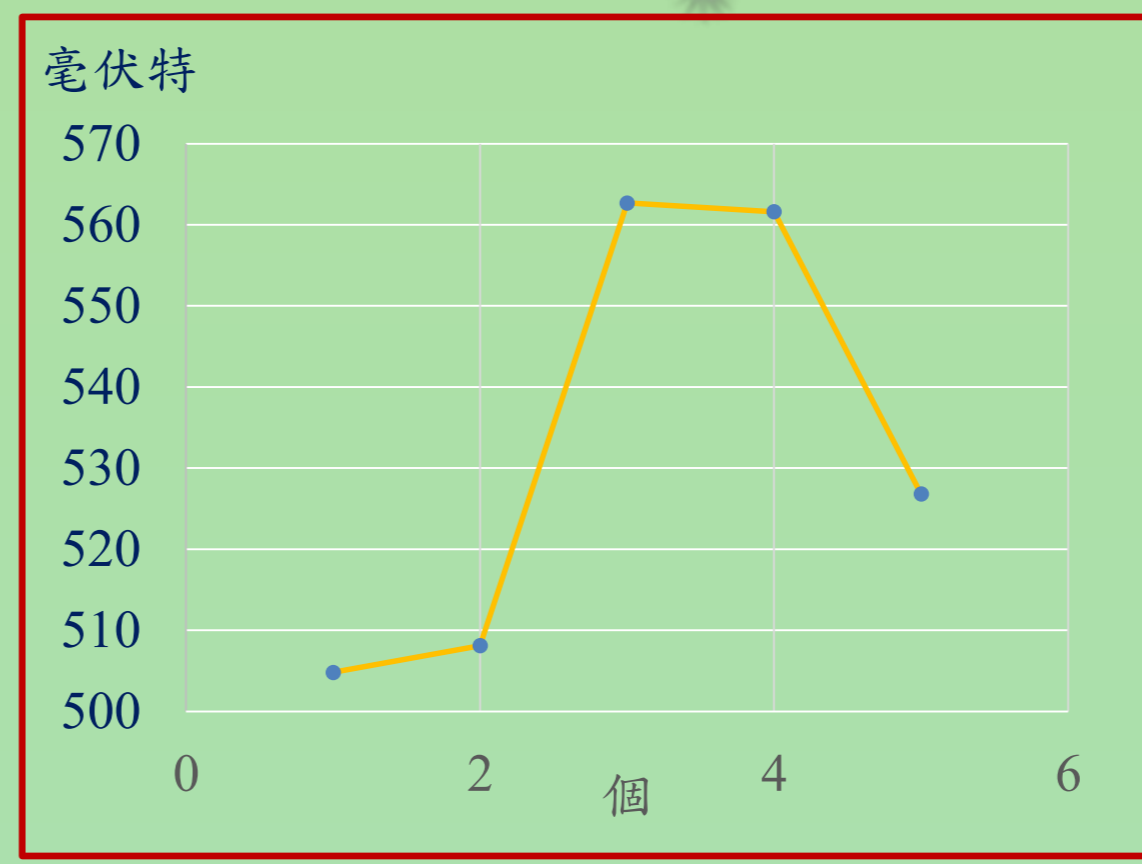
(五) 電壓輸出 (圖九、十)



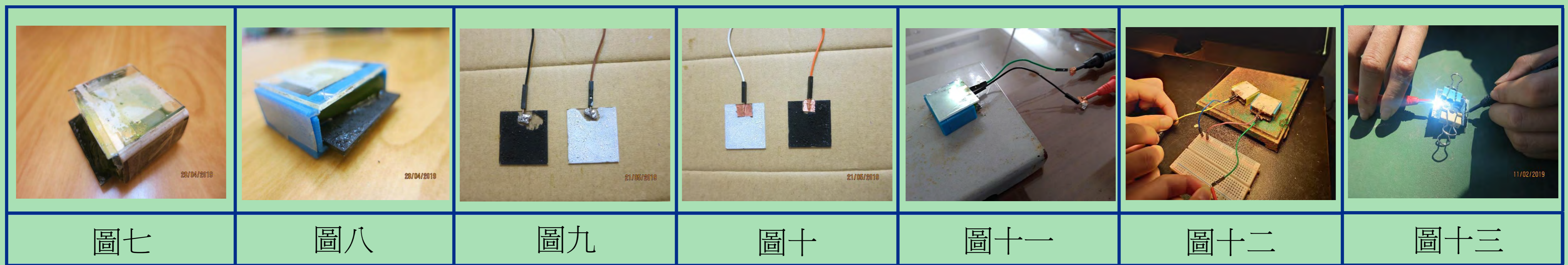
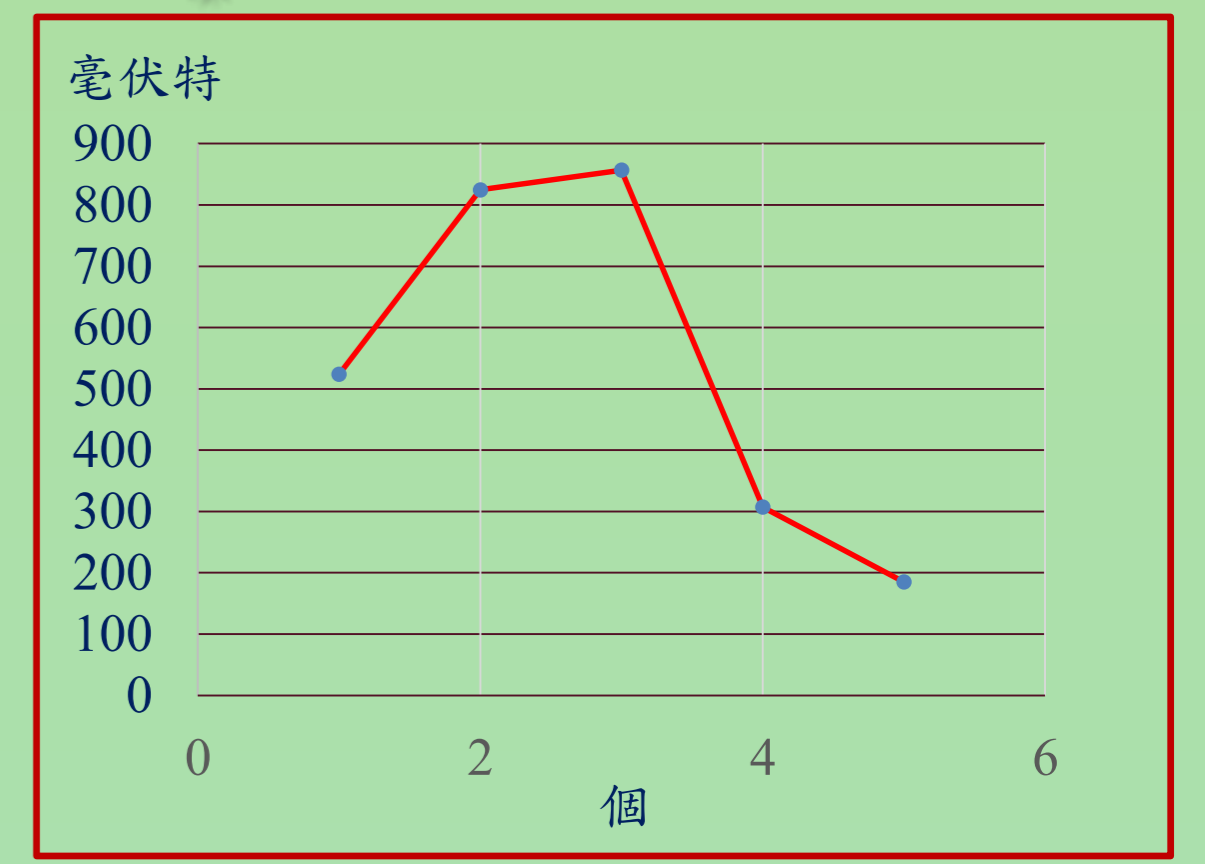
(六) LED 燈下電池串聯 (圖十一)



(七) 鹵素燈下電池串聯 (圖十二)

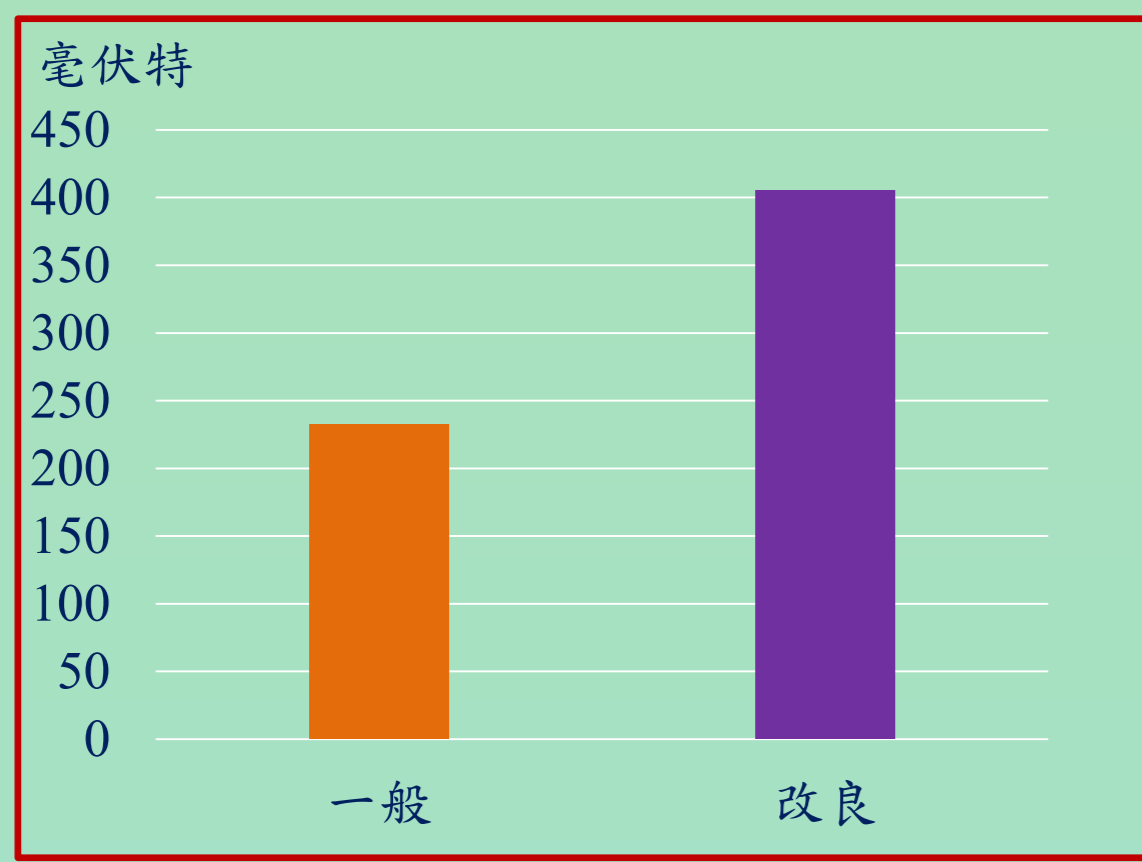


(八) 日光下電池串聯 (圖十三)

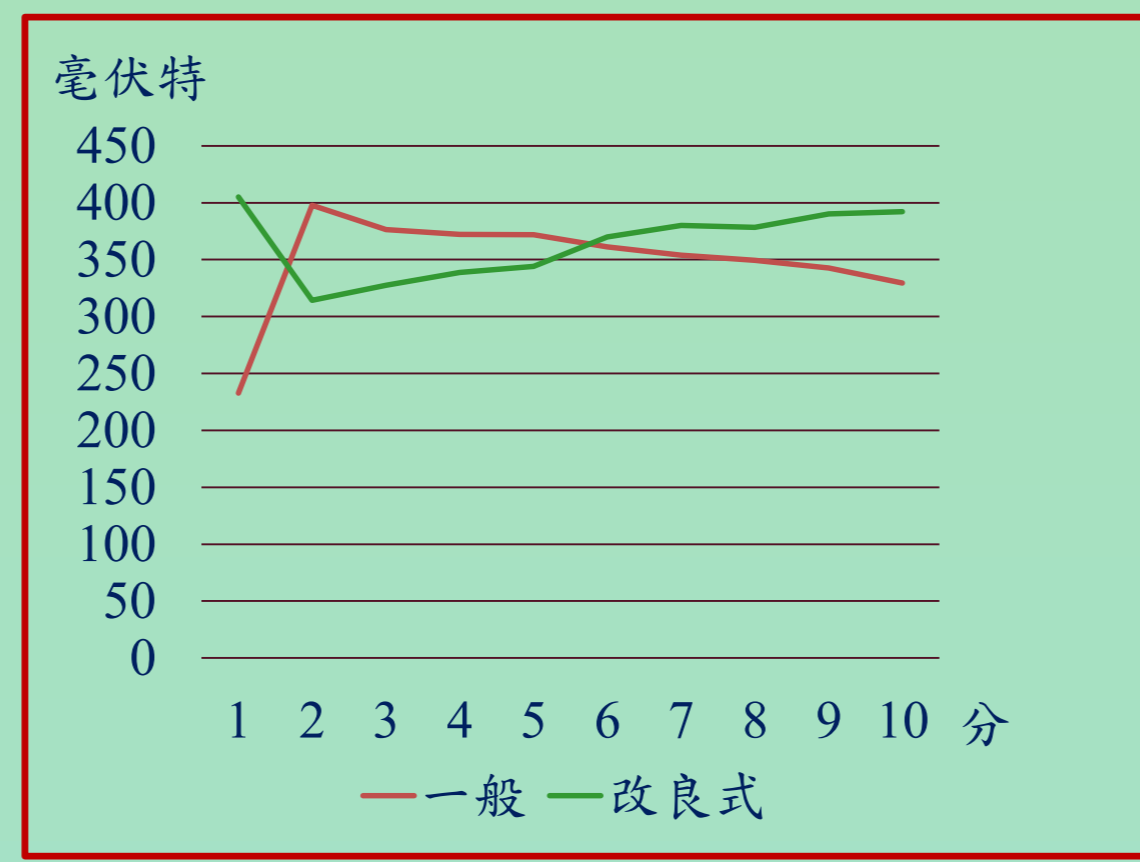


(九) 改良式光電池與一般光電池的比較

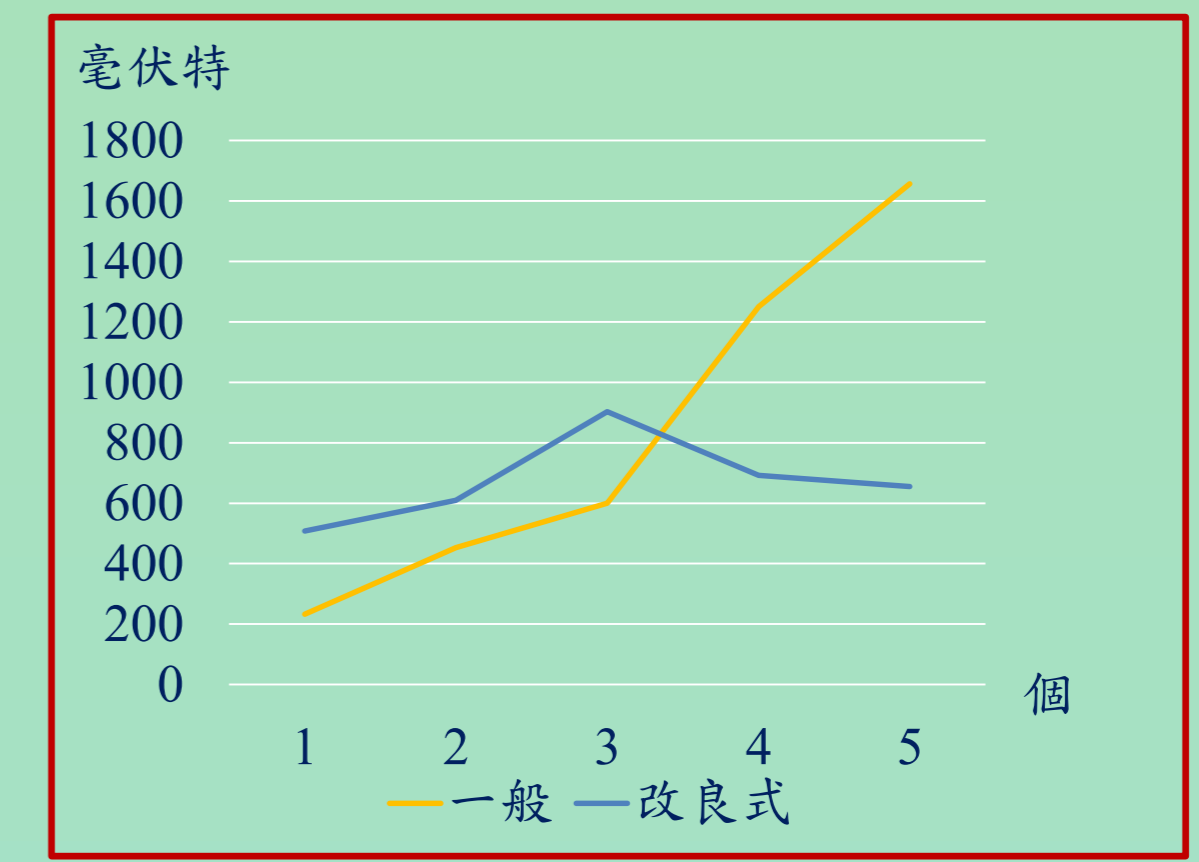
1. 單顆電池發電效能的比較



2. 單顆電池發電效能與時間關係的比較



3. 電池組發電效能的比較



陸、討論

一、探討「植物染料敏化光電池」發電效能

(一) 比較不同種類的蔬菜色素對植物染料敏化光電池發電效能的影響：

- 本研究證明，植物色素在光電池中扮演著非常重要的角色：(1) 利用光能來激發而產生高能量的電子，並藉由二氧化鈦的傳遞來形成自由電子以產生電流。(2) 從電解質溶液中獲得電子來維持穩定狀態，並形成整個電路的通路。
- 我們發現綠色色素（地瓜葉）在酸性溶液中，發電效能最佳。若以植物顏色的角度來分析，因為綠色色素可以吸收白光中的紅光與藍光，因此能獲得最大光能，所以光電池的反應條件以綠色色素為最佳。
- 旋花科中以地瓜葉的色素所製成的光電池，所產生的電壓最高。因此可知道地瓜葉中的綠色色素（花青素）吸收光能的能力較佳。

(二) 比較使用不同電解液（電解液種類、濃度）對植物染料敏化光電池的影響：實驗結果為：強酸（鹼）> 弱酸（鹼）；酸 > 鹽 > 鹼。因此可推論，離子的多寡會影響光電池的發電效能，而電解質在光反應中，其功能是提供電子來維持整個電路的電中性，以利反應能持續進行，實驗結果證明強酸（HCl）導電與提供電子的能力最佳。

(三) 比較植物色素浸泡時間對植物染料敏化光電池效能的影響：利用丙酮萃取色素，若浸泡的時間夠長則能使綠色色素完全溶解出來，讓光電池因色素濃度夠高而能提高發電效能。但若時間超過一週，則必須考量蔬菜色素氧化的因素，如此反而會降低發電效能。

(四) 比較不同色光光源對植物染料敏化光電池發電效能的影響：我們利用TLC片對綠色色素做色層分析，發現其中除了含有葉綠素外還含有葉黃素（圖十四），因葉黃素會反射綠光與紅光，因此當以綠光、紅光照射時，光電池的效能會受到影響，若照射藍光，則能使光電池產生最大電壓。

(五) 比較植物染料敏化光電池電壓效能與時間的關係：電池產生電壓的前 2 分鐘為高峰期，之後逐漸降低至 10 分鐘後為 330 mV，就發電穩定度而言已達到不錯的效果。

(六) 探討光電池發電效能：比較LED燈與日光照射下光電池的發電效能。發現，LED燈光源集中，光電池能吸收較多的光能，產生的電壓也會較大；日光為平行光，不僅容易造成陰影（圖十五），也無法集中照射面積，直接影響光電池吸收光能的能力。

## 二、改良式電池適用性之分析

對於「植物染料敏化光電池」，我們發現了幾項會影響發電效能與穩定性的問題，我們提出了解決方案。

**【問題一】：蔬菜色素與電解質均為液體，發電時會因液體的流失而影響光電池的發電效能及穩定性。**

(一) 改良光電池反應中電解質容易流失的缺點：

分別利用棉花吸取反應物（圖十六）或直接加入洋菜粉製成果凍狀（圖十七），所製成光電池產出的電壓分別為 43.3 mV 與 207.6 mV。但上述兩方式，均會因固定的長尾夾作用力過大，而造成溶液流出或果凍被擠出的現象。

**【問題二】：以火焰讓碳粒附著於玻璃表面，發現碳粒的附著力明顯不足，容易因電極的碰觸而剝落。**

(二) 改良光電池反應中碳粉在導電玻璃上附著不佳的缺點：

利用膠水將碳粉先攪拌均勻，再塗抹至導電玻璃上，等待膠水凝固再發電，所產生的電壓為 246.3 mV。

**【問題三】：二氧化鈦需在高溫下燒結才能固定在導電玻璃上，但因燒結效果並不理想，實驗過程中容易龜裂剝落。**

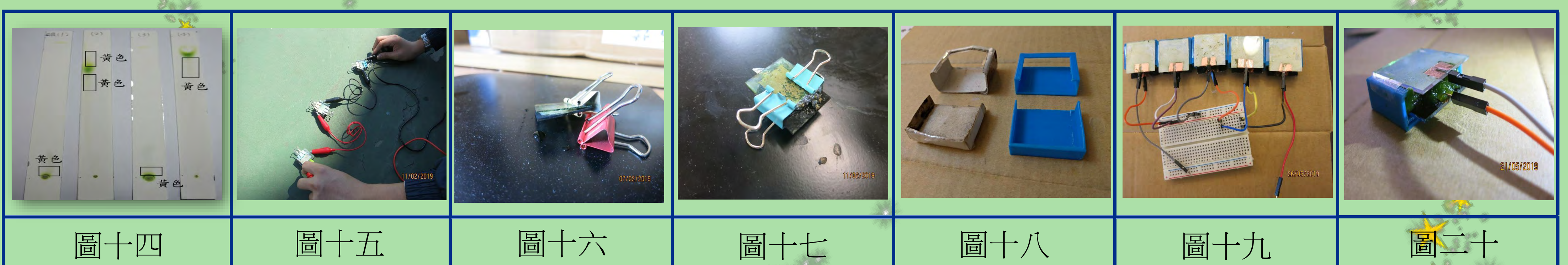
(三) 改良光電池反應中二氧化鈦在導電玻璃上附著不佳的缺點：

利用二氧化鈦與膠水攪拌後均勻塗抹至玻璃上，因與膠水互溶性差且不易凝固，因此發電電壓僅為 148.7 mV。

**【問題四】：光電池缺乏能互相連接且能輸出電壓的導線，且體積過大，會影響串聯時的輸出電壓。**

(四) 設計光電池的反應載體以利電壓的輸出：

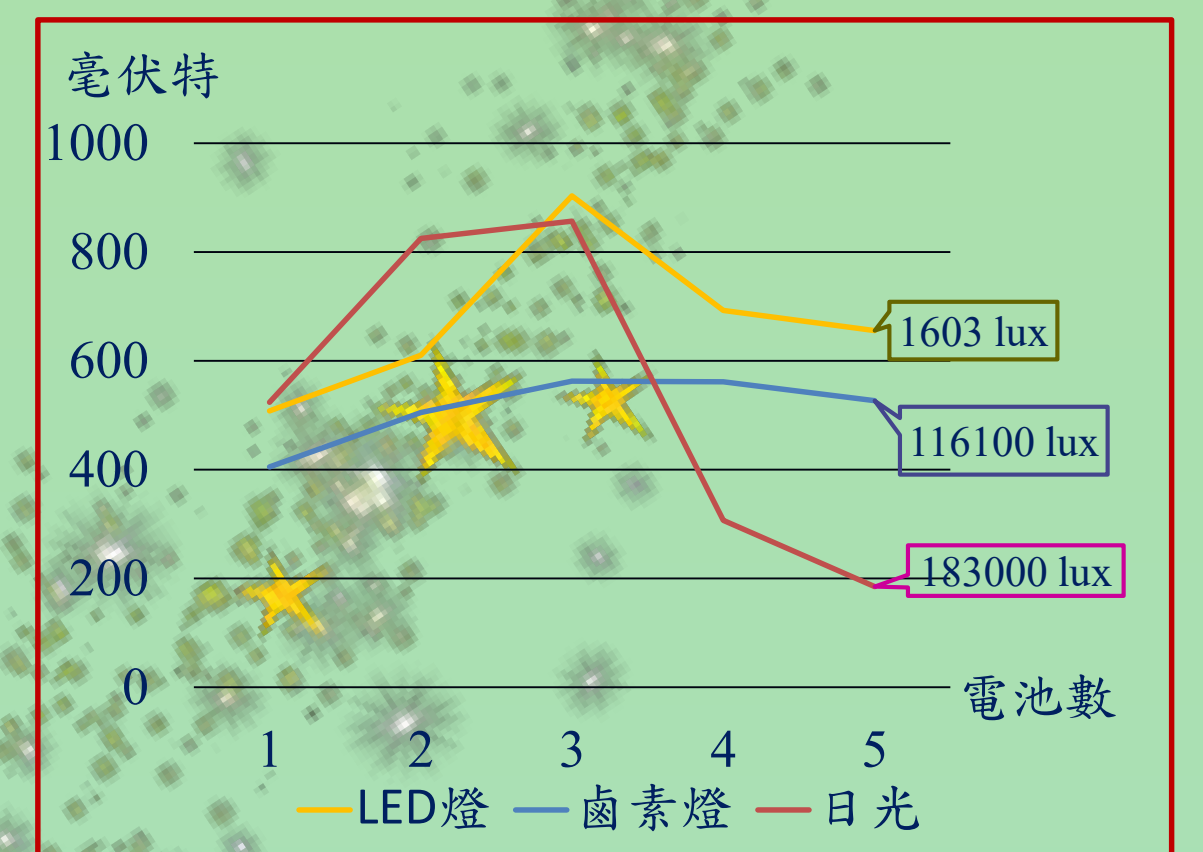
1. **光電池的載體設計**：我們利用火柴盒，以「抽屜」為概念設計出第一代反應載體，但火柴盒為硬紙製成，遇水容易潮濕軟化，因此我們以第一代為模型，利用3D列印機列印出第二代載體（圖十八）。
2. **光電池電壓輸出改進**：我們設計要在導電玻璃上固定一條能輸出電壓的導線，以解決測量電壓不穩定與利用鱷魚夾連接造成體積龐大的缺點，並期望能與麵包板連接成電池組（圖十九）。因此我們採用導線與杜邦線以焊錫、銅膠帶與導電凝膠三種方式來連接，結果以採用銅膠帶來固定導線接頭，能得到較佳的結果（圖二十）。



(五) 設計光電池的反應載體以利電壓的輸出：

我們發現：不管在何種光源，光電池在串聯 3 個時所產生的電壓會達到最大，探究原因：

1. 電解質果凍在強光照射下容易乾燥變質，且光電池的內電阻在串聯數大於 3 個時，會增大到影響發電的效能。
2. **能影響電壓的大小是光源的種類而非照度**，LED 燈光源偏藍光，不易被綠色色素反射，因此可產生最大電壓。



(六) 改良式光電池與一般光電池的比較：

1. 發電效能的比較：改良式光電池 (405.1 mV) 確實在發電的表現上較一般光電池 (232.6 mV) 好。
2. 發電效能與時間關係的比較：改良式光電池在第 10 分鐘時仍能維持 96.79% 的電壓，相較於一般光電池佳。
3. 改良式光電池中加入很多絕緣物質，因此當光電池串聯到一定數目時，其產生的內電阻會影響發電的效能。

## 柒、結論

一、在實驗室中，我們找出「植物染料敏化光電池」最佳的發電的條件：

- (一) **光敏染料**：旋花科綠色植物色素。
- (二) **電解液**：10 M 的強酸溶液。
- (三) **光源**：藍色光源。

二、在「植物染料敏化光電池」的光反應中，電解液中離子濃度越大，越有利於反應的進行，所產生的電壓也越大。

三、在光反應中，二氧化鈦進行還原反應，當電池的正極；電解質進行氧化反應，因此是當負極。而碳粉是協助導電用。

四、綠色色素較其他顏色色素發電能力較佳，因為綠色色素可以吸收藍光與紅光，可以有足夠的能量讓光電池產生反應。

五、葉黃素會影響光電池的反應，因為黃色為綠色與紅色的混合色，會反射綠光與紅光，因此會影響電池的發電效能。

六、光源照度會影響光電池的反應速率，**照度越大反應速率就越快**，因此照射照度較大的光源，光電池會立即產生電壓，可是照度卻非光電池能否產生較大電壓的主要因素。**偏藍光的光源，即使照度較小，也可使光電池產生較高的電壓。**

七、改良式光電池在發電量與電壓的穩定度皆較一般電池還好，但因**內電阻較大**，會影響光電池串聯時整體的發電效能。

八、強光源照射下，實驗用電池會因為溫度急速升高而發生水溶液蒸發的現象進而影響反應，這也是**本實驗測得最高電壓 1656.2 mV 後**，無法再向上突破的主要因素，也是我們未來研究的方向及要克服的目標。

## 捌、參考資料

- 一、湯雨諄等三人，染料敏化太陽能電池分子結構與轉換效率的關係，科展作品。
- 二、科學 Online，<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=8467>。
- 三、吳春桂，國立中興大學，Journal of Engineering, National Chung Hsing University, Vol.25, No.1, pp.15-26。
- 四、戴明鳳等兩人，國立清華大學，奈米TiO<sub>2</sub>晶粒和藍莓或覆盆子的汁液作為染料DIY製作染料敏化奈米晶化太陽電池。