

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生物科

佳作

030307

花青素來電『蠶』是神奇

學校名稱：新竹縣私立康乃蘭國民中小學

作者： 國一 彭芊榕	指導老師： 施宗霖
---------------	--------------

關鍵詞：花青素、蠶絲蛋白、發電

摘要

我對於植物進行光合作用經電子傳遞鏈釋放出能量感到好奇，日常生活中電子產品需用到乾電池提供電力，因此嘗試仿照植物產生能量的方式，製作降低環境污染的綠能電池。上一屆科展我利用 FTO 導電膜玻璃，結合蝶豆花中花青素作為光敏化染料及 TiO₂ 膠體和蠶絲蛋白，成功製作出具有發電性的綠能電池。這次實驗我繼續探討相關變因，進一步瞭解花青素和蠶絲蛋白在綠能電池產生電能中扮演的角色。根據結果發現花青素相較於葉綠素吸光能力較強，pH 變化會影響植物色素傳遞電子效能；蠶絲成分中的絲膠蛋白相較於絲素蛋白，具有更高吸收紫外線和促進 TiO₂ 膠體導電的能力。這次研究得知綠電池使用花青素和絲膠蛋白能提高吸收光的能力，增強電能產生。

壹、前言

一、研究動機

在日常生活中，我們會用到乾電池(例如：拋棄式電池、可充電電池)，當乾電池沒電了，這些廢棄的電池材料垃圾，可能會汙染環境。在天然環境中，植物可以行光合作用，將光能轉換成生存所需的能量，這些能量也許可以用來發電。所以，我的研究是想利用對環境友善的材料，例如以植物色素，製作出綠能電池。此外，蠶絲纖維具有導電性，嘗試用來延長發電壽命。

二、研究目的

上一屆縣賽科展，成功製造出綠電池，經由光源照射後可產生電能，隨著頭燈光源照射時間增長、光源靠近綠電池距離較近時，產生電壓較高。此外，光源開關明暗交替時，當關掉光源時，電壓下降，當光源打開時，隨即電壓又會上升，表示電池發電具有即時性和回復性，可以即時反覆使用。

由於植物色素吸收光能能力、光觸媒導電膜和 FTO 玻璃接觸面積、蠶絲蛋白種類、光源強弱等，都會影響綠電池產生電壓的情形。因此本次實驗目的，對於製作出來的綠能電池，進行以下探討，並從中瞭解作用機制：

- (一) 探究植物色素和蠶絲蛋白吸收光能的情形
- (二) 探究植物色素酸鹼變化對於綠電池產生電能的影響
- (三) 探究兩種蠶絲蛋白促進發電的效果
- (四) 探究光源強度對於綠電池產生電能的情形

三、文獻回顧

(一)光合作用將光能轉成化學能

光合作用包含光反應及暗反應，光反應是在有光的情形下，葉綠素吸收光能後，合成 ATP；在暗反應時，將水及二氧化碳合成葡萄糖(圖 1)。在光合作用過程中會進行能量轉換，將光能轉變為化學能，因此可以運用光合作用將光能轉換成化學能的概念，利用植物色素吸收光能，結合化學電池氧化還原反應形成電流，產生電力的原理，製作綠能電池(圖 2)。

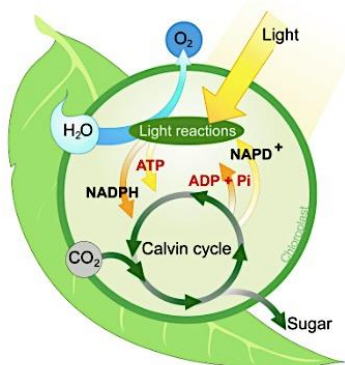


圖 1 光合作用過程
[The LibreTexts libraries]

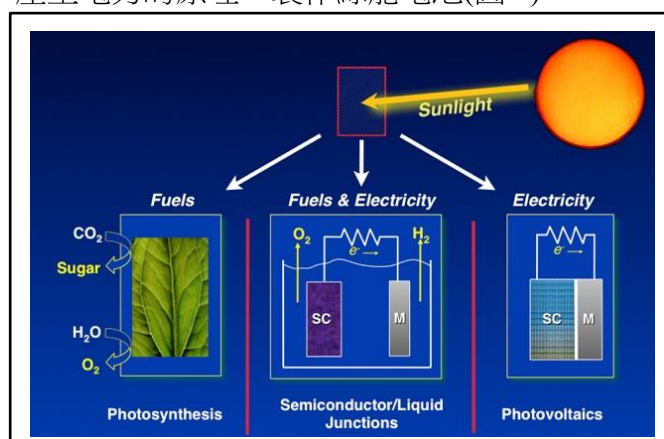


圖 2 運用光合作用原理製作綠能電池[Katz, 2008]

(二)化學電池反應

化學電池原理是經由氧化還原反應，把正極、負極活性物質的化學能，轉化為電能(圖 3)。例如鋅銅電池(圖 4)是一種以鋅為負電極、銅為正電極，硫酸鋅與硫酸銅為電解液的電化電池。鋅的活性較銅為大，為電池的負極，反應時會放出電子，鋅棒則溶於水中形成鋅離子。銅的活性較鋅為小，為電池的正極，反應時吸引水中的銅離子，在銅棒上還原成銅金屬。利用鋅與銅的活性不同，負極的鋅片(Zn)會失去電子變成(Zn²⁺)，同時釋放出的電子(e⁻)會沿著導線的移動至正極的銅片(Cu)上形成電子流，來產生電力。

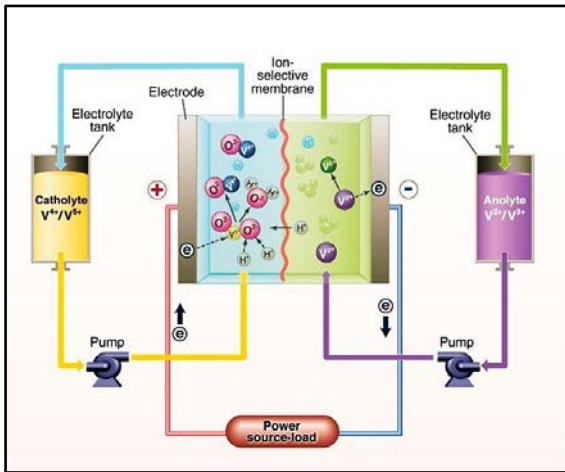


圖 3 化學電池原理[Dunn et al., 2011]

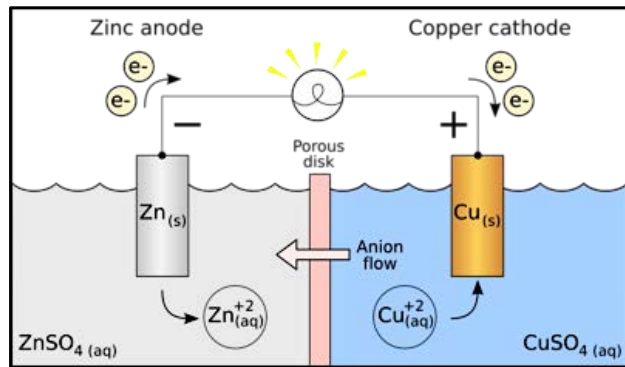


圖 4 鋅銅電池原理[CK-12 Foundation]

(三) 光伏效應將光能轉成電能

這次實驗所製作的綠能電池，利用植物色素吸收光能，結合化學電池氧化還原反應來產生電力，其原理為光伏效應(photovoltaic effect)。當光照射在不均勻半導體或半導體與金屬結合的不同部位之間，會產生電位差的現象，將光能轉換成電能。當光源照射在植物色素染料和奈米半導體氧化物時，光源激發染料分子獲得能量後，會釋出電子到半導體材料，再傳給導電材料送到電極，染料和電極跟電解質作用下，進行氧化還原，反覆進行循環，製作出染料敏化太陽能電池(dye-sensitized solar cells; DSSC) (圖 5)。

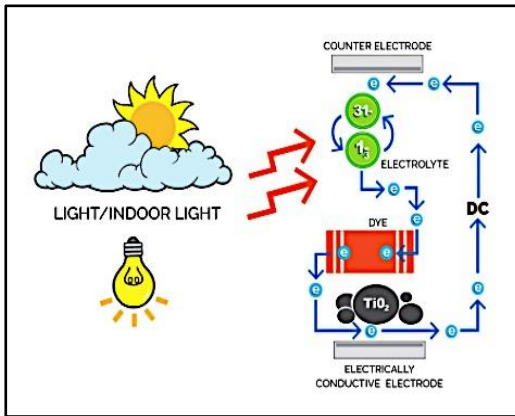


圖 5 染料敏化太陽能電池原理[Sinovoltatics Group]

(四) 蠶絲蛋白特性及應用

蠶獨特的成絲方式，讓蠶絲有精密的多級結構，蠶絲中含有蠶絲蛋白，是一種天然的生物可降解蛋白質，具有良好透氣性、高光澤度和力學性能等優點。蠶絲蛋白外層由絲膠蛋白(sericin)組成，內層由絲素蛋白(fibroin)組成(圖6)。外層絲膠蛋白，約佔全蠶絲25%，屬球形蛋白質，分子量為42~319KD，由18種胺基酸組成，具親水性。內層絲素蛋白，約佔全蠶絲的75%，屬線形蛋白，由分子量300~350KD長鏈和25~30KD短鏈組合而成，含18種胺基酸，具多疏鬆殘基胺基酸。

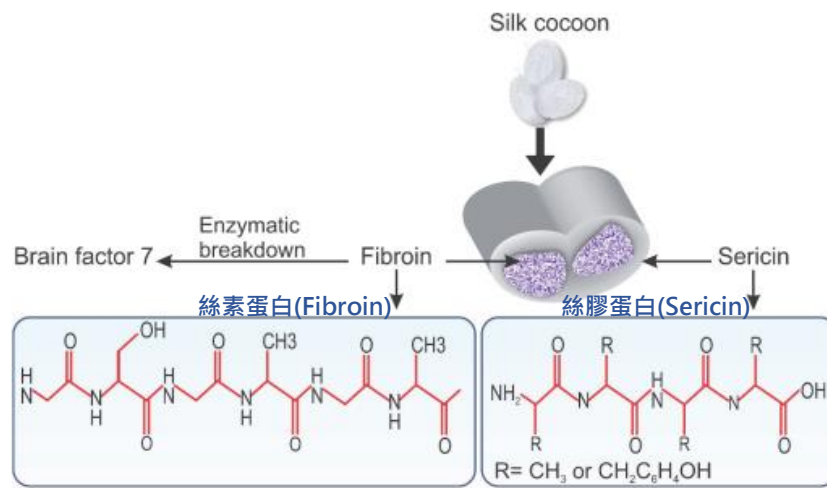


圖 6 蠶絲蛋白組成成分[Mohammadi et al., 2019]

絲膠蛋白具光澤性，能吸收紫外光、有吸濕及保濕性、抑制酪氨酸酶活性來達到抗氧化能力。絲素蛋白有良好的吸水性、耐熱性、絕緣性、質地輕而柔軟。兩種蠶絲蛋白均無毒性，對人體皮膚親和性佳，無致敏性，具有保濕性、抗氧化性、抗紫外線、膠粘性、抗菌的特點，可應用在化妝品、保健產品、生醫材料、人造纖維方面[Saha et al., 2019]。由於近年來智慧型電子產品迅速發展，帶來電子垃圾污染，日趨嚴重，因此開發可降解、可持續使用的電子材料，成為發展趨勢，蠶絲蛋白為其中一種生物材料，目前研發應用在醫藥、電子產品、智能穿戴感應傳輸裝置等項目(圖7)。

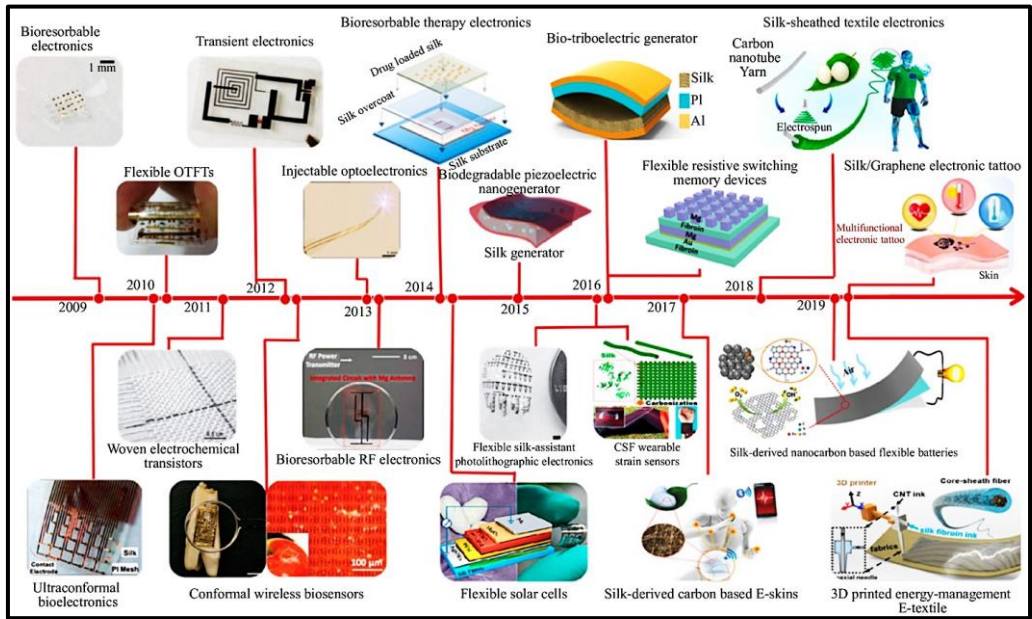


圖 7 蠶絲蛋白應用[Fan et al., 2021]


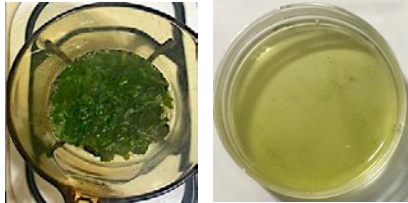


貳、 研究設備及器材

實驗材料	用途說明
實驗藥品	
乙酸、乙二醇、去離子水	溶劑
小蘇打粉	調整 pH 值
Triton X-100	界面活性劑
碘化鉀(KI)、碘粒(I ₂)	電解液
二氧化鈦(titanium dioxide; TiO ₂)	奈米級 30 nm，作為光觸媒。
植物色素	萃取蝶豆花和菠菜色素
蠶絲蛋白：絲膠蛋白(sericin)	增強導電
蠶絲蛋白：絲素蛋白(fibroin)	增強導電
pH 試紙	偵測酸鹼值
實驗器具	
鑷子、滴管、載玻片、燒杯	提取、存放材料
FTO (fluorine-doped tin oxide)玻璃	表面鍍上含氟(fluorine)的氧化錫(tin oxide)導電膜 導電玻璃尺寸：2 cm×2 cm×2.2 mm 電阻：6-8 Ω/sq，穿透度：80-82%
三用電錶	測量電流、電壓、電阻
分光光度儀	偵測植物色素吸光值
光源	頭燈(3W)、燈泡(27W)
筆記型電腦	紀錄和分析實驗數據

參、研究方法

實驗(一)、偵測植物色素和蠶絲蛋白吸收光能的情形






1. 說明：瞭解植物色素和蠶絲蛋白(絲膠蛋白和絲素蛋白)吸收光能的情形
2. 步驟




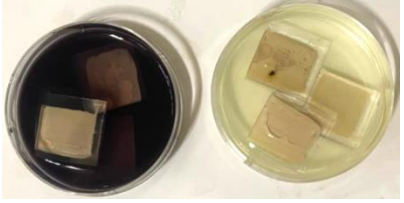

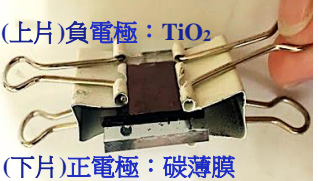
(1)萃取植物色素(圖 8)		
(i)	配製花青素萃取液：	(i)蝶豆花：花青素
	秤約 3 g 乾燥蝶豆花→200 mL 去離子水煮沸 5 分鐘→濾紙過濾	
(ii)	配製葉綠素萃取液：	(ii)菠菜：葉綠素
	秤約 100 g 新鮮菠菜→200 mL 去離子水煮沸 5 分鐘→濾紙過濾	
		圖 8 植物色素萃取液
(2)製備蠶絲蛋白溶液(圖 9)		
(i)	配製絲膠蛋白溶液：	(i)絲膠蛋白
	1 g 絲膠蛋白→溶於 25 mL 稀醋酸溶液(~0.05%)→室溫下混合攪拌均勻	(ii)絲素蛋白
(ii)	配製絲素蛋白溶液：	
	1 g 絲素蛋白→溶於 25 mL 稀醋酸溶液(~0.05%)→室溫下混合攪拌均勻	圖 9 蠶絲蛋白溶液
(3)偵測吸光能力(圖 10)		
(i)	偵測植物色素萃取液吸光值：	
	分光光度儀分別偵測花青素萃取液和葉綠素萃取液之吸光值	
(ii)	偵測蠶絲蛋白溶液吸光值：	
	分光光度儀分別偵測絲膠蛋白溶液和絲素蛋白溶液之吸光值	
		圖 10 分光光度儀偵測吸光值

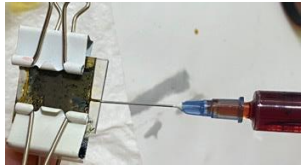

實驗(二)、探究植物色素酸鹼變化對於綠電池產生電能的影響

1. 說明：製作花青素或葉綠素之綠能電池，在不同酸鹼度下發電的情形。

2. 步驟

(1)製備 TiO ₂ 光觸媒膠體(圖 11)		
(i)	配製稀醋酸溶液(~0.05%)： 1 滴乙酸溶於 100 mL 去離子水	 <p>圖 11 TiO₂ 光觸媒膠體</p>
(ii)	配製 TiO ₂ 光觸媒膠體： 秤重 TiO ₂ 粉末(2 g)→加入稀醋酸溶液(2.5 mL) → 研磨混合→Tri-X100 (1.5 mL) →攪拌形成 TiO ₂ 膠體	
(2)製備碘化鉀(KI ₃)電解質溶液		
(i)	配製 0.5 M 碘化鉀(KI)溶液(圖 12)： 8.3 g 碘化鉀(KI)→加入乙二醇→定量至 100 mL	 <p>圖 12 製備 0.5M 碘化鉀(KI)溶液</p>
(ii)	配製碘化鉀(KI ₃)電解質溶液(圖 13)： 1.27 g 碘粒(I ₂)→加 0.5 M 碘化鉀(KI)溶液(10 mL)→ 混合溶解	 <p>圖 13 碘化鉀(KI₃)電解質溶液</p>
(3)測量 FTO 玻璃表面的導電度(圖 14)		
	以三用電錶，測量 FTO 玻璃表面的導電度→電阻 值越低，表示 FTO 玻璃導電度越高	 <p>圖 14 測量 FTO 玻璃表面的導電度</p>
(4) 製作綠能電池(圖 15)		
(i)	確定 FTO 導電膜面： 以三用電錶測量 FTO 玻璃表面的導電度，確定 FTO 玻璃具有導電膜那面。	 <p>圖 15.1 確定 FTO 導電膜面</p>

(ii)	<p>FTO 玻璃貼膠帶：</p> <p>用隱形膠帶在 FTO 玻璃上貼上 \square 字形，當作塗抹 TiO_2 膠體時厚度定位。</p>	 <p>圖 15.2 FTO 玻璃貼膠帶</p>
(iii)	<p>製作 TiO_2 光觸媒膠體導電膜：</p> <p>滴上適量 TiO_2 膠體，用載玻片均勻推開。</p>	 <p>圖 15.3 製作 TiO_2 光觸媒膠體導電膜</p>
(iv)	<p>撕掉隱形膠帶</p> <p>把貼在玻璃上三邊 \square 字形隱形膠帶撕掉</p>	 <p>圖 15.4 撕掉隱形膠帶</p>
(v)	<p>烘乾 TiO_2 膠體：</p> <p>FTO 玻璃放在板上加熱，以每 50°C 慢慢增加溫度到 450°C，烘乾 TiO_2 膠體，烘乾後放在室溫下降溫。加熱到 200°C 時可以看到 TiO_2 膠體上白色孔洞，250°C 開始變棕色，300°C 變咖啡色。</p>	 <p>圖 15.5 烘乾 TiO_2 膠體</p>
(vi)	<p>加入色素染料：</p> <p>分別將不同酸鹼度(pH 值=3、5、9)的蝶豆花或菠菜植物色素萃取液→滴在烘乾後 FTO 玻璃→靜置 1 小時後→95%乙醇清洗後晾乾。</p>	<p>(a) 蝶豆花 (b) 菠菜</p>  <p>圖 15.6 加入植物色素染料</p>
(vii)	<p>製作對應電極：</p> <p>取另一片 FTO 玻璃，將具導電膜那面，用蠟燭火焰燃燒，形成黑色碳薄膜，用來當作對應電極。再用棉花棒刮除周圍 \square 字形碳薄膜。</p>	 <p>圖 15.7 製作碳薄膜對應電極</p>
(viii)	<p>組裝綠能電池：</p> <p>將塗抹『TiO_2 膠體 FTO 玻璃』面對面交錯蓋在『碳薄膜 FTO 玻璃』上，露出沒有塗抹 TiO_2 膠體和沒有碳薄膜的邊緣，作為後續正負電極連接處。</p>	 <p>圖 15.8 組裝綠能電池</p>

(ix)	注入電解液： 在『TiO ₂ 膠體 FTO 玻璃』和『碳薄膜 FTO 玻璃』之間，用針筒滴入碘化鉀(KI ₃)電解質溶液，以毛細現象均勻分布在隙縫中。	
		圖 15.9 注入電解液
(5)	測量綠能電池的電能(圖 16)	
	以三用電錶測量發電效果→負電極接在 TiO ₂ 膠體膜那面，正電極接在碳薄膜那面→測量綠能電池的電壓和電流	
		圖 16 測量綠能電池的電能

實驗(三)、探究蠶絲蛋白促進發電的效果

1. 說明：研究兩種蠶絲蛋白對於綠能電池的發電效果
2. 步驟

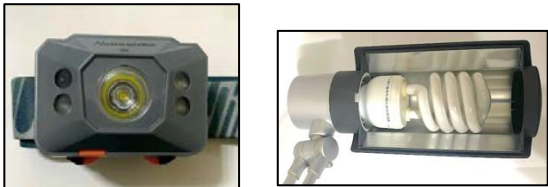
(1)製備含蠶絲蛋白之 TiO ₂ 光觸媒膠體(圖 17)		
	絲膠蛋白溶於稀醋酸→1:1 比例與 TiO ₂ 膠體混合均勻 絲素蛋白溶於稀醋酸→1:1 比例與 TiO ₂ 膠體混合均勻	
		圖 17 製備含蠶絲蛋白之 TiO ₂ 膠體
(2) 製作含蠶絲蛋白之綠能電池(參考圖 15)		
(i)	確定 FTO 導電膜面：	
	以三用電錶測量 FTO 玻璃表面的導電度，確定 FTO 玻璃具有導電膜那面。	
(ii)	FTO 玻璃貼膠帶：	
	用隱形膠帶在 FTO 玻璃上貼上冂字形，當作塗抹蠶絲蛋白 TiO ₂ 膠體時厚度定位。	
(iii)	製作蠶絲蛋白 TiO ₂ 膠體導電膜：	
	滴上適量絲膠蛋白 TiO ₂ 膠體，用載玻片均勻推開。 滴上適量絲素蛋白 TiO ₂ 膠體，用載玻片均勻推開。	
(iv)	撕掉隱形膠帶	
	把貼在玻璃上三邊冂字形隱形膠帶撕掉	
(v)	烘乾蠶絲蛋白 TiO ₂ 膠體：	

	FTO 玻璃放在板上加熱，以每 50°C 慢慢增加溫度到 450°C，烘乾蠶絲蛋白 TiO ₂ 膠體，烘乾後放在室溫下降溫。加熱到 200°C 時可以看到蠶絲蛋白 TiO ₂ 膠體上白色孔洞，300°C 開始變棕色，400°C 變咖啡色
(vi)	加入植物色素染料：
	將蝶豆花和菠菜植物色素萃取液，分別滴在烘乾後 FTO 玻璃，靜置 1 小時後，以 95% 乙醇清洗後晾乾。
(vii)	製作對應電極：
	取另一片 FTO 玻璃，將具導電膜那面，用蠟燭火焰燃燒，形成黑色碳薄膜，用來當作對應電極。再用棉花棒刮除周圍口字形碳薄膜。
(viii)	組裝綠能電池：
	將塗抹『蠶絲蛋白 TiO ₂ 膠體 FTO 玻璃』面對面交錯蓋在『碳薄膜 FTO 玻璃』上，露出沒有塗抹蠶絲蛋白 TiO ₂ 膠體和沒有碳薄膜的邊緣，作為後續正負電極連接處。
(ix)	注入電解液：
	在『蠶絲蛋白 TiO ₂ 膠體 FTO 玻璃』和『碳薄膜 FTO 玻璃』之間，用針筒滴入碘化鉀 (KI ₃) 電解質溶液，以毛細現象均勻分布在隙縫中。
(5)	測量綠能電池的電能(參考圖 16)
	以三用電錶測量發電效果→負電極接在蠶絲蛋白 TiO ₂ 膠體膜那面，正電極接在碳薄膜那面→測量綠能電池的電壓和電流

實驗(四)、探究光源強度對於綠電池產生電能的情形

1. 說明：研究光源強度對於綠能電池的發電效果

2. 步驟

(1)	光源照射	
(i)	頭燈光源	(a)頭燈光源
	綠能電池置於桌面，正上方 20 公分處，以頭燈光源照射 10 秒。	(b)檯燈光源
(ii)	檯燈光源	
	綠能電池置於桌面，正上方 20 公分處，以檯燈光源照射 10 秒。	圖 18 照射綠能電池之光源
(2)	測量綠能電池的電能(參考圖 16)	
	以三用電錶測量發電效果→負電極接在蠶絲蛋白 TiO ₂ 膠體膜那面，正電極接在碳薄膜那面→測量綠能電池的電壓和電流	

肆、研究結果

一、植物色素植物色素和蠶絲蛋白吸收光能的情形

植物色素溶液在不同酸鹼度下，會改變顏色(圖 19)。原本蝶豆花色素萃取溶液和菠菜色素萃取溶液，pH 值分別約為 6~7 和 5~6。當蝶豆花溶液加入濃醋酸溶液後，pH 值約為 2~3，顏色由紫色轉變為紫紅色。當蝶豆花溶液加入小蘇打溶液後，pH 約為 8~9，顏色變為綠色。當菠菜溶液加入濃醋酸溶液後，pH 值約為 3~4，顏色由淡綠色變為黃色。當菠菜溶液加入小蘇打溶液後，pH 約為 8~9，顏色為黃綠色。

以分光光度儀偵測植物色素之吸光值(圖 20)，在可見光範圍，蝶豆花溶液酸鹼度為 pH3 在波長 525 nm 最大吸收值 1.2，pH9 在 650 nm 最大吸收值 1.4。菠菜溶液酸鹼度為 pH9 在波長 400-450 nm 最大吸收值 0.9，pH5 在 670 nm 最大吸收值 0.6。

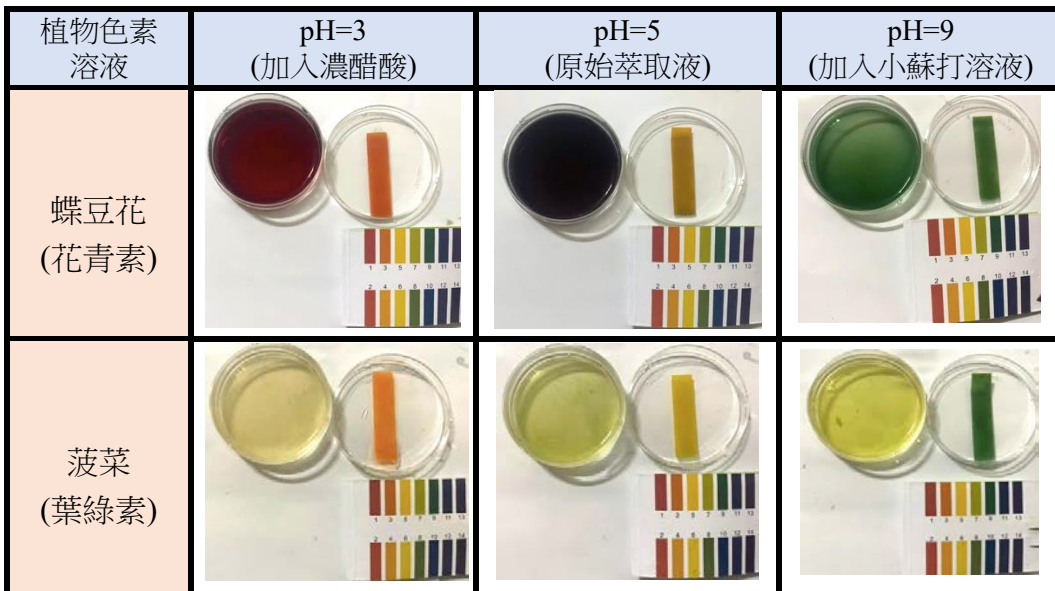


圖 19 植物色素在不同 pH 值下呈現的顏色

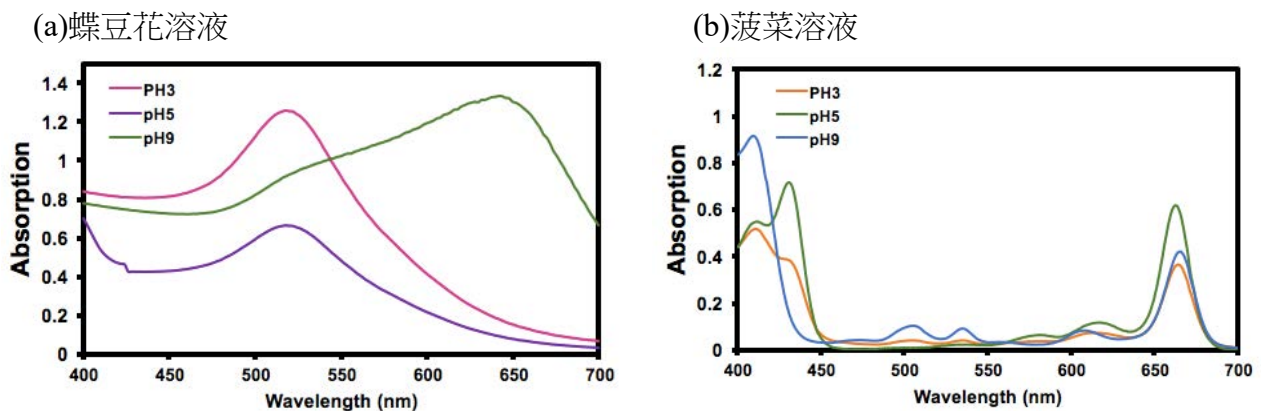


圖 20 植物色素溶液在不同 pH 值下的吸光情形

二、綠電池結合不同酸鹼度植物色素的發電情形

1. 測量 FTO 玻璃表面的導電度

首先偵測 FTO 玻璃表面的導電度(圖 21)，FTO 玻璃為一面表面鍍有摻雜氟(fluorine)的氧化錫(tin oxide)導電膜，稱為 fluorine-doped tin oxide (FTO)。以三用電錶測量這次實驗購買的 FTO 玻璃表面的電阻值，電阻值介於 20.20~23.77 Ω 。電阻值越低，表示 FTO 玻璃導電性越高。

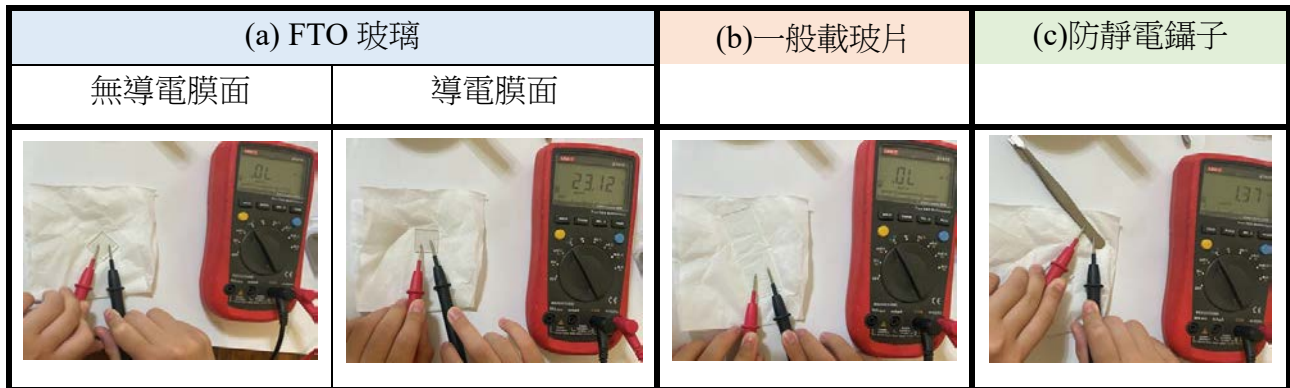


圖 21 測量 FTO 玻璃表面的導電度

2. 綠電池發電具即時性和回復性

在上一屆科展研究發現，隨著頭燈光源照射時間增長、光源靠近綠電池距離較近時，能產生較高的電壓，從頭燈照光 5 秒產生約 7.3 mV 電壓，到當頭燈近距離照射綠電池，照光 30 秒時，能產生約 60 mV 電壓。此外，當關掉光源時，電壓下降，當光源打開時，隨即電壓又會上升，表示電池發電具有即時性和回復性。因此，考量照光時間和產生電壓穩定性，這次實驗固定光源架設距離 20 公分，照光 10 秒鐘後測量電壓。

3. 綠電池結合不同酸鹼度植物色素溶液的發電情形

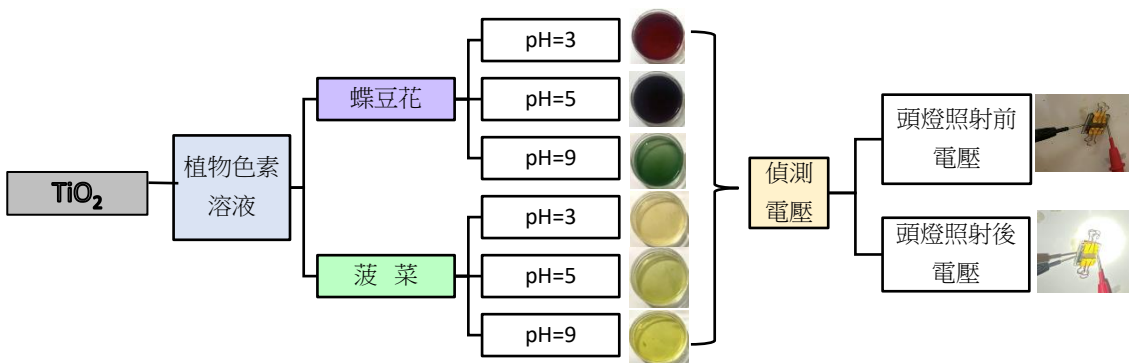


圖 22 測量不同酸鹼度植物色素溶液之綠電池發電情形的實驗流程圖

綠電池分別浸泡在不同酸鹼度的蝶豆花和菠菜色素溶液，測量頭燈光源照射前和照射 10 秒後的電壓(圖 22)。照光後，使用蝶豆花色素溶液的綠電池產生電壓大小依序為 pH5 > pH3 > pH9，最高電壓為 pH=5 時，平均為 9.340 mV (表 1)。使用菠菜色素溶液的綠電池產生的電壓大小依序為 pH5 > pH9 > pH3，最高電壓為 pH=5 時，平均為 2.750 mV。結果顯示使用蝶豆花色素溶液的綠電池產生的電壓高於使用菠菜色素溶液綠電池(圖 23)。

表 1 不同酸鹼度植物色素之綠電池照光前後的電壓值

	照光前				照光 10 秒後			
	電壓(mV)			平均(mV)	電壓(mV)			平均(mV)
蝶豆花 (pH=3)	1.68	1.76	1.81	1.750	7.85	7.93	8.02	7.933
(pH=5)	1.82	1.78	1.69	1.763	9.35	9.26	9.41	9.340
(pH=9)	1.74	1.62	1.73	1.697	5.45	5.53	5.38	5.453
菠菜 (pH=3)	1.23	1.26	1.24	1.243	1.79	1.67	1.74	1.733
(pH=5)	1.37	1.32	1.35	1.347	2.85	2.62	2.78	2.750
(pH=9)	1.32	1.25	1.29	1.287	2.37	2.45	2.39	2.403

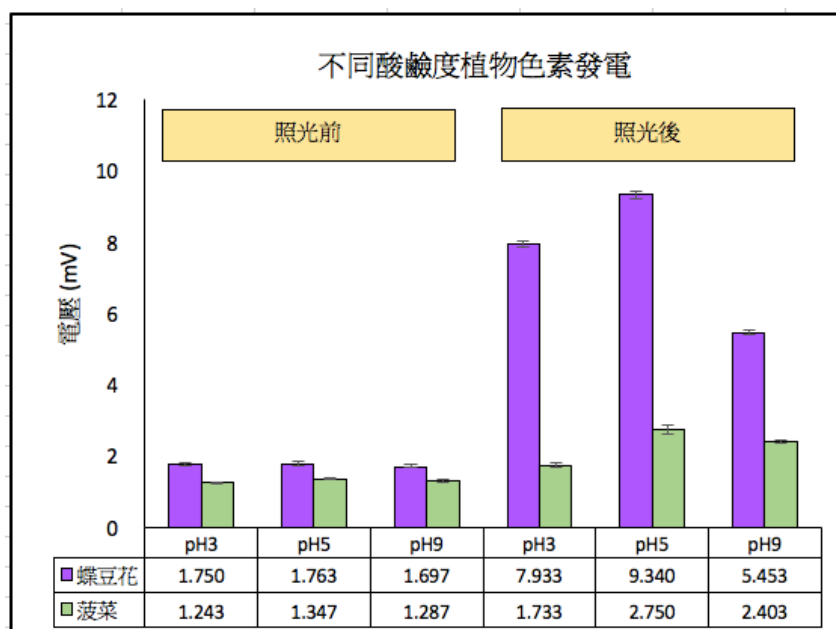


圖 23 不同酸鹼度植物色素之綠電池照光前後的電壓值比較

三、兩種蠶絲蛋白對於綠電池發電的效果

這次綠電池中的 TiO₂ 膠體導電膜，分別加入兩種蠶絲蛋白(絲素蛋白、絲膠蛋白)，測量蠶絲蛋白 TiO₂ 膠體導電膜在不同酸鹼度植物色素染料情況下，頭燈光源照射後的電壓(圖 24)。結果發現蠶絲蛋白 TiO₂ 膠體導電膜的綠電池產生的電壓(表 2)，高於只含 TiO₂ 膠體導電膜的綠電池(表 1)。並且絲膠蛋白 TiO₂ 膠體導電膜的綠電池產生的電壓高於絲素蛋白 TiO₂ 膠體導電膜的綠電池，尤其是絲膠蛋白 TiO₂ 膠體導電膜的綠電池，使用 pH=5 蝶豆花色素染料，能產生最高之發電電壓(圖 25)。

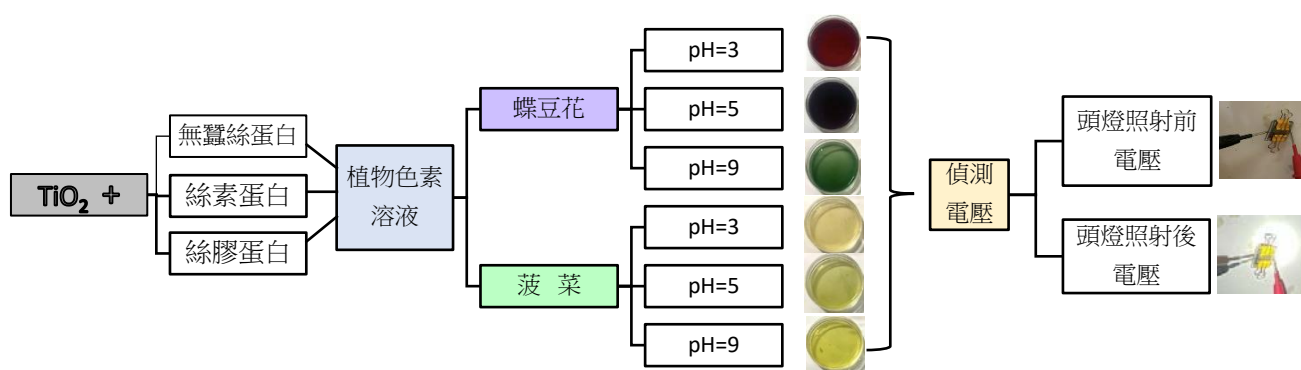


圖 24 測量不同 TiO₂ 膠體導電膜之綠電池發電情形的實驗流程圖

表 2 不同 TiO₂ 膠體導電膜和酸鹼度植物色素之綠電池照光後的電壓值

	TiO ₂ +絲素蛋白				TiO ₂ +絲膠蛋白			
	照光後 電壓(mV)			平均(mV)	照光後 電壓(mV)			平均(mV)
蝶豆花 (pH=3)	10.52	10.39	10.46	10.457	11.55	11.32	11.37	11.413
(pH=5)	13.37	12.96	13.21	13.180	16.72	16.87	16.81	16.800
(pH=9)	8.95	9.21	9.03	9.063	9.23	9.12	9.31	9.220
菠 菜 (pH=3)	2.84	2.77	2.64	2.750	2.98	3.02	3.14	3.047
(pH=5)	5.43	5.26	5.38	5.357	6.01	5.93	5.82	5.920
(pH=9)	3.72	3.55	3.49	3.587	4.12	4.25	4.29	4.220

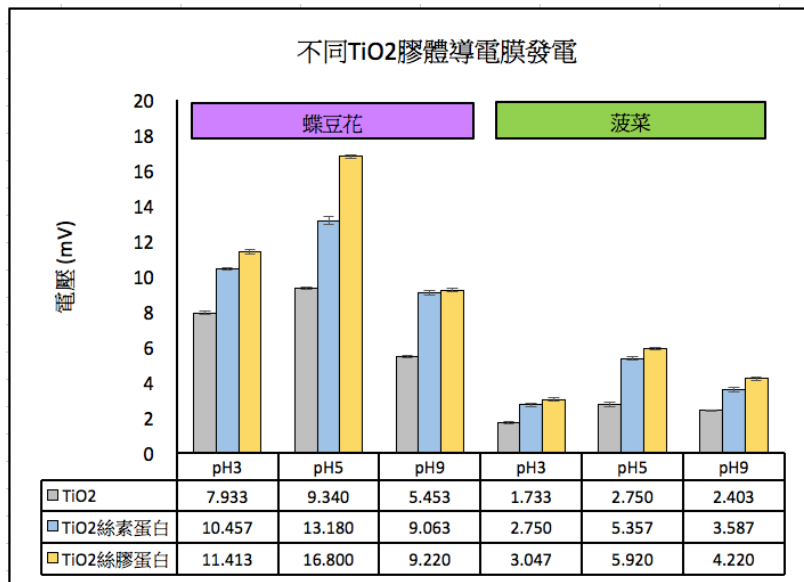


圖 25 不同 TiO₂ 膠體導電膜之綠電池照光後的電壓值比較

四、光源強度對於綠電池產生電能的情形

由以上實驗二和實驗三結果得知，植物色素溶液 pH5、絲膠蛋白 TiO₂ 膠體導電膜，能產生較高之電壓，因此以此當作建構綠電池條件，進行探究光源強度和電池數量對於產生電壓之情形(圖 26)。結果發現檯燈光源能增加電壓產生，電壓也會隨著電池數量較多而增加(表 3)。在檯燈光源照射下，綠電池使用蝶豆花染料相較於菠菜染料，隨電池數目增加，電壓上升幅度比較高(圖 27)。

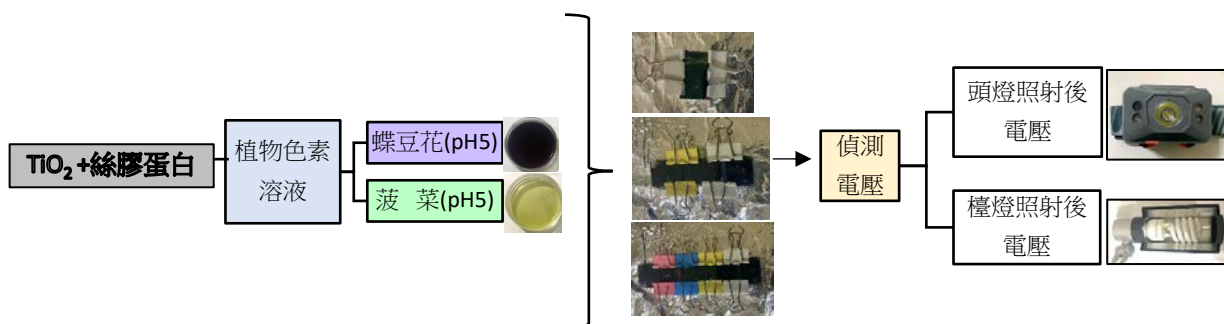


圖 26 測量不同光源和電池數量之綠電池發電情形的實驗流程圖

表 3 不同光源和電池數量之綠電照光後的電壓值

電池個數	蝶豆花				菠菜				蝶豆花				菠菜			
	頭燈光源 照光後 電壓(mV)			平均 (mV)	頭燈光源 照光後 電壓(mV)			平均 (mV)	檯燈光源 照光後 電壓(mV)			平均 (mV)	檯燈光源 照光後 電壓(mV)			平均 (mV)
1 個	16.72	16.87	16.81	16.800	6.01	5.93	5.82	5.920	47.18	50.72	48.28	48.727	16.45	15.93	15.18	15.853
2 個	28.09	29.34	30.21	29.213	7.13	8.07	7.64	7.613	108.51	110.66	112.04	110.403	29.16	28.74	27.34	28.413
3 個	37.74	36.13	35.92	36.597	12.26	11.47	11.13	11.620	188.72	202.88	193.12	194.907	51.46	50.96	49.57	50.663

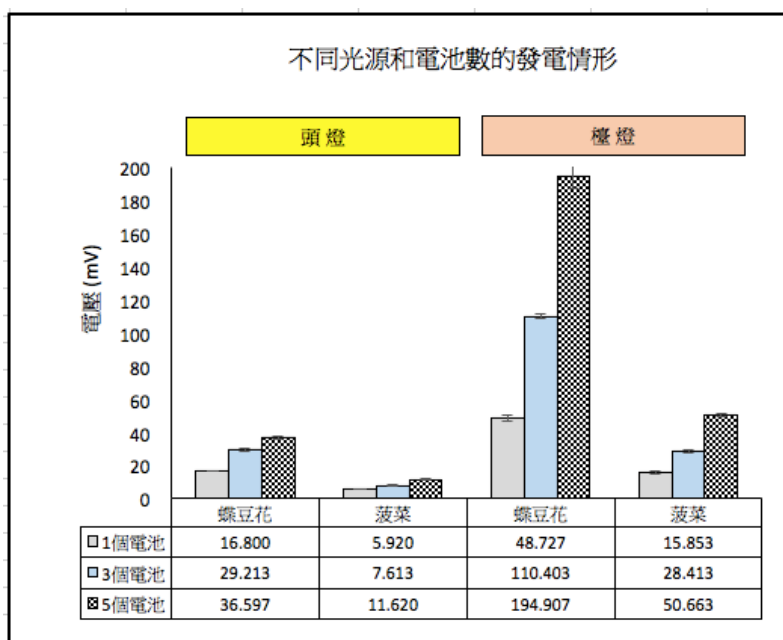


圖 27 不同光源和電池數綠電池照光後的電壓值比較

伍、討論

這次科展實驗仿照植物進行光合作用產生化學能的特性，運用光伏效應原理，成功製作出含有蠶絲蛋白 TiO₂ 膠體導電膜的綠電池，利用植物色素吸收光能，經化學反應轉變成電流來發電。藉由此次實驗得知花青素相較於葉綠素吸光能力較強，並且 pH 變化會影響植物色素傳遞電子效能。此外，蠶絲蛋白中的成分絲膠蛋白相較於絲素蛋白，具有更高吸收紫外線和促進二氧化鈦光觸媒導電的能力。因此，含有絲膠蛋白 TiO₂ 膠體導電膜的綠電池，結合花青素染料，能產生較佳的發電情形。

一、植物色素酸鹼度影響吸收光及電子傳遞能力

用分光光度儀偵測植物色素之吸光值，瞭解蝶豆花溶液和菠菜溶液能吸收到光的波長範圍。可見光是指眼睛可以看到的電磁波，波長介於 380-750 nm (圖 28)。植物色素溶液在不同酸鹼度下會呈現不同的顏色(圖 19)，所以相同的植物色素溶液在不同酸鹼度時，能吸收到最大吸收光的波長不一樣(圖 20)。在可見光範圍，蝶豆花溶液酸鹼度 pH3 和 pH9 分別在波長 525 nm 和 650 nm 有最高吸收波峰，pH5 在 650 nm 有最高吸收波峰。菠菜溶液酸鹼度 pH9 在 400-450 nm 和 pH5 在 670 nm 有最高吸收波峰。比對圖 29，顯示蝶豆花溶液中含有花青素 (anthocyanin)，菠菜溶液中含有葉綠素(chlorophyll)。

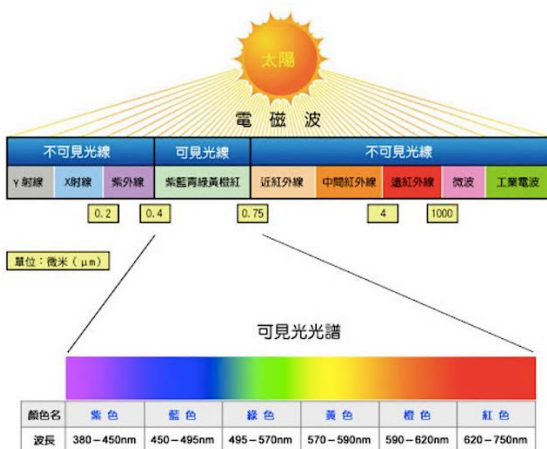


圖 28 電磁波光譜

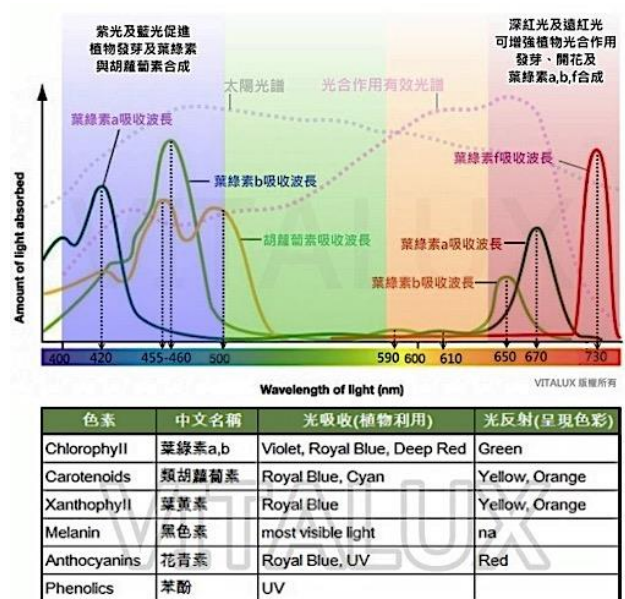


圖 29 植物色素吸收光譜

有研究指出花青素染料能有效吸附在導電材料 TiO₂ 材料上，呈現相較於只有 TiO₂ 時更好的吸收光能力(圖 30 左)。當花青素吸收光能將激發電子後，會釋出電子到 TiO₂，再傳送到電極，染料和電極跟電解質作用下，進行氧化還原，反覆進行循環能轉移電子給 TiO₂，產生電流和電壓(圖 30 右)。本次實驗結果發現蝶豆花溶液 pH3 在 525 nm 和 pH9 在 650 nm 有最高吸收值分別為 1.2 和 1.4，葉綠素溶液 pH9 在 400-450 nm 和 pH5 在 650 nm 之最高吸收值分別為 0.6 和 0.9 (圖 20)。除了酸鹼度變化會影響植物色素傳遞電子效能，推論蝶豆花溶液相較於菠菜溶液能吸收較多太陽光譜，所以本次實驗使用蝶豆花溶液當染料的綠電池相對於菠菜染料的綠電池，測量到較高之電壓(表 1，圖 23)。

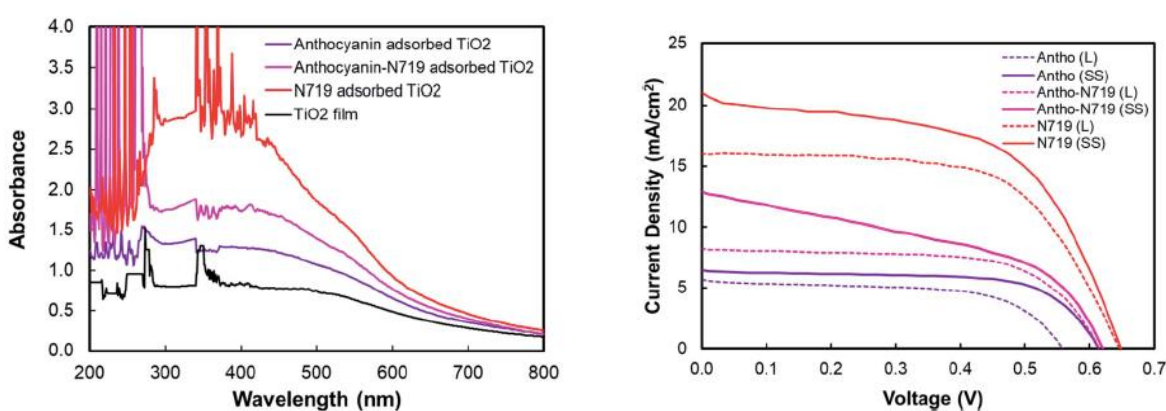


圖 30 花青素吸附 TiO₂ 之光譜和發電情形[Prima et al., 2020]

二、蠶絲蛋白結構有助於發電應用

上屆科展實驗由肉眼觀察到蠶絲蛋白 TiO₂ 膠體導電膜表面有較多孔洞(圖 31)，從量測電壓之實驗結果亦發現，含有蠶絲蛋白 TiO₂ 膠體導電膜的綠電池產生的電壓，高於只含有 TiO₂ 膠體導電膜的綠電池，推測蠶絲蛋白可使導電膜表面形成多孔性結構(圖 32)，讓 TiO₂ 膠體導電膜進行氧化還原反應的效率增加，所以能促進產生較高的電壓。有研究顯示封裝電池時，在頂部添加蠶絲膜保護層，可延長電池電壓的穩定性[Jia & Wang, 2017]。

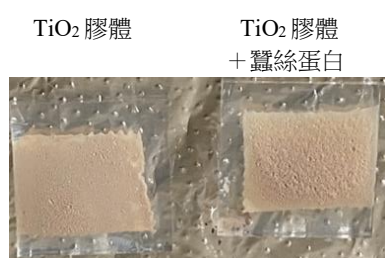


圖 31 導電膠體多孔性

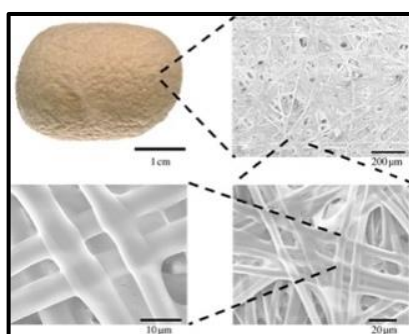


圖 32 蠶絲成形結構[Chen et al., 2012; Fan et al., 2021]

三、絲膠蛋白相對於絲素蛋白之發電能力較佳

本次實驗製作含有絲膠蛋白 TiO_2 膠體導電膜的綠電池，結合使用蝶豆花中含有的花青素染料，相較於菠菜中葉綠素染料，能產生較高之電壓。有研究指出絲膠蛋白吸收紫外線能力高於絲素蛋白(圖 32)，與光觸媒奈米材料作用後具有良好導電性[Su et al., 2019]。推論由於蠶絲成分中的絲膠蛋白相較於絲素蛋白，具有更高吸收紫外線和促進 TiO_2 膠體導電的能力，因此這次研究顯示綠電池使用花青素結合能提高吸收光的能力，絲膠蛋白亦能促進 TiO_2 膠體導電能力，進而增強電能產生。

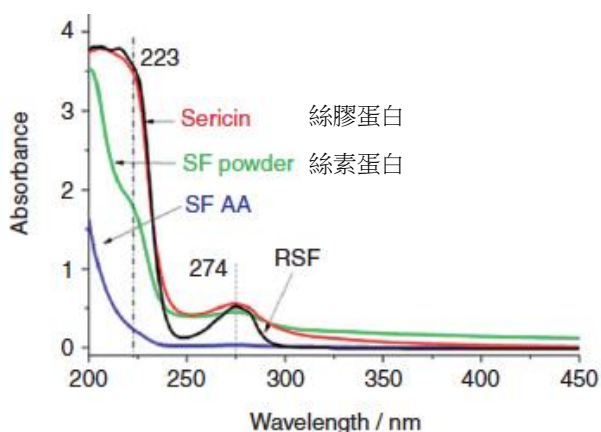


圖 32 蠶絲蛋白紫外線吸收值[Su et al., 2019]

四、光源強度和導電膠體面積影響發電情形

本次實驗製作的綠電池能依據接受到不同光源強度，隨著反應出電壓改變，檯燈光源(27W)產生的電壓高於頭燈光源(3W)。此外，電壓也會隨著電池數量增多有較大 TiO_2 膠體導電膜面積而上升(表 3)。在檯燈光源照射下，綠電池使用蝶豆花染料相較於菠菜染料，隨電池數目增加，電壓上升幅度比較高(圖 27)。因此，本次實驗設計下，3 個含絲膠蛋白 TiO_2 膠體導電膜之綠電池，使用 pH 為 5 的蝶豆花之花青素植物色素染料，在檯燈照射 10 秒能產生最高之電壓 195 mV。一般 LED 燈在 1.5 V 可以發亮，所以以本實驗最佳化綠電池則需串連約八個 TiO_2 膠體導電膜面積為 3 個含絲膠蛋白之綠電池。

五、染料敏化電池適用於室內型發電

本次製作的綠電池屬於染料敏化電池，與傳統太陽能電池不同處，在於傳統太陽能電池需在大太陽下照射，且需要大面積架設矽晶板，受限於使用空間和價格昂貴。染料敏化太陽能電池無法超越矽晶太陽能電池針對戶外太陽光能轉換電力之效率，而且戶外環境易導致染料敏化太陽能電池之使用壽命下降。室內條件對於不需要高照度太陽光的染料敏化電池而言，在室內光線下也能發電，而且有報導指出染敏電池的光電轉換效率高於矽晶太陽電池(圖 33)，因此染料敏化電池運用於室內型發電技術方面極具發展潛力。

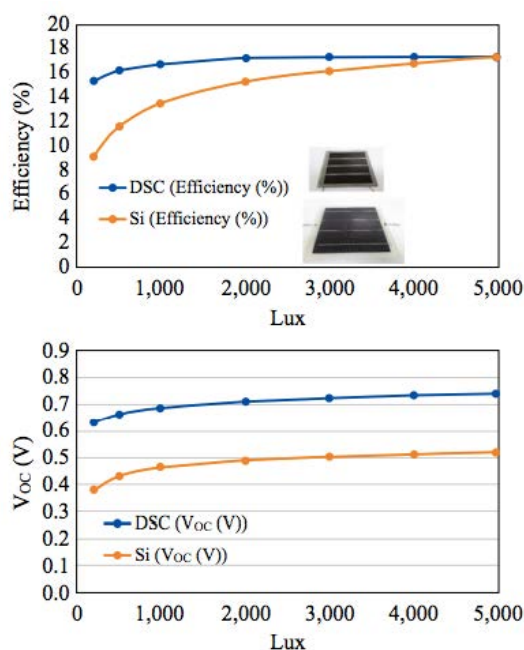


圖 33 染料敏化電池與矽晶太陽電池在室內光源(白光 LED)照射下之光電特性比較[簫等人，2019]

陸、結論

這次實驗成功製作出含有絲膠蛋白 TiO₂ 膠體導電膜的綠電池，結合花青素染料，能產生較佳的發電情形。藉由此次實驗得知花青素相較於葉綠素吸光能力較強，pH 變化會影響植物色素傳遞電子效能，蠶絲蛋白中的成分絲膠蛋白相較於絲素蛋白，具有更高吸收紫外線和促進二氧化鈦光觸媒導電的能力。因此，利用生活中的植物色素，有效經由光源照射後產生電能並可反覆使用，提供利用以仿生概念來製作出低污染材料電池的新契機。

柒、參考文獻資料

蕭博聰、盧明德、洪萬墩、黃亮焜、施順璋、陳浩維(民 108)。染料敏化電池自動化生產技術及室內發電應用。工業材料雜誌，393，154。

Chen, F., Porter D., Vollrath, F. (2012). Structure and physical properties of silkworm cocoons. *J R Soc Interface*, 9(74):2299-2308.

CK-12 Foundation. (2016, February 18). *Galvanic cells*. Retrieved from https://www.ck12.org/book/cbse_chemistry_book_class_xii/section/3.2/

Dunn, B., Kamath, H., & Tarascon J. M. (2011). Electrical energy storage for the grid: a battery of choices. *Science*, 334(6058):928-935.

Fan, S. N., Chen J., Gu, Z. H., Yao, X., & Zhang, Y. P. (2021). Design and fabrication of silk fibroin-based fibers and functional materials. *Acta Polymerica Sinica*, 52(1), 29-46.

Jia, X., Wang, C., Ranganathan, V., Napier, B., Yu, C., Chao, Y., Forsyth, M., Omenetto, F. G., MacFarlane, D. R., & Wallace, G. G. (2017). A biodegradable thin-film magnesium primary battery using silk fibroin-ionic liquid polymer electrolyte. *ACS Energy Letters*, 2(4), 831-836.

Katz, J. E. (2008). *Metal Oxide-Based Photoelectrochemical Cells for Solar Energy Conversion*. (Doctoral dissertation). California Institute of Technology, Pasadena, CA. Retrieved from https://www.ocf.berkeley.edu/~jordank/Jordan_Katz/Solar_Energy.html

- Mohammadi, A.B., Sadigh-Eteghad, S., Torbati, M., Fazljou, S.M.B., Vatandoust, S.M., Golzari, S.E.J., Farajdokht, F., & Mahmoudi, J. (2019). Identification and applications of neuroactive silk proteins: a narrative review. *J Appl Biomed*, 17, 147-156.
- Prima, E. C., Nugroho, H. S., Nugrahab, Refantero, G., Panatarani, C., & Yulianto, B. (2020). Performance of the dye-sensitized quasi-solid state solar cell with combined anthocyanin-ruthenium photosensitizer. *RSC Adv*, 10, 36873.
- Saha, J., Mondal, I.H., Sheikh, R.K., & Habib, A. (2019). Extraction, structural and functional properties of silk sericin biopolymer from bombyx mori silk cocoon waste. *J Textile Sci Eng*, 9, 1.
- Sinovoltaics Group. *Dye Sensitized Solar Cells*. Retrieved from <https://sinovoltaics.com/learning-center/solar-cells/dye-sensitized-solar-cells/>
- Su, D., Ding, S., Shi, W., Huang, X., & Jiang, L. (2019). Bombyx mori silk-based materials with implication in skin repair: Sericin versus regenerated silk fibroin. *J Biomater Appl*, 34(1), 36-46.
- The LibreTexts libraries. (2020, Augst 15). *Photosynthesis Summary*. Retrieved from [https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Introductory_and_General_Biology/Book%3A_Introductory_Biology_\(CK-12\)/02%3A_Cell_Biology/2.23%3A_Photosynthesis_Summary](https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Introductory_and_General_Biology/Book%3A_Introductory_Biology_(CK-12)/02%3A_Cell_Biology/2.23%3A_Photosynthesis_Summary)

【評語】 030307

本研究探討花青素、葉綠素經由 TiO_2 為膠體導電膜與絲素蛋白或絲膠蛋白間產生電力的差異，製作由花青素和蠶絲蛋白為基本材料之綠能電池，結果發現花青素和絲膠蛋白能提高吸收光的能力，增強電能產生。本研究是一個延伸性研究，題材具跨領域結合特性。

優點：

- (1) 利用植物的特性進行綠電池的研發、改良與測試，非常具有新穎性，且成果具應用價值，值得鼓勵！
- (2) 相較於上一次的成果，本次實驗在綠電池變因的控制上均有加強，例如採用固定光源及照射時間，及控制 pH 值變因等
- (3) 本實驗最佳化綠電池需串連約八個 TiO_2 膠體導電膜面積為 3 個含絲膠蛋白之綠電池，即能產生 1.5V 電池，實為卓越成就

建議：

- (1) 本研究的電池發電具有即時性和回復性，但是到底可以重複反應多久，以及持續照光後可測得的最大電壓/電流，應加以驗證。

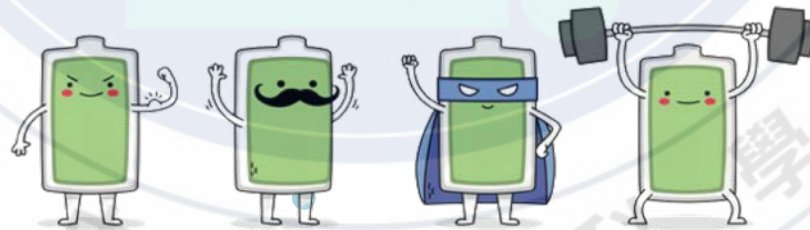
- (2) 建議針對綠電池測量發電能力時應同步紀錄電流(I)及電壓(V)，並依此可推算出該次發電的功率值 $P (P=I \times V)$ 。
- (3) 在報告中所呈現的數據是否具有重複性應加以說明，本研究中亦缺乏利用統計來評斷其差異性是否具有顯著意義。
- (4) 絲膠蛋白與絲素蛋白的分子量不同，同樣取 1 克製成光觸媒膠體溶液的分子數一樣嗎？文中推論蠶絲蛋白能造成導電膜表面形成多孔結構而促進導電，因此，若二者蛋白的數量不同而造成的導電效果不同，無法進行正確的比較分析。花青素與葉綠素的定量亦應提供如何估算的資訊。
- (5) 本研究如何強化綠能電池的發電效益應在未來展望中陳述。

作品簡報

花青素來電「蠶」是神奇

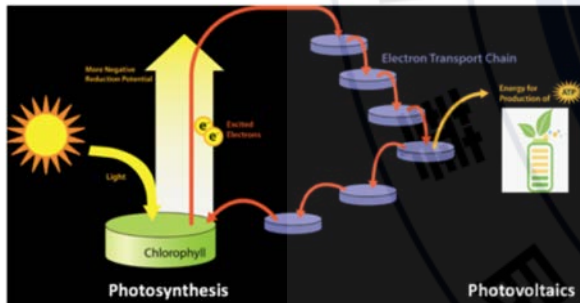


國中組 生物科



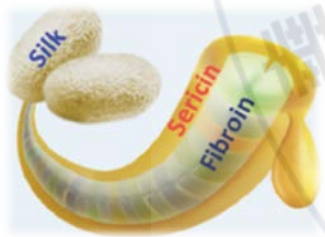
研究動機

- ☞ 日常生活常會使用到乾電池(如碳鋅拋棄式電池、鋰離子充電電池)，當乾電池沒電時，廢棄的電池材料垃圾，可能會汙染環境。
- ☞ 我一直對於植物進行光合作用，將光能經電子傳遞鏈轉換成能量，感到好奇，也許這些能量可以用來發電。
- ☞ 蠶絲纖維有導電性，具精密多級立體結構，嘗試用來延長發電壽命。
- ☞ 因此仿照植物產生能量的方式，利用對環境友善的材料，例如**植物色素**和**蠶絲蛋白**，製作出環境友善的綠能電池。
- ☞ 上一屆縣賽科展，成功製作出綠電池，當光源照射時間增長、光源距離較近，產生電壓較高。當光源關掉時，電壓下降，當光源打開時，隨即電壓又會上升，表示綠電池發電具有**即時性**和**回復性**。



研究目的

以植物色素製作綠能電池，探究酸鹼度電子傳遞、蠶絲蛋白導電性、光源強度，促進發電的效果。



目的1

探究植物色素和蠶絲蛋白之吸收光能的能力

目的2

探究植物色素酸鹼變化對於綠電池產生電能的影響

目的3

探討不同蠶絲蛋白促進發電的效果

目的4

探究光源強度對於綠電池產生電能的情形

實驗1

偵測植物色素和蠶絲蛋白之吸收光能的情形

方法 Method (1)

說明：瞭解植物色素和蠶絲蛋白(絲膠蛋白和絲素蛋白)吸收光能的情形

步驟：

- (1)植物色素萃取液：將乾燥蝶豆花和新鮮菠菜，以去離子水煮沸5分鐘後，以濾紙過濾。(圖1)
- (2)製備蠶絲蛋白溶液：將絲膠蛋白和絲素蛋白，溶於稀醋酸溶液中，室溫下攪拌均勻。(圖2)
- (3)偵測吸光能力(圖3)

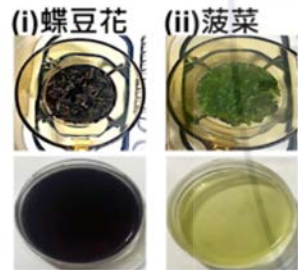


圖1 植物色素萃取液



圖2 蠶絲蛋白溶液



圖3 分光光度儀偵測吸光值

結果 Result (1)

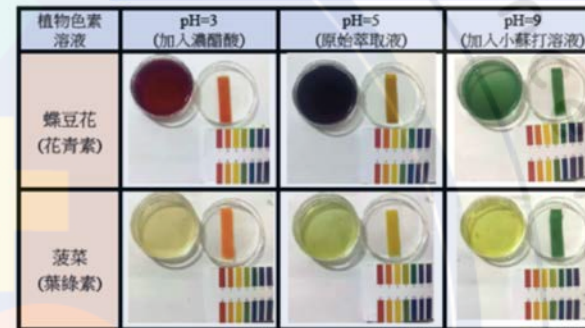


圖4 植物色素在不同pH值下呈現的顏色

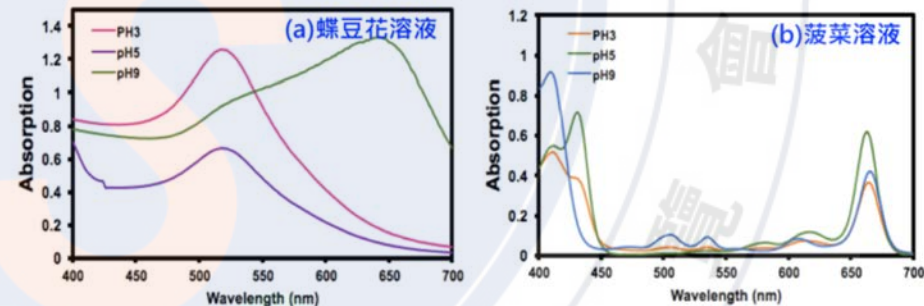


圖5 植物色素溶液在不同pH值下的吸光情形

- 蝶豆花溶液pH值為6~7：加入濃醋酸溶液，由紫色變為紫紅 (pH 2~3)。
加入小蘇打溶液，由紫色變為綠色 (pH約8)。
- 菠菜溶液pH值為5~6：加入濃醋酸溶液，由淡綠色變為黃色 (pH 3~4)。
加入小蘇打溶液，由淡綠色變為黃綠色 (pH 8~9)。
- 蝶豆花溶液：pH 3在波長525 nm最大吸收值1.2，pH 9在650 nm最大吸收值1.4。
- 菠菜溶液：pH 9在波長400-450 nm最大吸收值0.9，pH 5在670 nm最大吸收值0.7。

實驗2

探究植物色素酸鹼變化對於綠電池產生電能的影響

方法 Method (2)

說明：製作花青素或葉綠素之綠能電池，在不同酸鹼度下發電的情形。

步驟：

(1) 製備TiO₂光觸媒膠體(圖6)

(i) 配製稀醋酸溶液

1滴乙酸溶於100 mL去離子水

(ii) 配製TiO₂光觸媒膠體

秤重TiO₂粉末(2 g)

→加入稀醋酸溶液(2.5 mL)

→研磨混合→Tri-X100 (1.5 mL)

→攪拌形成TiO₂膠體

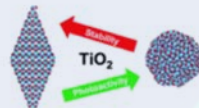


圖6 TiO₂光觸媒膠體

(2) 製備碘化鉀(KI₃)電解質溶液(圖7)

(i) 配製0.5 M碘化鉀(KI)溶液

8.3 g碘化鉀(KI)→加入乙二醇

→定量至100 mL

(ii) 配製碘化鉀(KI₃)電解質溶液

1.27 g碘粒(I₂)

→加0.5 M碘化鉀(KI)溶液(10 mL)

→混合溶解



圖7 碘化鉀(KI₃)
電解質溶液

(3) 測量FTO玻璃表面的導電度(圖8)



圖8 FTO玻璃表面
導電度

(4) 製作綠能電池(圖9)

(a) 確定FTO導電膜面



(b) 貼口形膠帶



(c) 製作TiO₂光觸媒膠體 導電膜



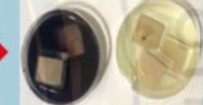
(d) 撕掉隱形膠帶



(e) 烘乾TiO₂膠體



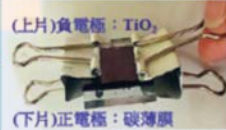
(f) 加入植物色素染料



(g) 製作碳薄膜對應電極



(g) 組裝綠能電池



(h) 注入電解液



圖9 製作綠能電池

(5) 測量綠能電池的電能(圖10)

以三用電錶測量發電效果，負電極接在TiO₂膠體膜那面，正電極接在碳薄膜那面，測量綠能電池的電壓和電流。



圖10 測量綠能電池的電能

實驗2

探究植物色素酸鹼變化對於綠電池產生電能的影響

結果 Result (2)

(i) FTO玻璃表面的導電度

FTO玻璃為一面表面鍍有摻雜氟(fluorine)的氧化錫(tin oxide)導電膜，稱為fluorine-doped tin oxide (FTO)。FTO玻璃表面的電阻值20.20~23.77 Ω。電阻值越低，表示FTO玻璃導電性越高。

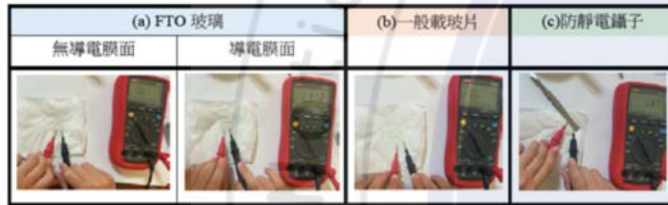


圖11 FTO玻璃表面的導電度

(ii) 綠電池結合不同酸鹼度植物色素溶液的發電情形

► 縣賽科展發現，綠電池發電具**即時性**和**回復性**：

- * 頭燈光源隨照射時間增長、靠近電池距離較近時，能產生較高的電壓。
- * 頭燈照光5秒產生約7.3 mV電壓，近距離照光30秒時，能產生約60 mV電壓。
- * 關掉光源電壓下降，打開光源隨即電壓又上升，表示綠電池發電具即時性和回復性。
- * 考量照光時間和產生電壓穩定性，這次實驗固定光源距離20公分，照光10秒鐘後測量電壓。

測量不同酸鹼度植物色素溶液之綠電池發電情形的實驗流程

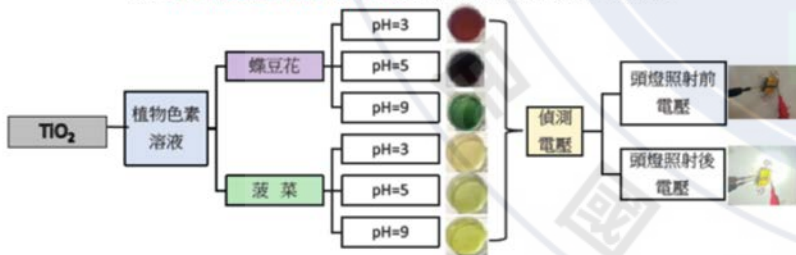


表1 不同酸鹼度植物色素之綠電池照光前後的電壓值

	照光前			照光 10 分鐘後				
	電壓(mV)	平均(mV)		電壓(mV)	平均(mV)			
蝶豆花 (pH=3)	1.68	1.76	1.81	1.750	7.85	7.93	8.02	7.933
(pH=5)	1.82	1.78	1.69	1.763	9.35	9.26	9.41	9.340
(pH=9)	1.74	1.62	1.73	1.697	5.45	5.53	5.38	5.453
菠菜 (pH=3)	1.23	1.26	1.24	1.243	1.79	1.67	1.74	1.733
(pH=5)	1.37	1.32	1.35	1.347	2.85	2.62	2.78	2.750
(pH=9)	1.32	1.25	1.29	1.287	2.37	2.45	2.39	2.403

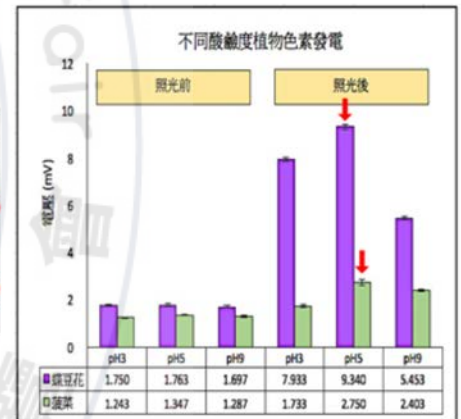


圖12 不同酸鹼度植物色素之綠能電池照光前後的電壓值比較

- 蝶豆花綠電池：照光後電壓產生大小依序為pH5 > pH3 > pH9，較高電壓為pH=5時，平均為9.340 mV。
- 菠菜綠電池：照光後電壓產生大小依序為pH5 > pH9 > pH3，較高電壓為pH=5時，平均為2.750 mV。
- 蝶豆花綠電池產生的電壓，高於菠菜綠電池 [表1，圖12]。



實驗3

探究蠶絲蛋白促進發電的效果

方法 Method (3)

說明：研究蠶絲蛋白對於綠能電池的發電效果
步驟：

(1) 製備含蠶絲蛋白之TiO₂光觸媒膠體(圖13)
絲膠蛋白溶於稀醋酸→1:1比例與TiO₂膠體混合
絲素蛋白溶於稀醋酸→1:1比例與TiO₂膠體混合



圖13 製備含蠶絲蛋白之TiO₂膠體

(2) 製作含蠶絲蛋白之綠能電池(參考圖9)

- 確定FTO導電膜面 → FTO玻璃貼膠帶
- 製作蠶絲蛋白TiO₂膠體導電膜
- 撕掉隱形膠帶 → 烘乾蠶絲蛋白TiO₂膠體
- 加入植物色素染料 → 製作對應電極
- 組裝綠能電池 → 注入電解液

(3) 測量含蠶絲蛋白之綠能電池的電能(參考圖10)

- 以三用電錶測量發電效果
- 負電極接在蠶絲蛋白TiO₂膠體膜那面
- 正電極接在碳薄膜那面
- 測量綠能電池的電壓和電流

結果 Result (3)

測量不同TiO₂膠體導電膜之綠電池發電情形的實驗流程



表2 不同TiO₂膠體導電膜和酸鹼度植物色素之綠電池照光後的電壓值

	TiO ₂ +絲素蛋白				TiO ₂ +絲膠蛋白			
	照光後電壓(mV)			平均(mV)	照光後電壓(mV)			平均(mV)
蝶豆花 (pH=3)	10.52	10.39	10.46	10.457	11.55	11.32	11.37	11.413
(pH=5)	13.37	12.96	13.21	13.180	16.72	16.87	16.81	16.800
(pH=9)	8.95	9.21	9.03	9.063	9.23	9.12	9.31	9.220
菠菜 (pH=3)	2.84	2.77	2.64	2.750	2.98	3.02	3.14	3.047
(pH=5)	5.43	5.26	5.38	5.357	6.01	5.93	5.82	5.920
(pH=9)	3.72	3.55	3.49	3.587	4.12	4.25	4.29	4.220

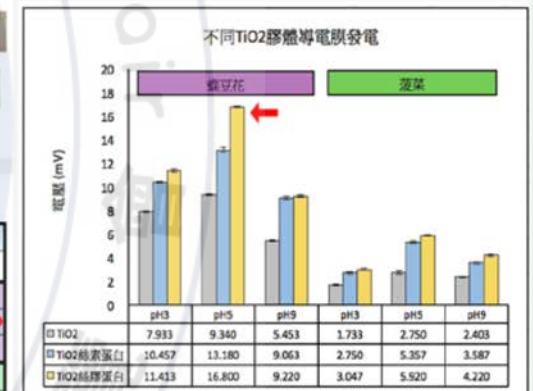


圖14 不同TiO₂膠體導電膜之綠電池照光後電壓比較

- 蠶絲蛋白TiO₂膠體導電膜的綠電池產生的電壓(表2)，高於只含TiO₂膠體導電膜的綠電池(表1)
- 絲膠蛋白TiO₂膠體導電膜的綠電池產生的電壓，高於絲素蛋白TiO₂膠體導電膜的綠電池
- 絲素蛋白的綠電池，蝶豆花和菠菜在pH=5時，能產生較高電壓為13.180 mV 和 5.357 mV。
- 絲膠蛋白的綠電池，蝶豆花和菠菜在pH=5時，能產生較高電壓為16.800 mV 和 5.920 mV。
- 以上結果得知，植物色素溶液pH5時，絲膠蛋白相較於絲素蛋白導電膜有較佳促進發電能力。

實驗4

探究光源強度對於綠電池產生電能的情形

方法 Method (4)

說明：研究光源強度對於綠能電池的發電效果
步驟：

(1)光源照射(圖15)

(i)頭燈光源

綠能電池置於桌面，正上方20公分處，以頭燈光源照射1、3、5分鐘。

(ii)檯燈光源

綠能電池置於桌面，正上方20公分處，以檯燈光源照射1、3、5分鐘。

(2)測量含蠶絲蛋白之綠能電池的電能(參考圖10)

以三用電錶測量發電效果

→負電極接在蠶絲蛋白TiO₂膠體膜那面

→正電極接在碳薄膜那面

→測量綠能電池的電壓和電流

(a)頭燈光源 (b)檯燈光源



圖15 照射綠能電池之光源

結果 Result (4)

測量不同光源和電池數量之綠電池發電情形的實驗流程

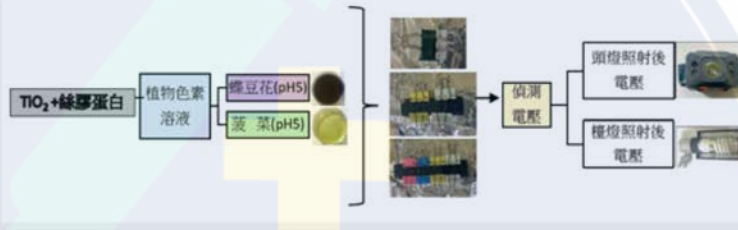


表3 不同光源和電池數量之綠電池照光後的電壓值

電池個數	蝶豆花		菠菜		蝶豆花		菠菜	
	頭燈光源 照光後電壓(mV)	平均 (mV)	頭燈光源 照光後電壓(mV)	平均 (mV)	檯燈光源 照光後電壓(mV)	平均 (mV)	檯燈光源 照光後電壓(mV)	平均 (mV)
1個	16.72	16.81	6.01	5.82	48.28	48.727	15.18	15.853
2個	28.09	30.21	7.13	7.64	112.04	110.403	27.34	28.413
3個	37.74	36.597	12.26	11.13	193.12	194.907	49.57	50.663

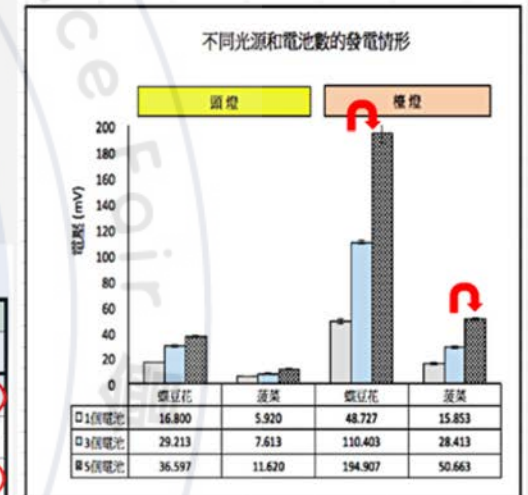


圖16 不同光源和電池數之綠電池照光後電壓比較

➢以植物色素溶液pH5、絲膠蛋白TiO₂膠體導電膜，能產生較高電壓之條件，進行以下實驗。

➢頭燈照射後，1個和3個蝶豆花絲膠蛋白TiO₂綠電池，產生電壓分別為16.800 mV 和 36.597 mV。

➢頭燈照射後，1個和3個菠菜絲膠蛋白TiO₂綠電池，產生電壓分別為 5.920 mV 和 11.620 mV。

➢檯燈照射後，1個和3個蝶豆花絲膠蛋白TiO₂綠電池，產生電壓分別為48.727 mV 和194.907 mV。

➢檯燈照射後，1個和3個菠菜絲膠蛋白TiO₂綠電池，產生電壓分別為15.853 mV 和 50.663 mV。

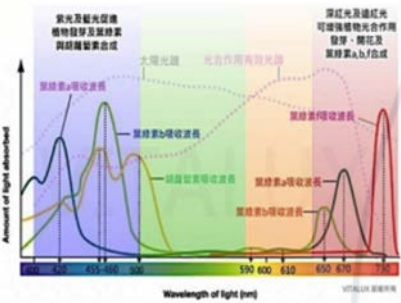
➢檯燈照射後，電壓明顯高於頭燈照射，表示光源越強，綠電池產生電壓越高。電池數越多，產生電壓也越高

➢在檯燈光源照射下，綠電池使用蝶豆花染料相較於菠菜染料，隨電池數目增加，電壓上升幅度比較高。

討論

一、植物色素酸鹼度影響吸收光及傳遞電子能力

- 植物色素在不同酸鹼度下呈現不同顏色，能吸收到最大吸收光的波長會不一樣。
- 蝶豆花溶液pH3和pH9時在波長525 nm有最大吸收值，pH5時在650 nm有最大吸收值。
- 菠菜溶液在400-450 nm和670 nm波長有最大吸收值。
- 顯示蝶豆花溶液中含有花青素(anthocyanin)，菠菜溶液中含有葉綠素(chlorophyll)[圖17]
- 蝶豆花溶液pH5時在525 nm有最高吸收值，相較於菠菜溶液能吸收較多太陽光譜。



色素	中文名稱	光吸收(綠植物用)	光反射(非綠色)
Chlorophyll	葉綠素a,b	Violet, Royal Blue, Deep Red	Green
Carotenoids	類胡蘿蔔素	Royal Blue, Cyan	Yellow, Orange
Xanthophyll	葉黃素	Royal Blue	Yellow, Orange
Melanin	黑色素	most visible light	na
Anthocyanins	花青素	Royal Blue, UV	Red
Phenolics	多酚	UV	

圖17 植物色素吸收光譜

- 有研究指出花青素染料能有效吸附在導電材料TiO₂材料上(相較於只有TiO₂時更好的吸收光能力，圖18)。
- 花青素吸收光能激發電子後，會釋出電子到TiO₂，再傳送到電極，染料和電極跟電解質作用，進行氧化還原，反覆進行循環能轉移電子給TiO₂，產生電流和電壓。

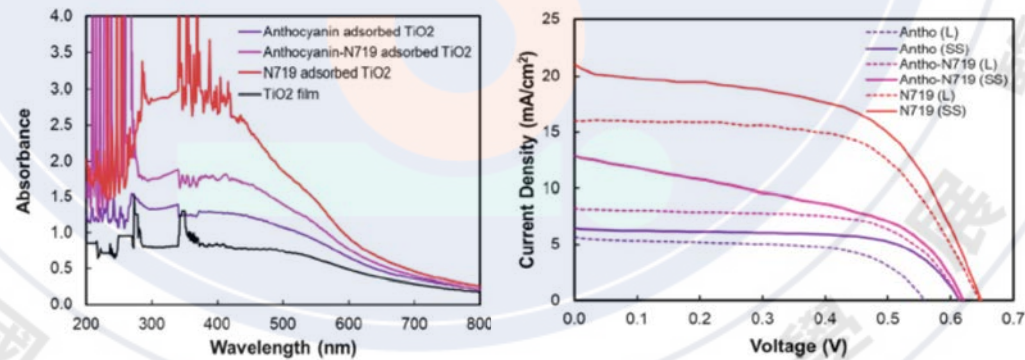


圖18 花青素吸附TiO₂光譜和發電[Ref. 1]

討論

二、蠶絲蛋白結構有助於發電應用

- ❑ 含有蠶絲蛋白TiO₂膠體導電膜的綠電池產生的電壓，高於只含有TiO₂膠體導電膜的綠電池，
- ❑ 推測蠶絲蛋白膠體導電膜具**多孔性**(圖19)，促進電子傳遞，讓TiO₂膠體導電膜進行氧化還原反應的效率增加，所以能促進產生較高的電壓。
- ❑ 有研究顯示封裝電池時，在頂部添加蠶絲膜保護層，可延長電池電壓的穩定性 [Jia & Wang, 2017]。

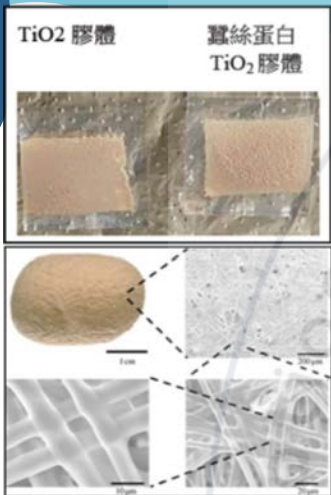


圖19 蠶絲成形結構和膠體多孔性 [Ref. 2, 3]

三、絲膠蛋白相對於絲素蛋白之發電能力較佳

- ❑ 絲膠蛋白TiO₂膠體導電膜的綠能電池產生電壓，高於**只含有TiO₂膠體或絲素蛋白TiO₂膠體導電膜的綠能電池**。
- ❑ 絲膠蛋白TiO₂膠體導電膜綠電池，結合**蝶豆花中花青素染料**，相較菠菜染料產生較高電壓。
- ❑ 有研究指出絲膠蛋白吸收**紫外線**能力高於絲素蛋白 [圖20]。

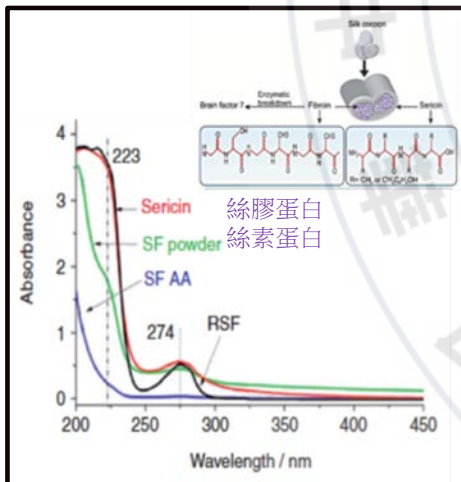
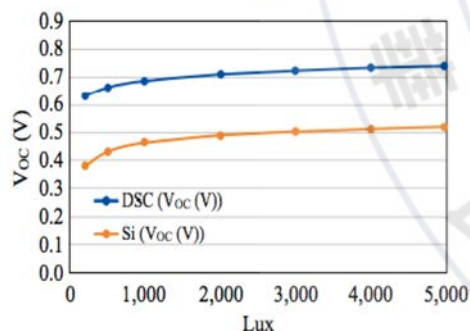
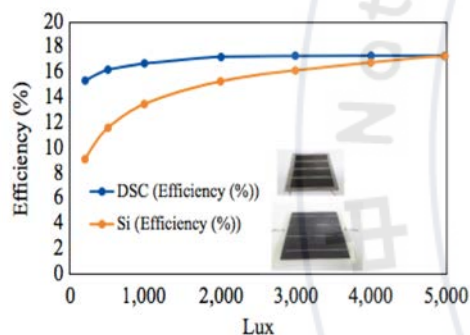


圖20 蠶絲蛋白組成成分及紫外線吸收值 [Ref. 4, 5]

討論

四、光源強度和導電膠體面積影響發電情形

- ❑ 光源強度：檯燈光源(27W)產生的電壓高於頭燈光源(3W)
- ❑ 膠體導電膜面積：電池數量多，有較大TiO₂膠體導電膜面積，電壓較高。
- ❑ 實用性推估：pH5、蝶豆花染料、檯燈照射10秒，產生最高電壓195 mV。一般LED燈在1.5 V可以發亮，以本實驗最佳化綠電池則需串連約8個TiO₂膠體導電膜面積為3個含絲膠蛋白之綠電池。



五、染料敏化電池適用於室內型發電

- ❑ 本實驗製作的綠電池屬於染料敏化電池，與傳統太陽能電池不同。傳統太陽能電池需在大太陽下照射，架設大面積矽晶板，價格昂貴。
- ❑ 染料敏化太陽能電池無法超越矽晶太陽能電池，對於戶外太陽光轉換電力之效率，而且戶外環境易導致染料敏化太陽能電池之使用壽命下降。
- ❑ 染料敏化電池在室內光線下也能發電，有報導指出染敏電池的光電轉換效率高於矽晶太陽電池(圖21)，具運用於室內型發電之潛力。

圖21 染料敏化電池與矽晶太陽電池在室內光源(白光LED)照射下之光電特性比較 [ref. 6]

結 論

- 這次實驗成功製作出含有絲膠蛋白TiO₂膠體導電膜的綠電池，結合花青素染料，能產生較佳的發電情形。
- 藉由此次實驗得知花青素相較於葉綠素吸光能力較強，pH變化會影響植物色素傳遞電子效能，蠶絲蛋白中的成分絲膠蛋白相較於絲素蛋白，具有更高吸收紫外線和促進二氧化鈦光觸媒導電的能力。
- 利用生活中的植物色素，有效經由光源照射後產生電能並可反覆使用，提供以仿生概念製作出低污染材料電池的新契機。

參考資料 References

1. Prima et al. (2020). *RSC Adv*, 10, 36873.
2. Chen et al. (2012). *J R Soc Interface*, 9(74):2299-2308.
3. Fan et al. (2021). *Acta Polymerica Sinica*, 52(1), 29-46.
4. Jia et al. (2017). *ACS Energy Letters*, 2(4), 831-836.
5. Su et al. (2019). *J Biomater Appl*, 34(1), 36-46.
6. 蕭博聰等人(民108)。工業材料雜誌，393，154。

