中華民國第55屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組　化學科

第二名

080214

葉電「欖仁」包-「桃色」也來電

學校名稱：臺北市私立復興實驗高級中學(附設國小)

作者：	指導老師：
小六 陳星融	盧世晟
小六 洪瑋辰	王俊貴
小五 朱紹綸	
小五 林心盈	
小六 甘采蓁	
小六 任恒佑	

關鍵詞：葉綠素、電池、色光

摘　　要

本實驗所參考的自然課程為三年級的「溶解」、四年級的「燈泡亮了」及五年級的「生活中的酸鹼」、「植物世界」，我們運用生活中唾手可得的材料，例如：銅片和鋅片，分別當做電池的正、負極，以檸檬汁、海鹽(電解液)和果凍粉(吸附物)混合，吸附以 58%酒精萃取的小葉欖仁汁液，並配合葉綠素光照實驗，在實驗前用簡單的儀器對光源與色光進行分析。發現不同的光源與色光照射下，葉綠素電池產生電能的效果也會有差別，且符合葉綠素對紅、藍光吸收較強的特性，若是吸收紅、藍色光混合成的桃紅光照射，則會有更高的電功率產生，串聯三個我們製作的葉綠素電池，也能夠使小顆 LED 發光、液晶零件發光等。

壹、研究動機

我們從新聞報導中，了解世界各地都存在有能源危機，並且燃燒石化原料會製造二氧化碳進而產生過度的溫室效應。而在民國103年11月份的捷運報，也報導了香蕉汁液成功發電點燈，提供穩定電源。另外在校園中，我們看見工友叔叔修剪了許多樹葉丟棄。因此，我們試著運用這些生活中隨手可得的樹葉，利用葉綠體行光合作用，把光的能量轉換成激發電子的能量。我們想研究葉綠素電池應該如何組成？葉綠素是光合作用的主角，如果使用不同色光照射葉綠素電池，是否會影響產生電能的效果？

貳、研究目的

一、探討不同葉菜、樹葉的葉綠素電池，其電壓、電流及發電功率的高低。

二、探討不同萃取液、電解液的葉綠素電池，其電壓、電流及發電功率的高低。

三、探討使用不同活性金屬正、負電極組合的葉綠素電池，其電壓、電流及發電功率的高低。

四、探討使用不同吸附物的葉綠素電池，其電壓、電流及發電功率的高低。

五、探討使用不同光源與色光照射的葉綠素電池，其電壓、電流及發電功率的高低。

六、探討使用不同容器所製作的最佳電池組合。

參、研究設備及器材

一、研究設備

烤箱、電子秤、研缽、燒杯、量筒、漏斗、滴管、玻璃棒、超音波震盪器、三用電表、湯匙、鑷子、電線、膠帶、鱷魚夾、電晶爐、鍋子、滴眼瓶、軟木塞玻璃瓶、有蓋塑膠瓶、刀子、剪刀、自製暗箱(含日光燈管、LED 白光燈、白熾燈)、自製簡易光譜分析儀。LED 與液晶電子零件。

二、材料及藥品

植物葉片季節菜葉(地瓜葉、小芥菜、青江菜、小白菜)及校園、公園常見植物葉片(樟樹、桑葉、榕樹、桂花、小葉欖仁、雲南黃馨)、丙酮、高粱酒、米酒、95%酒精、75%酒精、58%酒精、水、蘇打水、海洋離子水、運動飲料、柳橙汁、檸檬汁、小蘇打粉、鹽、黑糖、酵素、鋁罐環、鋁片、鋅片、鎳片、鐵片、尿布填充物、衛生棉填充物、果凍粉、洋菜粉。

用途如圖所示。

肆、研究過程或方法

一、實驗流程圖

二、各研究實驗步驟

研究一、預備實驗：植物樣本決定

實驗 1-1：比較不同的植物葉子的葉綠素電池的電壓、電流及發電功率

1.操縱變因：不同植物葉子(蔬菜類、樹葉類)

2.控制變因：萃取液(丙酮)、電解液(水)、正負極(銅、鋅片)

3.步驟：先將葉片樣本置入烤箱中(110℃)，烘烤至易碎狀再置入研缽中磨碎。秤磨碎的葉片 5g ，置於燒杯並加入 50ml 90%的丙酮。置入超音波池震盪 20 分鐘至溶液呈深綠色。以漏斗過濾，再揮發丙酮加 20ml 水所得的溶液即為實驗所需的電解液，電極選用鋅片和銅片，再以三用電表測其電壓及電流，並計算電功率。

實驗 1-2：比較不同萃取液的葉綠素電池的電壓、電流及發電功率

1.操縱變後因：不同萃取液(丙酮、高粱酒、米酒、95%酒精、75%酒精、58%酒精)

2.控制變因：植物葉片(小芥菜、小葉欖仁)、電解液(水)、正負極(銅、鋅片)

3.步驟：以預備實驗一為基礎，不同萃取液取代丙酮，並測量電壓、電流，計算電功率。

研究二、葉電「欖仁」包電池組件研究：

實驗 2-1：比較不同電解液的葉綠素電池的電壓、電流及發電功率

1.操縱變因：不同電解液及添加物

2.控制變因：萃取液(丙酮)、植物葉片(小葉欖仁)、正負極(銅、鋅片)

3.步驟：萃取，以不同水溶液取代水,並同時測試 95ml 水溶液加入 5g 添加物的電功率，接著以檸檬汁、飽和小蘇打水溶液調整萃取液的酸鹼值，觀察酸鹼值對電功率的影響。

實驗 2-2: 比較使用不同活性金屬電極的葉綠素電池的電壓、電流及發電功率

1.操縱變因：正負極(鋁罐環、鋁片 、鋅片 、鎳片 、鐵片)

2.控制變因：萃取液(丙酮)、植物葉片(小葉欖仁)、電解液(水)

3.步驟：以預備實驗一為基礎，以不同活性的金屬片組合當電極。

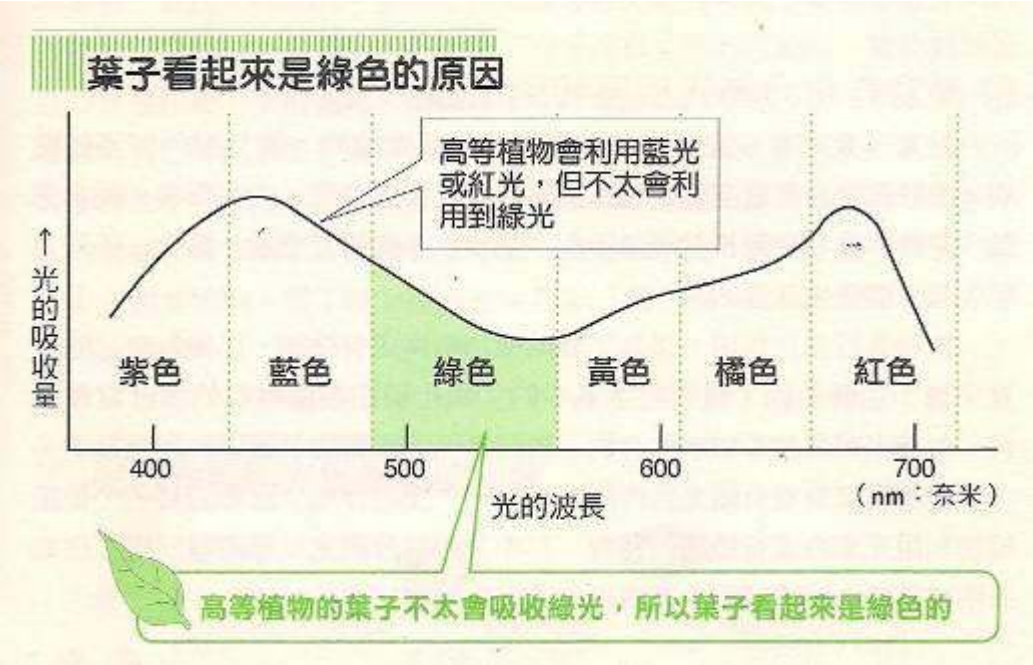
實驗 2-3: 比較使用不同吸附物的葉綠素電池的電壓、電流及發電功率

1.操縱變因：葉綠素吸附物 (尿布填充物、衛生棉填充物、果凍粉)

2.控制變因：萃取液(丙酮)、植物葉片(小葉欖仁)、電解液(水)、正負極(銅、鋅片)

3.步驟：以預備實驗一為基礎，在電解液裡混合吸附物，並測量電壓、電流，計算電功率。

研究三：葉綠素電池的色光實驗



葉綠素電池乃利用葉綠素受光轉為電能的原理發電。欲製作這類電池，可從一般植物萃取葉綠素，組合成電池，就可在太陽光照下釋放電能。左圖為葉綠體對光的吸收程度(取自圖解生物學，P83)，我們知道植物行光合作用的主體是葉綠體，同時也在書中閱讀到葉綠素對不同色光的吸收是有差別的，而且對色光的吸收偏向於紅光或藍光，對綠光的吸收偏低。因此我們就想實驗看看，不同色光對於葉綠素電池是否會造成不同的供電效果？

從上圖分析，葉綠素對色光的吸收在藍色、紫色、紅色光偏高，在黃色、綠色方面則是偏低，供電效果也會這樣嗎？

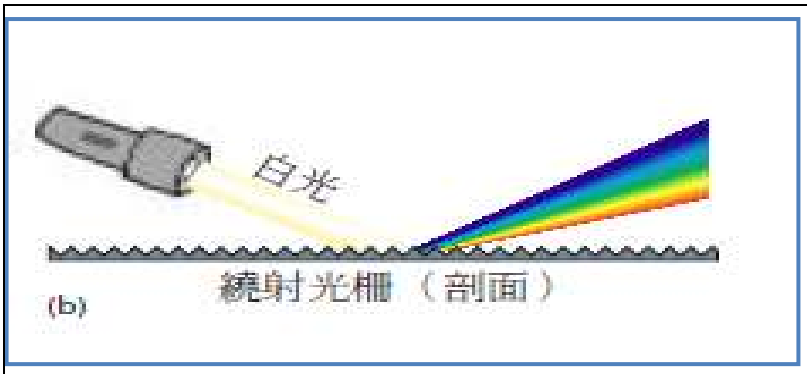
從四年級的光學實驗，我們發現平常所見的太陽光、或是其他不同的光源乍看之下好像是黃色或白色的光，但其實它們都是由不同的色光組成，我們還在資料中讀到「光的三原色」相關的資料，紅光、綠光、藍光會組成白色的光，因此，我們就想用最簡單的分析方法，找出不同光源，色光組合會有什麼不同？

我們人類眼睛的視覺可以區分的各種顏色，都可以由這三種色光依不同的亮度混合而成。而當同樣強度的紅光、藍光、綠光混合在一起射入我們的眼睛中時，就被「看」成了「白色」。資料來源：http://www.bud.org.tw/answer/0104/010429.htm

從以上的色環圖，我們列出個表格整理色光混色的概況：

混色情形	結果
紅光+藍光	桃紅色光(Magenta)
藍光+綠光	青光(Cyan)
紅光+綠光	黃光(Yellow)
紅光+藍光+綠光	白光

實驗 3-1、光碟預備實驗



光碟彩光原理(摘自

http://www.bookzone.com.tw/pdf/ws086.pdf)

光碟出現彩光

我們從自然課本讀到，光碟片背面在某種角度會發出彩光。因為光碟片內部有許多等距、平行的鋸齒狀凹槽，這些凹槽的功能與反射光柵的狹縫相同，能形成光譜。將光碟片對準光源照射，並觀察色彩的變化，可以發現什麼？

因此我們用光碟製作簡單的光譜分析儀，來分析出不同的光源是由哪些色光組成，並且實驗找出哪些色光，對葉綠素電池電力的影響最大？變成電池後，是否會保持葉綠色的特性？

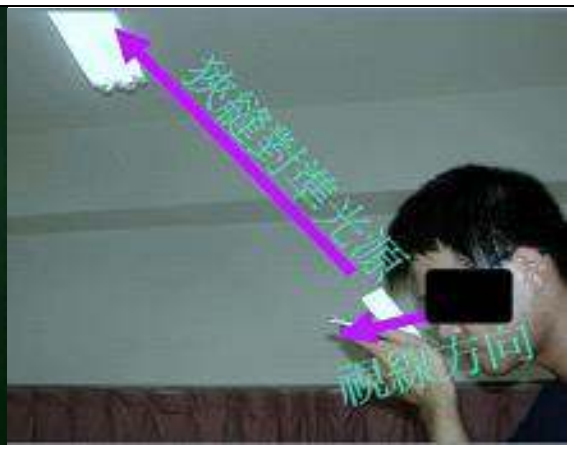
實驗 3-2、製作簡易摺紙光譜儀進行光源分析

(一)製作方法

1. 準備好所有的工具(A3 (或者 8 開) 規格的厚紙板、剪刀、美工刀、直尺、紅色原子筆與藍色原子筆、廢棄的 CD 或 DVD)。
2. 依照左圖做法，完成光譜儀外殼。
3. 放入一張光碟片 ，資料面朝上。

資料來源：http://www.sec.ntnu.edu.tw/Monthly/95%28286-295%29/295-pdf/04.pdf

(二)操作方式

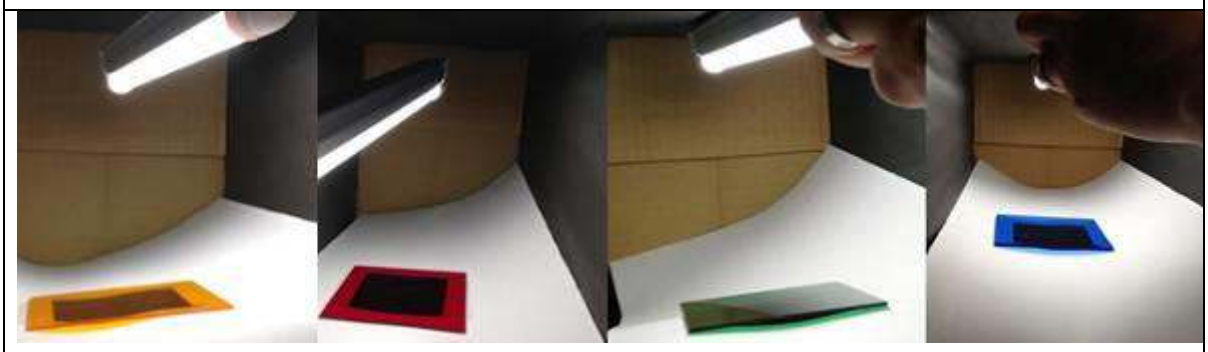


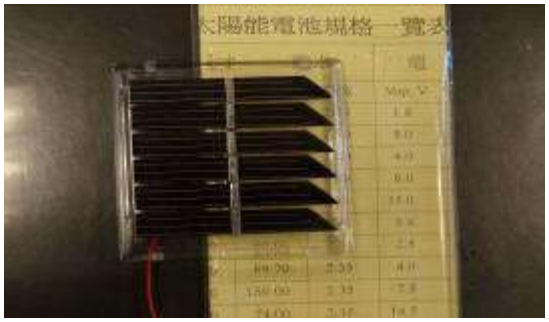
1. 將狹縫對準光源，眼睛往窺孔內看，視線方向大致與光碟片呈60 度夾角。
2. 觀察下列光源的光譜並用數位相機拍攝紀錄。
3. 真對本實驗使用的三種光源：鎢絲燈、白色LED燈、日光燈管進行簡單光譜分析。

資料來源：http://www.sec.ntnu.edu.tw/Monthly/95%28286-295%29/295-pdf/04.pdf

實驗 3-3、以簡易摺紙光譜儀對色光進行分析

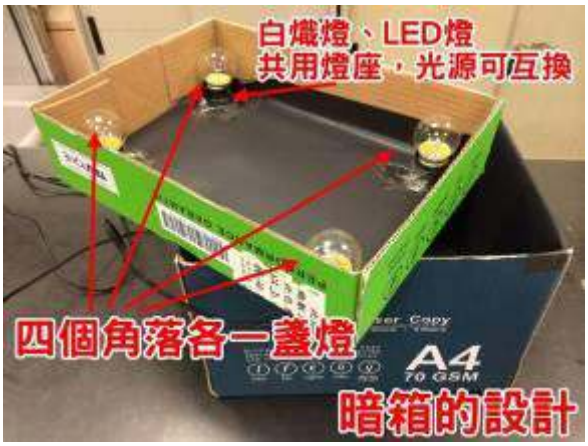
1. 在暗箱內，依序將不同顏色的壓克力板放在光譜儀的狹縫前，對準 LED 光源。
2. 相機鏡頭對準窺孔，拍攝紀錄光譜的呈現。





3.再分別將不同顏色的壓克力板放在暗箱隔板的正方形空隙上，以三電表測量光線透過壓克力板，照射在太陽光電板所產生的電流(如左圖所示)。

實驗 3-4 比較不同色光、不同光源照射下，葉綠素電池的電壓、電流及發電功率



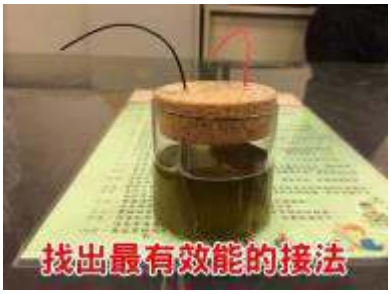
先如圖所示製作暗箱

3-4-1～3. 白熾燈、LED 燈、日光燈三種光源下的色光照射

1.暗箱中先裝上所需光源：白熾燈、LED 燈、日光燈	2.放入包不同顏色玻璃紙的葉綠素電池組(為避免擁擠，每四個樣本裝一個暗箱)	3.關上暗箱，打開電源進行照光，每 15 分鐘測一次電壓與電流，並計算電功率。

研究四、發展實驗--電池的設計與組裝

我們經過一連串實驗，對葉綠素電池各種可行的形式改良與實驗，並化出設計圖，加以製作，並接上 LED 與液晶電子零件，進行實用性的測試。

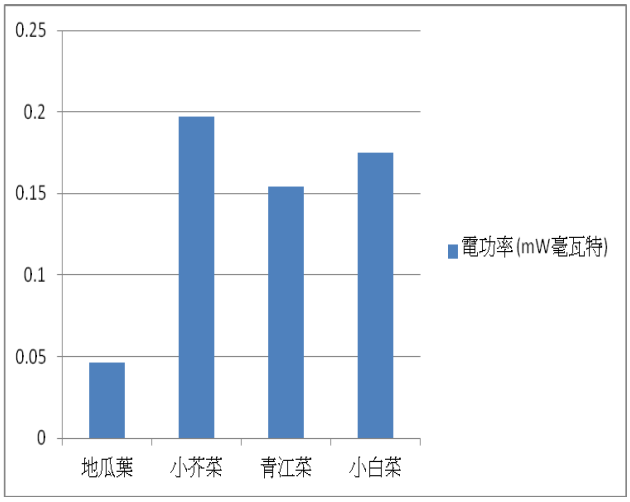
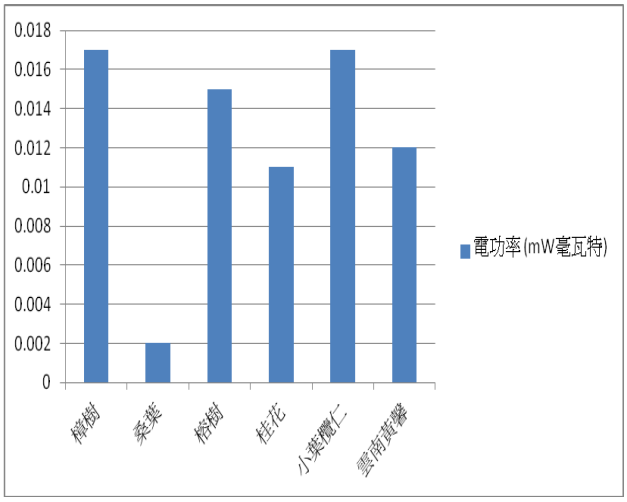
研究五、電池實用性研究

將電池進行並聯與串聯的連接方式，用三用電表紀錄電壓、電流看看有甚麼不同？將連接好的電路，連接上 LED 與液晶電子零件，看看哪一種電路較為適用於日常生活中的供電？

伍、實驗結果

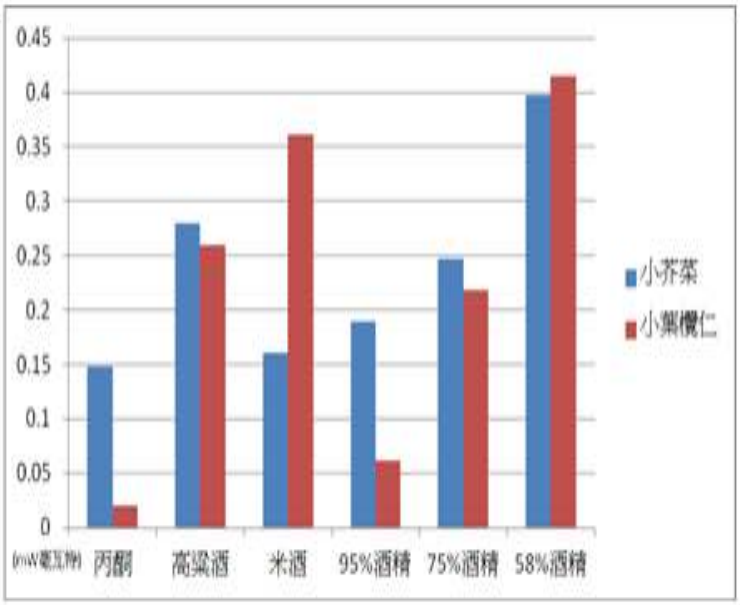
研究一、預備實驗：植物樣本決定

實驗 1-1：比較不同的植物葉子的葉綠素電池的電壓、電流及發電功率

1-1-1.蔬菜類	**1-1-2.樹葉類**
	

經過測試電壓、電流並計算電功率的結果： 蔬菜類電功率測試效果以小芥菜最佳，樹葉類電功率測試效果以小葉欖仁最佳。因此，實驗結果決定下一個實驗選取小芥菜和小葉欖仁作為樣本。

實驗 1-2：比較不同萃取液的葉綠素電池的電壓、電流及發電功率：

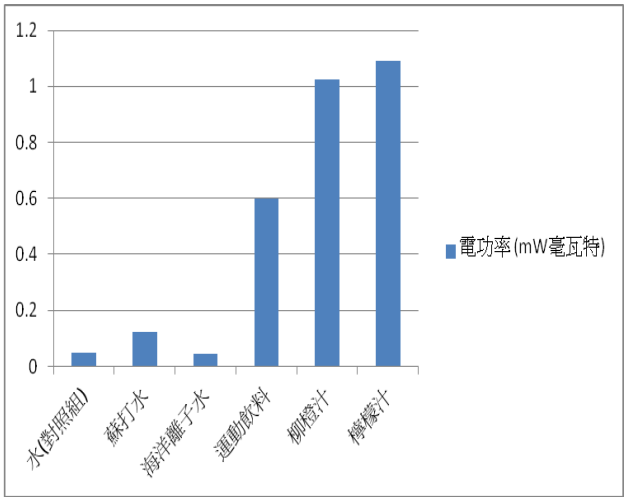
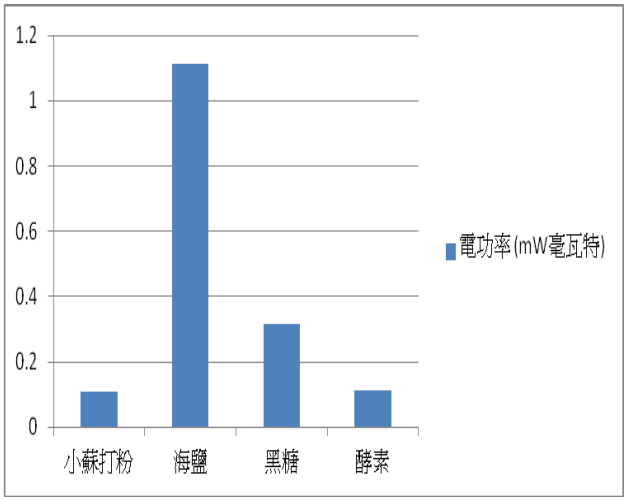


經過測試電壓、電流並計算電功率的結果：小芥菜和小葉欖仁電功率測試效果以 58%酒精萃取最佳。

植物樣本的選擇：最終比較的結果，我們以最高電功率的萃取液為參考，又以實驗 1-1 兩種樣本為比較，發現小葉欖仁葉有較高的電功率，雖然在許多萃取液中，小芥菜的電功率較高，但都遠低於 58%酒精中的表現，此外，在萃取與烘乾的過程中，我們發現小芥菜水分多，烘乾不易，重複實驗時結果也不穩定，因此選用校園常見植植物—小葉欖仁作為往後葉綠素電池的研究對象。

研究二、葉電「欖仁」包主實驗：

實驗 2-1：比較不同電解液的葉綠素電池的電壓、電流及發電功率

2-1-1.電解液	**2-1-2.固態物質調配成 5%水溶液**
	

(一) 經過測試電壓、電流並計算電功率的結果：電解液電功率測試效果以檸檬汁最佳。固態溶質電功率測試效果以海鹽最佳。

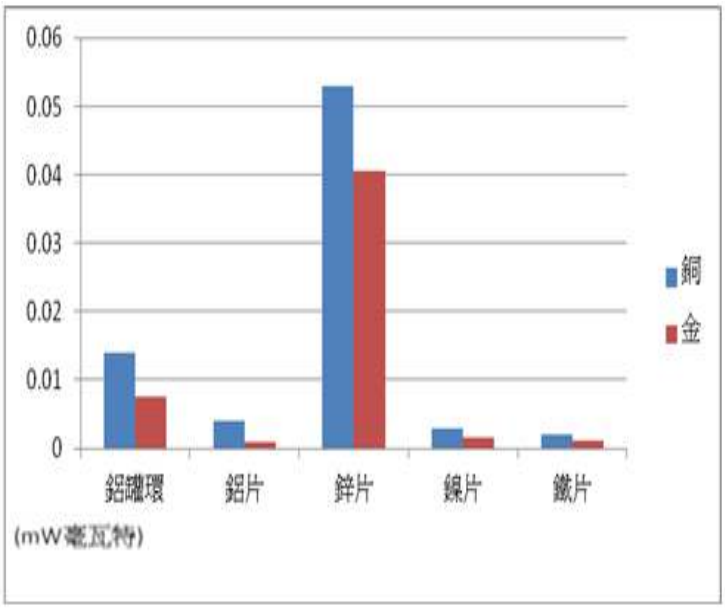
(二)接著以檸檬原汁、飽和小蘇打水溶液調整 pH 值，並觀察 pH 值對電功率的影響：

電解液 / 項目	水	檸檬原汁					檸檬原汁	飽和小蘇打水
		5%	10%	15%	20%	25%		
萃取液混和電解液 pH 值	4.6	4.1	3.9	3.7	3.6	3.5	3.0	8.7
電功率(mw)	0.55	0.66	0.8	1.09	1.09	1.35	1.77	1.18

我們選取檸檬原汁、飽和小蘇打水溶液(濃度大約 8g/100ml，pH 約 8.3，本實驗不使用危險性較高的強鹼)調整 pH 值，發現以 pH 值 7 中性為基準，提高或降低 pH 值都會提高電功率。但是有趣的是電壓沒有明顯增加，電流方面明顯上升，這是電功率提升的主要原因，因此配合前面的實驗發現，酸、鹼、鹽都能提升葉綠素電池的電功率，但是以生活中素材來說，建議使用檸檬汁與食鹽。

實驗 2-2: 比較使用不同活性金屬電極的葉綠素電池的電壓、電流及發電功率

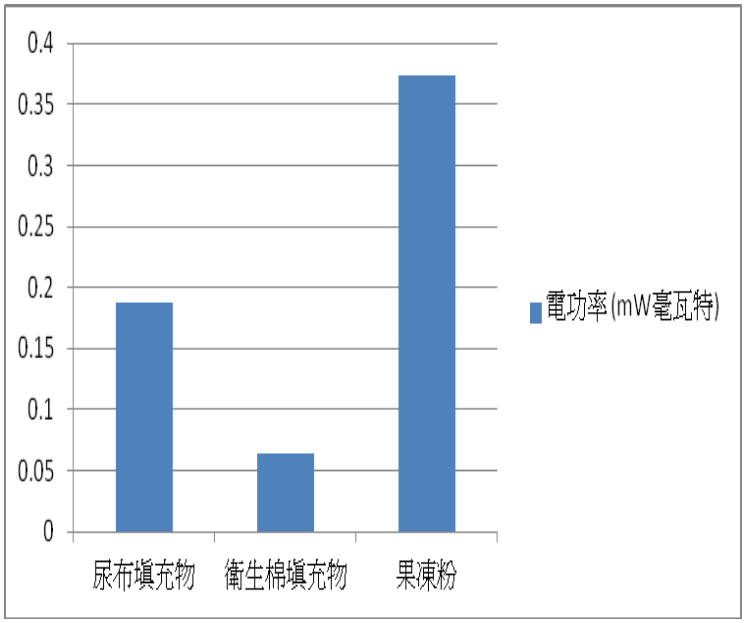
銅與金的正極供電效能比較：



(一) 經過測試電壓、電流並計算電功率的結果：電功率測試效果以銅片(正極)和鋅片(負極)組合最佳，因此電池正負極材料以此為主。

實驗 2-3: 比較使用不同吸附物的葉綠素電池的電壓、電流及發電功率

經過測試電壓、電流並計算電功率的結果：電功率測試效果以果凍粉效果最佳。



實驗結果分析：經過實驗之後，我們在之後電池研發時，所採用的萃取液將是 58%酒精、電解液將採用海鹽水溶液或是檸檬純汁，電極金屬則採用銅片為正極、鋅片為負極，吸附物則以果凍粉為主要素材，經果實驗發現，這些物質作為電池組合可提升供電能力。

研究三 ： 葉綠素電池的色光實驗

我們從書上的資料得知，葉綠素對光的吸收，基本上以紅光與藍光為主，對綠色的光基本上並不吸收。於是我們就想利用照光的操作，是否會增加葉綠素電池的電功率呢？照射人工光源能增加葉綠素電池的電功率嗎？在照射之前我們運用簡易的光譜儀，對光源與色光進行分析：

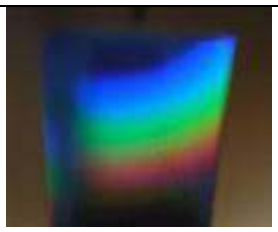
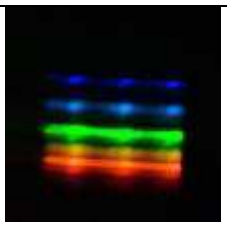
實驗 3-1、光碟預備實驗

因為光碟片上的光來自於四面八方，我們所看到的，是各方向的光所產生的光譜混合在一起的結果，所以與單一光源透過三稜鏡後所產生的光譜不太相同。只要我們能限制光線僅從某方向過來，就可得到與三稜鏡相近的光譜，也就是將光碟片放入一個紙盒，在紙盒子的側邊開一個狹縫，使光線進入進行色光分析是可行的。

我們發現在光碟背面會出如彩虹般的光澤，不同光源效果也不同	

實驗 3-2、製作簡易摺紙光譜儀進行光源分析

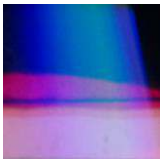
針對照射葉綠素電池的三種光源，我們用簡易的摺紙光譜儀進行分析與影像紀錄如下：

光源	白熾燈	白光LED	日光燈管
光譜影像	包含各種色光，色光之間沒有明確的界線。	 變成紅、綠、藍三種顏色的光譜，其中藍光偏強。	 紅、綠、藍三種顏色為主光帶，界線明顯。

也就是說白光LED藍色光帶較寬，白熾燈顏色類似彩紅，日光燈則發現光帶較窄，且以三原色為主。

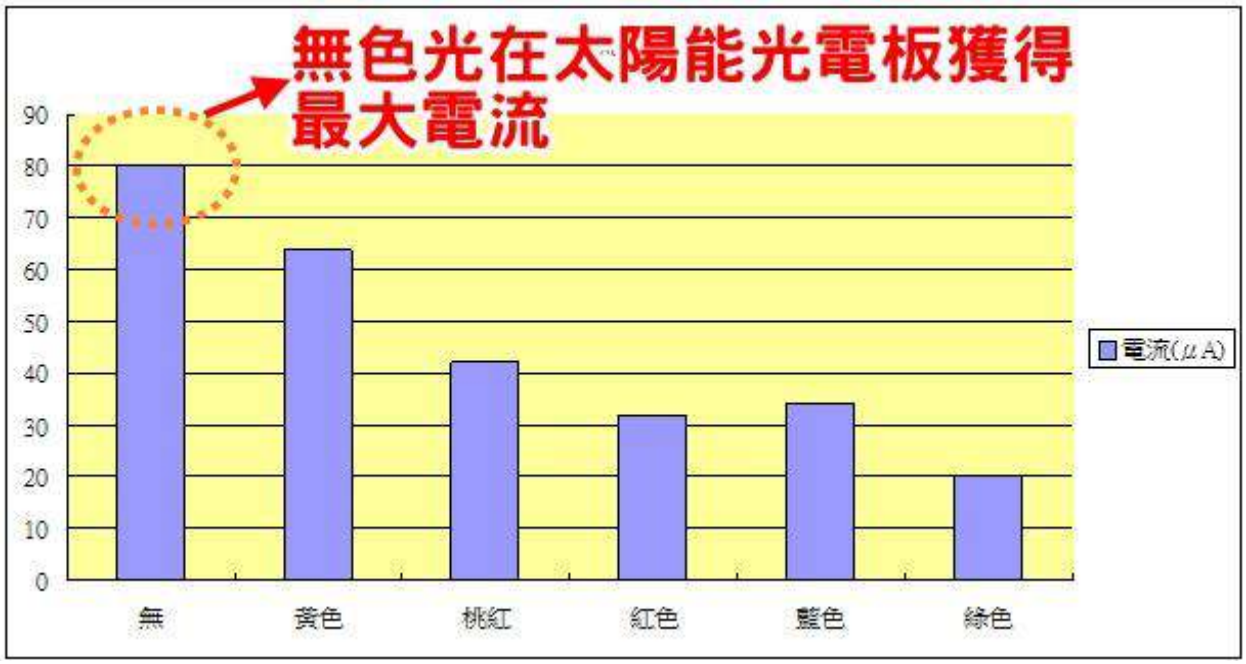
實驗 3-3、以簡易摺紙光譜儀對色光進行分析

3-3-1. LED 透過壓克力板的光譜

LED透過壓克力板的光譜						
顏色	無	黃色	紅色	藍色	綠色	桃紅色
光譜						
色層	藍、綠、紅	綠、黃、紅	紅	藍、綠	綠、紅	淺紅、藍

本實驗採用光的三原色為測試對象，無色的光所出現的色彩最多，紅、綠、藍光多半出現單一色光的寬度較寬，也可以明顯看到，屬於混色的黃光，也出現了綠色和紅色的光線。

3-3-2. 以太陽能光電板測是色光的電流(μA)



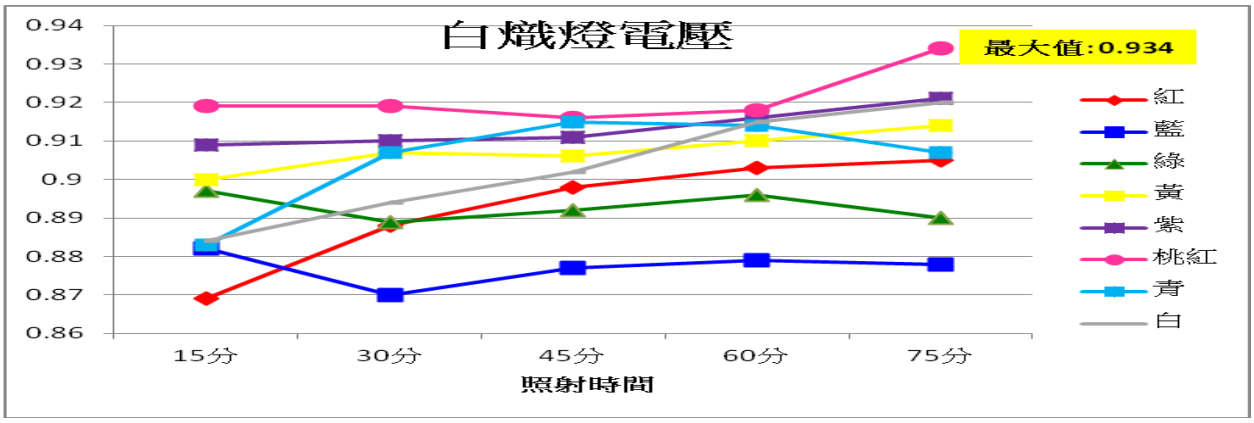
不同色光下太陽能光電板電流量

經過實驗之後，無色的光陽能光電板的電流量最高，隨著透光程度的下降，電流量也逐漸降低，而葉綠色電池的實驗結果是否也是如此呢？

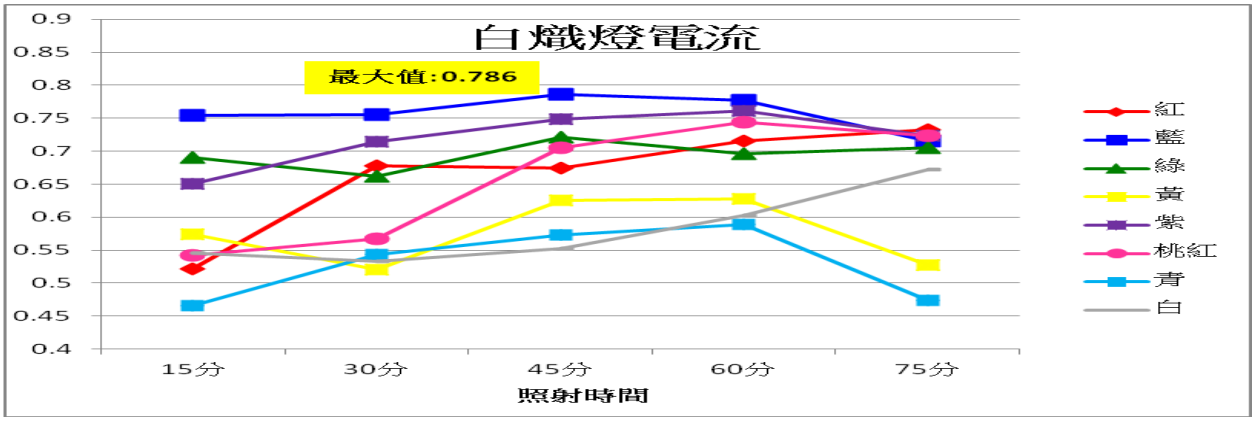
實驗 3-4 比較不同色光、不同光源照射下，葉綠素電池的電壓、電流及發電功率

3-5-1 白熾燈

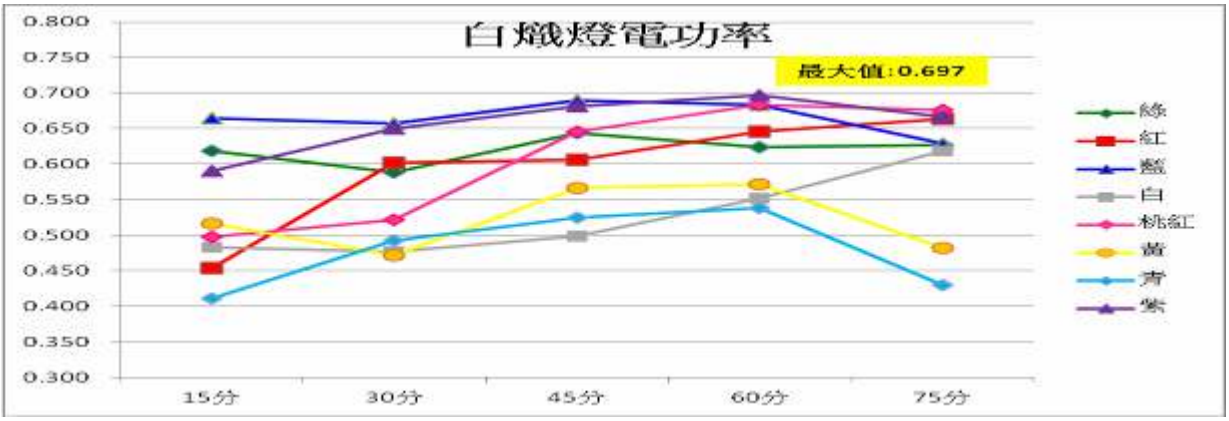
3-5-1-1.電壓:(單位：伏特Ｖ)



3-5-1-2.電流(單位：毫安培 mA)



3-5-1-3.電功率(單位：毫瓦特 mW)



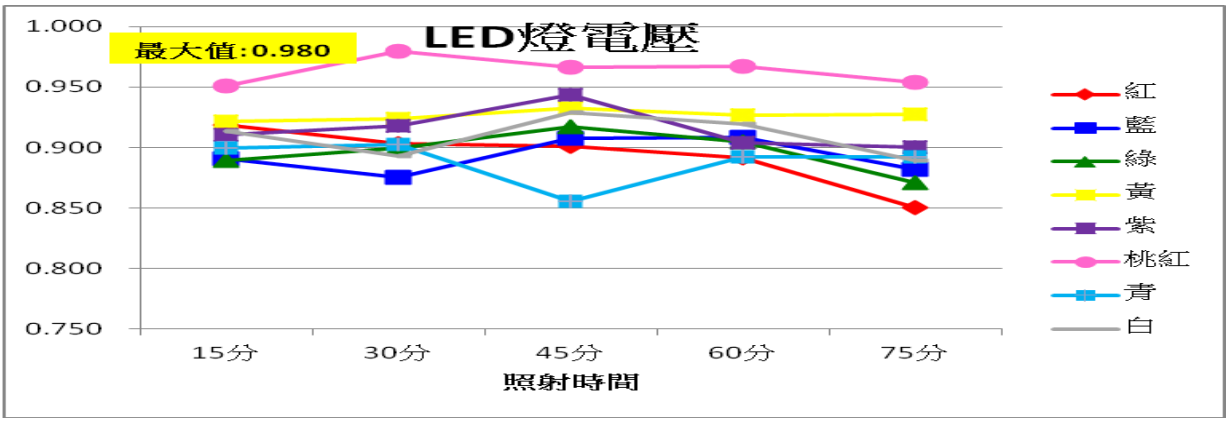
(一)電壓測試結果：電壓測試效果以桃紅色在光照 75 分的 0.934V 最佳。

(二)電流測試結果：電流測試效果以藍色在光照 60 分的 0.786mA 最佳。

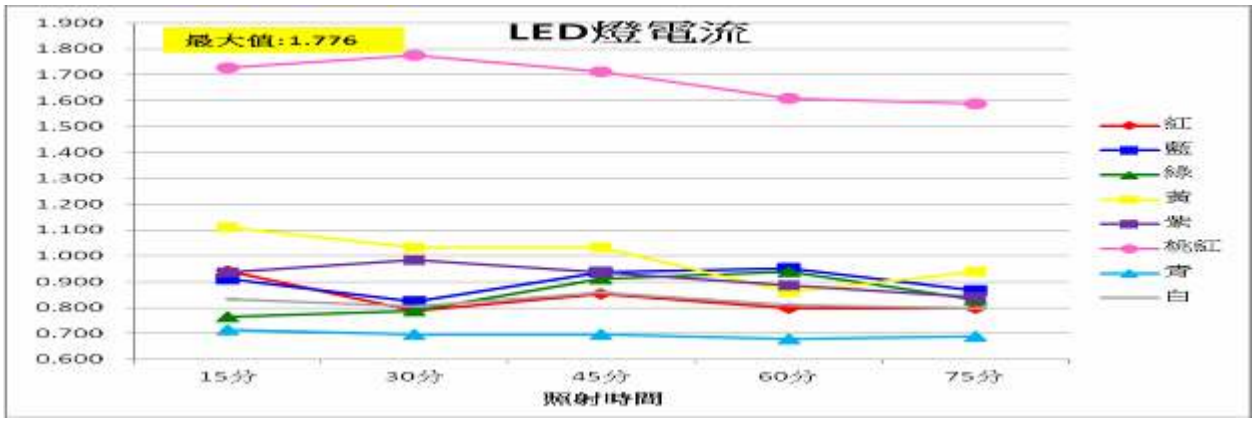
(三)電功率計算結果：電功率測試效果以紫色在光照 60 分的 0.697mW 最佳。

3-5-2　LED 燈

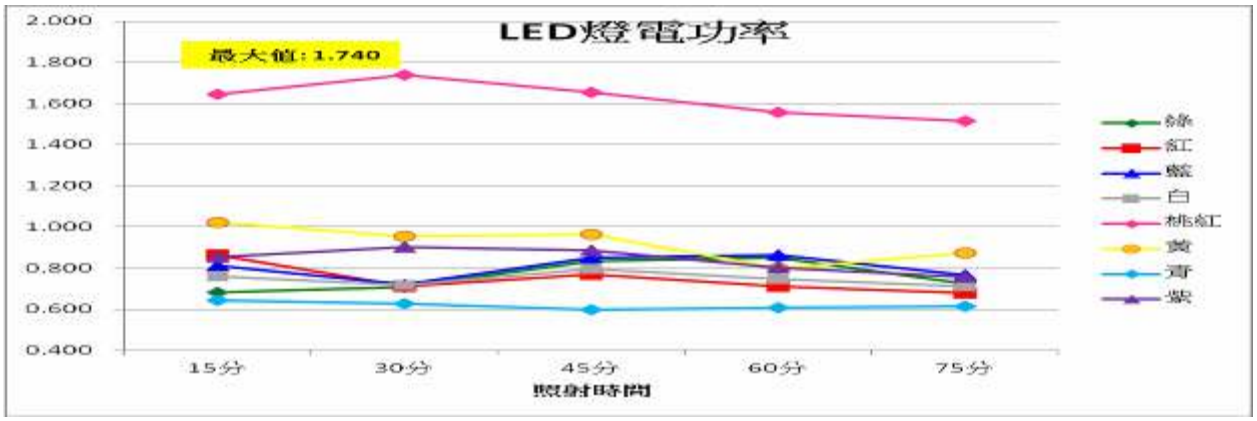
3-5-2-1.電壓:(單位：伏特Ｖ)



3-5-2-2.電流(單位：毫安培 mA)



3-5-2-3.電功率(單位：毫瓦特 mW)



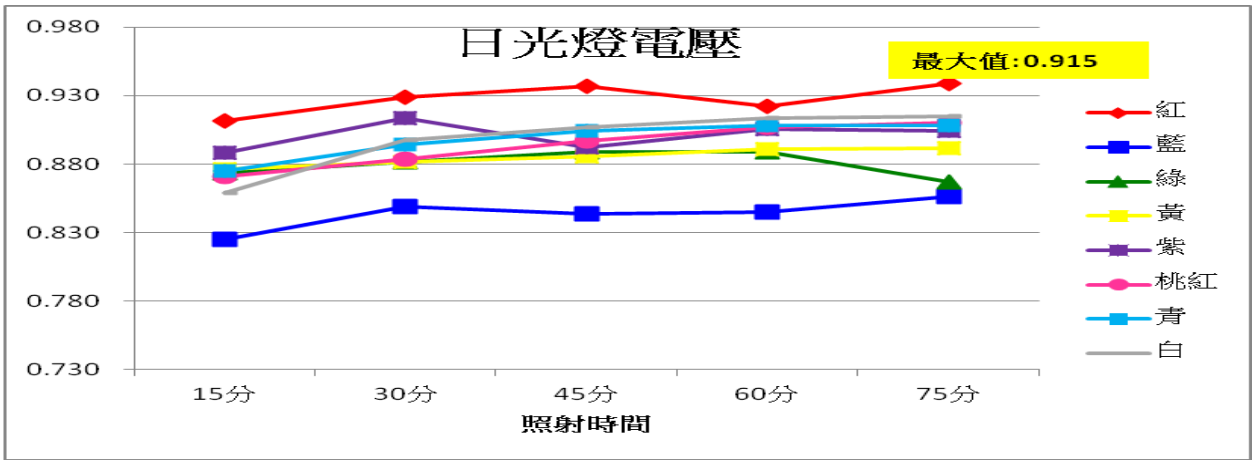
(一)電壓測試結果：電壓測試效果以桃紅色在光照 30 分的 0.980V 最佳。

(二)電流測試結果：電流測試效果以桃紅色在光照 30 分的 1.776mA 最佳。

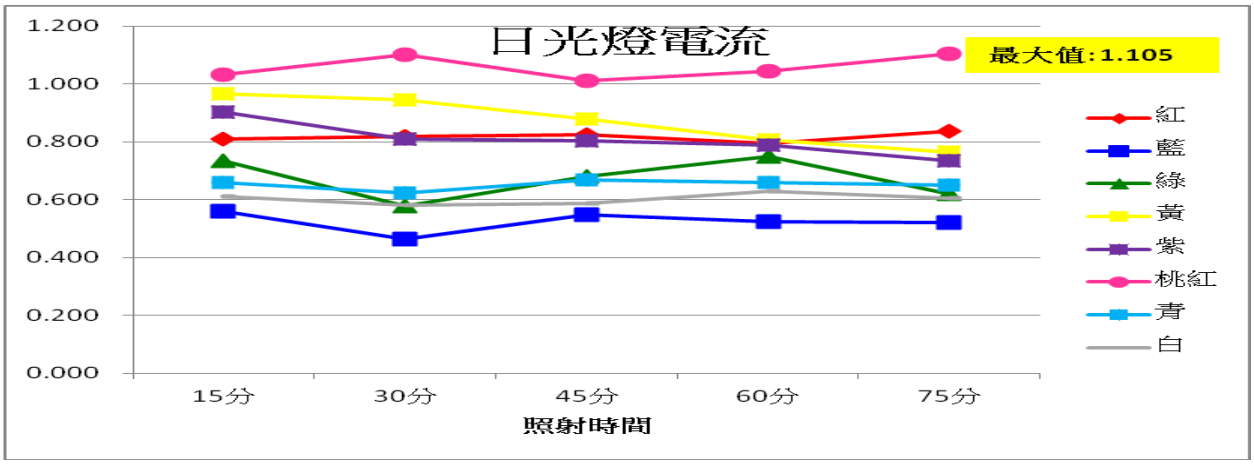
(三)電功率計算結果：電功率測試效果以桃紅色在光照 30 分的 1.740mW 最佳。

3-5-3 日光燈

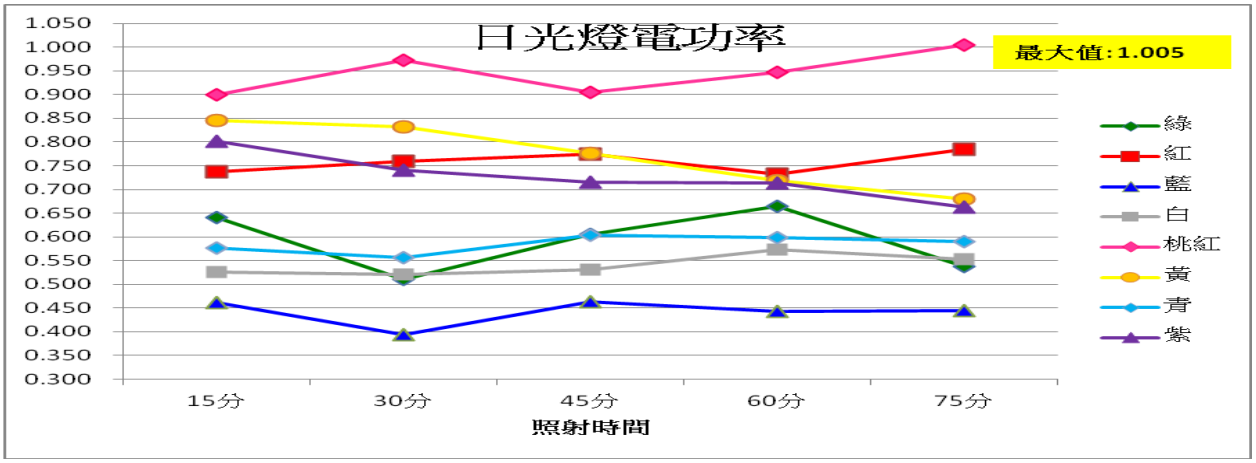
3-5-3-1.電壓(單位：伏特Ｖ)



3-5-3-2 電流(單位：毫安培 mA)



3-5-3-3 電功率(單位：毫瓦特 mW)



(一)電壓測試結果：電壓測試效果以紅色在光照 75 分的 0.915V 最佳。

(二)電流測試結果：電流測試效果以桃紅色在光照 75 分的 1.105mA 最佳。

(三)電功率計算結果：電功率測試效果以桃紅色在光照 75 分的 1.005mW 最佳。

光照實驗過程、結果示意圖

實驗結果分析

(一) 白熾燈：經過我們分析，白熾燈是最接近太陽光的一種光源。當初我們假設桃紅色、紫色、藍色、紅色會出現較大的實驗數值，含有綠光的青色、黃色則偏低，大致上符合假設。

(二) LED 白光燈：前面色光分析得知，LED 的藍光組成偏高，葉綠素只會吸收這兩種光，藍光、紅光會組成桃紅色光，竟然也對供電能力產生了加成的效果！效果不但優於藍光、紅光，且更為突出。而桃紅色在此實驗竟也一枝獨秀，推測是 LED 的藍光組成偏高也是原因之一。

(三)日光燈：照射時則以桃紅與紅色光效果最佳，照射後實驗數值在白光 LED 與白熾燈之間。

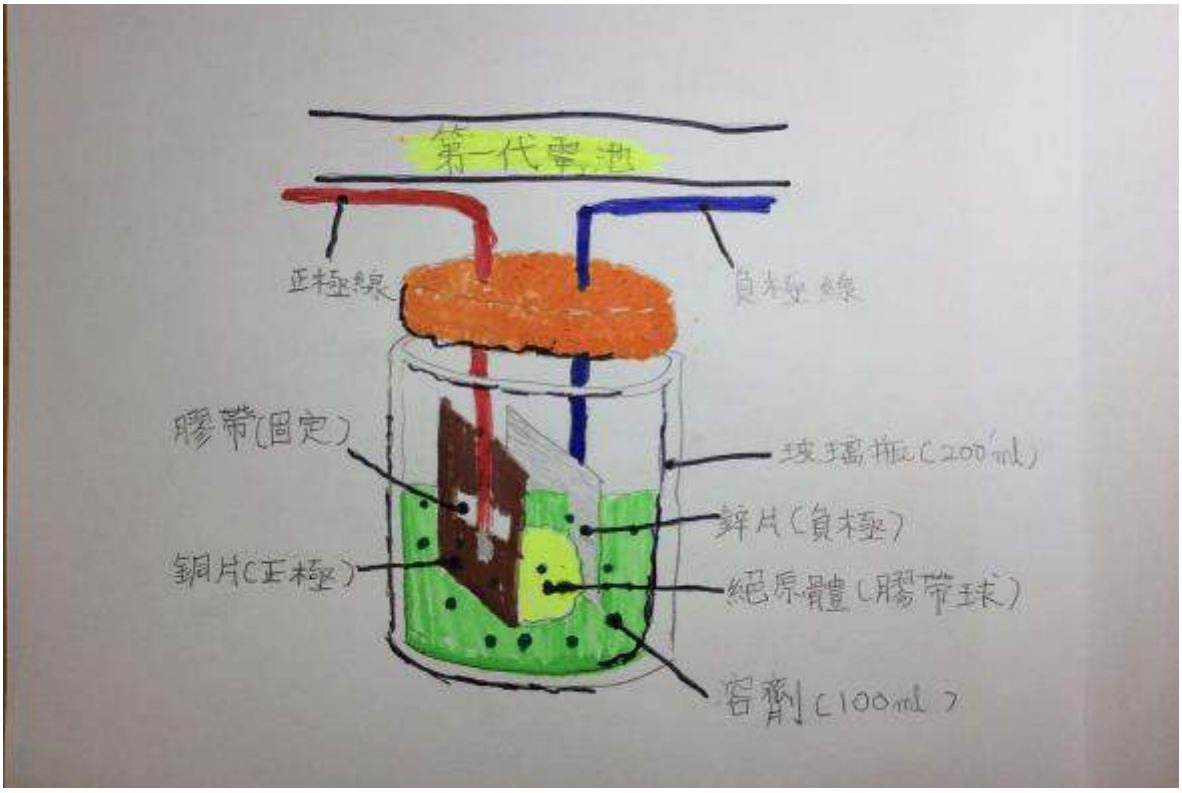
研究四、發展實驗--設計電池：

比較使用不同容器所製作的最佳電池組合，我們將所設計的電池以串聯三顆電池使 LED 發光為目標進行研究，同學們也相互討論，畫下設計圖，結果如下：

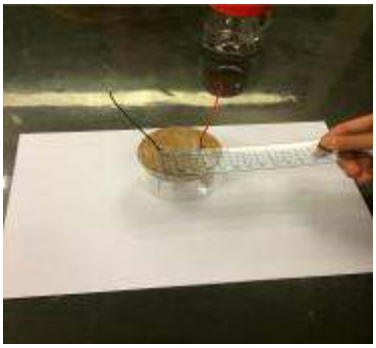
實驗 4-1、第一代電池:

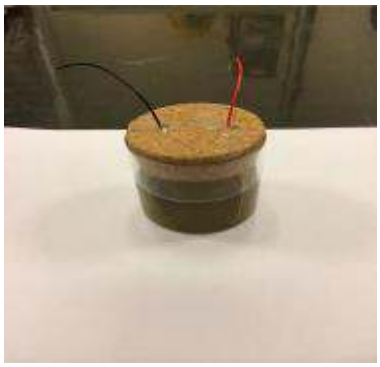
1.配方與組合：萃取液(丙酮)、植物葉片(小葉欖仁)、電解液(水)、正負極(銅、鋅片)

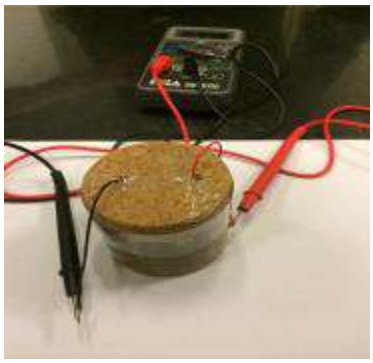
2 步驟：使用 200ml 的軟木塞玻璃瓶當容器，將軟木塞蓋鑽兩個小洞讓電線可穿透，兩條電線各接上銅片和鋅片，以膠帶固定，注入 100ml 的葉綠素電解液。



這是我們最初設計的第一代手繪葉電欖仁電池





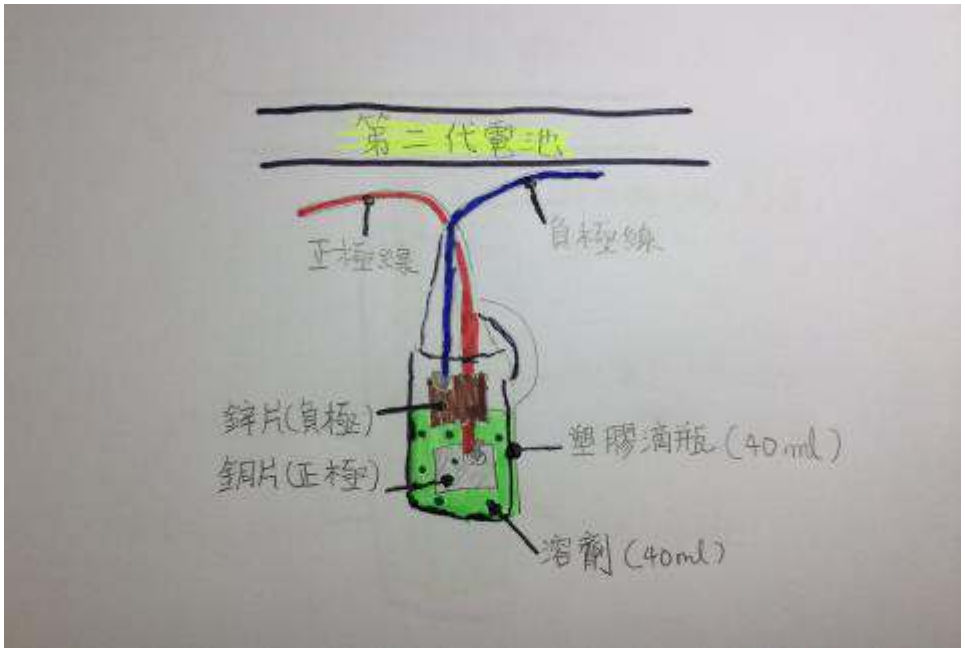


我們發現這種設計絕緣體容易脫落，而且經常有電線與電極接觸不良的情形，所測得電壓與電流不穩定且不理想，於是就換成第二代電池設計。

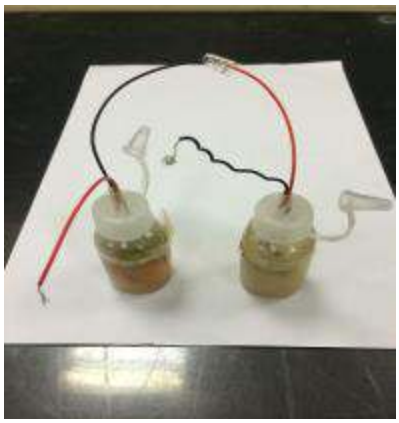
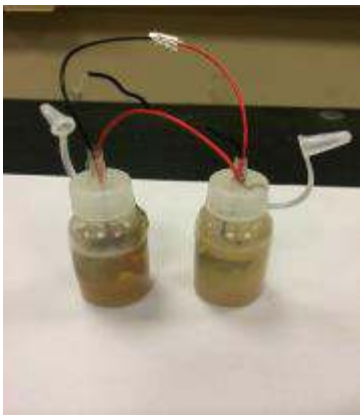
實驗 4-2.第二代電池

1. 配方與組合：萃取液(58%酒精)、植物葉片(小葉欖仁)、電解液(檸檬汁+5g 鹽)、正負極(銅、鋅片)、吸附物(洋菜粉)

2.步驟：以預備實驗一為基礎，用 58%的酒精萃取代丙酮，用 20ml 檸檬汁加 5g 鹽取代水並加入洋菜粉煮沸。使用 40ml 的塑膠滴瓶當容器，用美工刀在上層割 1.5cm 小縫，塞入綁有電線的小正方形銅片和鋅片 。注入 40ml 的最佳組合電解液。



經過第一代電池設計後，我們發現想法和實際的情形會有落差，於是第二代葉電欖仁電池就誕生了，它體積小，而且電極一前一後不會碰在一起，改善了第一代缺點。

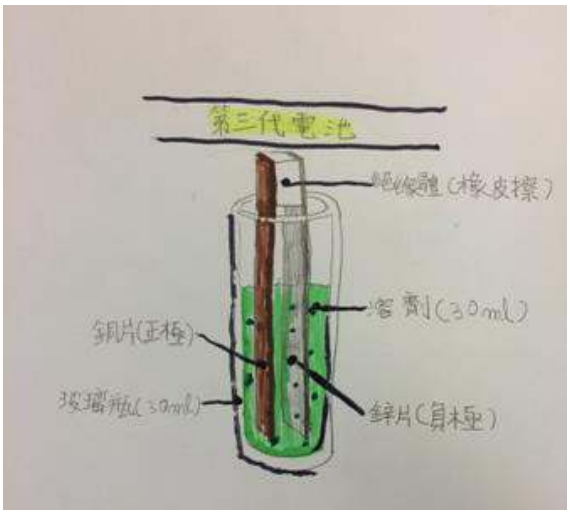
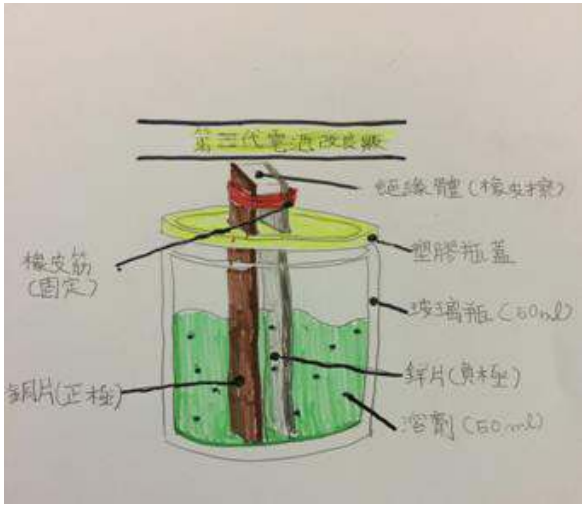
這個電池我們採用滴瓶作為材料，但是我們串聯三顆電池之後，LED 小燈並不會發光。

實驗 4-3.第三代電池

1.操縱變因：容器

2.控制變因：萃取液(58%酒精)、植物葉片(小葉欖仁)、電解液(檸檬汁+5g 鹽)、正負極(銅、鋅片)、吸附物(洋菜粉)

3.步驟：以預備實驗一為基礎，用 58%的酒精萃取代丙酮，用 20ml 檸檬汁加 5g 鹽取代水並加入洋菜粉煮沸。使用 50ml 的軟木塞玻璃瓶當容器，將並排 2X10 的鋅銅片中間以雙面膠黏上 1cm 後的橡皮擦。，注入 50ml 的最佳組合電解液。

<table>
<tr><td colspan="2"> 
</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">第三代手繪葉電欖仁電池</td><td colspan="2">第三代改良版手繪葉電欖仁電池</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>第三代電池材料</td><td>第三代電池容器</td><td>第三代電池電能測試</td><td>第三代電池串聯</td></tr>
</table>

第三代電池我們就從電極的銅片與鋅片進行改良，加大接觸面積，同時可說排除了接觸不良的缺點，也改善了第二代電池葉綠素溶液量過少的問題，也得到較佳的電能，我們將三代電池的電能比較如下表所示。

實驗結果分析－

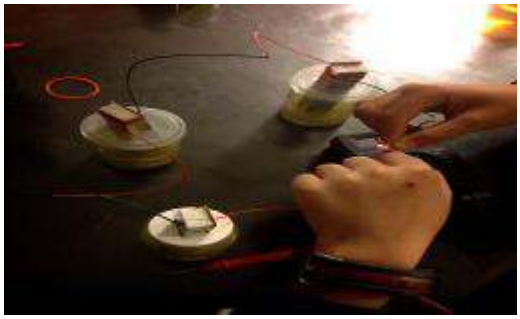
三代電池比較：

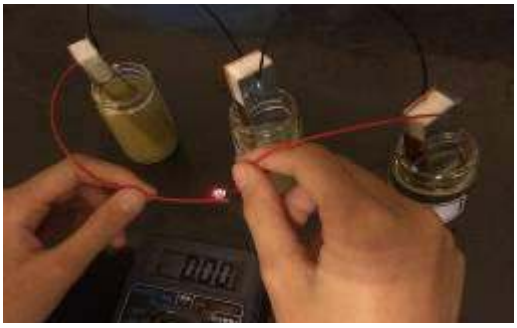
1.第一代電池：優點為容器容量大，不會漏液，但有膠帶易脫落的缺點，絕緣體也不穩固，所以電壓、電流不穩，串聯三顆無法使用 LED 發光。下表示串聯三顆電池後的電壓、電流、電功率的數值，發現第三代電池

實驗項目 / 電池名稱	電壓(伏特)				電流(毫安培)				電功率(毫瓦特)
	1	2	3	平均	1	2	3	平均	
第一代電池	1.495	1.493	1.053	1.347	1.26	1.12	1.14	1.173	1.58
第二代電池	0.486	0.486	0.491	0.488	1.88	1.83	1.8	1.837	0.896
第三代電池	2.17	2.1	2.07	2.113	6.99	6.87	6.68	6.847	14.469

2.第二代電池：我們用滴瓶為容器，將電池正負極有效分離，但滴瓶瓶口無法容納較大的金屬片，容器容量小、金屬面積也小，電流、電壓偏低串聯三顆也無法使 LED 發光。

3.第三代電池：我們用長筒形容器，配合金屬片形狀，用橡皮擦隔離正負極，導線接在電池電極乾燥處。等於是放大金屬接觸面積和電池內液量，結果連接三顆後，成功使 LED 發光。因此，之後的實用性研究，我們將以第三代電池作為連接主要方式。





實驗結果：第三代電池串聯 LED 發亮

研究五、電池實用性研究

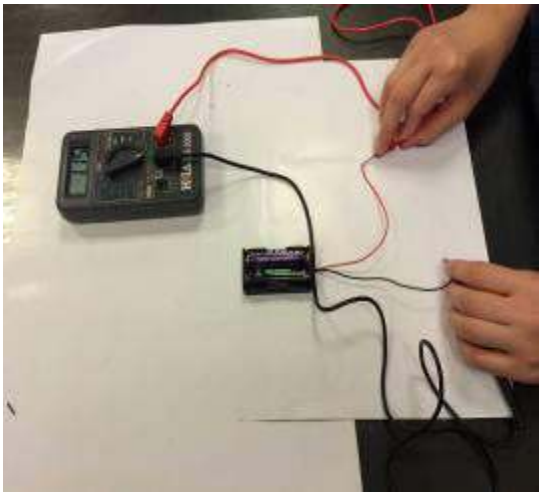
實驗 5-1 預備實驗--乾電池的串聯與並聯

我們在四年級學過簡單的串聯與並聯電路，但就只是燈泡的部分而已。為了解電池電池串聯與並聯電壓與電流的變化，我們先用乾電池進行實驗。

1.操縱變項：電池聯結

2.控制變項：三顆 3A 乾電池、電池盒、電線、三用電表

聯結方式	電池數量	電壓(V)	電流(mA)
電池	1	1.43	8.00
串聯	2	2.82	11.00
	3	4.25	10.06
並聯	2	1.41	15.60
	3	1.42	18.30



(一)電壓測試結果：電池串聯會增加電壓，電流增加有限。

(二)電流測試結果：電池並聯會增加電流，電壓幾乎沒有增加。

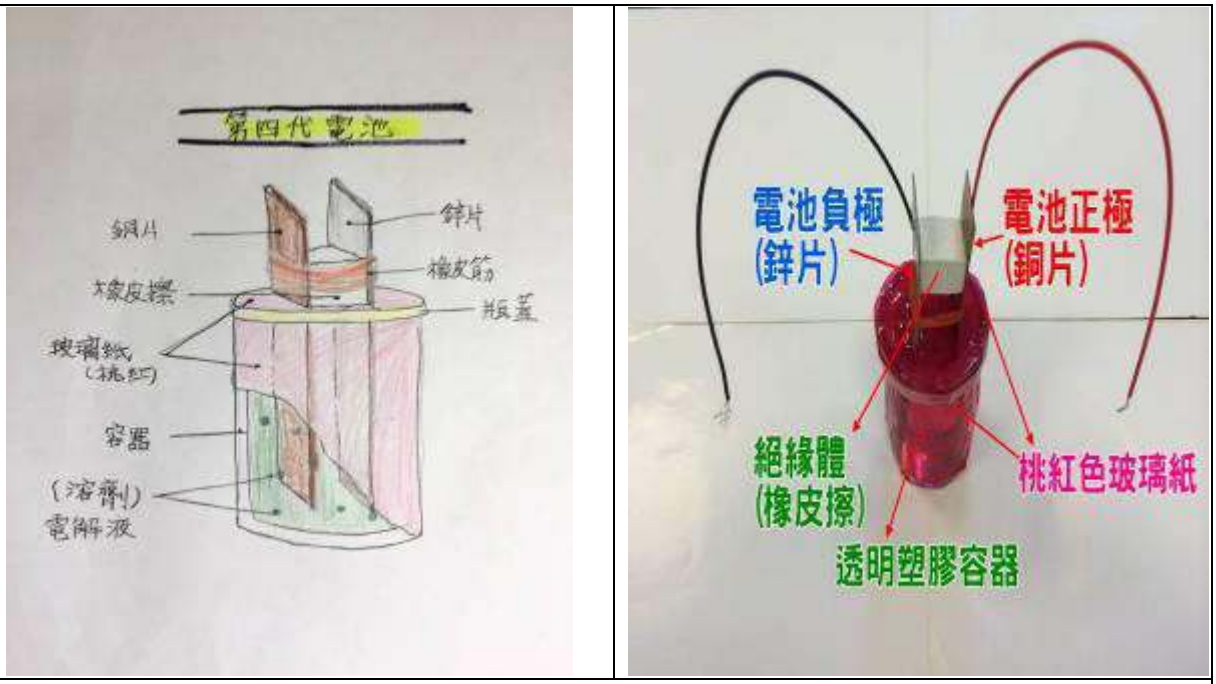
因此，如果要較高的電壓，應該選用串聯電池電路，而需要較大的電流，則選用並聯電池的電路。

實驗 5-2 第四代電池串、並聯電路實驗

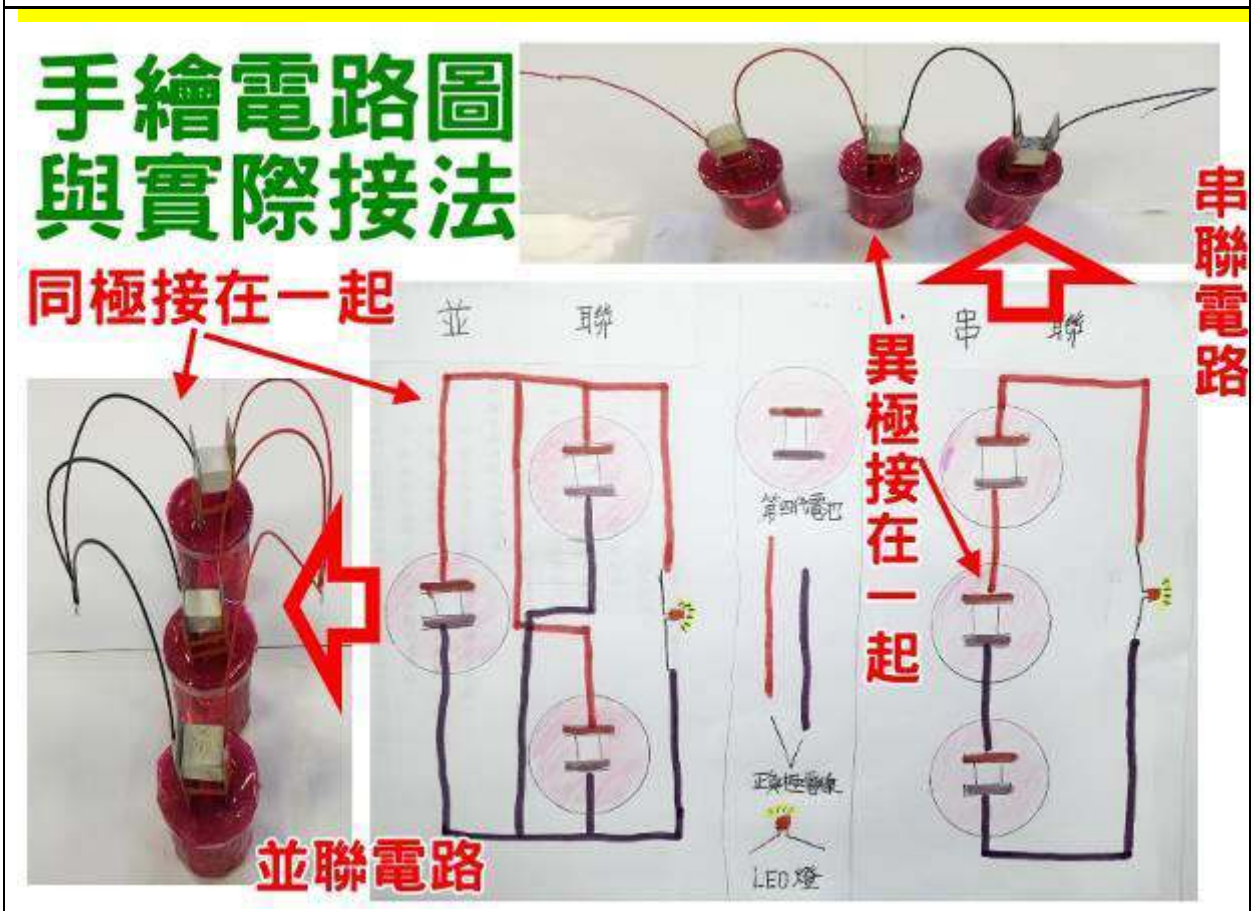
我們根據前面光照實驗的結果，使用桃紅色玻璃紙包覆電池，並用 LED 白光燈泡照射 30 分鐘，接著測試電壓與電流，並且進行串並聯的接法看看能不能使 LED 發光、液晶電子零件發光？

1.配方組合：萃取液(58%酒精)、植物葉片(小葉欖仁)、電解液(檸檬汁+5g 鹽)、正負極(銅、鋅片)

2.步驟：以預備實驗一為基礎，用 58%的酒精萃取代丙酮，用 20ml 檸檬汁加 5g 鹽。使用 50ml 的軟塑膠蓋的透明塑膠瓶當容器，將並排 2X10 的鋅銅片中間以雙面膠黏上 1cm 後的橡皮擦。注入 50ml 的最佳組合電解液。下圖是並聯電路與串聯電路的接法：

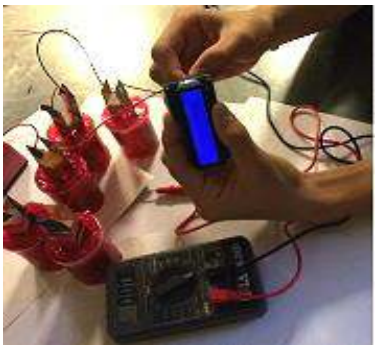
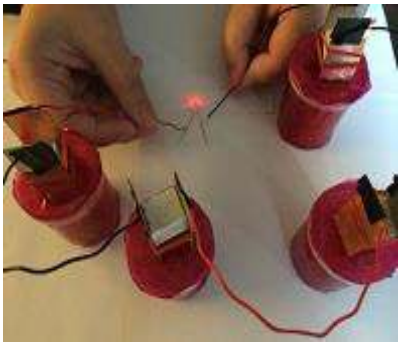


第四代手繪葉電欖仁電池手繪圖與實圖



手繪葉電欖仁電池串聯與並聯與實際接法。

3.第四代電池串聯與並聯實驗

		
液晶電子零件發光	LED 燈發光	電子錶啟動了！

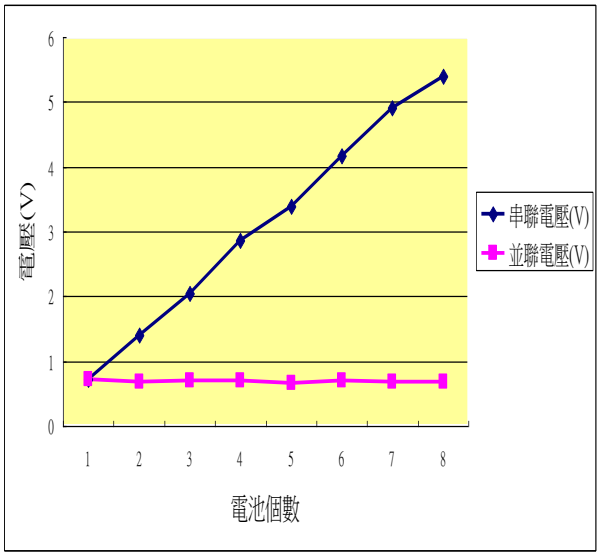
我們進行電路實驗時，電路串聯三顆葉綠素電池即可讓液晶電子零件、電子錶與紅色 LED 發光，但並聯電路卻不行，如果考慮實用性，則以提高電壓為優先，這也就是市面上許多用品常採用電池串聯的原因。以下是葉綠素電池串聯與定聯電路實驗的紀錄表：

5-2-1 葉綠素電池串聯電路實驗結果

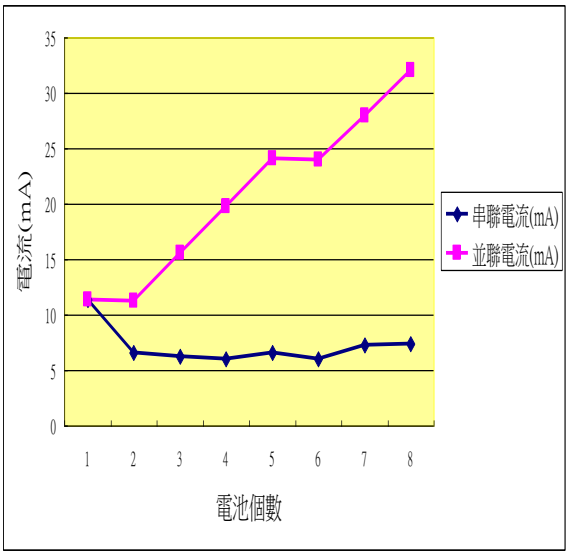
聯結方式	電池數量	1	2	3	4	5	6	7	8
串聯	電壓(V)	0.720	1.400	2.050	2.870	3.380	4.160	4.910	5.400
	電流(mA)	11.400	6.600	6.300	6.020	6.600	6.040	7.300	7.350
LED 發亮		X	X	○	○	○	○	○	○
液晶零件發亮		X	X	○	○	○	○	○	○
電子錶啟動		X	○	○	○	○	○	○	○

5-2-2 葉綠素電池並聯電路實驗結果

聯結方式	電池數量	1	2	3	4	5	6	7	8
並聯	電壓(V)	0.720	0.686	0.706	0.692	0.671	0.709	0.686	0.676
	電流(mA)	11.400	11.200	15.600	19.800	24.100	24.000	28.000	32.000
LED 發亮		X	X	X	X	X	X	X	X
液晶零件發亮		X	X	X	X	X	X	X	X
電子錶啟動		X	X	X	X	X	X	X	X



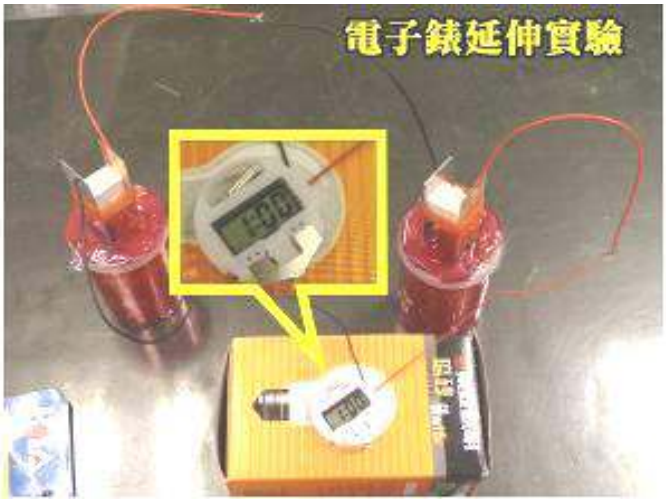
葉綠素電池串聯電路、並聯電路電壓比較圖



葉綠素電池串聯電路、並聯電路電流比較圖

如同預備實驗結果，電壓會隨電池串聯數增加，但電流不增反減，串連三顆電池時，LED開始產生功能。反之，電流會隨電池並聯數增加，而電壓減小。目前串聯欖仁電池的電功率只適用在LED相關產品，如：鬧鐘、手電筒、夜間雨衣、自行車照明或野外無電力時的需求。雖說我們的實驗結果只是一小步，但有助於未來容器設計上，如果能夠結合其他塑材，降低電阻，達到環保再生能源能普及在生活應用上。

5-3 葉綠素電池的耐久性測試



液晶電子零件、電子錶與紅色 LED 中，最為省電的是電子錶，只要串連兩顆葉綠素電池即可啟動。因此我們就從 4 月 17 日晚上七時開始實驗，發現直到 5 月 5 日的 19 時仍能維持運作，5 月 6 日到校觀察時，電子錶停止運作。估計電子錶持續運作約 18 日，約相當 432 小時。

陸、討論

一、 植物葉片選擇的根據是什麼？植物葉片的取得是從常見的校園植物和季節蔬菜中，選取製作葉綠素電池的材料。在這些樣本中，經實驗1-1的結果發現，小葉欖仁葉有較高的電功率，雖然在許多萃取液中，小芥菜的電功率較高，但在萃取與烘乾的過程中，我們發現小芥菜水分多，烘乾不易，重複實驗時結果也不穩定，因此選用校園常見植物—小葉欖仁作為葉綠素電池的素材。

二、 葉綠素電池的萃取液要如何選擇？葉綠素不能溶於水，只能溶解於有機溶液，如：酒精、丙酮…等。為了不使葉脈梗、葉纖維影響電解液的電子游離，須經研缽磨碎和震盪。當我們測量靜置一段時間的電解液的電壓、電流都有些增加。我們考慮到丙酮是有毒的有機溶液，除了文獻中的酒精，也拿常見的酒類如：米酒、高粱酒等來萃取葉綠素。意外發現將酒精濃度調成58%的成效(150ml 58%酒精=92ml的95%酒精+58ml水)。從實驗1-2的研究結果發現，電壓測試結果：小芥菜電壓測試效果以58%酒精和米酒萃取較佳。小葉欖仁電壓測試效果以米酒、高粱酒和58%酒精萃取三者較佳。從電流來看，小芥菜和小葉欖仁電流測試效果以58%酒精萃取最佳。經計算電功率後，發現小芥菜和小葉欖仁電功率測試效果以58%酒精萃取最佳。因此，決定以58%酒精萃取進行我們的研究。

三、 葉綠素電池的電解液要如何選擇？在尋找最佳電解液實驗中，我們發現柳橙汁和檸檬汁效果最佳，檸檬汁的酸性增加了導電度，而電解液中加海鹽能提升電流量，是因為鹽水中的鈉離子(+)和氯離子(-)是自由的，因為通路而形成電流，且根據酸鹼值測試，電解液不論偏向酸、鹼都會提升電功率。

四、 葉綠素電池要用什麼當電極？因為根據金屬失去電子為活性的高低做比較：鉀＞鈉＞鈣＞鎂＞鋁＞鋅＞鐵＞鉛＞銅＞汞＞銀＞金。因此我們利用不銅的金屬組合，試圖找出最佳組合。實驗結果發現：電壓測試效果以金片(正極)和鋁罐環(負極)組合、銅片(正極)和鋅片(負極)組合較佳。電流測試效果以銅片(正極)和鋅片(負極)組合、金片(正極)和鋅片(負極)組合較佳。經計算電功率後，發現以銅片(正極)和鋅片(負極)組合最佳，因此決定以此作為電池正負極材料。

五、 鋁的活性比鋅大，葉綠素電池負極為什麼不用鋁而用鋅？現實生活中所取的鋁板大多為合金，擔心會影響的實驗的數據。並且鋁很容易被氧化，而變成氧化鋁，因此我們不用鋁而用鋅當負極。

六、 使用果凍粉的目的是什麼？為了保存易流失的電解液並得以重複使用，我們以尿布及衛生棉內的高分子聚合物「聚丙烯酸鈉」及果凍粉當吸附物，發現高分子聚合物的電壓大是因為電阻高，果凍粉的成分含糖有可能影響實驗數據，所以之後的實驗就改用洋菜粉。

七、 色光對太陽能光電板和葉綠素發電特性相同嗎？不同。在太陽能光電板下，顏色越淺的光供電效率較大，但是葉綠素電池則是對紅、藍光或是紅、藍光組成的桃紅光、紫光有較強的吸收，也出現在電壓、電流或電功率的數值上。

八、 為什麼在葉綠素電池光照實驗前要先進行色光分析？因為表面上照明燈看起來不是黃色就是白色，實際上它們所發出的光是由不同顏色組合而成，所以必須先進行色光分析，才能發現哪一種色光或光源對葉綠素電池幫助最大。

九、 葉綠素電池為什麼要包上不同顏色的玻璃紙？光線通過玻璃紙之後，才會出現各種不同顏色的光。我們利用不同顏色的玻璃紙來代替不同顏色的色光。

十、 葉綠素電池經由不同色光照射結果有何不同？我們使用七種不同顏色的玻璃紙進行色光照射，七種顏色分別為：紅色、紫色、黃色、桃紅色、深藍色、綠色和淺藍色，結果為桃紅色電功率最高。

十一、 在進行葉綠素電池的研發是有什麼不同的發現？我們發現鋅銅片的接觸面積對電功率也有影響，葉綠素電池每一天的電功率也都不同，鋅銅片如果太過於接近對電功率也有影響，所以需要使用絕緣體隔絕鋅銅片。

十二、 葉綠素電池如何能與日常生活結合？液晶電子零件、電子錶與紅色LED中，最為省電的是電子錶，只要串連兩顆葉綠素電池即可啟動。並且可使電子錶運作超過兩週的時間，未來若能結合適當的素材，將有可能運用在日常生活中。

柒、結論

一、利用文獻中製作葉綠素電池的因素，找出最佳的條件。萃取液、電解液、電極材料、吸附物都是葉綠素電池組成考慮的因素。

二、葉綠素對於不同色光會有不同吸收能力，且不同的光源照射下，也有不同效果，經紅、藍光混合的桃紅色光照射產生電流最佳，吸光效果強。

三、我們設計的電池，確實可以讓修剪後的廢棄植物葉片充份再利用，也能達到一定的發電成效，串連兩顆能夠讓電子錶啟動，三顆即能使LED型態的電子產品發光。

捌、未來展望

一、期望在未來能結合太陽能板並加強藍光吸收使電流效應提升，即太陽能加化學能產生電能。再者，在有害藍光下，是否能藉由綠色植物的葉綠素吸收藍光來保護眼睛？

二、葉綠素萃取前必須烘乾，且我們發現，烘乾的樹葉兩三週之後仍出現對不同色光反應的特性，未來可考慮由落葉萃取葉綠素的可行性，落葉多半由陽光自然烘乾，且具有類似我們製作葉綠素電池的烘乾條件，值得嘗試。

三、植物種類繁多，在本次實驗的既有基礎上，未來可再測試不同的植物葉片，且小學階段能取得的資源與實驗技巧有限，期望未來技術再突破，使自製的葉綠素電池能更有效的使用在生活中。。

玖、參考資料

一、台灣師大物理系 物理教學示範實驗教室 http://www.phy.ntnu.edu.tw/moodle/index.php

二、維基百科：光合作用；取自：http://zh.wikipedia.org/wiki/光合作用

三、科學人 － 刊號111 ：「葉綠素電池沾水即發電」

四、黃皞心、練采玥；市立麗山高中「葉綠素電池之探討」

五、呂家揚、林承歆；市立麗山高中「葉綠素之電子躍遷與新電極探討」

六、維基百科，電流 http://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%9B%BB%E6%B5%81

七、維基百科，電導率 ttp://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%9B%BB%E5%B0%8E%E7%8E%87

八、維基百科，酸鹼值 ttp://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%85%B8%E9%B9%BC%E5%80%BC

九、李佩珈、李佩玉、林儀禎、鄭諭聰、陳怡雯、郭庭慈(民 98)來電漢堡－環保電池 DIY。全國科展 49 屆作品集，國小組，化學科。

十、陳愉方(民100)環保來「電」禮－綠色環保電池。全國科展51屆作品集，國小組，化學科。

【評語】080214

本展示說明如何利用 58%酒精從小葉欖仁葉中萃取葉綠素，以作為感光葉綠素電池。其基本架構為鋅氫電池，以鋅銅為電池電極，配以檸檬汁與鹽及葉綠素作為電解液。在光照下，電池輸出功率獲得提升，並錄得電池表現與色光關係，更發現桃色色光線能使輸出功率提高。工作條理分明，值得讚賞。為求工作更嚴謹，團隊應對沒有添加葉綠素鋅氫電池，在光照下進行比較測試，以證實葉綠素的角色。