

中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生物科

030312

自製比色計測量希爾反應

學校名稱：臺北市私立再興高級中學

作者： 國二 郭羽函 國二 王昱雯 國二 劉宸瑜	指導老師： 朱哲民
---	------------------

關鍵詞：希爾反應、比色計、光反應

摘要

不同顏色的光對於光反應的還原作用(希爾反應)產生不同的影響，本研究利用濾光片與光敏電阻自製比色計，可量化希爾反應的強弱。研究過程中，一開始採用市面上常見的玻璃紙，卻發現玻璃紙的波長範圍過大，或有顏色混和的現象，導致實驗結果不明確，而改用波長較為狹小的濾光片後，效果獲得改善，搭配光敏電阻及三用電表觀察電阻值的變化，即可將希爾反應量化。

本研究採用桂花(*Osmanthus fragrans*，英文暱稱"Sweet Olive")，又名「月桂」。因其在校園中較為常見，數量多、反應明確。

壹、研究動機

以往看到的大多數葉子都是綠色的，所以，從小就以為葉子最便於吸收的顏色應該是綠色。然而，上了國中後，才知道，綠色反而是葉子最無法吸收的色光，這是因為葉子反射出綠色的光，而吸收其他顏色的色光，看起來才會是綠色的(尤等，2003)。另外知道可以利用DCPIP 接受 H^+ 會還原無色的特性(姜等，2003)，來觀察葉綠素吸的光能分解水份放出 H^+ 的過程，DCPIP 從藍色還原成無色所需的電子和氫質子，來自水的光解作用，又叫做光水解：

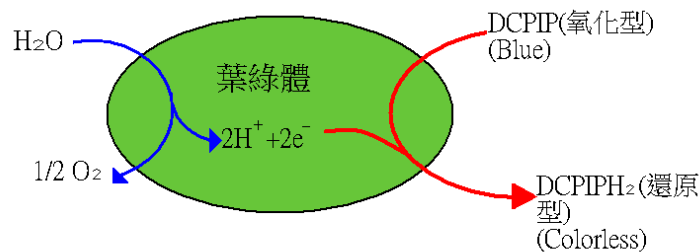
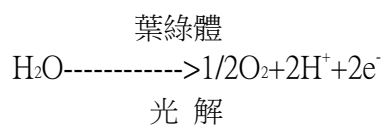


圖 1.光合作用示意圖

因此就可以利用這些特性來做一份研究，更加激發了好奇心，想知道不同色光對於葉綠體會有什麼樣的影響?便開始了這個實驗。

貳、研究目的

利用自製的比色計，探討不同顏色的光，對於葉綠體行光合作用的影響，並藉此測量希爾反應。

參、研究設備及器材

果汁機	1 台	濾光片(紅)	1 張
燒杯	3 個	濾光片(黃)	1 張
篩子	1 個	濾光片(綠)	1 張
離心管	42 支	濾光片(青)	1 張
量筒	2 個	濾光片(藍)	1 張
等臂天平	1 個	光敏電阻	1 個
離心機	1 台	蔗糖(0.5M)	342g
滴管	3 支	電路板	1 塊
DCPIP 液	1 瓶	葉子	100g
鐵架	6 個	LED 四角燈炮(白)	9 個
照度計	1 台	玻棒	1 支
三用電表	1 台		

肆、研究過程及方法

一、自製比色計

(一) 組裝比色計

1. 上下兩塊壓克力板，以四根壓克力圓柱當作滑軌。
2. 光源採用以電路板連結電流的 LED 四腳小燈泡 9 顆。
3. 光敏電阻固定於儀器下方。
4. 底座黏一個圓管，使放在光敏電阻上方的玻璃瓶可以固定。
5. 做幾個貼有不同顏色濾光片的圓管，圓管直徑要跟底部圓管一致，而且要超過玻璃管的高度。
6. 容器使用小型的玻璃瓶，利於拿取，瓶口與瓶底面積較為一致，便於使用光敏電阻測量觀察和數據。

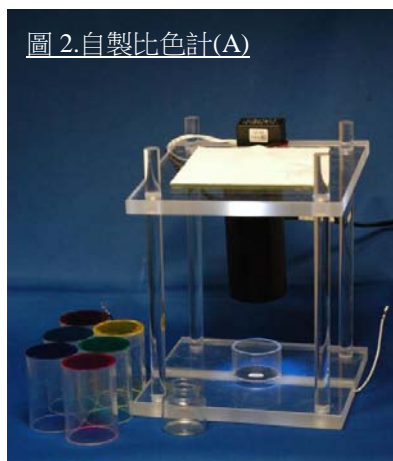


圖 2.自製比色計(A)

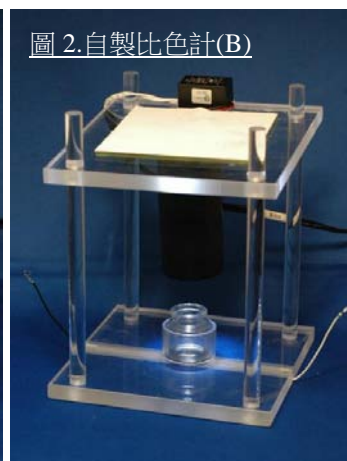


圖 2.自製比色計(B)

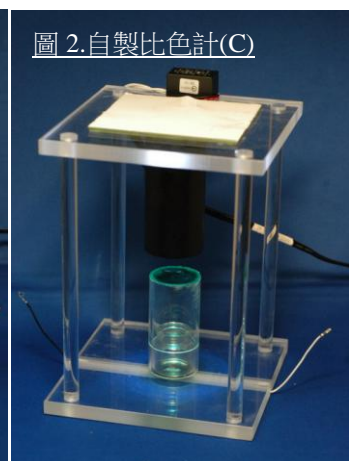


圖 2.自製比色計(C)

(二) 使用自製比色計測量顏色深淺變化

1. 將需要測量的葉綠體溶液裝入玻璃瓶內直至一公分處。
2. 將玻璃瓶置於光敏電阻的正上方。
3. 將上板移下，使黏於上板的壓克力圓管覆蓋住玻璃瓶。
4. 使用三用電表測量光的透光率(電阻值越小，表示透光率越大)。

(三) 檢驗自製比色計的效果

1. 取一個玻璃瓶裝入一公分的葉綠體溶液。
2. 把不同顏色的濾光片放在盒子的上面。
3. 將上面有 LED 燈的麵包板在不同高度蓋上，使照度相同。
4. 使用自製比色計儀器和三用電表，測量光的透光率和吸光率(電阻值越小，表示透光率越大，吸光率越低)。
5. 將裡頭裝一公分葉綠體溶液的玻璃瓶用光敏電阻和三用電表測量光的透光率記錄。
6. 用此比較各管上清液顏色的差別。

二、光反應的還原作用（希爾反應）

(一) 葉綠體溶液的製作方法

1. 將修去葉柄跟樹枝的桂花葉子 50g 切碎，倒入果汁機中，加入 200mL、0.5M 的蔗糖溶液，然後以低速攪拌成泥狀，攪拌時間一次不能超過十秒鐘。
2. 用篩子將葉汁過濾到燒杯中，去除較大的纖維和雜質。
3. 取離心管，每兩支成對測量使之等重，放入離心機時要相互對稱，並以每分鐘 1000 轉之速度離心 3 分鐘，排除大型碎片。
4. 離心後倒除沉澱物，留下上清液。
5. 將留下的上清液，取離心管，每兩支成對測量使之等重，放入離心機時要相互對稱，並放入離心機以每分鐘 3500 轉之速度 5 分鐘，集中分離葉綠體。
6. 離心後倒除上清液，留下沉澱的葉綠體。
7. 加入 7mL 的蔗糖溶液於沉澱物中，並以玻棒輕攪，直到沉澱物都均勻懸浮於溶液中為止，即為葉綠體溶液。
8. 稀釋葉綠體溶液至 100 mL。
9. 放入鐵架置旁邊備用。

(二) 光反應的還原作用

1. 將試管架包上鋁箔紙，阻擋周圍可能照射進入的光線。
2. 將各種顏色的濾光片放在試管架的前面。
3. 中間擺上白熾燈泡，調整試管架放置的位置與燈泡的距離，使濾光片後方，離心管之前的照度相同。
4. 取兩個離心管，一個裝入葉綠體溶液 4mL，另一個裝入蔗糖溶液 4mL，當成對照組，兩管皆加入 3 滴 DCPIP。
5. 放入鐵架，照光半小時。
6. 將照光後的葉綠體溶液和蔗糖溶液離心 3500 轉 5 分鐘，分離葉綠體。
7. 將離心後的上清液倒入玻璃瓶，使玻璃瓶內有 1cm 高的上清液，然後將玻璃

瓶放入自製比色計中，測量電阻值。

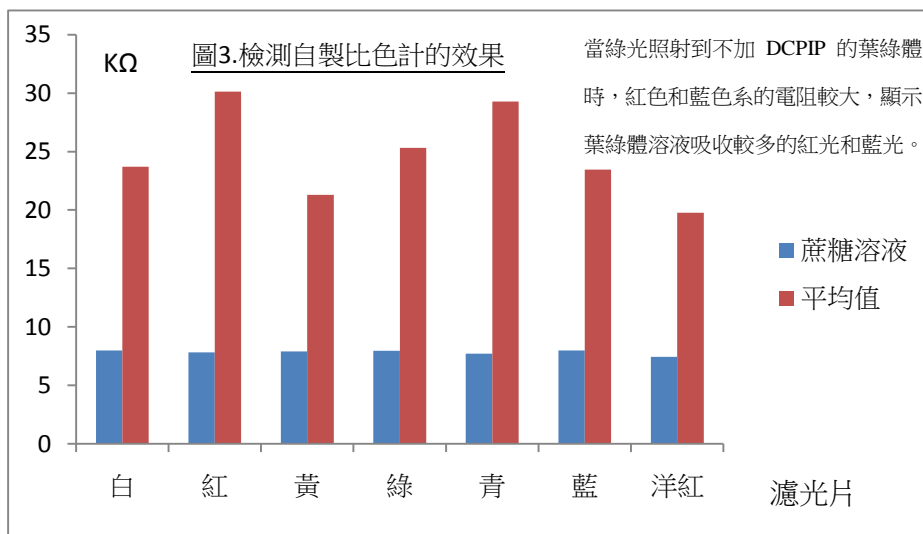
8. 記錄並比較對照組與實驗組的電阻值差異。

伍、研究結果

一、自製比色計的測試：如圖 5 所示

(一) 自製比色計可以清楚的辨識出屬於對照組的蔗糖溶液，與實驗組的葉綠體溶液

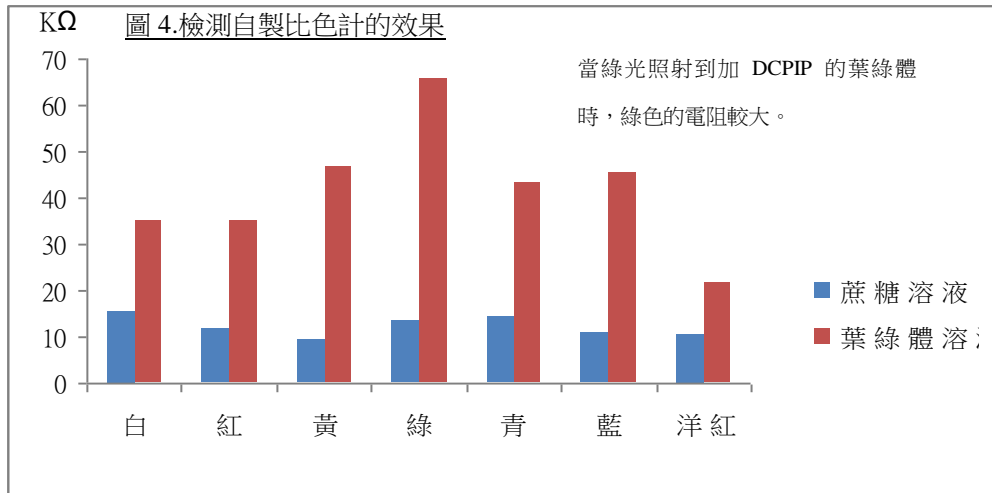
1. 對照組方面，七次測試都可以得到 7~8KΩ 的電阻，顯示器材相當穩定。
2. 實驗組方面，可以得到葉綠體溶液對於紅光、青光的吸光較多，電阻值幾近 30KΩ，洋紅光的穿透力最好，電阻值不及 20KΩ。
3. 青色濾光片的電阻值較高，因為穿透率低，而且根據(圖七)各濾光片的波長發現青色其中還包含了藍色。黃色濾光片的電阻值較低，因為穿透率高，根據(圖七)各濾光片的波長發現其中來包含了綠色。



二、光反應的還原作用（希爾反應）的測量：

(一) 檢測 DCPIP 退色反應的強弱

1. 以綠光處理樣品後，將其離心，使葉綠體集中於底部，剩下 DCPIP 和上清液，DCPIP 維持藍色的結果，以全彩光線照射的穿透度不佳，電阻值偏高，超過 65KΩ。
2. 洋紅色濾光片所濾出的光，讓希爾反應強烈，DCPIP 退色的效果明顯，離心後幾乎不見藍色，以全彩光線照射穿透度高，電阻值較低，僅略大於 20Ω。



陸、討論

一、光線的標準化

(一) 玻璃紙與濾光片的比較

1. 玻璃紙的單狹縫實驗

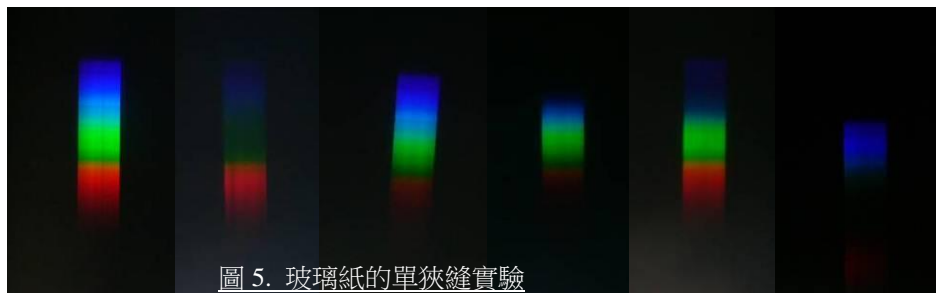


圖 5. 玻璃紙的單狹縫實驗

白 紅 藍 綠 黃 紫

2. 濾光片的單狹縫實驗

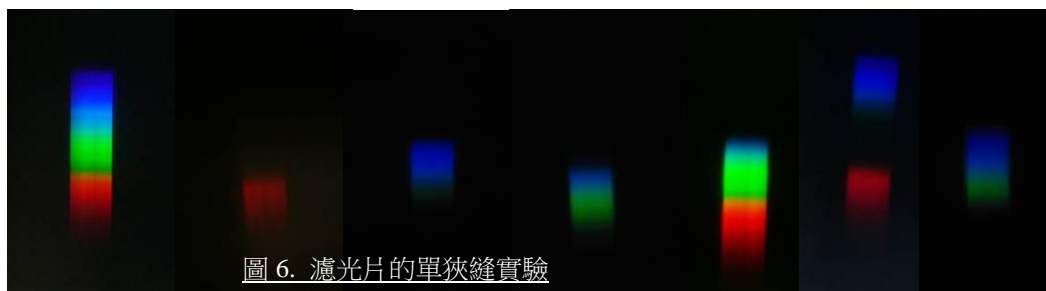
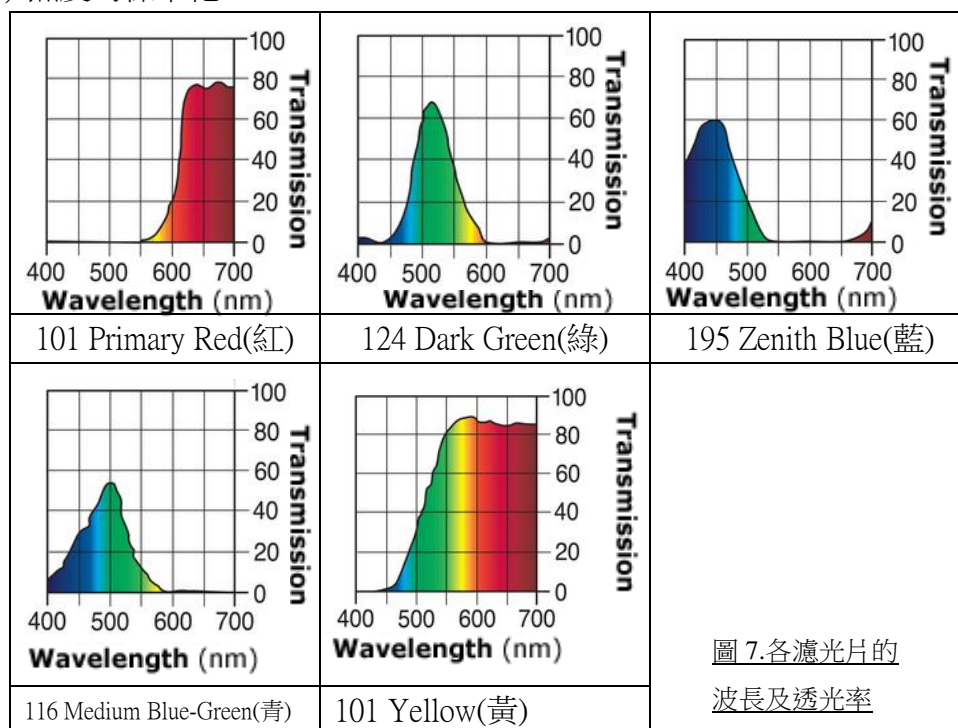


圖 6. 濾光片的單狹縫實驗

白 紅 藍 綠 黃 洋紅 青

- 由圖 5、6 可發現玻璃紙波長範圍較濾光片的範圍廣，例如：比較紅色的玻璃紙與濾光片可發現玻璃紙中，包含了綠色和藍色的範圍；比較藍色的玻璃紙與濾光片可發現玻璃紙尚包含紅色和綠色的範圍，所以選擇使用濾光片。

(二) 照度的標準化



1. 第一次實驗並沒有固定光線的強度，直接把燈光開到最大，但是因為其照度不相同，使得研究結果。但後來希望每一種光的照度都相同，而規定了標準：750~850LUX。
2. 使用濾光片的實驗中發現某些結果與預期不符，參閱圖 7 後發現不同的濾光片有不同的穿透率(transmission)，因此重新測量，使每一張濾光片後的樣品獲得相同的照度。

二、光強度的標準化

(一) 光強度不同，將導致結果出現誤差，因此有必要將光強度標準化

1. 為了統一各個光線的照度與強度，決定以與光源的距離來統一對於葉綠體溶液的照度。
2. 照度統一為 40LUX，並分別標於鐵架上。

紅	洋紅	藍	綠	青	黃	白
6.5cm	17.3cm	18.8cm	24.2cm	27.0cm	32.7cm	57.3cm

三、玻璃紙與濾光片的實驗結果比較

(一) 玻璃紙的效果不彰，實驗結果深淺差異過大



圖 8.照度 3800

圖 9.照度 800

圖 10.照度 2930



圖 11.照度 1500

圖 12.照度 1150

圖 13.照度 580

	紅色	黃色	藍色	綠色	紫色	白色
有退色的離心管數量	6	3	3	1	3	2
沒退色的離心管數量	0	3	3	5	3	4

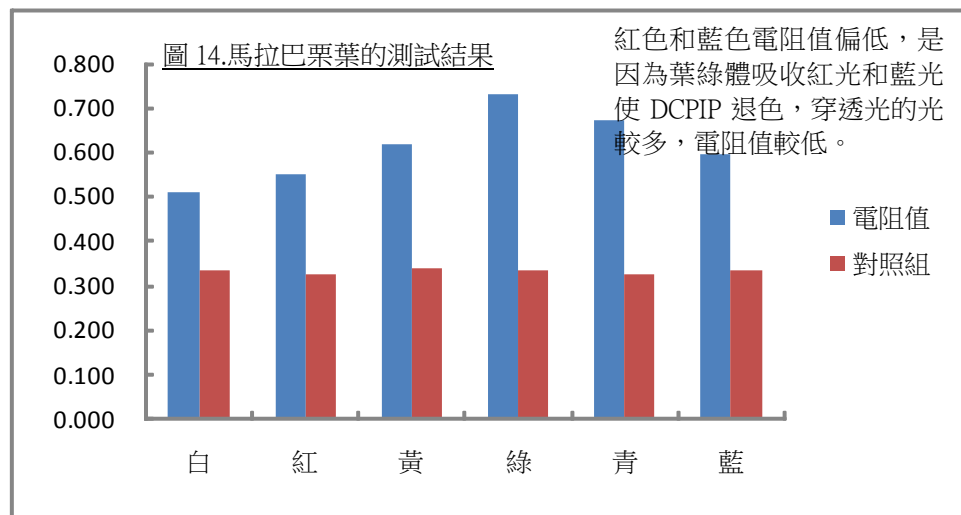
1. 由於玻璃紙波長範圍過大，而且有混色現象，所以同樣色光做出來的實驗結果褪色情形深淺不一。例如:黃色、藍色和紫色褪色的試管只有一半，而白光沒有褪色的只有兩支試管。
2. 綠色玻璃紙應該不會讓 DCPIP 褪色，但是卻發現只有一支沒有褪色，檢視單狹縫實驗後發現，綠色玻璃紙其實尚含有一些屬於藍色、以及紅色的光線，如此將導致希爾反應可以進行。

(二) 濾光片的實驗結果，對照組與實驗組有明顯差異(如圖 4)

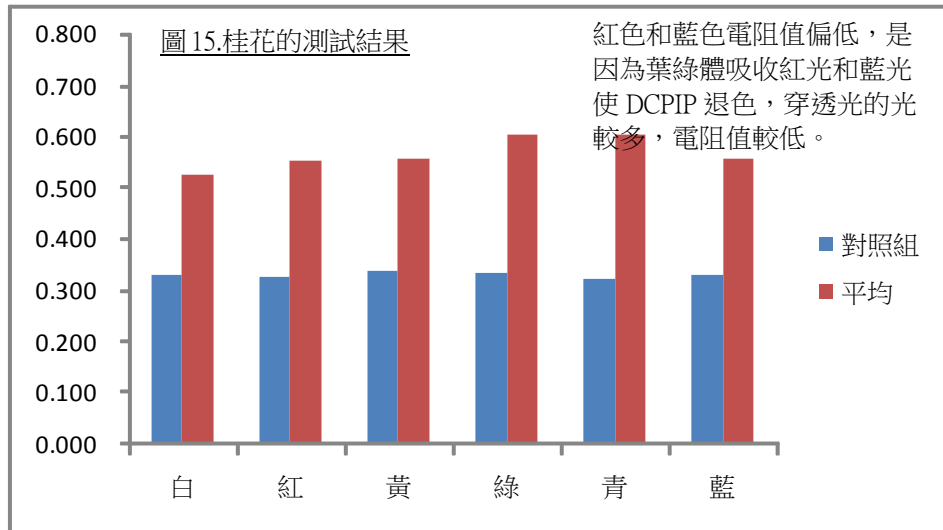
四、實驗材料的選擇

(一) 選用桂花的原因

1. 因為學校有許多桂花樹，實驗時就地取材較為方便、來源穩定。



2. 此外，另採用了馬拉巴栗葉做為比較對象，上圖為馬拉巴栗葉的測試結果。



3. 對照組方面，六次測試都可以得到 0.3~0.4KΩ 的電阻，顯示器材相當穩定。
4. 紅色和藍色電阻值偏低，是因為葉綠體吸收紅光和藍光使 DCPIP 退色，穿透光的光較多，電阻值較低。
5. 相較之下，桂花的葉綠體吸收藍光後的 DCPIP 退色效果明顯。

(二) 選用蔗糖溶液

1. 因為蔗糖溶液和植物體內的滲透壓達成平衡，維持與正常生理濃度，有利於推測正常的反應模式。
2. 蔗糖溶液的透光度很高，也可以當成對照組的材料。

(三) 選用玻璃瓶

1. 便於攜帶、利於觀察。
2. 瓶口瓶底面積大小一致，比較好照光。

(四) 選用 LED 燈，以及傳統的燈泡

比較表	傳統燈泡	LED 燈泡
體積	體積大	體積小
反應速率	反應慢	反應快
壽命長短	壽命短	壽命長
衰減程度	易衰減	不易衰減
外表堅固程度	外表不夠堅固	外表堅固
震動	不耐震動	耐震動
全彩發光	無法全彩發光(含不可見光)	可全彩發光(含不可見光)
電壓高低	高電壓	低電壓
電流高低	高電流	低電流
環保程度	不環保	環保
效率高低	高效率	低效率
光通量	光通量	光通量小(亮度)
光效高低	光效高	光效不夠高

(五) 選用光敏電阻

1. 光敏電阻是一種特殊的電阻，採用半導體材料製作，利用內光電效應工作的光電元件。
2. 它在光線的作用下其阻值往往變小，這種現象稱為光導電效應，因此，光敏電阻又稱光導管。
3. 它的電阻和光線的強弱有直接關係。當有光線照射時，電阻內原本處於穩定狀態的電子受到激發，成為自由電子。
4. 所以光線越強，產生的自由電子也就越多，電阻就會越小。光強度增加，則電阻減小；光強度減小，則電阻增大。
5. 也就是說，這樣可以用光敏電阻來觀察光合作用吸收的光線多寡，來得知葉綠體最能夠接受的色光。

五、實驗方法的設定

(一) 離心機轉速的選擇

1. 根據參考資料上的實驗步驟(林，2005)，書上註明要製備葉綠體溶液，離心機的轉速要設定在 3000rpm，但經由我們做的實驗發現葉綠體溶液的濃度過高，因為以 3000rpm 離心五分鐘，管壁沉澱物容易落下，容易殘留雜質，不易剔除，也不易讓光線透過，透光率較低，希爾反應也因此較不強烈。
2. 以 1000rpm 離心三分鐘、再以 3500rpm 離心五分鐘的效果會比較好，因為濃度適當，光線得以透過，讓光敏電阻測得數據。

(二) 為什麼打碎葉子時，要用 200g 的蔗糖溶液?

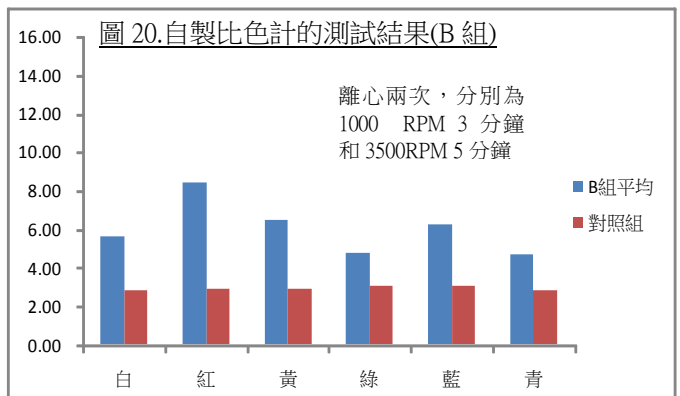
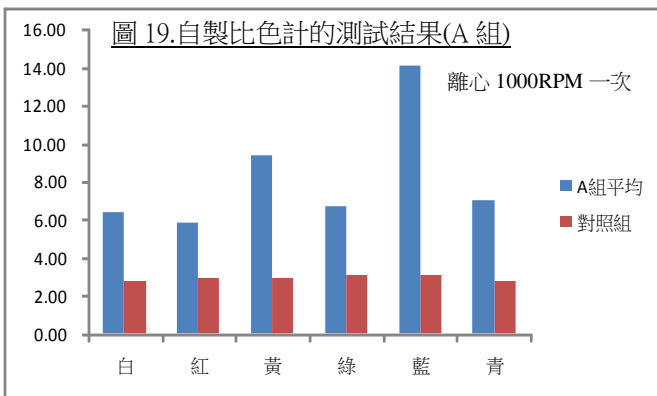
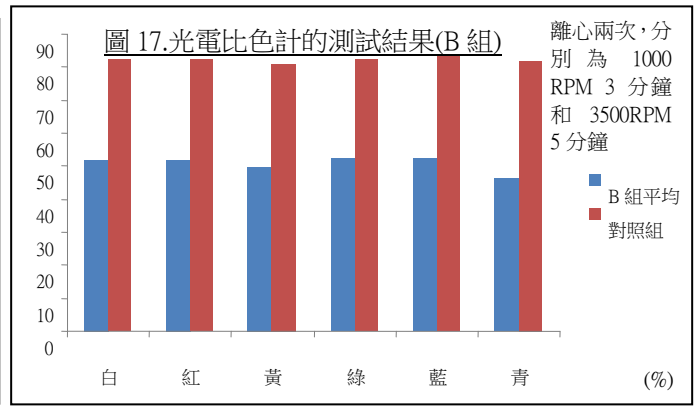
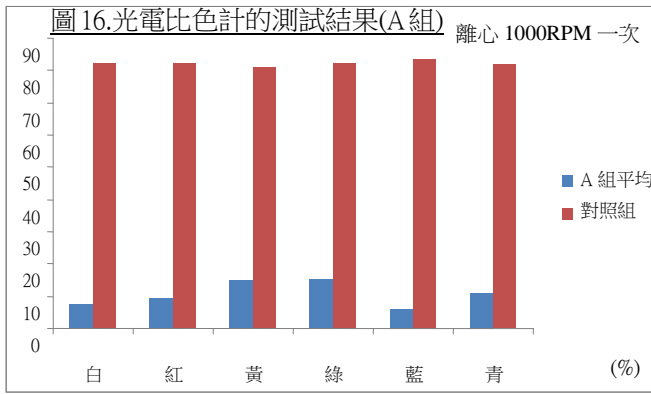
一開始先用 100g 的蔗糖水溶液，可使果汁機無法成功的打碎桂花葉子，然後再用 150g 試，然而效果還是不甚理想，加到 200g 時，才可以把葉子打成泥狀，過濾後更可以剛巧裝入十二支離心管，一次完成離心。

六、真正的光電比色計與自製比色計的比較

(一) 光電比色計，廠牌 SP830 plus 可見光分光光度計，Visible Spectrophotometer，波長範圍 320~999nm、光譜代寬 5nm、價格 3 萬多。

(二) 下圖為光電比色計測量後所得的數據，分為 A 組(轉 1000RPM 3 分鐘沉澱物溶液)與 B 組(1000 RPM 3 分鐘和 3500 RPM 5 分鐘沉澱物溶液，即為葉綠體溶液)

1. 各種顏色的數值都十分接近，不論何種處理皆不容易比較其中的差別。
2. 對照組誤差不高，無甚差別。



(三) 上圖為自製比色計做出的數據，使用同一批葉綠體溶液

1. 各種顏色數值看得出相互之間的變化，較為容易觀察比較。
2. 對照組的誤差極小，說明儀器的穩定性。

七、加綠色濾光片及藍色濾光片於自製比色計中的觀察與比較

- (一) 綠色濾光片：因為葉綠體不吸收綠光，DCPIP 會吸收綠光，把葉綠體再次離心出來以後，剩餘的上清液中，假如 DCPIP 已經褪色完畢，綠光則不會被吸收，會直接穿透，被光敏電阻測得，電阻值降低。如果 DCPIP 尚未褪色完畢，則綠光會被 DCPIP 所吸收，使電阻值偏高。
- (二) 藍色濾光片：因為 DCPIP 也是藍色，無論有無褪色，藍光都會直接穿透。

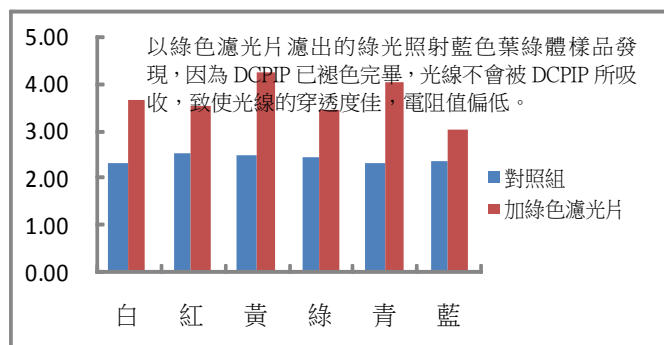
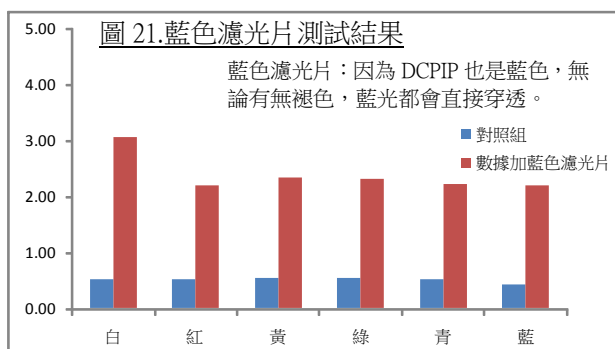


圖 22.綠色濾光片測試結果

八、自製比色計的改良過程

(一) 第一代的設計樣式十分簡單

1. 只是在試管鐵架前搭上一張玻璃紙，面向著傳統燈泡而已。
2. 過程中，玻璃紙常常因為沒有固定而意外滑落。
3. 附近的其他光源也有可能從鐵架的左、右、後方進行干擾。
4. 以上的缺點，使得實驗結果不穩定而且準確度低。雖然後來以錫箔紙覆於鐵架四周，但是還是有多漏洞與缺點，因此開始進行第一次改良。



圖 23.第一代的儀器

(二) 第二代的儀器模樣看起來要複雜得多

1. 將厚紙板尾部裁出分岔分別插入試管鐵架的格子內。
2. 在分岔的紙板尾部上挖若干個小圓洞，放上光敏電阻固定，並以並連的方式相互連接，以便於用三用電表測量電阻值。
3. 長時間使用這組儀器之後，發現其他光還是能夠透過頂部縫隙介入實驗材料之中，影響實驗的結果，而且使用圓形的傳統燈泡導致光線的角度及距離沒有辦法平均的散於整排的試管，所以開始進行第二次改良。



圖 24.第二代的儀器(A)



圖 24.第二代的儀器(B)

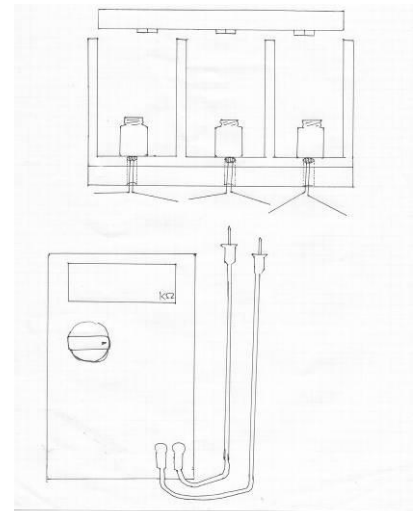
(三) 第三代的改良成品看起來堅固，是用巴爾沙木（飛機木）拼裝製成(圖 18)

1. 外面覆上一層黑色的紙，以避免其他光線干擾。
2. 光源改採用以麵包板連結電流的 LED 的四腳小燈泡，平面的設計可以讓光線的距離、角度更一致。
3. 光敏電阻用較厚的巴爾沙木挖洞固定於儀器下方，更顯穩固。
4. 容器使用小型的玻璃瓶，利於拿取，不易打破也無須使用架子固定，瓶口與瓶底面積較為一致，便於使用光敏電阻測量觀察和數據。

圖 25.第三代的儀器



圖 26.第三代的儀器設計圖



(四) 第四代的改良成品也是用巴爾沙木（飛機木）拼裝而成

1. 外面貼上黑色的膠帶，以避免其他光線干擾。
2. 木板的間隔改成一格，光敏電阻的公差問題得以獲得改善。
3. 過程中常會因為玻璃瓶未固定而影響實驗結果。



圖 27.第四代的儀器示意圖

(五)第五代的儀器是用壓克力材料製成

1. 底板黏一個圓管，固定玻璃瓶。
2. 改用電路板搭配九個 LED 燈製作成光源，並固定於自製比色計上。
3. 上下兩塊壓克力板，以四根壓克力圓柱當作滑軌。
4. 底座有凹槽，可以置入光敏電阻。
5. 圓管內可置入另一圓筒，上附有剪裁後黏貼的濾光片。

圖 28.第五代的儀器

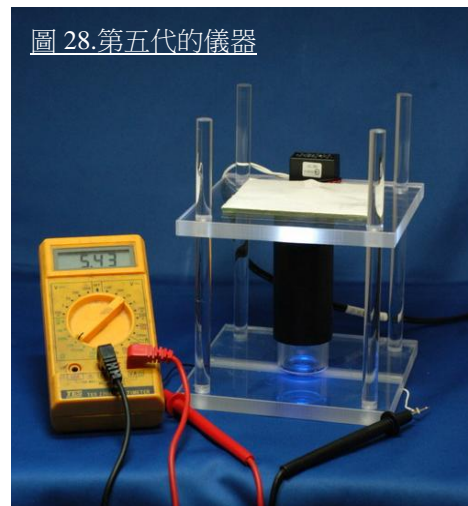


圖 29.第五代的儀器設計圖(立體圖)

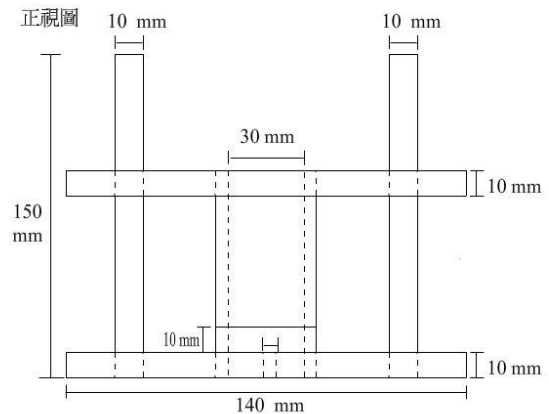
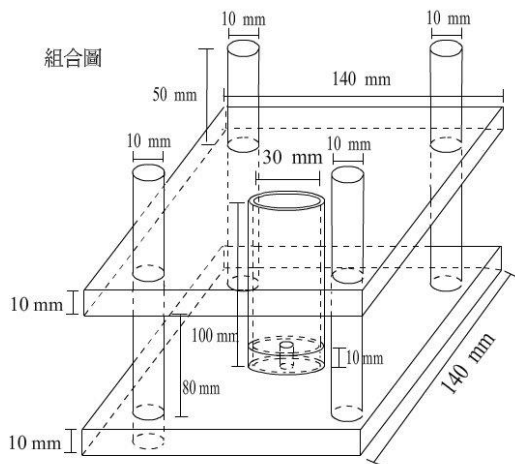


圖 30.第五代的儀器設計圖(正視圖)

九、影響希爾反應的因素

- (一) 光反應又稱為光系統電子傳遞反應(photosynthetic electron-transfer reaction)。在反應過程中,來自於太陽的光能使綠色生物的葉綠素產生高能電子從而將光能轉變成電能。光反應的最後一步是高能電子被 NADP^+ 接受,使其被還原成 NADPH 。概括地說光反應是通過葉綠素等光合色素分子吸收光能,並將光能轉化為化學能,形成 ATP 和 NADPH 的過程。
- (二) 光合作用第一階段為需光的光反應,發生於葉綠體之類囊體中,包括能將水氧化產生氧氣及氫離子的水光解作用(water photolysis)與光磷酸化作用(photophosphorylation)。其中水光解作用又稱為希爾反應(Hill reaction),是在 Photosystem II (PSII) 進行。利用簡易之萃取及離心方法可分離完整具活性的葉綠體,用以檢視希爾 (Robert Hill) 在 1937 年所進行的水氧化作用。
- (三) 將分離得到的葉綠體置於光照下,加入 DCPIP,其可進行光合作用將水分解產生氧氣及氫離子,並可因氧化還原反應產生顏色的變化,如深藍色的氧化態 2,6-DCIP 可被還原成為無色的還原態 DCIPH_2 ; $[\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 則可還原形成 $[\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6]$,再與 Fe_3^+ 作用形成 $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ (亞鐵氰化鐵或普魯士藍; Prussian blue),可於波長 700 nm 下測定其吸光值,以檢測普魯士藍之生成量。
- (四) 藉由這個原理,便可以使用 DCPIP 測量出植物有無在進行光反應。
- (五) 將離心後所得到的葉綠體置於光照下,加入 DCPIP,其可進行光合作用將水分解產生氧氣及氫離子,並可因氧化還原反應產生顏色的變化還原成無色。
- (六) 但是綠色的葉綠體溶液,會反射綠光,表示它不吸收綠光,不會被其影響而進行光合作用,也就不會將加入的藍色 DCPIP 還原成為無色,所以電阻值較大。

柒、結論

葉綠體溶液偏好吸收紅光和藍光,本次測試自製比色計的實驗,利用未加 DCPIP 的葉綠體溶液,發現葉綠體溶液會吸收較多的紅光,導致比色計的電阻值偏高,綠光的電阻值較紅光低,顯示有較多的綠光穿透葉綠體溶液,不被吸收。

不同的色光會導致光反應的還原作用(希爾反應)產生不同的結果,自製的比色計可以測量希爾反應的強度。本研究利用加入 DCPIP 的葉綠體溶液得到的實驗結果是:紅色和藍色的色光會使電阻值降低,顯示葉綠體溶液會吸收較多的藍光及紅光,所以電阻值較小。

捌、未來展望

這個實驗在將來,可以當作在實驗室內的簡易比色計,便不需要在外面購買昂貴的光源比色計,而且也比較方便操作。未來更能夠結合樂高,做出更精準的儀器,也不需使用人工手動操作,期望將來上述展望都能實現。

玖、參考資料

1. LeeFilters <http://www.leefilters.com/>
2. 姜孟希、林良品、徐凡晰,西元 2003 年 11 月,點明高中實驗鎖鑰全,大學城文化事業有限公司
3. 唐軒、廖驩,國中自然與生活科技學習講義第三冊,康軒文教事業
4. 鄭湧涇、林金盾,西元 2007 年 6 月 4 日,基礎生物(全),康熹文化事業股份有限公司
5. 溫永福、鄭湧涇、郭麗香、周雪美,西元 1996 年八月版,生物學實驗,藝軒圖書文出版社
6. 林元露,西元 2005 年 6 月 30 日,活用高三生物精通(上),華達文教科技股份有限公司
7. 王月雲、陳是瑩、童武夫,西元 1987 年九月修訂版,藝軒圖書文出版社
8. 邱臺生、周昌弘、陳章波、陳淑華、陳瑞芳,西元 1999 年一月,國民中學生物下冊國立編譯館
9. 陳思煥,西元 2003 年,麻辣試題(國中生物基本學力測驗),康軒文教事業出版
10. 方培松、江青釗、張文垣、張秀如、黃泰日、周岱學,麻辣試題(國中理化基本學力測驗),康軒文教事業出版
11. 祁明輝、吳美玲、林智英、陳偉民,西元 1998 年 8 月,國民中學理化教科書第一冊,國立編譯館
12. 陳霽宇、陳霽心、陳明、鄭臻觀、吳逸如,國中自然與生活科技 學習講義(1 上),康軒文教事業股份有限公司
13. 童禕珊、楊尚達、廖驩,國中自然與生活科技 學習講義(第 2 冊),康軒文教事業股份有限公司
14. 鄭湧涇、林金盾,基礎生物(全)教師手冊,康熹文化事業股份有限公司
15. 尤丁玫、何建樂、何鎮揚、吳家鶴、林清吉、祁明輝、邱明成、施順忠、陳綉洙、童禕珊、童家莒、葉宗青、楊傑超、劉翠華、蔡美賢、賴麗琴、謝輝龍,西元 2003 年 9 月,國中自然與生活科技課本 第三冊 2 上,康軒文教事業股份有限公司
16. 尤丁玫、何建樂、何鎮揚、吳家鶴、林清吉、祁明輝、邱明成、施順忠、陳

綉洙、童禕珊、童家苜、葉宗青、楊傑超、劉翠華、蔡美賢、賴麗琴、謝輝龍，西元 2005 年 2 月，國中自然與生活科技課本 第二冊 1 下，康軒文教事業股份有限公司

17. 尤丁玫、何建樂、何鎮揚、吳家鶴、林清吉、祁明輝、邱明成、施順忠、陳綉洙、童禕珊、童家苜、葉宗青、楊傑超、劉翠華、蔡美賢、賴麗琴、謝輝龍，西元 2002 年 9 月，國中自然與生活科技課本 第一冊 1 上，康軒文教事業股份有限公司
18. 張正國，西元 2008 年 3 月，雙向溝通複習講義理化全，金安出版事業有限公司
19. 蔡金安，西元 2008 年 3 月，雙向溝通複習講義生物全，金安出版事業有限公司

【評語】 030312

自製比色計的想法與努力值得讚許，但對植物希爾反應等相關試驗結果較薄弱。因為報名生物科，故宜再加強植物之試驗。