

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

030201

色素大不銅—光合色素光譜分析與探討

學校名稱：臺南市立大成國民中學

作者： 國三 蔡明傑 國三 馬蓉蓉	指導老師： 蔡智恆
---------------------------------	------------------

關鍵詞：光譜儀、光度計、光合色素

摘要

此實驗利用自製的分光光度計與光譜儀探討 6 種不同校園植物光合色素差異，包含陰性植物的紫色酢醬草、紫背萬年青，陽性植物的金露花、日日櫻、變葉木，與家裡常見的可食用景天酸代謝植物蘆薈。

一、由光譜儀可知：

(一)紫色酢醬草與日日櫻均可吸收較多 570nm 左右的紅光。

(二)陽性植物吸收紅光的能力較強，光合色素濃度較高。

二、由光電比色計可知：陽性植物色素純光解快，陰性植物自然分解快。

三、由色層分析實驗可知：蘆薈僅有少量的色素；同為陰性植物的紫色酢醬草的葉黃素含量非常高，而紫背萬年青的葉黃素反而少；花青素不會隨著展開液移動

四、由銅葉綠素實驗可知：銅葉綠素在 460nm~500nm 處吸收較少的光，可做為銅葉綠素與光合色素的區分方式。

致謝

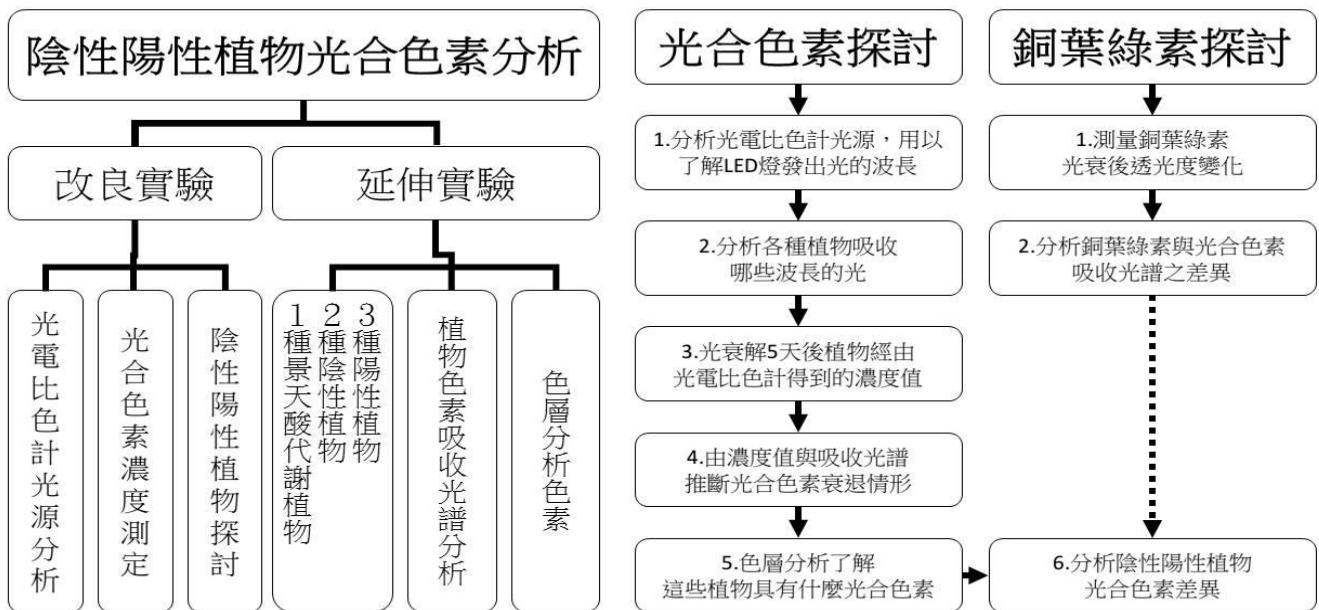
首先要感謝網路上那些作者們，可以研發出這麼簡易的工具與詳細的流程，讓我們依樣畫葫蘆逐漸摸索，更接近科學的真相。也要謝謝父母及老師時間上的配合及老師的指導，讓我們可以順利的做完整個實驗。也謝謝曾經協助我們的人，有各位的努力才有這份得來不易的結果。

壹、前言與動機

國一學習葉綠素的過程中，對於光合作用的概念非常有趣，又在校園內發現許多不同顏色的植物，這些植物都是有相同的葉綠素嗎？而在好奇的過程，突然發現一份有關葉綠素的作品，而且這份作品還提到近年最流行的銅葉綠素，沒想到引發食安問題的銅葉綠素也可以自行製作，進而對這方面萌生了想要一探究竟的念頭，因此展開一連串有關葉綠素的深入探討及研究。

我們除了選用了前年的優良作品做延續，加以修正及更改，並將其補充得更完整，但是也想要有所突破，所以我們上網搜尋有關這件作品的評語，加以補足科學上的問題，並延伸至他們發現的額外觀點，也就是有關陰性植物與陽性植物的光合色素差異，不再局限於某種葉綠素，也讓我們看見葉綠素許多不同的面貌和有趣的地方。

貳、實驗流程



參、目的

- (一) 將光電比色計儀器更細緻化，準確測出透光值與光譜分析。
- (二) 分析陰性植物與陽性植物的光合色素
 1. 運用光譜儀分析吸收那些波長的光
 2. 運用光電比色計分析光合色素照光分解情形
 3. 運用色層分析出含有那些光合色素
 4. 銅葉綠素的照光分解情形
 結合這些資料統整出陽性植物與陰性植物在光合色素上的異同
- (三) 分析銅葉綠素與吸收光譜差異

肆、研究設備及器材

設備及器材：

剪刀、燒杯、保鮮膜、小塑膠罐(加黑蓋)、濾紙、長條濾紙、漏斗、試管、試管架、100mL量筒、自製光電比色計(LED 紅燈*2、綠燈*2、白燈*2、藍燈*2、樂高積木、三用電表)、酒精、丙酮、石油醚、醋酸銅、鹽酸、電磁爐



實驗植物與環境

蘆薈

Aloe vera



獨尾草科蘆薈屬
景天酸代謝植物

紫色酢醬草

Oxalis triangularis



酢漿草科酢漿草屬
陰性植物

紫背萬年青

Rhoeo discolor



鴨跖草紫背草屬
陰性植物

金露花

Duranta erecta



馬鞭草科金露花屬
陽性植物

日日櫻

Jatropha pandurifolia



大戟科變葉木屬
陽性植物

變葉木

Codiaeum variegatum



大戟科瘋麻樹屬
陽性植物

冷萃葉綠素(以紫色酢醬草為例)



秤重



浸泡3天



取出

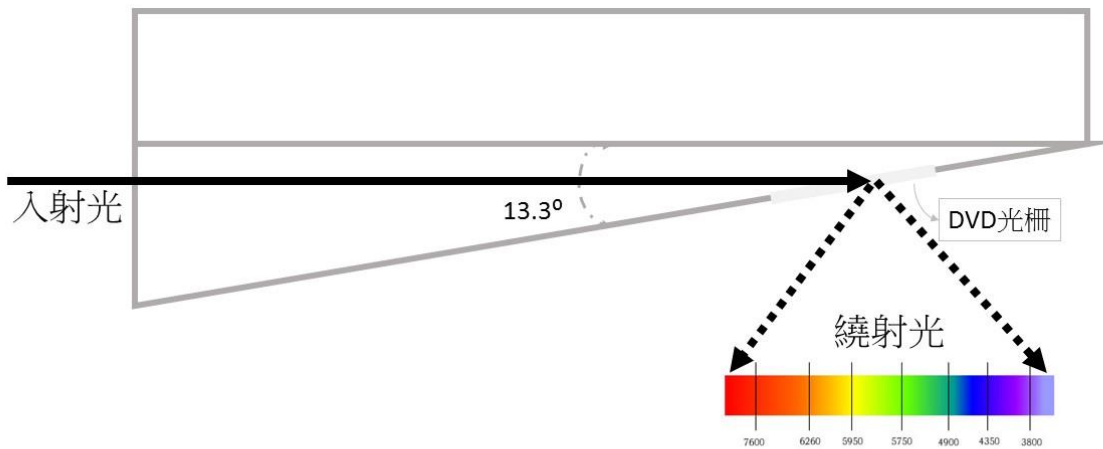


過濾

自製光譜儀結構與原理

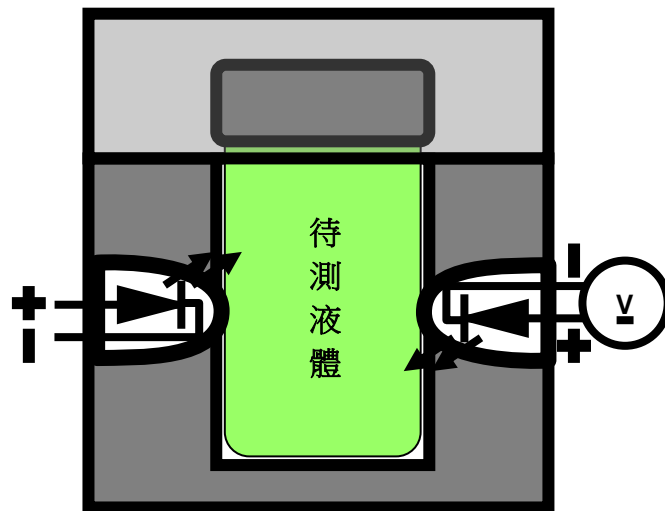
我們使用的是 DVD 折射光譜儀。光線從狹縫中進入後，照射在光碟上，因為光碟有許多光柵，所以光線在光碟上會產生與三菱鏡相似的效果，讓我們看見折射與繞射過後的光譜。製作模型時的角度非常的重要，入射光的角度需為 13.3 度或是 76.7 度，如果角度不正確會導致光譜不夠清晰。此外光碟片的裁切方式也非常重要，裁切線需要平行圓心，這樣才能產生直的光譜成像。

光譜儀設計原理



參考資料:阿簡生物筆記—自製光譜儀:http://a-chien.blogspot.tw/2014/04/blog-post_29.html

自製光電比色計結構與原理



當左側 LED 燈為光源發光時，右側的 LED 燈為接收端，由於光電效應產生一微弱電流，可由電子式三用電表測得電壓，當待測液體阻隔越多光線時，產生的電壓越小，由電壓變化可以得知顏色的變化，進而推得透光溶液濃度變化。

伍、研究過程與步驟

(一) 冷萃光合色素

- (1) 取蘆薈、醋漿草、紫背萬年青、金露花、日日櫻、變葉木各 5g。
- (2) 各別泡入 50 ml 酒精。
- (3) 放於不照光處靜置 3 天。
取出後過濾待用。

(二) 分析不同光合色素的光譜

- (1) 製作簡易光譜儀。
- (2) 將光譜儀對準日光燈，並將光合色素置放於前端。
- (3) 觀察光的變化，紀錄並分析。

(三) 測量不同植物光合色素、不同濃度的吸光度

將製備好的光合色素取出稀釋成一定濃度。

- (1) 將 100% 光合色素取 8ml，加入 2ml 的水，即為 80% 光合色素。
- (2) 將 100% 光合色素取 6ml，加入 4ml 的水，即為 60% 光合色素。
- (3) 將 80% 光合色素取 5ml，加入 5ml 的水，即為 40% 光合色素。
- (4) 將 40% 光合色素取 5ml，加入 5ml 的水，即為 20% 光合色素。

將以上不同濃度的測出在不同光照下的透光值。

(四) 探討不同色素的光解速度差異

- (1) 準備自製光電比色計，白光、紅光、綠光、藍光 4 種。
- (2) 將積木兩端放上同色的 LED 燈，測量不同光的透光值。
- (3) 測量前先以清水測定基準值。
- (4) 測完基準值後若沒有太大誤差即可開始測量
- (5) 分別測出不同光合色素 0~5 天內的吸光度變化。

(五) 探討不同植物的色層分析

混合液調配

- (1) 先準備丙酮、石油醚、量筒。
- (2) 取丙酮 1ml 石油醚 9ml 混合。
- (3) 置入 100ml 量筒中並用鋁箔封住。
- (4) 將長條濾紙以下圖方式剪下並於 3 公分處畫一橫線。
- (5) 將丙酮與葉片於研鉢中研磨，用濾紙過濾研磨液
- (6) 用毛細管吸取研磨液，點於長條濾紙 3cm 處，用吹風機烘乾，待第一點乾了以後再於同一位置點第二、三、四....十點以此類推，直至小點顏色明顯為止。
- (7) 點完後將尖端泡入混合液中，立即將鋁箔紙蓋上。
- (8) 30 分鐘後，將濾紙取出，並馬上標示其水面位置、葉綠素位置(綠色部份)、銅葉綠素位置(綠色部份)，以尺量其長度，計算其 Rf 值(Rf 值:其他顏色高度/展開液高度)。

(六) 製備銅葉綠素、脫鎂葉綠素、脫鎂銅葉綠素

於提煉出來的 6 種光合色素中，製備以下溶液

- A. 銅葉綠素：5mL 葉綠素+0.1g 醋酸銅，隔水加熱 5min
- B. 脫鎂銅葉綠素：5mL 葉綠素+0.1g 醋酸銅+3 滴鹽酸，隔水加熱 5min
- C. 脫鎂葉綠素：5mL 葉綠素+3 滴鹽酸

每瓶製做完須再過濾一次後裝入小瓶中，共 18 瓶。測量 0~5 天透光情形

不同濃度色素



80%
60%
40%
20%



蘆薈 紫色 紫背 金露 日日 變葉
酢醬草 萬年青 花 櫻 木

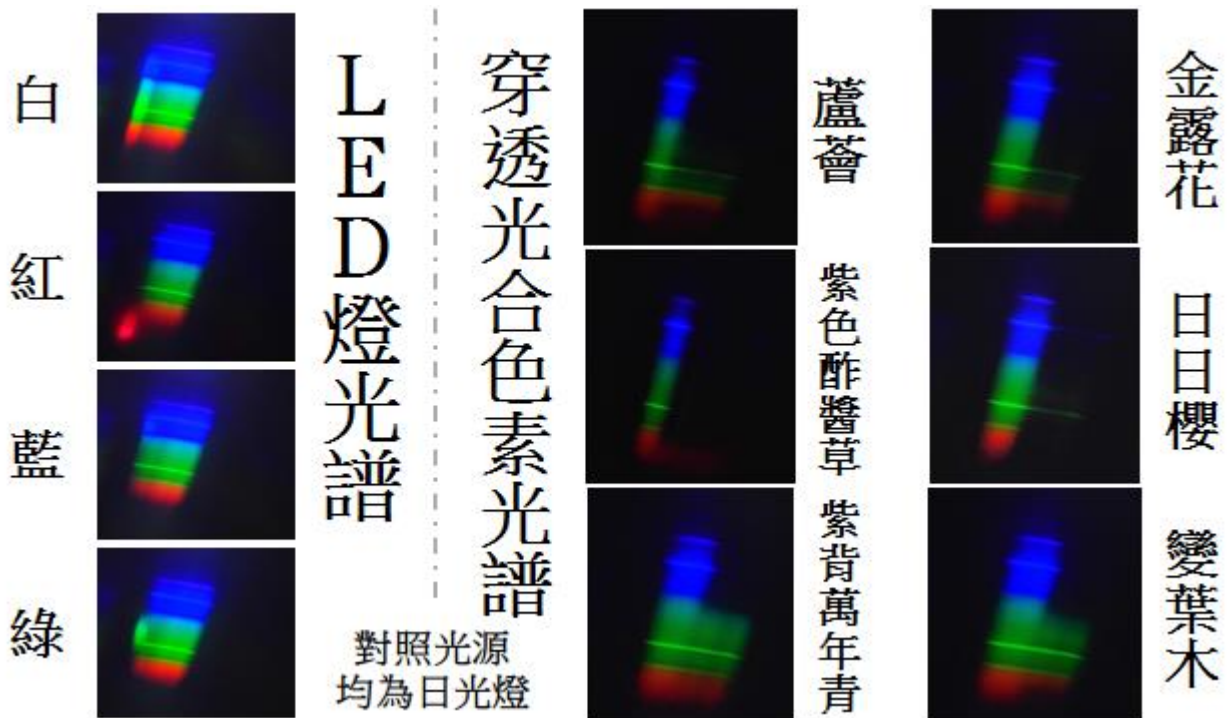
各種色素製備 脫鎂葉綠素、脫鎂銅葉綠素、銅葉綠素

脫鎂葉綠素 脫鎂銅葉綠素 銅葉綠素 脫鎂葉綠素 脫鎂銅葉綠素 銅葉綠素 脫鎂葉綠素 脫鎂銅葉綠素 銅葉綠素 脫鎂葉綠素 脫鎂銅葉綠素 銅葉綠素 脫鎂葉綠素 脫鎂銅葉綠素 銅葉綠素 脫鎂葉綠素 脫鎂銅葉綠素 銅葉綠素



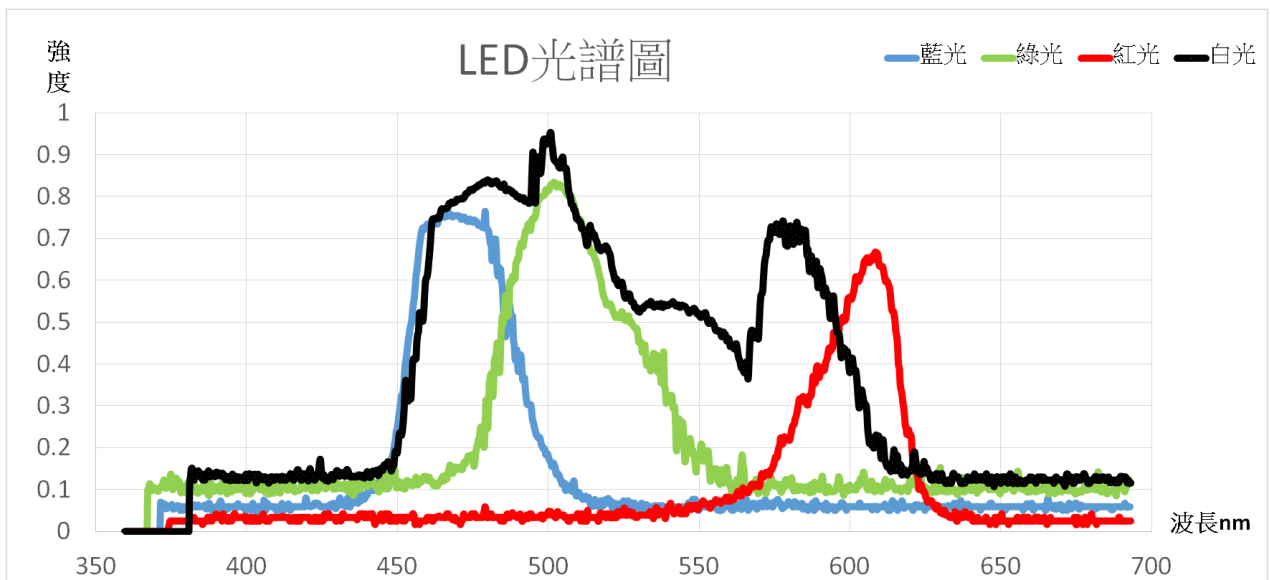
蘆薈 紫色 紫背 金露 日日 變葉
酢醬草 萬年青 花 櫻 木

陸、結果與討論

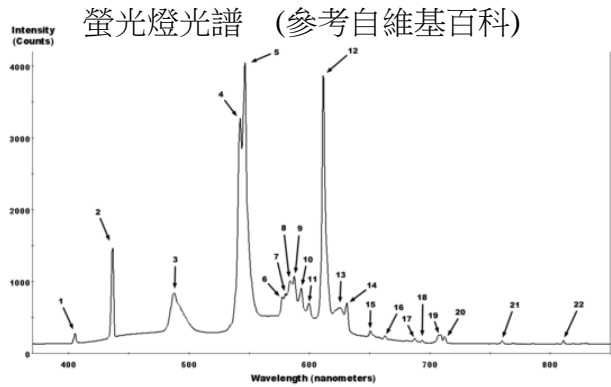
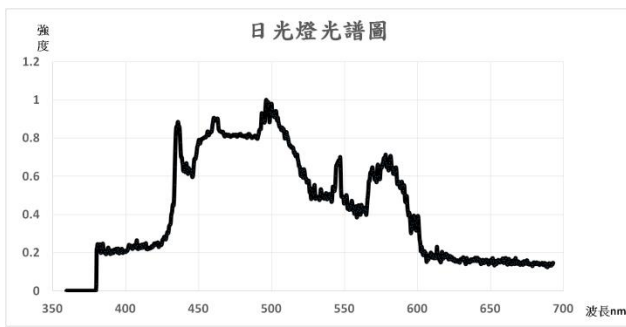


實驗一：光電比色計光譜分析

由照片可發現LED燈光源與日光燈光源的光譜不同，而這些光譜的差異我們可以藉由imageJ進行處理(詳見附錄二)，可得LED燈光譜圖。



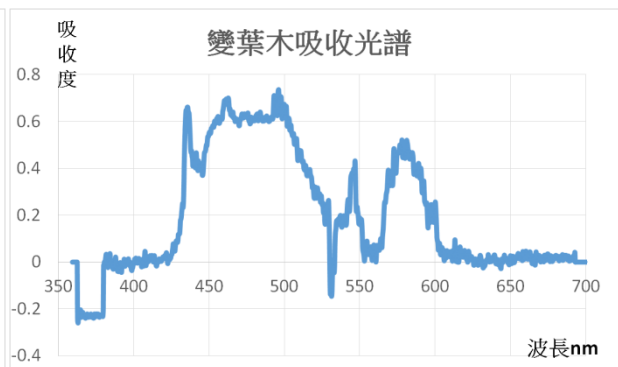
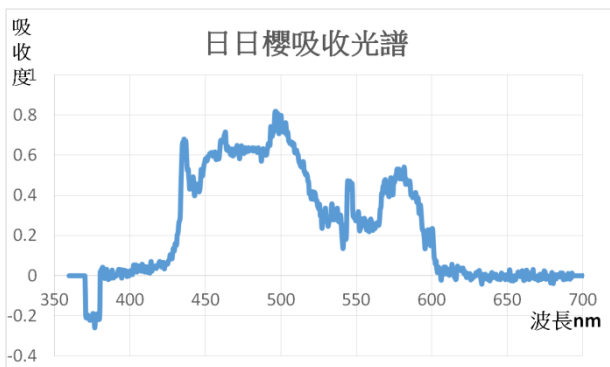
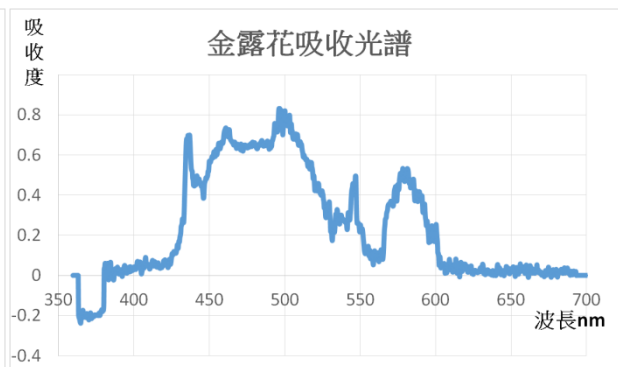
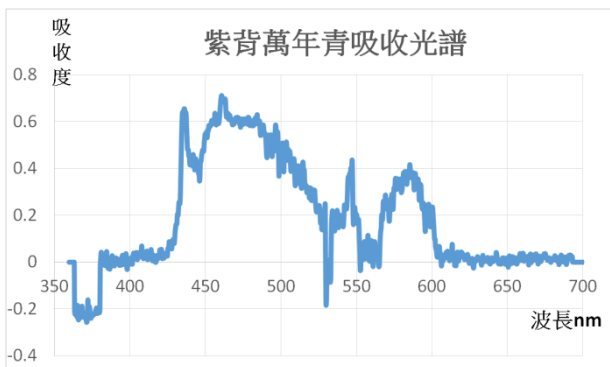
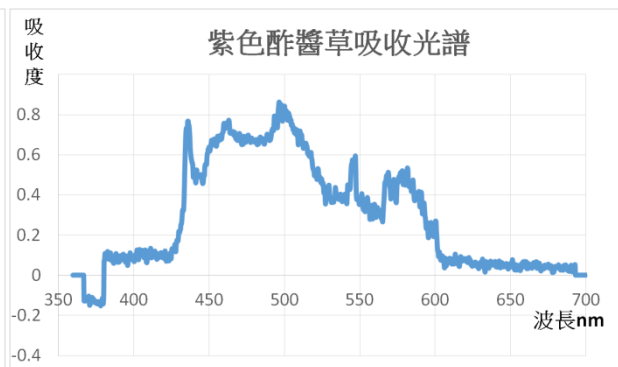
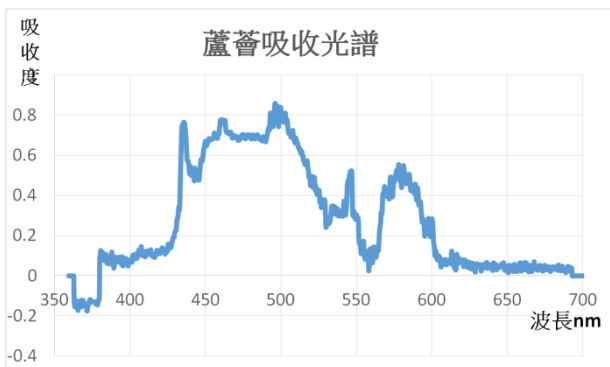
由此實驗可知白光LED主要由460~490nm的藍光+490~530nm的青光+530~560的綠光+560~600nm的紅光組成，與三個單色LED燈的合成光譜類似。而紅光LED的波長比理論值少，且肉眼觀察下也並非600nm的橘色光，所以在波長較長的紅光部分可能誤差較大，其餘波長值均符合理論值。



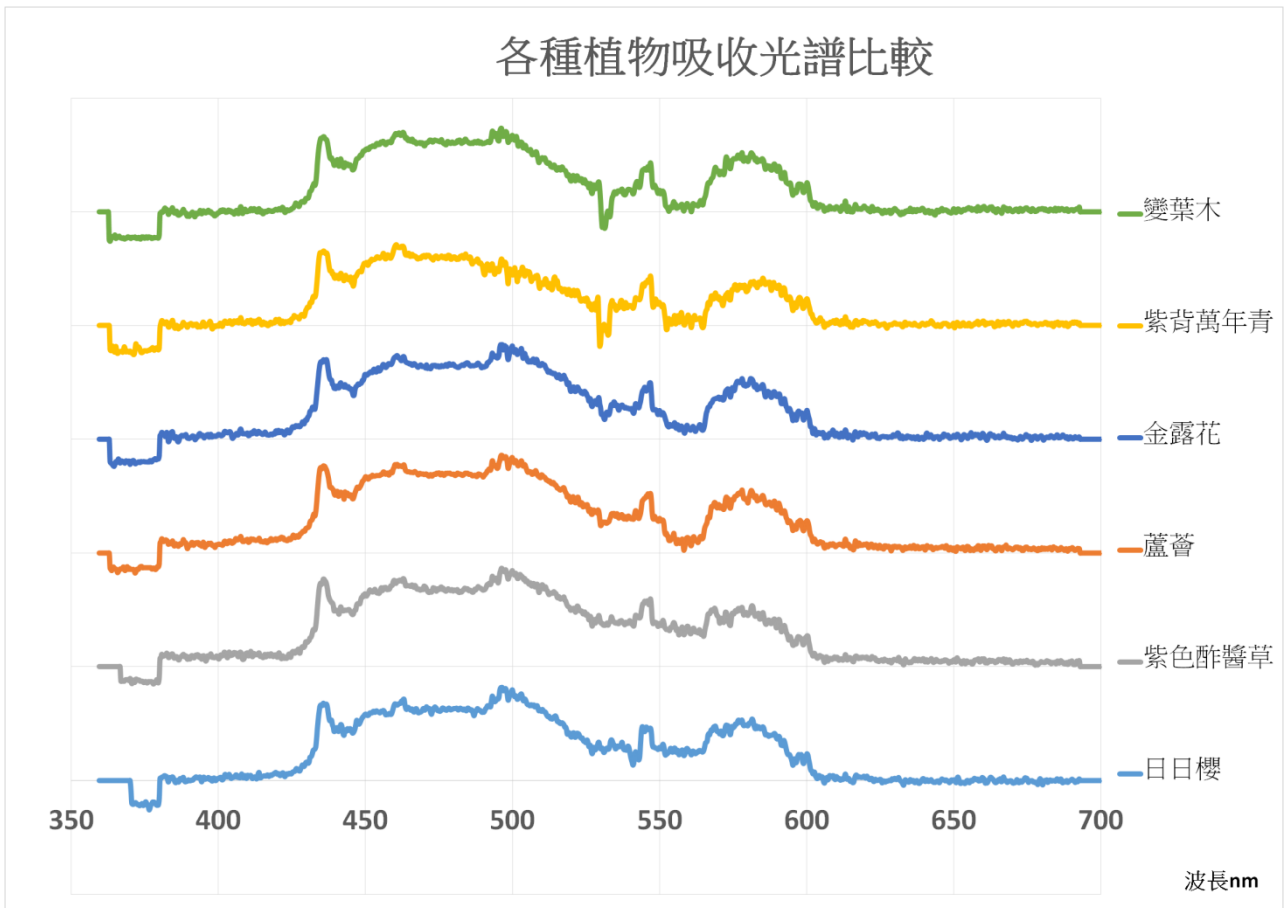
而日光燈光譜可明顯看到有5個峰值，與肉眼所見雷同，包含436nm紫色(肉眼辨識為靛色)、463nm靛色、500nm青色、547nm綠色、577nm黃色(肉眼辨識為橘紅色)，而這些峰值與網路上所查的資料第2、3、5、6峰值相符

實驗二：不同的吸光光譜分析

由照片可知這六種植物都明顯的會吸光，主要吸收藍光、紅光，並容許部分綠光穿透。而這些光譜的差異我們可以藉由imageJ進行處理，將「日光燈光譜 減去 吸收後光譜」數值作圖，即可得到該植物光合色素吸收光譜圖，以下為各種不同植物的吸收光譜圖。

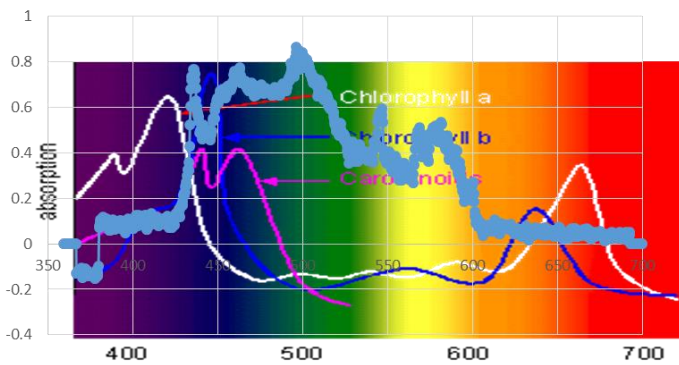


各種植物吸收光譜比較



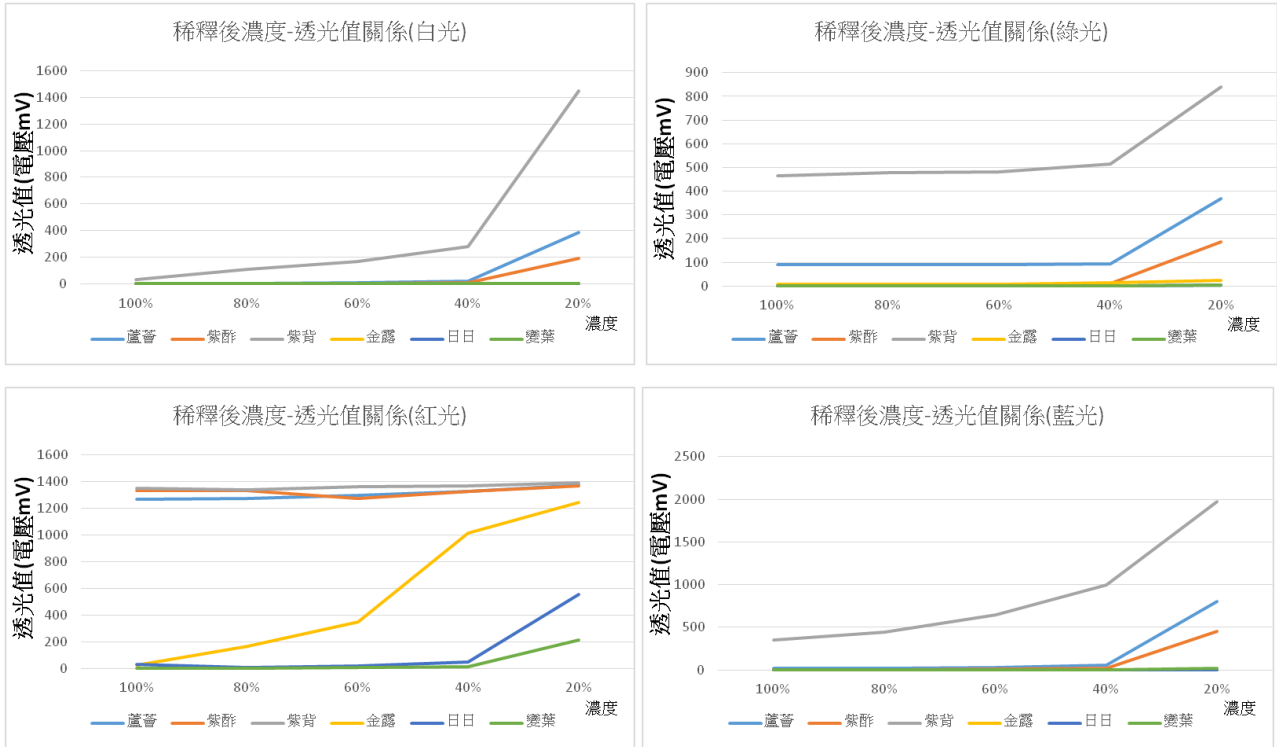
由上圖可知，吸收光能力最強的依序為：紫色酢醬草>蘆薈>日日櫻>金露花>變葉木>紫背萬年青。而比較特殊的是紫色酢醬草與日日櫻均可吸收570nm左右的紅光，其他比較無法吸收這個區段。

紫色酢醬草吸收光譜



而將紫色酢醬草吸收光譜與光合色素吸收光譜疊合後，可發現550nm處吸收較多光和葉綠素b有關，因此紫色酢醬草和日日櫻可能含有較多的葉綠素b。

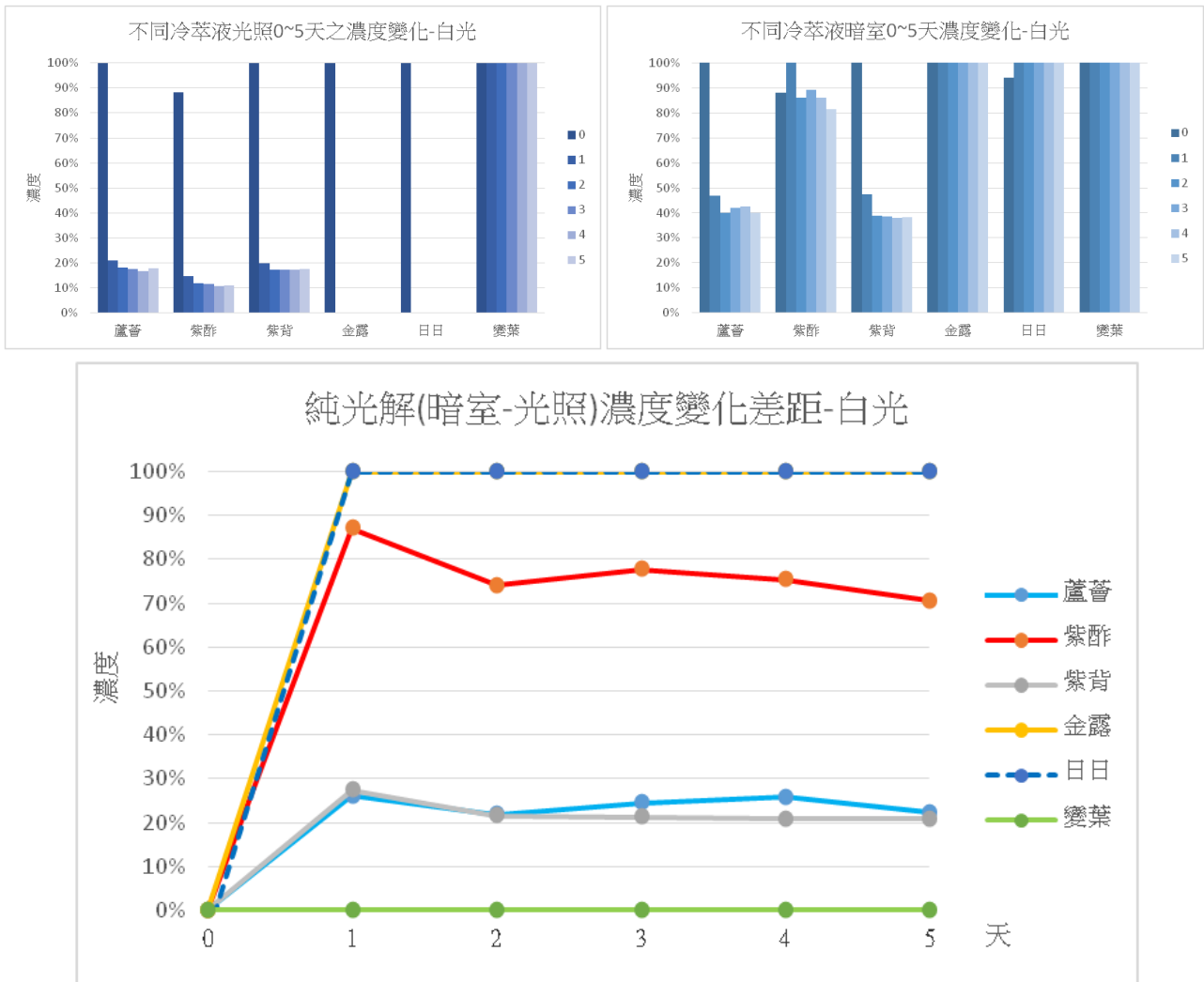
實驗三：不同光合色素、不同濃度的吸光度分析



- (1) 由圖可知這些光合色素的吸光度會與濃度呈正相關，濃度越大吸光度越多，我們將此濃度與吸光度關係用於轉換原始數據，進一步分析不同色光下的相對濃度變化，如果透光值換算後為負值，則以濃度 0% 表示。將各項吸光度轉換後的數據呈現於實驗四數據中。而濃度轉換方式詳見附錄三。
- (2) 紫背萬年青是所有光中透光值最高的，吸光能力較弱。在紅光中更可見陰性植物透光值均大於陽性植物，顯示陽性植物吸收紅光的能力較強，濃度較高。
- (3) 有些植物透光值前後差異較小，或是數據上下起伏不穩定，因此在產生線性方程式時有相關係數較小的狀況(參考資料九)，例如：變葉木的白光(顏色過深幾乎不透光)、綠光(顏色過深幾乎不透光)，日日櫻的白光(前後數值差異小)、藍光(數據起伏)，紫色酢醬草紅光(透光值過大且數據起伏)，在數據與結論處理時須小心此誤差。

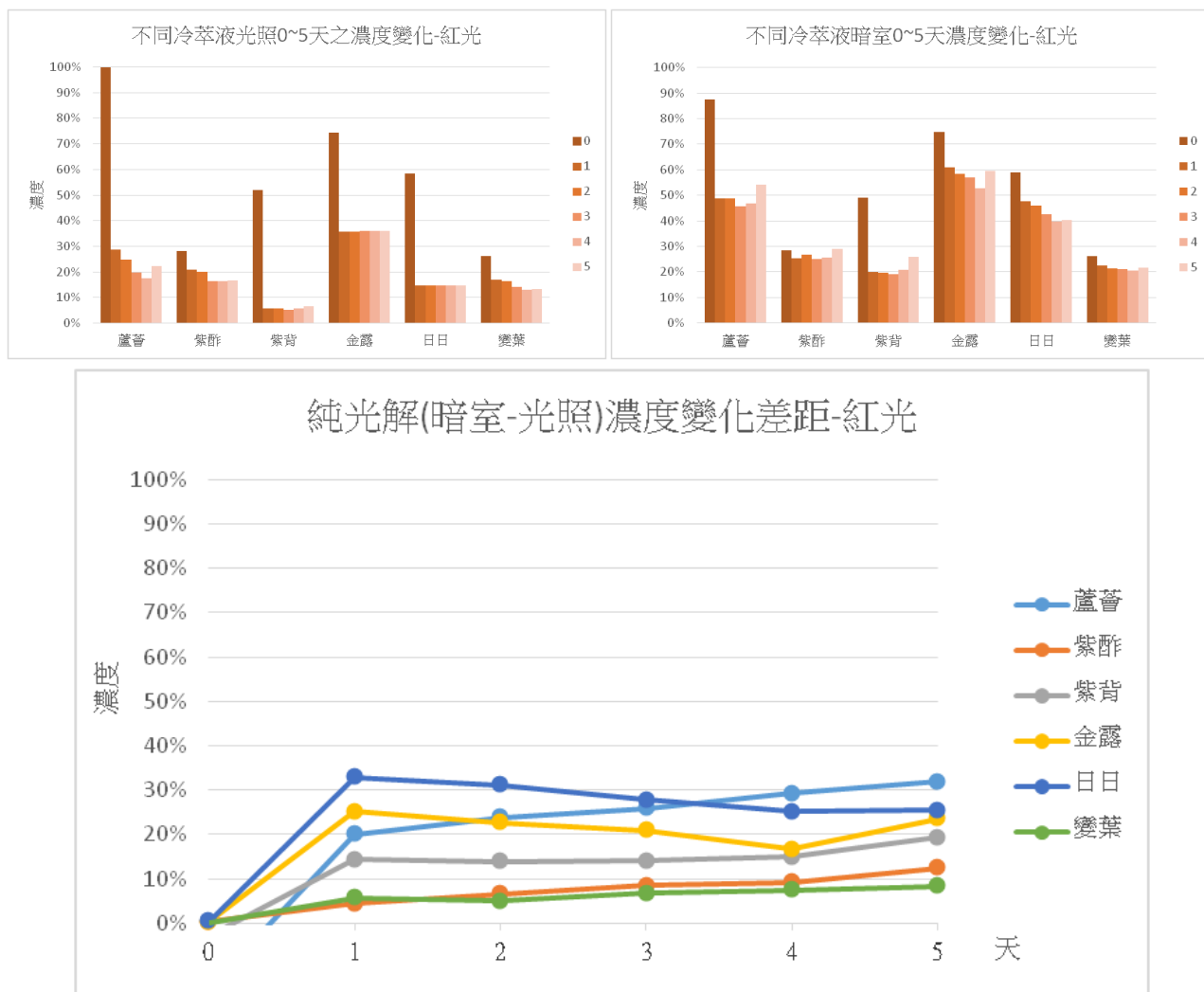
實驗四：探討不同植物光合色素的光解速度差異

1.不同冷萃液5天變化比較(白光)



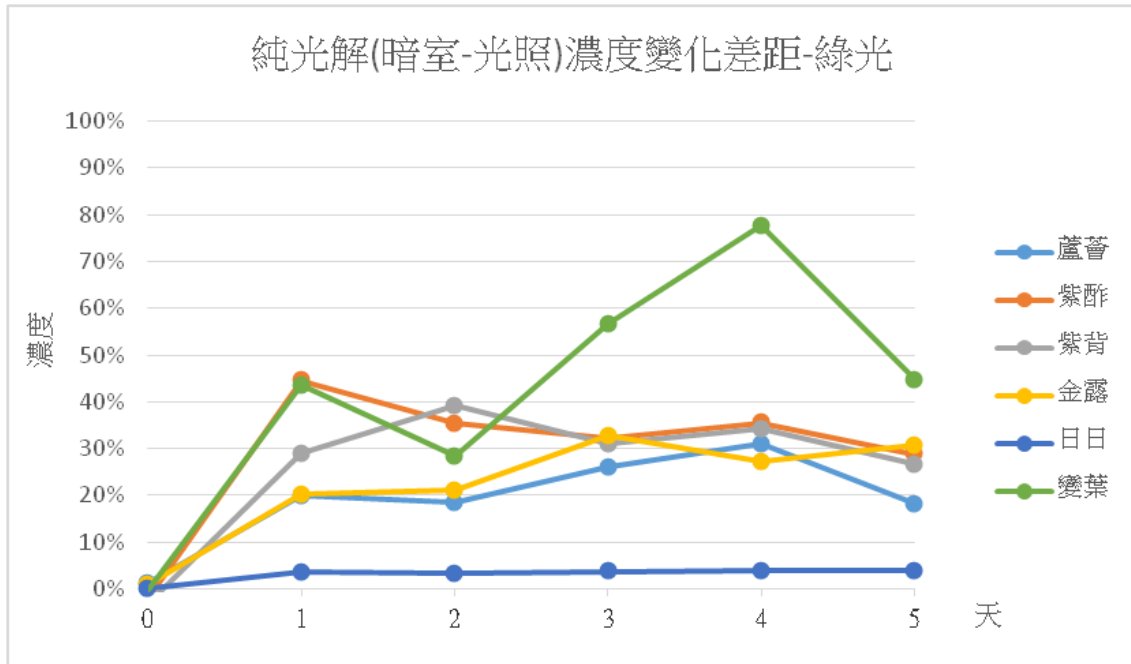
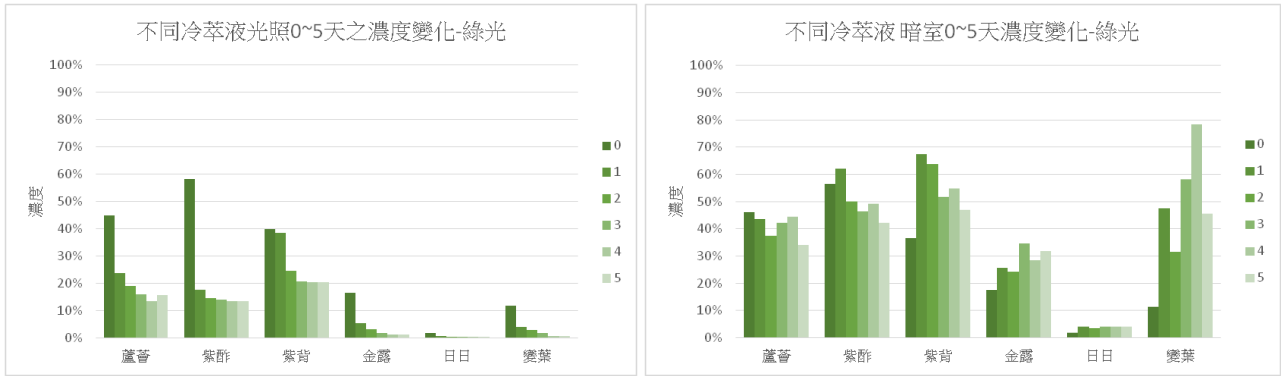
- 光照分解速度：金露花 = 日日櫻 > 紫色酢醬草 > 紫背萬年青 > 蘆薈 > 變葉木
在光照下日日櫻與金露花分解速度較快，紫色酢醬草、紫背萬年青與蘆薈分解速度次之，變葉木分解速度最慢，而肉眼觀察也是如此，變葉木依舊呈現濃茶褐色，其他顏色偏淡。
- 暗室自然分解速度：紫背萬年青 > 蘆薈 > 紫色酢醬草 > 金露花 = 日日櫻 = 變葉木
這裡可以發現陰性植物自然分解速度較快；陽性植物分解速度較慢，蘆薈比較特殊，分解速度跟陰性植物接近；變葉木幾乎不分解
- 純光解速度(自然分解濃度-光照分解濃度)：
金露花 = 日日櫻 > 紫色酢醬草 > 蘆薈 > 紫背萬年青 > 變葉木
這裡可以發現陽性植物純光解速度較快；陰性植物速度較慢，蘆薈比較特殊，分解速度跟紫背萬年青接近；變葉木幾乎不分解。
- 與吸收光譜解果結合比較後可得知光合色素的確會隨光照而分解，且因植物有所差異。陽性植物光解速度多大於陰性植物。

2.不同冷萃液5天變化比較(紅光)



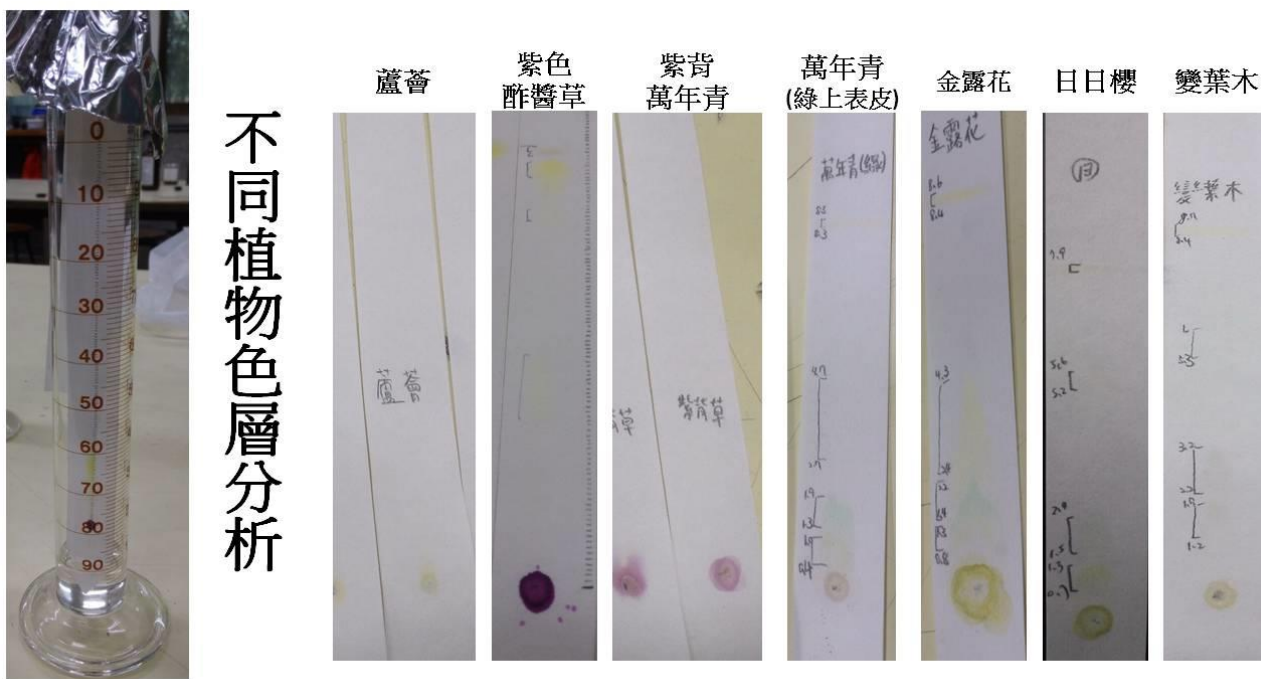
- 光照分解速度：紫背萬年青 > 變葉木 = 日日櫻 > 蘆薈 > 紫色酢醬草 > 金露花
 在光照下蘆薈和紫背萬年青分解速度較快，金露花、日日櫻與蘆薈分解速度次之，紫色酢醬草和變葉木分解速度最慢。紫色酢醬草萃取液為紅色透明液體，紅光可穿透，雖然比例變化很大，但實際數值變化不大。
- 暗室自然分解速度：紫背萬年青 = 變葉木 > 紫色酢醬草 > 日日櫻 = 蘆薈 > 金露花
 陰性植物吸收紅光的物質自然分解很快，而吸收紅光的物質主要為光合色素。
- 純光解速度(自然分解-光照分解)：蘆薈 > 日日櫻 > 金露花 > 紫背萬年青 > 紫色酢醬草 > 變葉木
 日日櫻起初的光解速度是最快的，但到後來卻趨近平緩。
- 由參考資料三可知葉綠素 a 吸收的波長片段為 630~700nm，葉綠素 b 吸收光譜主要為 600~675nm，而我們提供的 LED 紅光波長為 550nm~630nm，與葉綠素 b 的吸光度較接近。由此可得在離體光解狀況下光合色素分解速度差異為蘆薈 > 日日櫻 > 金露花 > 紫背萬年青 > 紫色酢醬草 > 變葉木；離體光合色素自然分解速率為紫背萬年青 = 變葉木 > 紫色酢醬草 > 日日櫻 = 蘆薈 > 金露花。陽性植物光合色素純光解快，陰性植物自然分解快。

3.不同冷萃液 5 天變化比較(綠光)



- (1) 光照分解速度：日日櫻 > 金露花 = 變葉木 > 紫色酢醬草 > 蘆薈 > 紫背萬年青
在光照下陽性植物吸收綠光物質光解快。
- (2) 暗室自然分解速度：日日櫻 > 金露花 > 蘆薈 > 紫色酢醬草 > 紫背萬年青 = 變葉木
在綠光檢測的實驗中，所有植物的數值比起其他光都較不穩定。而在變葉木、金露花濃度反而有增加的趨勢，顯示有其他東西產生，阻擋綠光通過，推測是其他物質的氧化物有吸收綠光的能力。
- (3) 純光解速度(自然分解-光照分解)：變葉木 > 紫色酢醬草 = 紫背萬年青 = 金露花 = 蘆薈 > 日日櫻。陰性植物的紫色酢醬草、紫背萬年青皆於一開始光解較快，但最後卻幾乎沒什麼改變。陽性植物光解速度較穩定。
- (4) 雖然光合色素主要吸收紅光與藍光，可是在我們計算出的吸收光譜時還是可見綠光區段有被吸收，但是綠光的吸收狀況較不穩定。陰性植物可保留較多吸收綠光之色素。

實驗五、不同植物光合色素色層分析比較



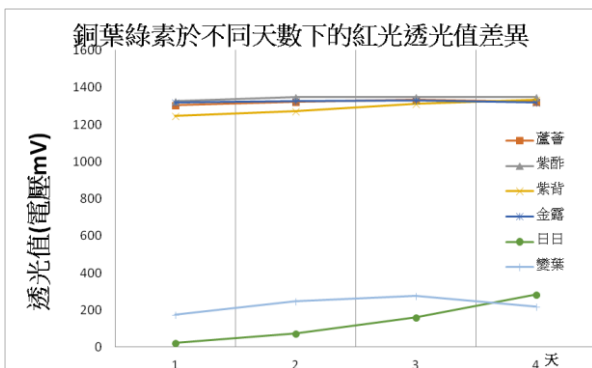
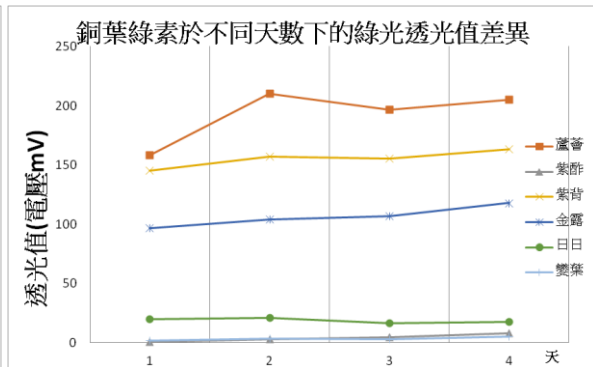
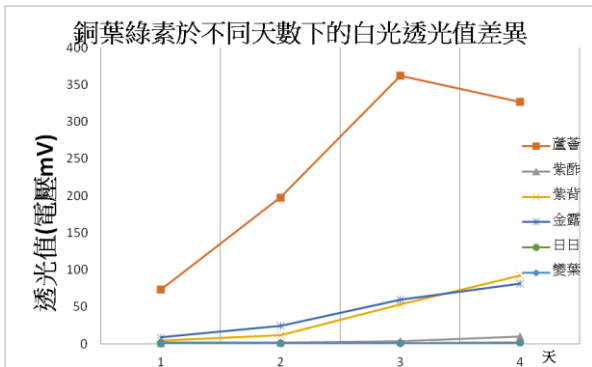
由新鮮葉片的色層分析可發現下表

	胡蘿蔔素	葉黃素	葉綠素A	葉綠素B	其他
蘆薈	幾乎不可見	幾乎不可見	幾乎不可見	少	
紫色酢醬草	有	多	少	少	胡蘿蔔素下方有一條暗色色素
紫背萬年青 (紫色葉背)	幾乎不可見	幾乎不可見	幾乎不可見	幾乎不可見	
紫背萬年青 (綠色葉面)	有	少	有	有	
金露花	有	有	有	有	
日日櫻	有	少	少	有	
變葉木	有	有	有	有	

由色層分析可以直接發現光合色素的含量有哪些不同，其中較特別的是蘆薈僅有少量的色素出現；同為陰性植物的紫色酢醬草的葉黃素含量非常高，而紫背萬年青的葉黃素反而少；花青素不會隨著展開液移動。

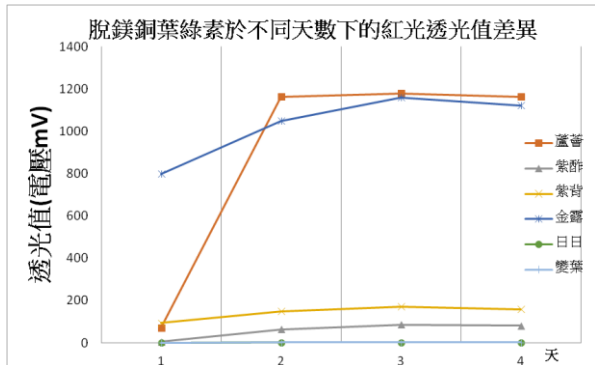
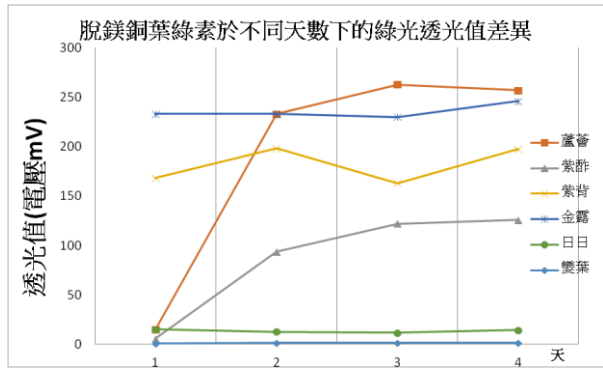
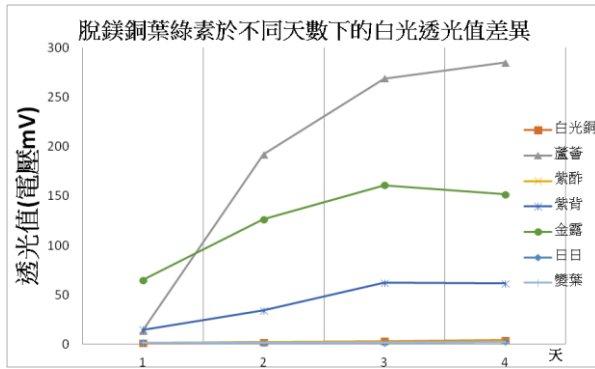
實驗六、不同植物的銅葉綠素光衰狀況

1. 銅葉綠素：



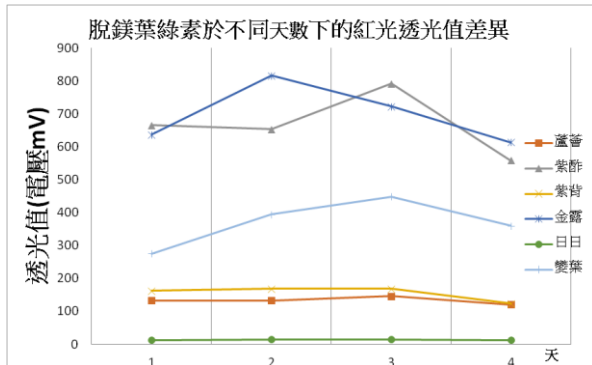
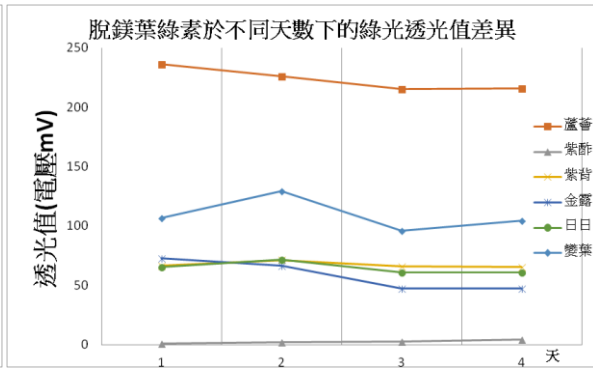
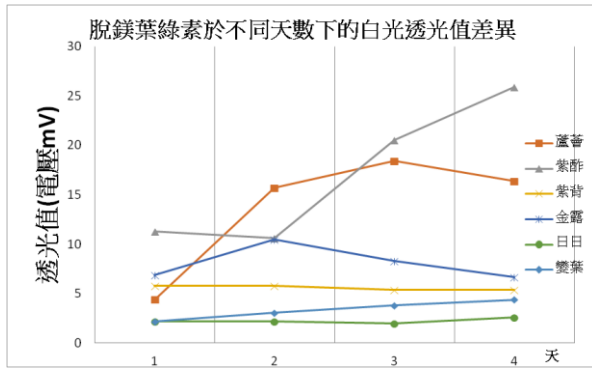
- (1) 白光透光值變化：蘆薈 > 紫背萬年青 ≅ 金露花 > 紫色酢醬草 ≅ 日日櫻 ≅ 變葉木
- (2) 紅光透光值變化：蘆薈 ≅ 紫背萬年青 ≅ 金露花 ≅ 紫色酢醬草 > 日日櫻 ≅ 變葉木
由紅色透光值差異可知變葉木與日日櫻的銅葉綠素濃度較高，光衰較少。
- (3) 綠光透光值變化：蘆薈 > 紫背萬年青 > 金露花 > 日日櫻 > 紫色酢醬草 ≅ 變葉木

2. 脫鎂銅葉綠素



- 白光透光值變化：蘆薈 > 金露花 > 紫背萬年青 > 紫色酢醬草 ≈ 日日櫻 ≈ 變葉木
- 紅光透光值變化：蘆薈 > 金露花 > 紫背萬年青 > 紫色酢醬草 > 日日櫻 ≈ 變葉木
 由紅色透光值差異可知變葉木與日日櫻的脫鎂銅葉綠素濃度較高，光衰較少。而脫鎂後可發現紫背萬年青、蘆薈、紫色酢醬草紅光透光值大幅下降，表示在鹽酸作用下，可能有新的吸光物質產生，且穩定不易被破壞。表示陰性植物需要鹽酸作用才能破壞對葉綠素的保護。
- 綠光透光值變化：蘆薈 > 金露花 > 紫背萬年青 > 紫色酢醬草 > 日日櫻 > 變葉木
 在鹽酸作用下花青素會變色，因此紫色酢醬草的綠光透光值明顯下降

3. 脫鎂葉綠素：

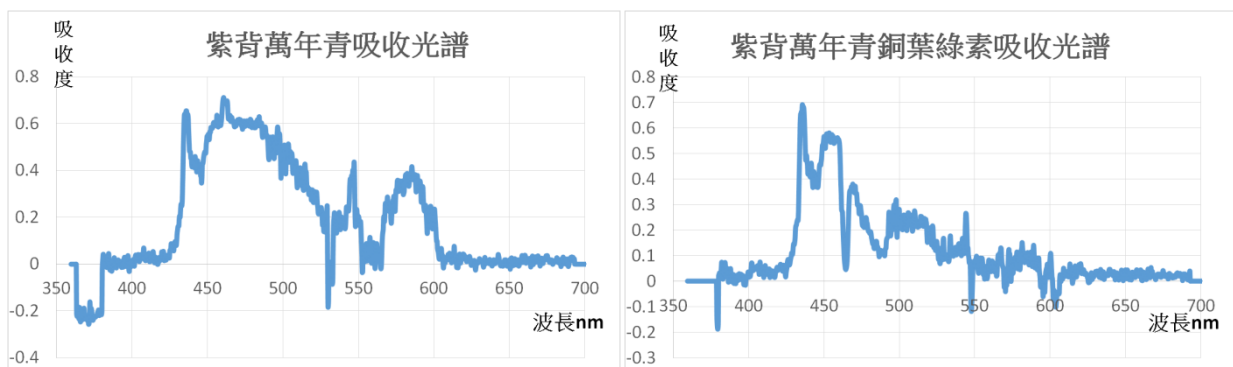


- (1) 白光透光值變化：金露花 > 紫色酢醬草 > 變葉木 > 蘆薈 = 紫背萬年青 > 日日櫻
- (2) 紅光透光值變化：紫色酢醬草 > 蘆薈 > 金露花 > 紫背萬年青 > 變葉木 > 日日櫻
- (3) 綠光透光值變化：蘆薈 > 變葉木 > 紫背萬年青 > 日日櫻 > 金露花 > 紫色酢醬草

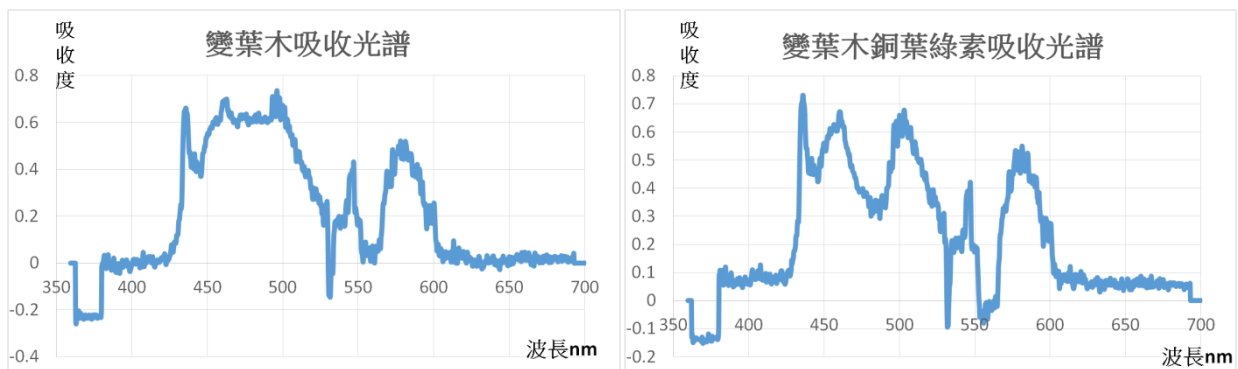
脫鎂葉綠素的透光值都很低，可發現加入鹽酸後呈現混濁狀，即使過濾依舊有不少細緻物會沉澱。

實驗七、不同植物的銅葉綠素光衰狀況

選擇兩個銅葉綠素濃度較高，且放置40天都沒退色的樣本進行吸收光譜分析。



由紫背萬年青製成的銅葉綠素可以發現吸收光較少以外，形狀改變不大，在460nm~500nm、560~600nm兩處有明顯吸收光譜下降情形。



由變葉木製成的銅葉綠素可以在460nm~500nm處有明顯吸收光譜下降情形。

結合以上兩者可得銅葉綠素相對於光合色素，在460nm~500nm處吸收較少的光，可做為銅葉綠素與光合色素的區分方式。

柒、結論

(一) 自製光譜儀部分

1. 白光LED主要由460~490nm的藍光+490~530nm的青光+530~560的綠光+560~600nm的紅光組成，與三個單色LED燈的合成光譜類似。而紅光LED的波長比理論值少，表示此分析方式在波長較長的紅光可能有誤差。
2. 自製日光燈光譜可明顯看到有5個峰值，包含436nm、463nm、500nm、547nm、577nm，而這些峰值資料相符，表示此技術確實準確可信。

(二) 紫色酢醬草>蘆薈>日日櫻>金露花>變葉木>紫背萬年青。紫色酢醬草與日日櫻均可吸收 570nm 左右的紅光，顯示其葉綠素 b 可能偏高。

(三) 光合色素的吸光度會與濃度呈正相關，濃度越大吸光度越多。陽性植物吸收紅光的能力較強，光合色素濃度較高。

(四) 光電比色計部分

1. 無論白、紅、綠光：陽性植物色素純光解快，陰性植物自然分解快。
2. LED 紅光波長為 550nm~630nm，與葉綠素 b 的吸光度較接近。
3. 光合色素吸收較少綠色光源，且吸光度於中間反而有增加狀況，表示光照過程中有其他可吸收綠色光的物質出現。

(五) 由色層分析可發現蘆薈僅有少量的色素出現；同為陰性植物的紫色酢醬草的葉黃素含量非常高，而紫背萬年青的葉黃素反而少；花青素不會隨著展開液移動。

(六) 由紅色透光值差異可知變葉木與日日櫻的銅葉綠素與脫鎂銅葉綠素濃度較高，光衰較少。而脫鎂後可發現紫背萬年青、蘆薈、紫色酢醬草紅光透光值大幅下降，表示在鹽酸與醋酸銅作用下，利用光譜儀分析可發現紫背萬年青脫鎂銅所呈現的光譜亦與銅葉綠素接近，表示這些新生成的物質可能是一種銅葉綠素。而陰性植物需要鹽酸作用才能破壞對光合色素的保護。

(七) 銅葉綠素相對於光合色素，在 460nm~500nm 處吸收較少的光，可做為銅葉綠素與光合色素的區分方式

由實驗可知陽性植物與陰性植物的確在光合色素上有很大的差別，陰性植物會有特殊的保護機制讓光合色素不易被破壞，陽性植物則無。而這次實驗還衍伸出更多的疑問，是未來很好的研究課題，例如銅葉綠素的吸收光譜為什麼只有 460~500nm 處吸收光較少？有沒有簡易且更好的方法可以分析出色素濃度？用甚麼方法可將光譜儀改良成更容易觀察？這些都是我們未來可以更深入研究的課題

我們這個實驗利用兩種自製儀器：光度計與光譜儀，來探究不同光合色素的吸光狀況與色素分解情形，並且配合色層分析分離出色素真實的原貌，還自製了銅葉綠素、脫鎂葉綠素、脫鎂銅葉綠素，並加以分析探討，結合生物、物理、化學與應用科學，跨領域的廣泛學習與思考，跳脫校內分科的狀況，試圖找到科學真正的原貌，真是收穫良多。

捌、未來展望

在這次的實驗裡，我們運用不同種自製工具檢驗了 6 種植物光合色素的特性，詳細分析實驗材料，賦予在生物學與科學上的意義。藉由自行製作的光譜儀與分光光度計，運用色層分析法分析出不同光合色素，除了了解這些色素的特性以外，更試圖運用 Excel、imageJ 計算分析數據，詳細的定量來使實驗更加科學化、數據化。而這些器材與方法，未來都可以推廣到每個家庭與學校，無論是在光合色素的分析、銅葉綠素食安問題、甚至延伸到每種需要測定濃度、光譜、吸光度的實驗上，使用少少的金錢，便可以進行極準確的科學實驗，而且得到的數據也十分值得信賴，對於科學的推廣有十分好的效果。未來人人都是科學家的藍圖逐漸浮現，而這些小小行動科學家說不定能解決其他環境問題呢！

玖、參考資料

- 一、蔡宜家、商媛晶(2014)。當葉綠素銅在一起—銅葉綠素製作與分析。第五十四屆台南市中小學科學展覽。
- 二、光譜儀製作。取自：
<http://a-chien.blogspot.tw/2012/09/webcam.html#1766201397675400658>
- 三、葉綠素吸收光譜圖。取自：
<http://www.hkfishbook.com/articles/59747>
- 四、小邱のDIY – 透視你的燈具(光譜儀製作與分享)PART 3。取自：
<http://www.guppytaiwan.com.tw/thread-727073-1-1.html>
- 五、日光燈光譜。取自—維基百科：
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%9E%A2%E5%85%89%E7%87%88>
- 六、葉國掄(2001)。解『色』--探究自製光譜儀之校正方法與應用於水溶液濃度分析。第五十三屆中小學科學展覽。
- 七、反應中心。取自：
<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=20623>
- 八、光合作用。取自：
<http://biologicalfreak.blogspot.tw/2013/03/2013318.html>
- 九、相關係數 R^2 。取自：
http://amebse.nchu.edu.tw/new_page_535.htm

附錄一:光譜儀原理

要得到可觀測光譜的公式為:

$$d(\sin \alpha + \sin \beta) = m\lambda$$

d =光柵溝距，由於 DVD 的溝，每 mm 有 1350 條，所以溝距=740nm

α =入射光和光柵法線的角度

β =繞射光和光柵法線的角度

m =繞射的級數，設定觀看的光譜是第一級的繞射光譜所以 $m=1$

λ =波長，由於可見光的波長在 400nm 到 700nm，所以取平均=550nm。

而反射式光譜儀需要入射光與繞射光夾角=90°

所以得到 $740*(\sin \alpha + \sin \beta) = 1*550$

設定 $\alpha + \beta = 90$ 度，所以 $\alpha = 90 - \beta$

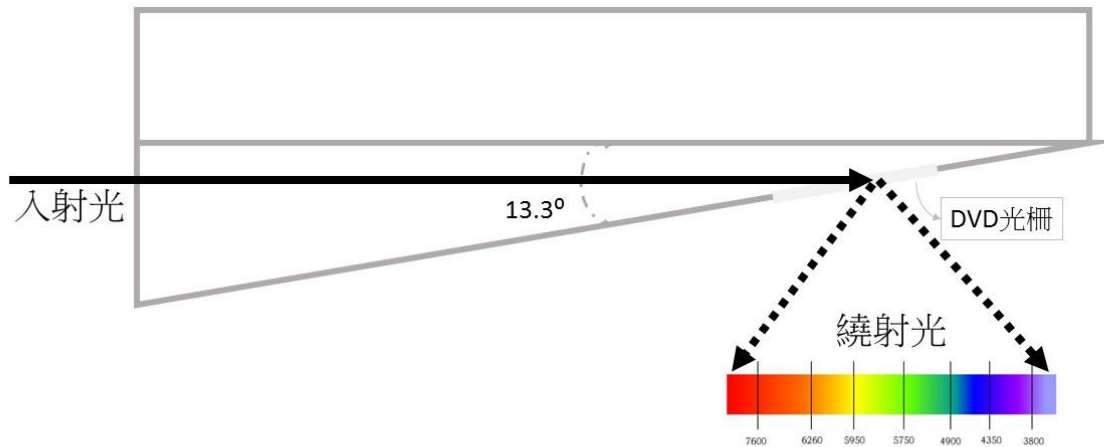
$$\sin(90 - \beta) = \cos \beta$$

得到 $740(\cos \beta + \sin \beta) = 550$

$$\cos \beta + \sin \beta = 0.7432$$

可得 DVD 反射式光譜儀角度為 13.3° or 76.7°

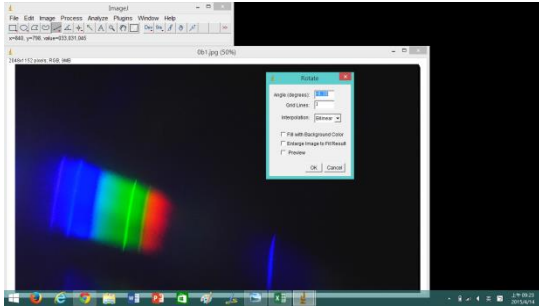
光譜儀設計原理



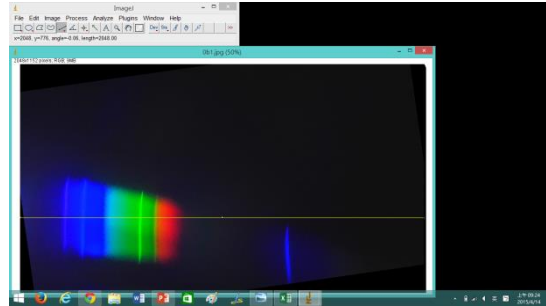
參考資料:阿簡生物筆記—自製光譜儀:http://a-chien.blogspot.tw/2014/04/blog-post_29.html

附錄二:利用 imageJ 計算吸收光譜的方式

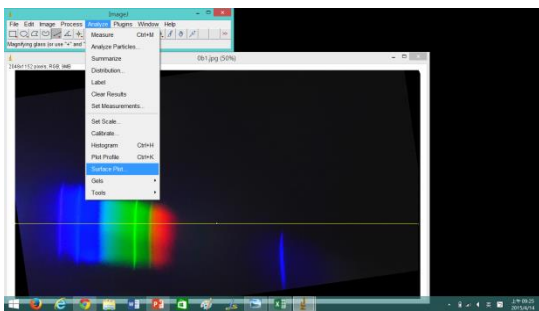
(1)用 imageJ 開啟檔案將光線旋轉成水平



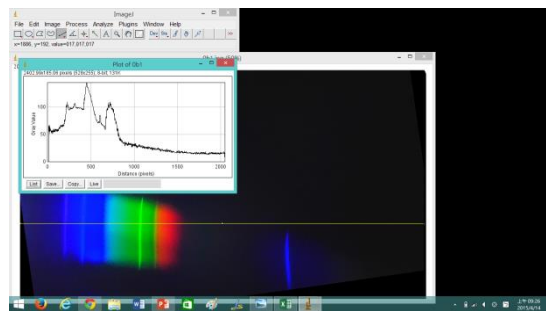
(2)畫一條基準線



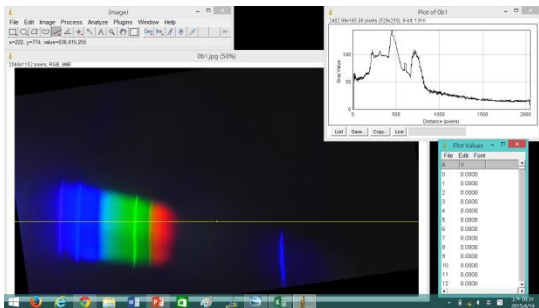
(3)用 Analyze→Plot Profile 計算亮度值



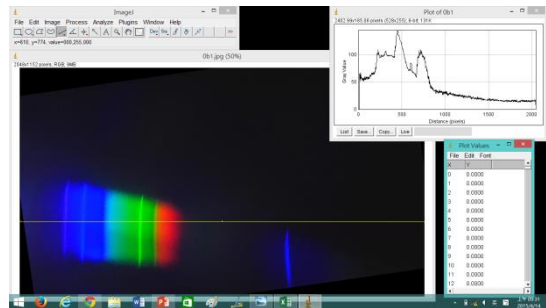
(4)得到一張 X 軸-亮度值的圖



(5)將亮度值轉換成數據，存成 excel 處理



(6)找到 X=229 時為靛色(波長 436)
X=409 時為綠色(波長 547)



(7)由上步驟所得數值

代入 $X_2(\text{波長}) = X_1(X \text{ 值}) * a + b$ ，求 a,b 值

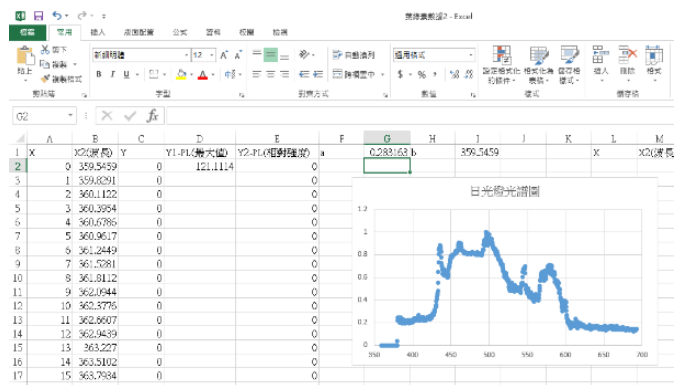
得 $a = 111/180$ ， $b = 409 * 111/180$

即可代回所有的 X_1 ，求出波長

(8)使用 excel 算出光譜圖

(9)算出光合色素吸收後的光譜，

並使用原圖去減出吸收光譜



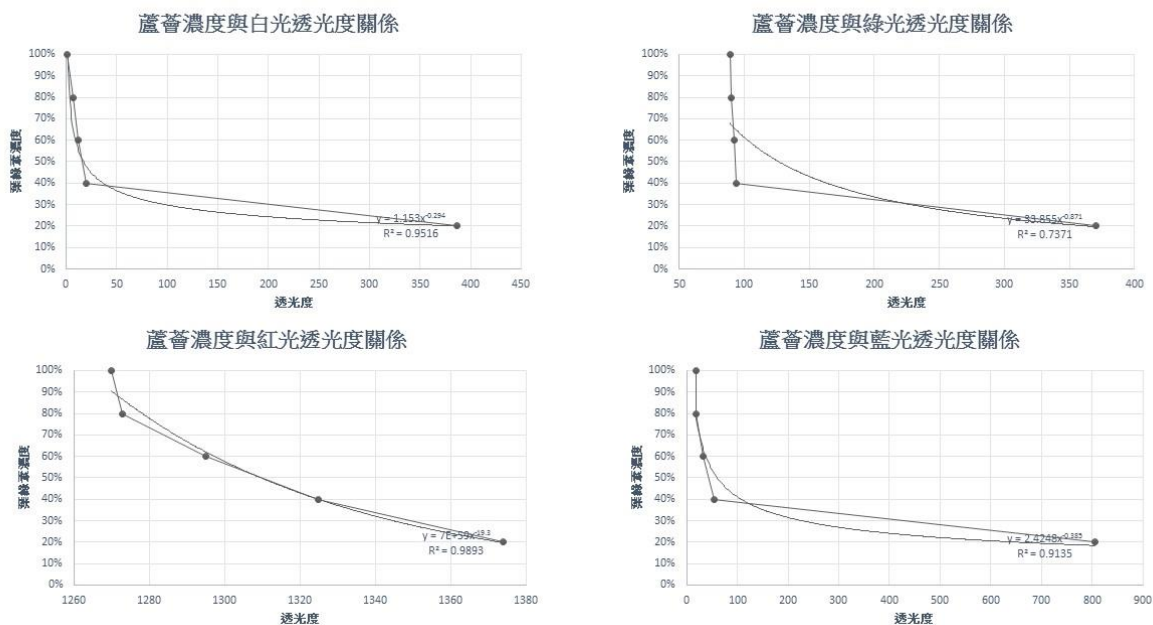
參考資料: 小邱の DIY – 透視你的燈具(光譜儀製作與分享)PART 3:

<http://www.guppytaiwan.com.tw/thread-727073-1-1.html>

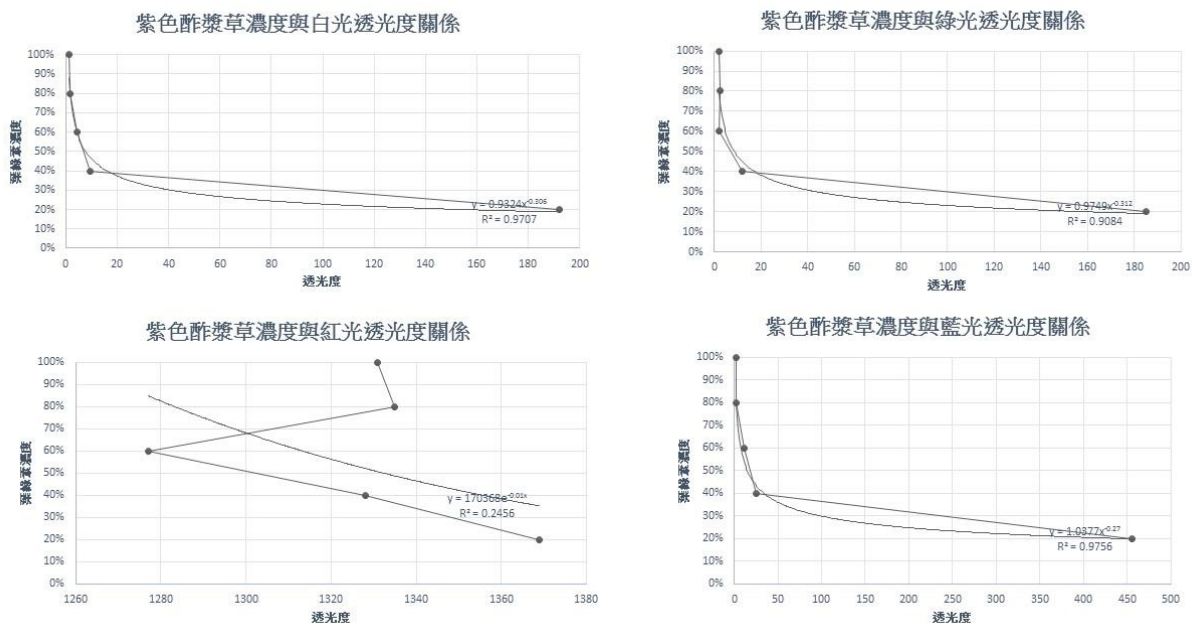
附錄三:不同植物濃度-透光值關係

由此關係將透光值轉換成濃度概念，進一步分析不同色光下的相對濃度變化，如透光值換算後為負值，以濃度 0% 表示。

不同濃度蘆薈與透光度關係

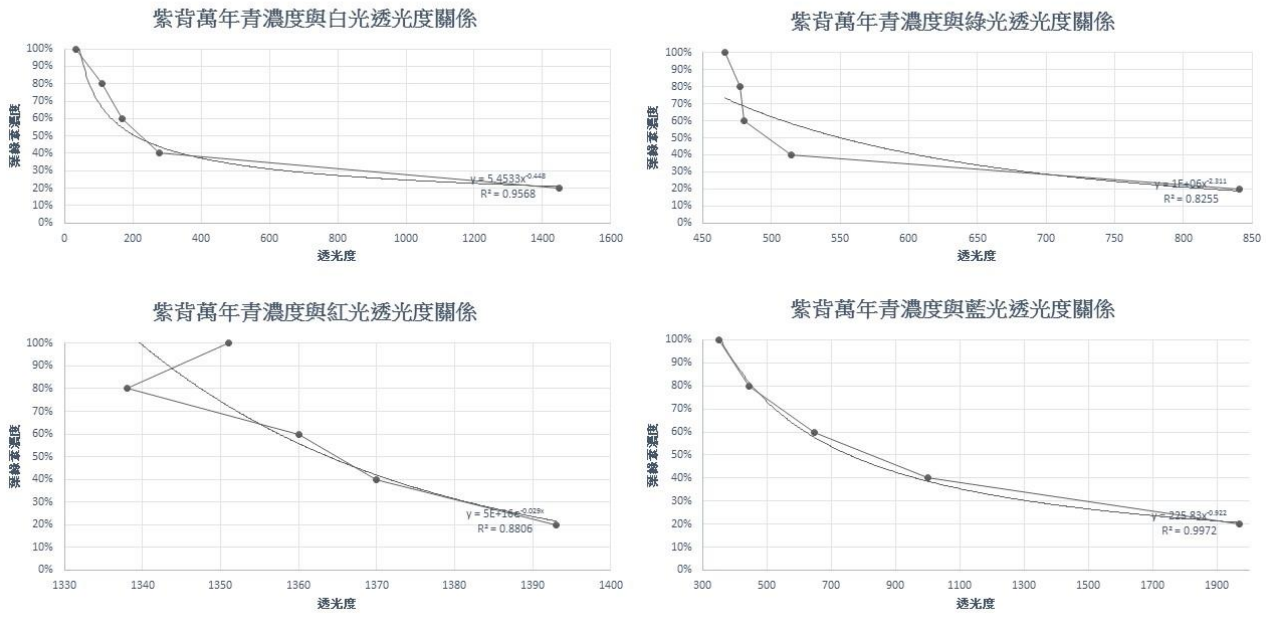


不同濃度紫色酢醬草與透光度關係

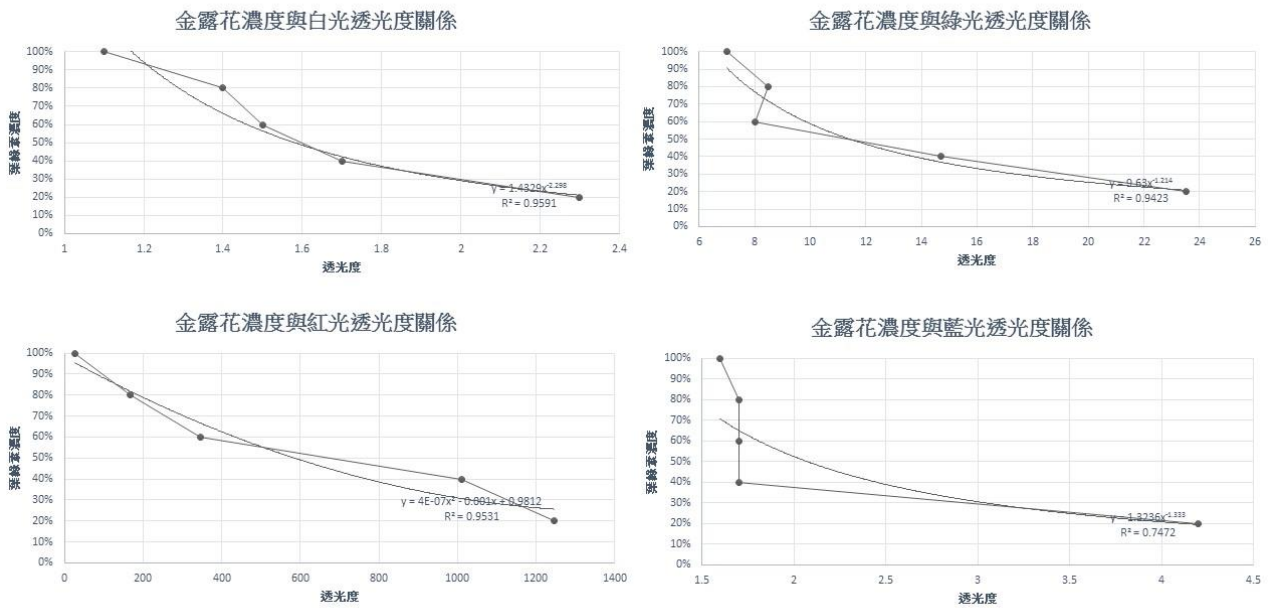


* 紫色酢醬草萃取液為紅色，紅色透光值高，因此紅光方程式相關係數低，參考時須注意。

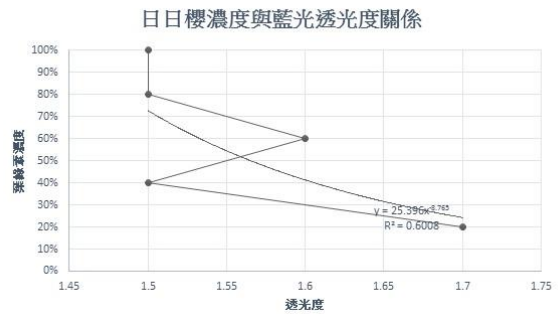
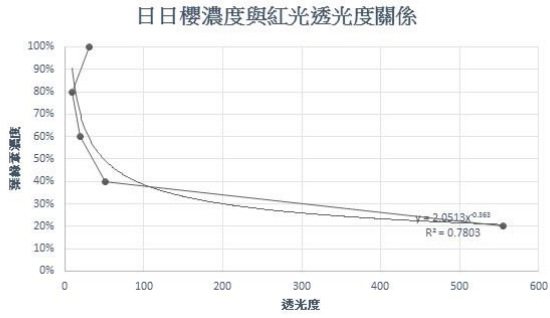
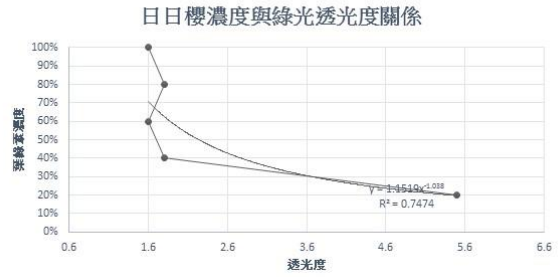
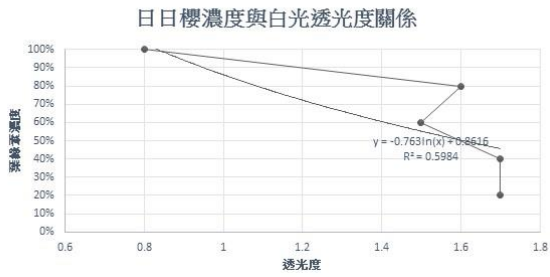
不同濃度紫背萬年青與透光度關係



不同濃度金露花與透光度關係

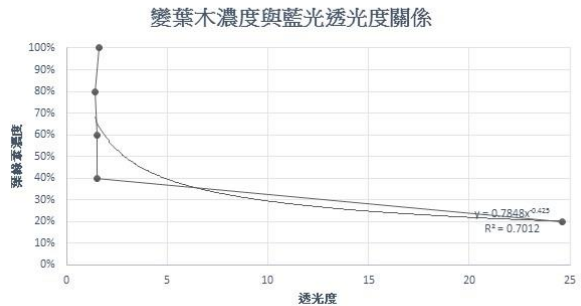
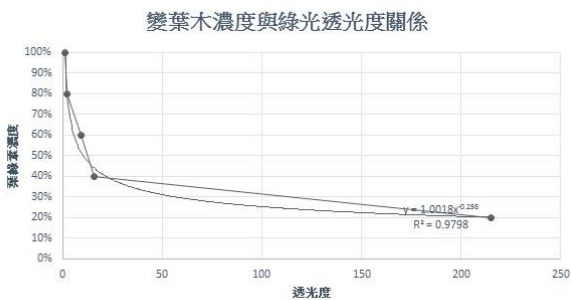
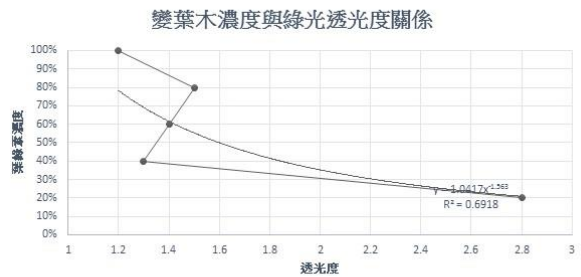
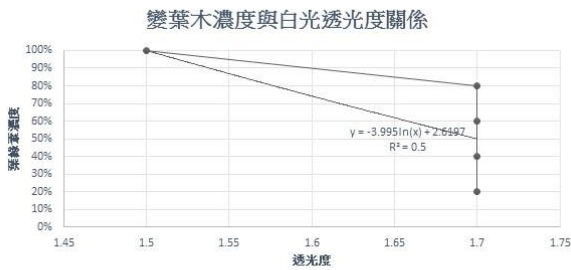


不同濃度日日櫻與透光度關係



* 日日櫻白光與藍光方程式相關係數較低，在參考時須注意。

不同濃度變葉木與透光度關係



* 變葉木白光綠光相關係數均低，使用時須注意。

附錄四:不同植物色層分析 Rf 值

Rf 值:色素移動距離／展開液移動距離

	胡蘿蔔素	葉黃素	葉綠素 A	葉綠素 B
日日櫻	1	0.702256	0.287768	0.147496
變葉木	1	0.685737	0.354363	0.222832
紫色酢漿草	1	0.985434	0.936695	0.731513
金露花	1	0.525862	0.271585	0.161788
紫萬年青(綠)	1	0.508429	0.18393	0.084597
蘆薈	無	無	無	無

【評語】 030201

以自製分光光度計量測植物光合色素的差異。學生態度認真，所製光度計以日光燈譜線與一般市售光度計比較，亦能大概顯示其正確與可行性。唯色譜結果應提供更多解釋或資訊，以幫助確認色素之分子身份。