

第十屆旺宏科學獎

成果報告書

參賽編號：SA10-408

作品名稱：我要「陽光」也要「保護」
——花青素位置、功能和應用之探討

姓名：林敬倫

關鍵字：花青素、光反應、耐陰性植物

一、摘要

我的研究報告，是針對校園中含花青素的植物做研究與探討，期望在過程中能夠更了解花青素在自然界的角色與效用，探討在不同物理位置中，花青素對植物的不同影響。我認為花青素對植物的影響在上表皮與下表皮是有不同功效的：

- 1.花青素在上表皮能保護葉綠素，卻降低葉綠體的光反應的效果。
- 2.花青素在下表皮則有反射效果而有助於葉綠體的光反應作用。

接著，我也探討了上、下表皮的花青素濃度高低對光反應作用的影響。藉由在模型，和葉綠體 DCPIP 氧化還原作用的測定，驗證上表皮的花青素有保護其葉綠素的作用，但濃度太高會遮蔽到部分光反應所需的光源；而在下表皮的花青素具有反射效果，濃度越高效果越好，這種作用有助於葉綠體進行光反應。

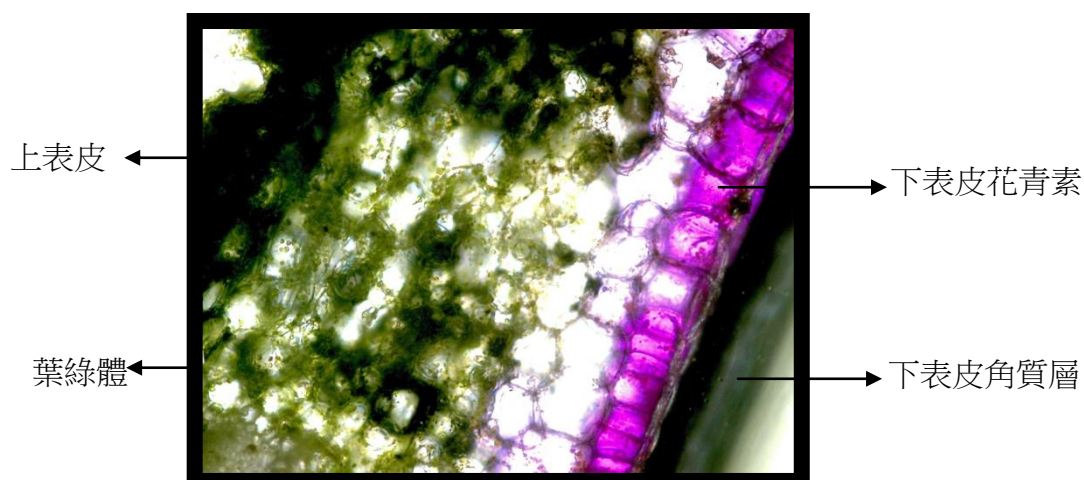
最後由自然界中的植物在不同的光環境中的適應去印證上述的結論。發現自然界中，有些植物是以葉片的舒張與畢合去調整花青素的位置；有些植物是傾向保護作用；有些則是傾向反射光線，幫助光合作用。

二、研究動機

專題課程中，我對某些植物又綠又紫的鮮艷色彩很感興趣，尤其是對紫背植物上下表皮明顯的顏色差異感到困惑，想了解為什麼有些植物會下表皮是紫色，上表皮又呈現綠色？而有些上下表皮都呈現紫色的植物，又是為什麼？這樣的差異和光環境有何關聯嗎？

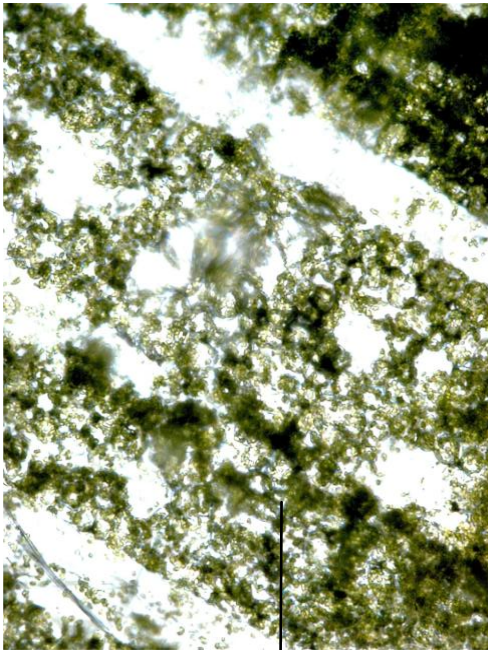
首先我觀察到的是紫背萬年青，我推測花青素在葉背對植物是有益的。經過查詢各種資料，我發現花青素在上表皮具有保護葉綠素的效果；由於遮蔽掉來自上方(太陽)部分的光，使葉綠素減少一些強烈照光的傷害。不過這樣的結果更讓我疑惑：如果花青素在上表皮具有保護作用，那「紫背」植物的存在又是為什麼呢？「紫前」植物難道不是更合理嗎？會不會是因為在後面也能保護葉綠素？或者有其他幫助？

秉持著對這些問題的好奇心，我藉由設計實驗，探討出花青素在葉片中不同排列位置的作用。

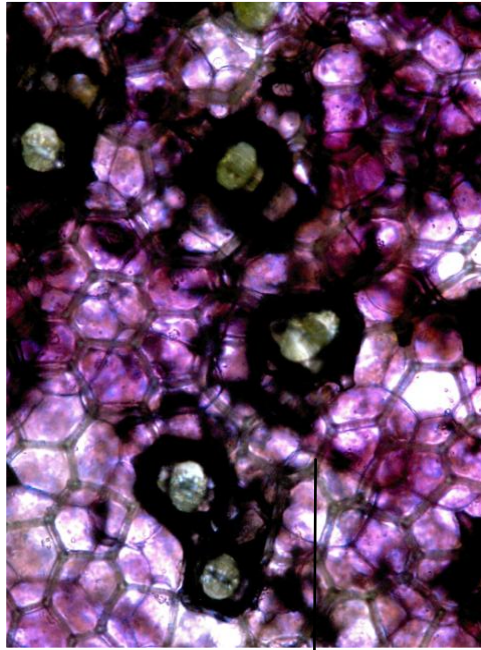


- 以上是紫背萬年青的縱切面，我藉此確認花青素在紫背萬年青中的位置。

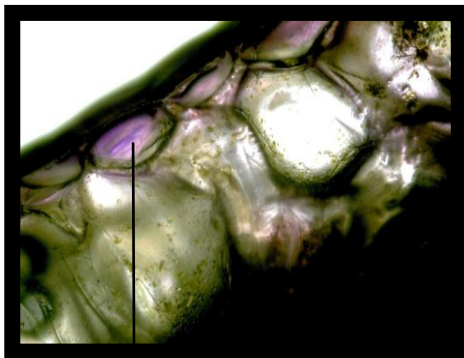
- 以下是紫背萬年青上、下表皮，我明顯觀察到上下表皮呈現顏色的不同：



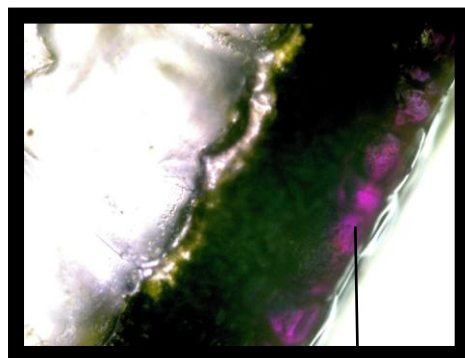
紫背萬年青
上表皮橫切面



紫背萬年青
下表皮橫切面



紫背鴨跖草上表皮的花青素



紫背鴨跖草下表皮的花青素

- 以上是相同倍率下，紫背鴨跖草縱切面可以看出雖然上表皮也有花青素，但是濃度較淡，而且非連續緊密排列。下表皮則是非常濃，而且緊密排列。

三、實驗目的

- (一) 驗證花青素在葉前與葉背的影響不同
- (二) 欲證明花青素在葉前會阻礙其光反應作用
- (三) 想知道不同濃度花青素在葉綠體前後對葉綠體的影響

(四) 驗證紫背植物葉背的花青素是否因為反射，而有利於光反應的進行

(五) 進一步了解自然界中用來適應環境的運用

四、實驗

• 以下我設計了各種實驗，希望藉由「模型」的方式，呈現自然界中花青素與葉綠體的排列關係，進行各種測定，而在製作模型時，所需萃取花青素的部分，我選擇使用紫背萬年青，因為紫背鴨跖草萃取出來的花青素濃度較淡，不利於實驗的進行。

實驗一

- 實驗：探討不同物理位置排列保護葉綠素的效果
- 目的：希望找出哪一種花青素的排列位置最具保護葉綠素效果
- 器材：

→ 萃取花青素與丙酮

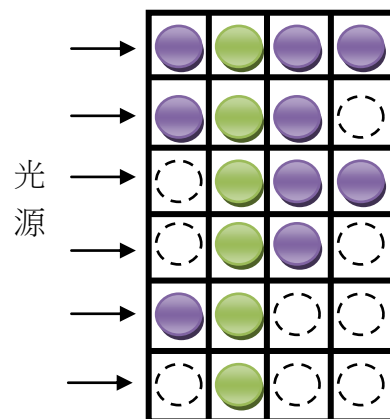
剪刀	水
濾紙	抽濾漏斗與 T 形管
試管	試管架
側支錐形瓶	丙酮
滴管	量筒
紫背萬年青	加熱板
燒杯	玻棒
研鉢	研杵

→ 實驗裝置



單向光源

試管	前	中	後
1	花青素	葉綠素	花青素
2	花青素	葉綠素	水
3	水	葉綠素	花青素
4	水	葉綠素	水
5	花青素	葉綠素	水
6	水	葉綠素	水



● 葉綠素 ● 花青素 ○ 水

• 步驟：

1. 萃取花青素：將紫背萬年青的葉片剪碎，溶於熱水中，使用加熱板將溫度控制在攝氏 50 至 60 度，等數分鐘，觀察其顏色變化，直到足夠量的花青素溶於水中後，再進行過濾，取過濾後花青素溶液。
2. 萃取葉綠素：剪碎紫背萬年青葉片，使用丙酮溶出其中的葉綠素，並以研鉢與研杵磨搗，再進行過濾，取過濾後的葉綠素溶液。
3. 製作實驗裝置：將試管架放入紙盒中，用黑色膠帶隔開每一道試管架，確保光源單一方向。
4. 將花青素與葉綠素置於試管中，再按照我安排的位置放入實驗裝置中(試管架)，進行花青素在前與在後的排列。剩餘空格以裝滿清水的試管補滿。

• 測量：

1. 以丙酮為校準，使用分光光度計測量 663nm 與 645nm 的光波段。
2. 帶入公式，整理圖表與數據。

葉綠素濃度(μ g /ml)

依據公式 $6.1 \times A_{665} + 20.04 \times A_{649}$ 估算而得。

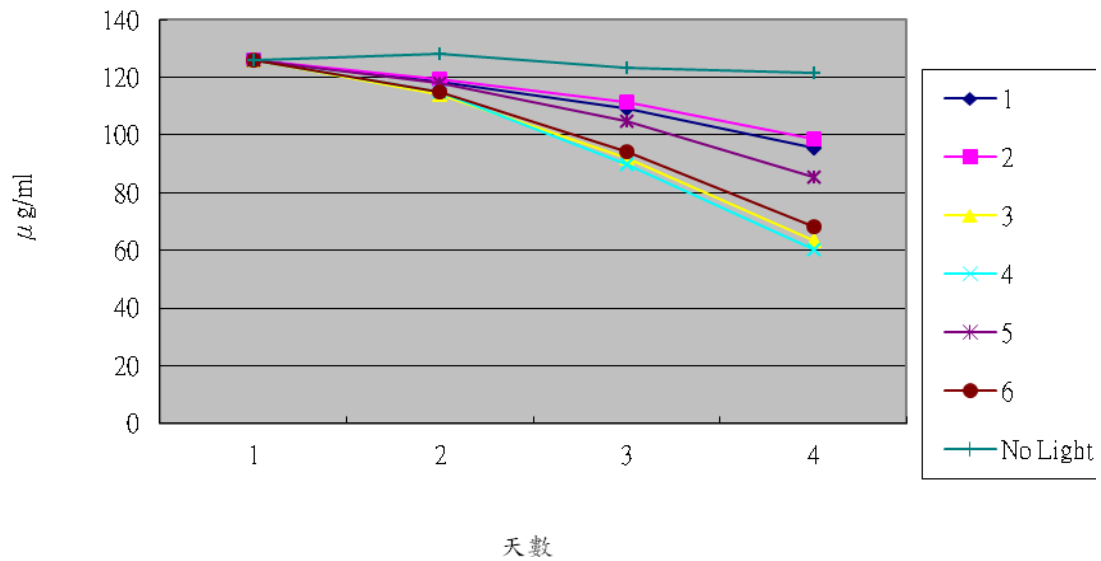
葉綠素含量(mg/g) 為：葉綠素濃度 \times 抽取液體積(ml). \div 樣品鮮重(g) \div 1000。

• 結果：

天	第一管	第二管	第三管	第四管	第五管	第六管	No light
1	125.7341	125.7341	125.7341	125.7341	125.7341	125.7341	125.7341
2	118.4516	119.4213	114.0052	114.8286	117.9667	114.8286	128.0488
3	109.3667	111.3063	91.83926	89.9656	104.6642	94.28937	123.2364
4	95.43849	98.57106	63.31105	60.30654	85.41859	68.22589	121.6902

- 第七管 no light 為實驗標準值，即為不接受照光的葉綠體光反應數值。

不同花青素排列對葉綠素的含量影響



• 討論：

我們將實驗所得結果相仿者，列為四大組討論。

第一組：沒有照光(藍綠色)

第二組：第一管(粉紅色)、第二管(深藍色)

第三組：第五管(紫色)

第四組：第三管(黃色)、第四管(淡藍色)、第六管(深紅色)

從圖表中可發現他們在排序上有共通點：

- 1.第一組無照光的保護葉綠素效果最佳，四天測量下來只有少量減少
- 2.第二組為前後皆有花青素保護者，保護葉綠素效果明顯較第四組佳
- 3.第三組為第五管，只有葉綠素前面有花青素保護者，效果也高於第四組
- 4.第四組為只有後面有花青素者，可見保護效果不佳。

我們發現他們並沒有因為花青素在後排列一管或兩管的差異而產生顯著影響，因此分組的依據沒有把濃度列入考量，只是把排列相同的模型一起討論。

此實驗數據與當初所提之假設相符，前方的花青素具有保護葉綠素效果，但值得注意的是前後都具有花青素者也高於只有前方有花青素者。在討論了保護效果後，我們希望藉由更多實驗測定不同前後花青素排列對光反應的影響，探討花青素在葉片下表皮的其它作用。

實驗二

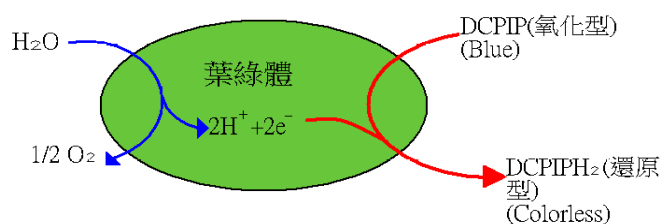
- 實驗：花青素之前後排列，對葉綠體光合作用光反應的影響
- 目的：由實驗一發現花青素在前方有保護葉綠素的效果。但是仍然無法解釋為何自然界中的花青素放置於後面，所以我認為有其他的因素影響其排列。我猜測

或許不是跟保護葉綠素有關，而是跟葉綠體的光合作用有關。於是我運用光合作用光反應還原效率的實驗來進一步證明。

• 光合作用光反應還原效率的實驗原理：

1937年，植物生理學家希爾發現，將葉綠體分後置於試管中，再加入適當的「氫接受者」，如 dichlorophenol indophenols(DCPIP)照光後也會使水分解並放出氧，此即為「希爾反應 (Hill reaction)」。

葉綠體照光時，水分子會被光解為 e^- 、 H^+ 、和 O_2 。 e^- 和 H^+ 會與藍色氧化鈦的 DCPIP 結合，成為無色的還原狀態，其反應如下



(圖片來源：<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/49/pdf/030312.pdf>)

(1)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。

(2)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，可於波長596nm下，測得其光反應值。

• 器材

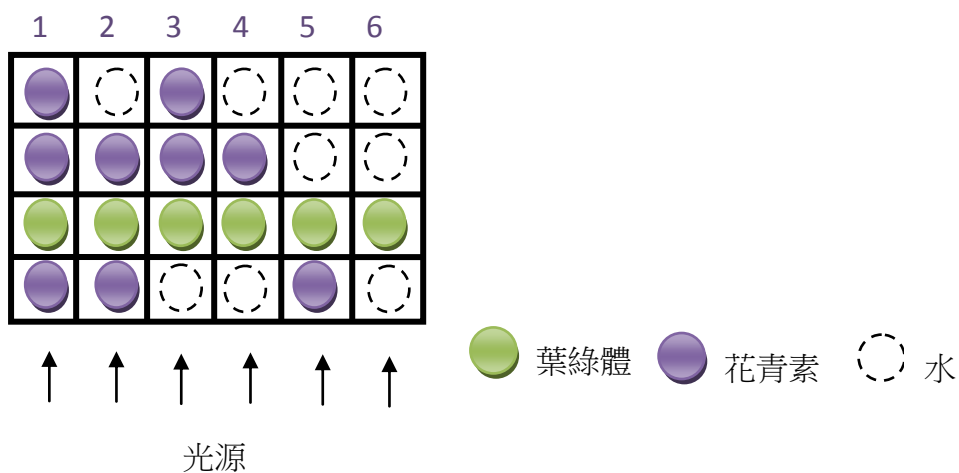
→ 萃取花青素與葉綠體

剪刀	水
濾紙	抽濾漏斗
試管	試管架
側支錐形瓶	T形管
滴管	量筒
紫背萬年青	加熱板
燒杯	玻棒
上下表皮皆為綠色的葉片	果汁機
離心機	0.5M 蔗糖溶液

• 步驟：

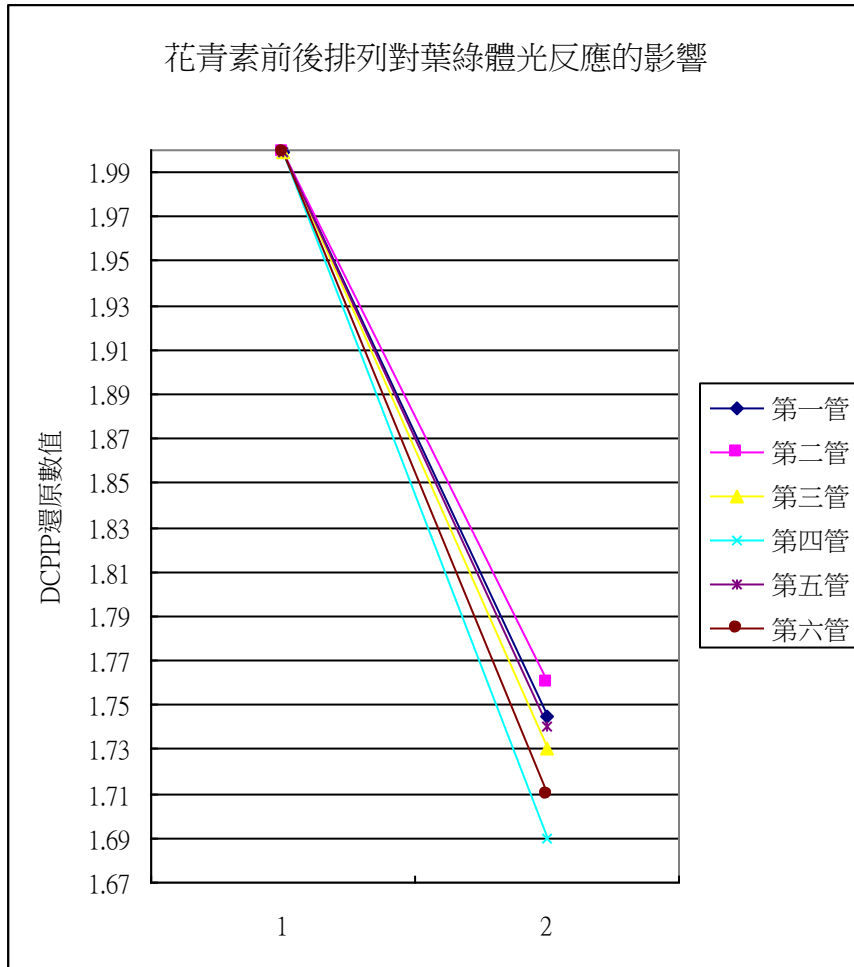
1. 萃取花青素：將紫背萬年青的葉片剪碎，溶於熱水中，使用加熱板將溫度控制在攝氏 50 至 60 度，等數分鐘，觀察其顏色變化，直到足夠量的花青素溶於水中後，再進行過濾，取過濾後花青素溶液。
2. 萃取葉綠體：將綠色葉片剪碎置入果汁機中，加入適量 0.5M 蔗糖水溶液與其混合成濃稠液體，使用電動離心機進行 1000 r.p.m 離心十分鐘，取沉澱部分，再加入適量糖水配成實驗所需「葉綠體溶液」。
3. 製作實驗裝置：將試管架放入紙盒中，用黑色膠帶隔開每一道試管架，確保光源單一方向。
4. 置入試管中，依照實驗進行排列。

• 實驗裝置



• 結果：

	第一管	第二管	第三管	第四管	第五管	第六管
初始	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999
一天後	1.745	1.76	1.73	1.69	1.74	1.71



• 討論：

由圖表中可以看出，一天後所測的 DCPIP 還原反應數值的實驗結果。第 2、1、5 管的光反應最差(DCPIP 還原值越高，表示其褪色越少，光反應效率最差)。而第 2、1、5 管都有花青素放置於葉綠體前方；至於沒有花青素放於前方的普遍光反應效率都比較好，所以推測花青素放於葉綠體前方有阻礙光反應的影響。於是，我們又設計了實驗三，將進一步討論花青素在葉綠體前方的遮蔽效應。

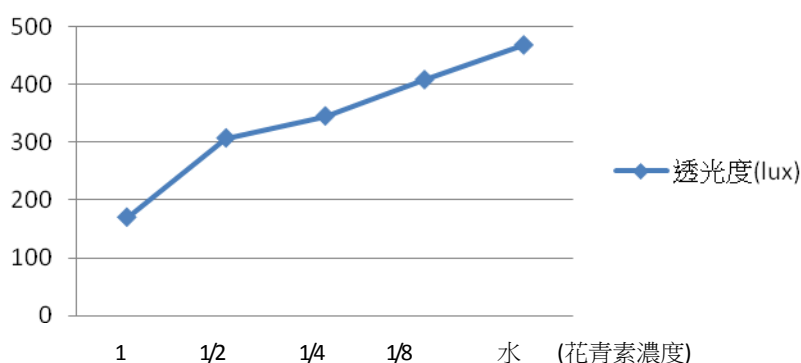
實驗三

- 實驗：不同濃度花青素在葉片前的遮擋光效果產生之個別影響
- 目的：驗證花青素在前，濃度越高越會妨礙其吸收光，進而影響光反應。
- 實驗假說：在葉綠體的實驗裝置中，前方放置濃度越高的花青素，其葉綠體的光反應比較差。
- 假說依據：



花青素濃度	1	1/2	1/4	1/8	水
穿透後的照度	169.8	307	345	408	468

濃度與穿透後照度的關係 (lux)



依照本實驗我可知，光通過濃度越高的花青素，會使照度降低越多，光反應得到的光照度越低。由此推論在葉綠體的實驗裝置中，前方放置濃度越高的花青素，其葉綠體的光反應也會越不如標準值(前方沒有花青素，而是放置水的實驗組)。為了驗證假說，我設計了實驗四希望證實花青素在葉綠體前，濃度越高，葉綠體的光反應就越差(DCPIP 所測實驗值越高)。

• 步驟：

1. 萃取花青素：將紫背萬年青的葉片剪碎，溶於熱水中，使用加熱板將溫度控制在攝氏 50 至 60 度，等數分鐘，觀察其顏色變化，直到足夠量的花青素溶於水中後，再進行過濾，取過濾後花青素溶液。
2. 萃取葉綠體：將綠色葉片剪碎置入果汁機中，加入適量 0.5M 蔗糖水溶液與其混合成濃稠液體，使用電動離心機進行 1000 r.p.m 離心十分鐘，取沉澱部分，再加入適量糖水配成實驗所需「葉綠體溶液」。
3. 製作實驗裝置：將試管架放入紙盒中，用黑色膠帶隔開每一道試管架，確保光源單一方向。
4. 置入試管中，依照實驗進行以下排列。



- ※ 第一管：為初始萃取液（濃度定為 1）
- ※ 第二管：為初始萃取液濃度的 1/2
- ※ 第三管：為初始萃取液濃度的 1/4
- ※ 第四管：為初始萃取液濃度的 1/8
- ※ 第五管：前方放置水(標準值)

• 器材：

→ 萃取花青素與葉綠體

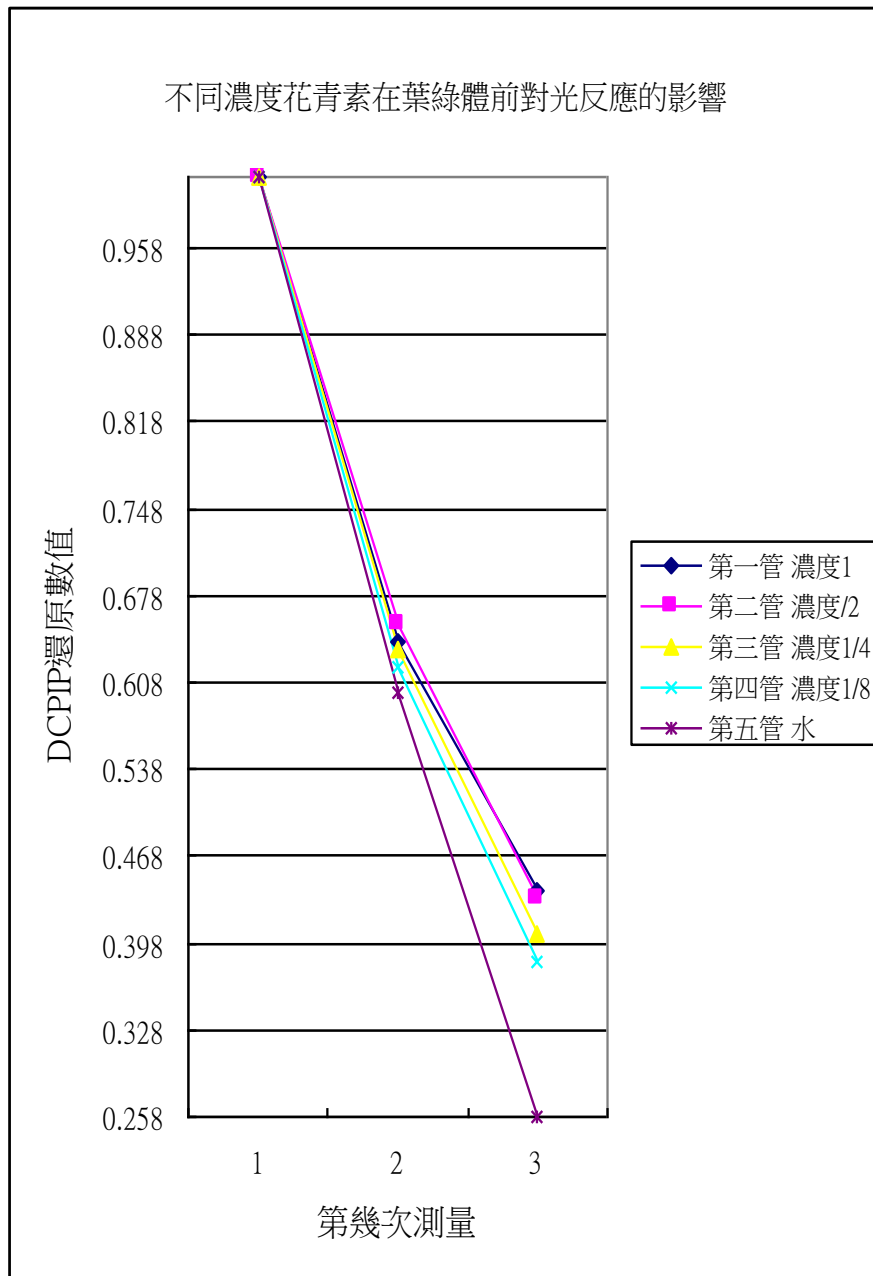
剪刀	水
濾紙	抽濾漏斗
試管	試管架
側支錐形瓶	T 形管
滴管	量筒
紫背萬年青	加熱板
燒杯	玻棒
葉片	果汁機
離心機	0.5M 蔗糖溶液

• 測量步驟

1. 在配置葉綠體後，加入 DCPIP 各五滴，均勻搖晃，置入模型中，數小時後進行測量。
2. 使用離心機 1500rpm，離心十分鐘，分開沉澱的葉綠體及溶液(避免漂浮物影響到分光光度計測量結果)。
3. 將溶液分別裝入比色管中。
4. 校準分光光度計，以水做為校準值。
5. 將各管中的葉綠體溶液以波段 596nm 測量其吸收值。
6. 紀錄數據，取平均，整理並討論。

• 結果：

	第一管	第二管	第三管	第四管	第五管
第一次	1.015	1.015	1.015	1.015	1.015
第二次	0.64	0.655	0.635	0.621	0.6
第三次	0.44	0.434	0.406	0.382	0.258



• 討論：

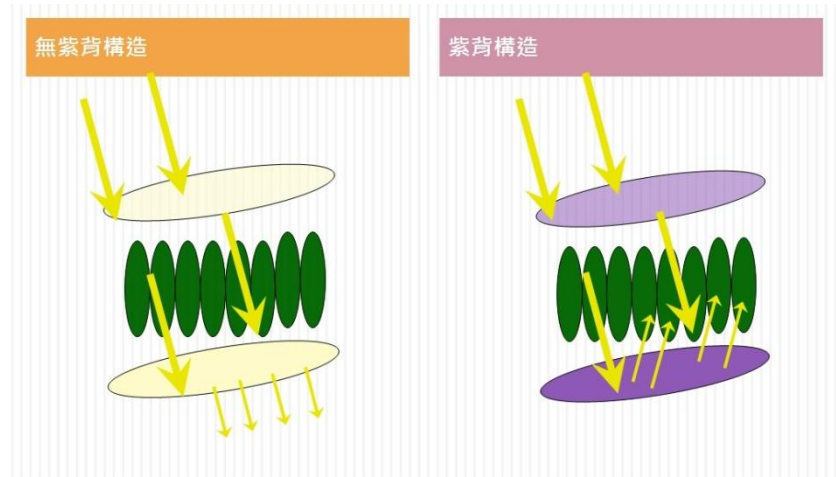
由以上普遍數據曲線可得知花青素濃度越高，其搭配的葉綠體光反應效果越差(DCPIP 被還原越少，測得的 596nm 數值越高)。雖然花青素最濃那組不符合預期假設，但其餘濃度皆如假設所期待，我們認為花青素最濃那組可能是有誤差干擾。因此，我們判斷此次實驗結果符合假說：置於前的花青素濃度越高，將遮蔽越多的光源，導致光反應效率不如其他實驗組。由於花青素置於葉片前會吸收部分照光(也就是我們所說的遮蔽效果)，導致相同光源，葉綠素卻獲得不同強度的照光，強度越高的照光將促使葉綠素加速氧化，降低濃度的坡度越大，也就如上圖表所示。

以上實驗結果雖然解釋了花青素置於葉綠體前方的壞處，但我們更希望能直

接解釋花青素置於葉綠體後的好處，因此我們設計了實驗四：不同濃度花青素置於葉片後，對葉綠體的光反應作用的影響。希望證實花青素反射的光波段有助於葉綠體光反應效用的假說成立。

實驗四

- 實驗：不同濃度花青素置於葉片後，對葉綠體的光反應作用的影響
- 目的：證實花青素具有反射效果，且依濃度不同對光反應產生不同程度影響
- 假說：



葉背的花青素能反射葉綠體所需要吸收的色光，因此有助於它的光反應。所以我希望這個實驗能在葉綠體後方放置不同濃度的花青素，來測葉綠體的光反應效果，應證其葉綠體後的花青素濃度越高，光反應效果越差(DCPIP 還原的數值也越高)。

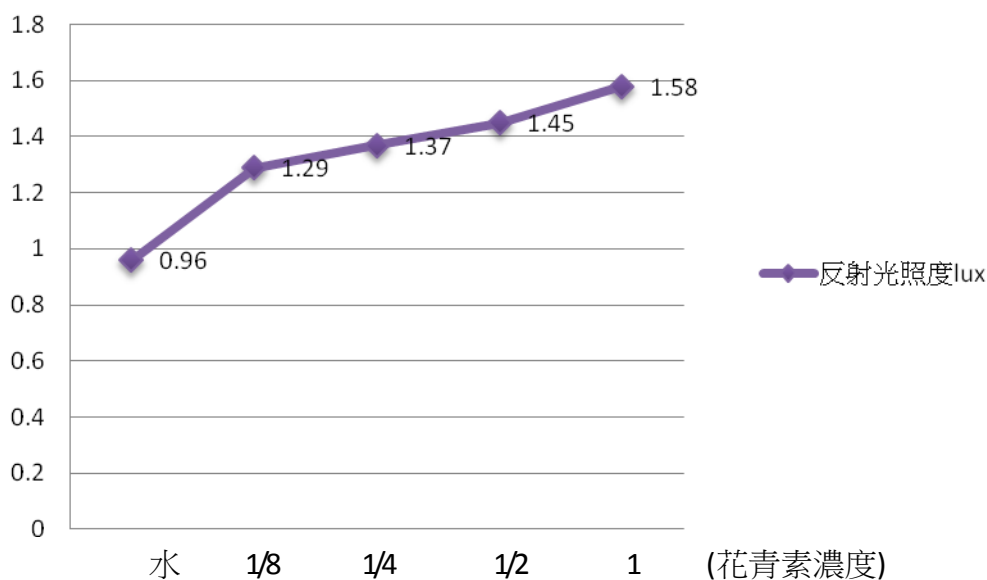
- 假說依據：

稀釋實驗所需的不同比例濃度的花青素，分裝到試管中，以雷射筆照射，以照度計測量其反射光的照度。



- 結果：

不同花青素在葉背的反射光照度



• 討論：如上表所示實驗結果，隨著花青素濃度越高，反射光的照度也越高，強度越強。由此我推論，真實葉片中，葉背的花青素濃度越高，會導致較多的光反射，此強度將有利於光反應作用。

• 器材：

→ 萃取花青素與葉綠體

剪刀	水
濾紙	抽濾漏斗
試管	試管架
側支錐形瓶	T 形管
滴管	量筒
紫背萬年青	加熱板
燒杯	玻棒
葉片	果汁機
離心機	0.5M 蔗糖溶液

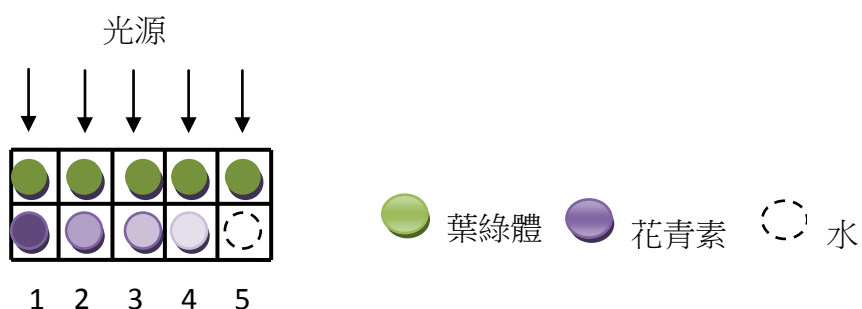
• 步驟

1. 萃取花青素：將紫背萬年青的葉片剪碎，溶於熱水中，使用加熱板將溫度控制在攝氏 50 至 60 度，等數分鐘，觀察其顏色變化，直到足夠量的花青素溶於水中後，再進行過濾，取過濾後花青素溶液。
2. 萃取葉綠體：將綠色葉片剪碎置入果汁機中，加入適量 0.5M 蔗糖水溶液與其

混合成濃稠液體，使用電動離心機進行 1000 r.p.m 離心十分鐘，取沉澱部分，再加入適量糖水配成實驗所需「葉綠體溶液」。

3. 製作實驗裝置：將試管架放入紙盒中，用黑色膠帶隔開每一道試管架，確保光源單一方向。

4. 置入試管中，依照實驗進行以下排列。



※ 第一管：為初始萃取液（濃度定為 1）

※ 第二管：為初始萃取液濃度的 1/2

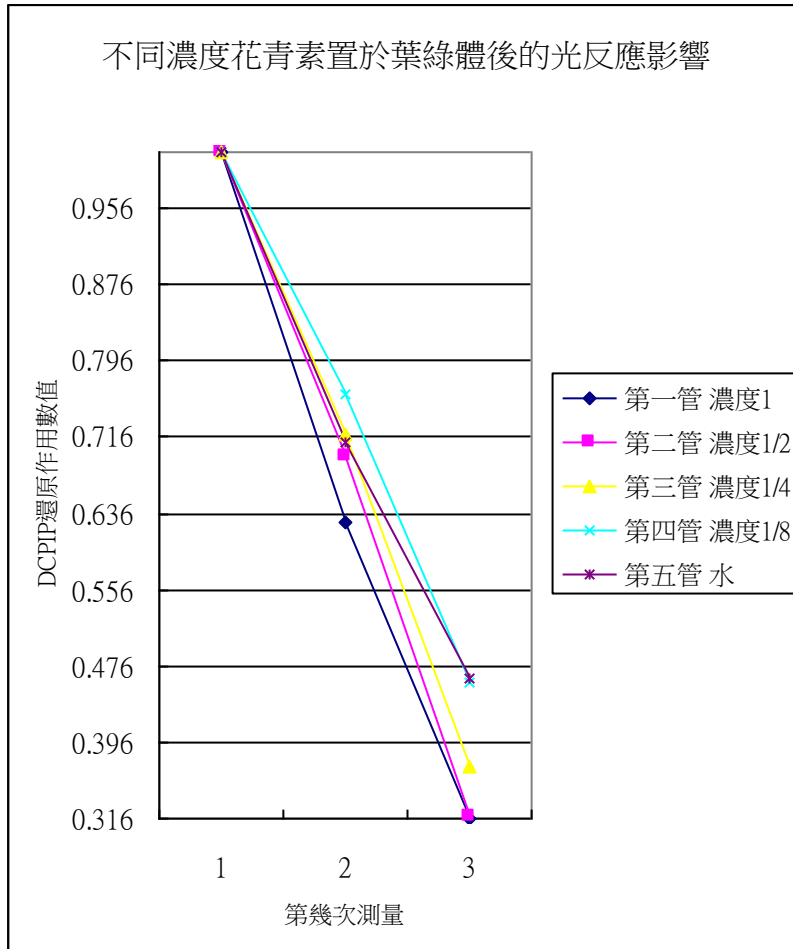
※ 第三管：為初始萃取液濃度的 1/4

※ 第四管：為初始萃取液濃度的 1/8

※ 第五管：後方放置水

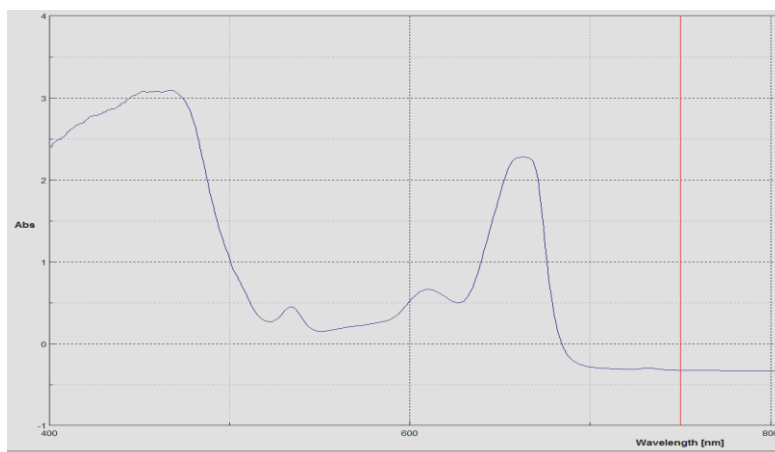
• 結果：

	第一管	第二管	第三管	第四管	第五管
第一次	1.015	1.015	1.015	1.015	1.015
第二次	0.627	0.695	0.718	0.761	0.71
第三次	0.317	0.319	0.37	0.459	0.462



• 討論：

雖然純水那組不符合預期假設(可能是有誤差)，但其餘濃度皆如假設（葉背花青素越濃將反射回越多光源，促使葉綠體光反應較佳）所期待。藉此實驗結果我們判斷此次實驗結果符合假說—花青素在葉背後濃度越高的實驗組，其葉綠體光反應的效果越好，(光反應效果越佳，DCPIP 被還原的效率越高，褪色的程度越佳測得 596nm 波長值將越低)。因此推斷花青素在葉背反射的紅光與藍光波段有助於葉綠體的光反應。



由以上葉綠素吸收的光波段曲線可見，吸收的高峰介於可見光 400-500nm 與 600-700nm 之間，屬於色光中紅光與藍光範疇，也就是說，花青素所反射的色光恰好為葉綠體光反應最需要吸收的光波段；和假說與實驗結果相符。

實驗五

- 實驗：反射光的不同顏色對光合作用光反應之影響探討
- 目的：探討葉綠素背後放置不同顏色的溶液，造成不同色光反射，對光反應的影響。也就是希望能證實花青素的顏色對葉片的光反應是有比較好成效的。

• 步驟：

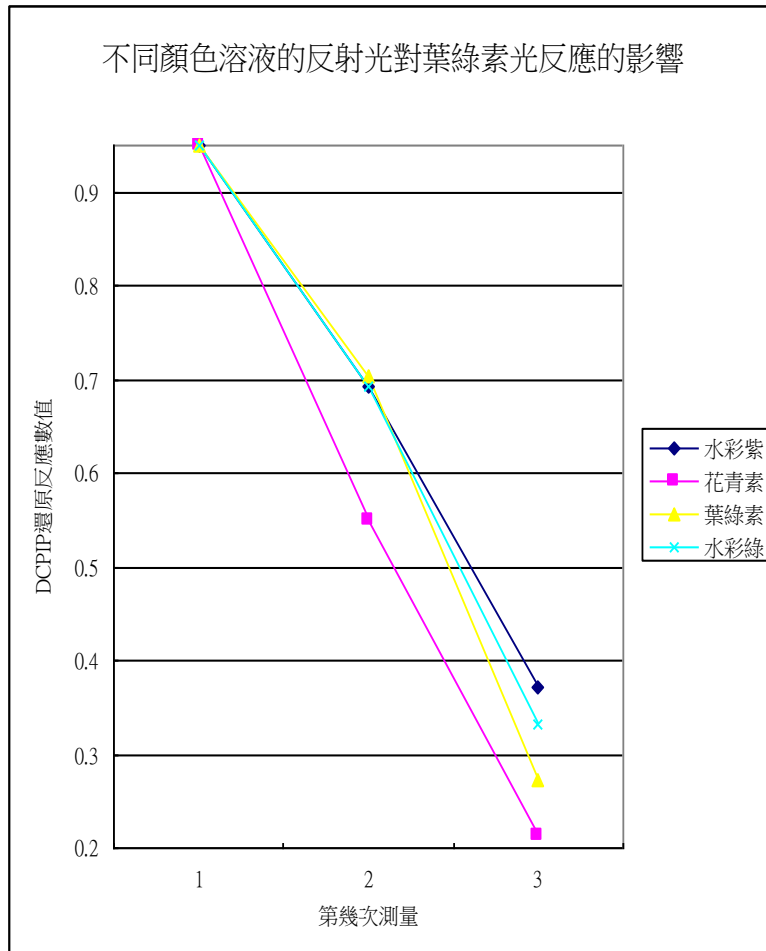
1. 萃取花青素：將紫背萬年青的葉片剪碎，溶於熱水中，使用加熱板將溫度控制在攝氏 50 至 60 度，等數分鐘，觀察其顏色變化，直到足夠量的花青素溶於水中後，再進行過濾，取過濾後花青素溶液。
2. 萃取葉綠素：剪碎紫背萬年青葉片，使用丙酮溶出其中的葉綠素，並以研鉢與研杵磨搗，再進行過濾，取過濾後的葉綠素溶液。
3. 利用透明水彩、葉綠素及花青素配成溶液，在相近透光度下，裝入試管中。
4. 排列於模型中，置於葉綠體後，照以相同且穩定光源。
5. 隔固定時間後，以希爾反應測量 596nm 波段的光吸收。
6. 記錄數據，取兩組平均後結果，再進行討論。

• 器材

紫背萬年青	加熱板
燒杯	玻棒
剪刀	水
濾紙	抽濾漏斗
試管	試管架
側支錐形瓶	T 形管
滴管	量筒
丙酮	研鉢
葉片	研杵
水彩(淺綠；紫色)	雷射筆與照度計(控制其透光度相近)

結果：

	原始	第一次	第二次
水彩紫	0.950	0.692	0.372
花青素	0.950	0.550	0.214
葉綠素	0.950	0.703	0.272
水彩綠	0.950	0.692	0.331



• 討論：

如我們所期待的，在葉背放置花青素，有助於葉綠體光反應的作用；而葉綠素、水彩的綠色與紫色皆沒有效果。我們大膽推論花青素之所以為紫色，正是有助於葉片對其吸收的特殊波段光的需求。

五、自然界的運用

耐陰性植物

在我的查閱之下，我發現紫背萬年青和紫背鴨跖草都是耐陰性植物。於是我認為這些植物能在陰暗處生長，或許紫背是其適應的方式。透過紫背的構造，使原本已經不足的陽光能在葉片中進行反射，而使光能吸收更完全，也進而使光反應的效能提高。

實驗六

實驗：了解自然界中，除了紫背萬年青和紫背鴨跖草這種運用方式，植物還有什麼方式運用花青素以適應不一樣的光環境

觀察對象一：在十八尖山上，我觀察到一種很特別的植物。他在不同的位置有不同的葉片開合現象。我於是用光度計測量其光環境和葉片型態的關係。

初始觀察：

	第一區	第二區	第三區
環境	無樹陰，陽光直射	部分樹陰	完全在樹叢中
圖片			
光度	16200lux	5800lux	470lux
型態	葉片大部分蜷曲	部分蜷曲，部分舒張	全部舒張

步驟：

1. 運用光度計測量各區的照度
2. 運用固定區域中舒張葉片和蜷曲葉片的比例，比較照度和舒張葉片比例的關係。

※舒張葉片比例 = (完全舒張 + 半舒張葉片數) ÷ 全部葉片數

完全舒張	
半舒張	 葉片大概有 50% 以上能接收到外在光線

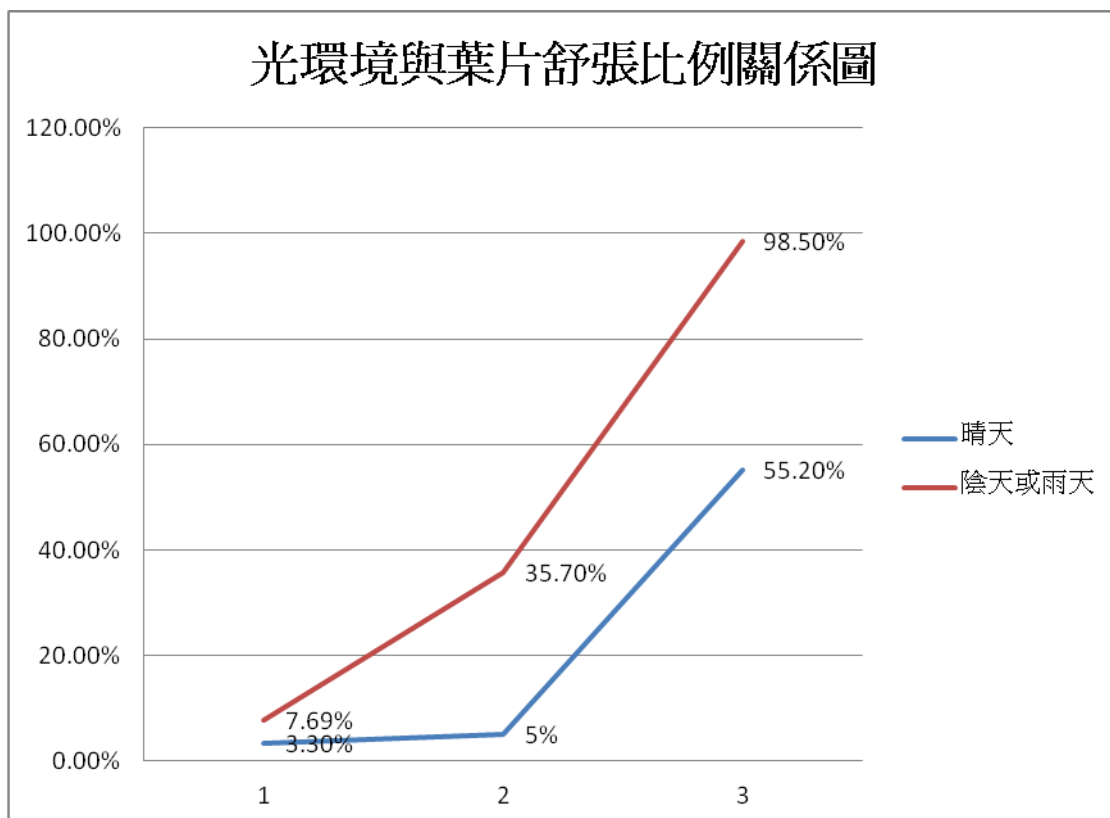
實驗結果：

第一組：晴天

	第一區	第二區	第三區
光度	16200 lux	5800 lux	470 lux
舒張葉片比例	3.3%	5.0%	55.2%

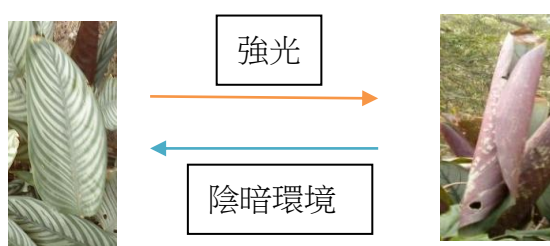
第二組：陰天或雨天

	第一區	第二區	第三區
光度	5620 lux	2030lux	240 lux
舒張葉片比例	7.69%	35.7%	98.5%



討論：

由圖表很明顯看出，光度越弱的地方，葉片舒張的比例上升；而相對的，在光度越強的地方，葉片會捲曲，讓葉背包住葉面。此結論符合實驗一到五的結論，花青素在植物中可扮演保護或反射光的兩種角色。在強光環境下，花青素傾向於保護的作用，所以將葉背的花青素包住葉片綠色的部分。而當在陰暗的環境時，植物則舒張葉面，使花青素位在葉片下層，達到反射光線，幫助光合作用的目的。這種植物是用葉片的舒張和閉合來改變花青素的物理位置，來達到不同的效果。而且發現在雨天或陰天時，葉片舒張的比例上升，因為接收到的陽光變弱。在晴天時則相反。






觀察對象二：我發現校園中的朱焦，在同一株內，葉片在不同的高度會有不同的顏色。

初始觀察：葉的顏色分三區

	亮粉紅色
	暗紅色 (帶有深綠)
	綠色 (葉緣有粉紅色)

結果：

高度	100cm	60cm	40cm
照片			
葉片顏色	亮粉紅色	暗紅色(帶有深綠)	綠色(葉緣有粉紅色)

討論：

可以明顯看出高度越高，花青素占葉片中的比例越高。我認為上方的葉片，因為直接曝曬在陽光下，所以有較高量的花青素，以保護下層的葉片。中層的葉片因為陽光的傷害已降低，所以花青素的量下降。最後底層，不需要花青素以遮蔽陽光，所以葉片大部分成綠色。朱焦的這種方式是把我們實驗的假說擴大到種株植物去應用，並非只侷限在葉片中的分層。而其排列方式是傾向於保護的應用。

結論：

實驗六中探討了，三種自然界應用的方式：

1. 傾向於反射光線，幫助光合作用，例如：紫背萬年青和紫背鴨跖草
2. 傾向於保護作用，降低陽光對葉綠素的傷害，例如：朱焦

3. 兩種功能都運用，例如：十八尖山上的那種植物

我也發現為了達到這樣的效果，有些植物是在葉片中做分層(上、下表皮的差異)有些植物是把整株植物依高度做花青素濃度的分層，例如：朱焦。還有一些植物竟然運用葉片的開合，來調整花青素的位置。使他們在不同的光環境下皆可適應和改變。

六、實驗總結

由以上實驗我驗證，在上表皮的花青素有保護其葉綠體的作用，但濃度太高會遮蔽到光合作用光反應所需的光源，所以花青素大部分不置於上表皮。

而下表皮的花青素則是具有反射效果，濃度越高，反射效率越好。這樣置於下表皮的構造可以把吸收不完全的紫光再次反射讓葉肉的葉綠體進行光反應，有助於其光合作用。

而自然界中的植物在不同的光環境中也有不同的方式適應。有些植物是以葉片的舒張與畢合去調整花青素的位置；有些植物是傾向保護作用；有些則是傾向反射光線，幫助光合作用。

六、應用

本實驗的模型設計可以應用在其他色素和葉綠素、葉綠體的研究上。且本實驗所得出的結論，可以廣泛應用在自然界中。以解釋花青素在植物中的物理位置與其功能的關係，並解釋一些植物葉片或色素分布的適應方式。

七、未來展望

因為我的假設是下表皮的花青素可以把光反射，那在其下方的葉片不就比較沒有光可以吸收了，所以我希望了解紫背植物葉片排列是否有特別交錯排開，或是有其他葉片排列。未來也希望可以延伸至其他種色素，了解其他色素是否在葉片中的位置也有其影響和功能。

八、參考文獻

- | | | |
|-----------------|---------------------|------------|
| 柯勇 編著 | 藝軒圖書出版社 | 植物生理學 |
| 彭敘慈、陳柏廷 | 臺灣二〇〇四年國際科學展覽會儲備作品 | 植物的彩裝 |
| 林健安、黃婷資、楊博涵、蔡岱凌 | 爬上另一座Hill-光反應實驗的再探討 | |
| 全華出版社 | | 選修生物上 |
| 翰林出版社 | | 選修生物上 |
| 郭羽函、王昱雯、劉宸瑜 | 自製比色計測量希爾反應 | |
| 英國皇家園藝學會 | 貓頭鷹出版社 | 耐陰植物栽培實用指南 |