

屏東縣第64屆國中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：化學科

組 別：國中組

作品名稱：天然植物萃取色素光熱穩定性探討

關鍵詞：天然色素、穩定性、RGB（最多三個）

編號：B3004

目錄

摘要	1
壹、前言(含研究動機、目的、文獻回顧)	1
一. 研究動機	1
二. 研究目的	1
貳、研究設備及器材	2
參、研究過程或方法	2
一. 天然色素萃取溶劑適配性測試	2
二. 色素萃取與試片製作	3
三. 色素熱穩定性測試	3
四. 色素太陽光穩定性測試	4
五. 色素紫外光(UV)燈光穩定性測試	4
六. 數據處理與分析	5
肆、研究結果與討論	8
一. 天然色素萃取溶液適配性測試	8
二. 實驗數據處理公式的適用性	9
三. 薑黃色素光熱穩定性	10
四. 紅椒色素光熱穩定性	12
五. 紅麴色素光熱穩定性	13
六. 菠菜色素光熱穩定性	15
七. 蝶豆花色素光熱穩定性	17
八. 紫草色素光熱穩定性	19
九. 檳榔色素光熱穩定性	20
十. 各色素的熱穩定性比較	22
十一. 各色素 UV 光穩定性比較	23
十二. 各色素太陽光穩定性比較	23
十三. 本次實驗結果疑點分析與解釋	24
伍、結論	26
陸、參考資料及其他	26

天然植物萃取色素光熱穩定性探討

摘要

本研究自天然植物薑黃、波菜、紅麴、紅椒、蝶豆花、檳榔、紫草中萃取其色素，並分別置於太陽光、紫外光燈、以及不同溫度的環境下反應，並於特定時間利用影印機掃描，搭配 ImageJ 軟體，分析其 R、G、B 與灰階值，計算其分解率。實驗發現紅椒、薑黃、紅麴、波菜色素於太陽光與 UV 光下依序明顯產生分解反應，其餘則較無變化；而各種色素於 95°C 環境下各色素分解率依序為，薑黃 23%、紅椒 17%、蝶豆花 15%、波菜 12%，其餘皆低於 10% 無明顯分解。而在照光分解的情況下，紅椒有最高的分解率約 99%，其次為薑黃 82%、紅麴 74%、波菜 61%，其餘色素皆約小於 10%，其中又以天然太陽光照射時，色素的分解率最佳。

壹、前言(含研究動機、目的、文獻回顧)

一. 研究動機

中午用餐時，廚房所提供香噴噴咖哩，然而正當大家享用午餐時，此時慘劇也隨之發生，「啊!!! 咖哩沾到衣服了啦~」、「慘了... 這個超難洗的欸」。放學後懷著忐忑的心情回家，心中想著回家一定會被罵，怎麼把制服搞得這麼髒。結果回家洗完衣服，放到太陽下曝曬後，顏色變得很淡。經上網搜尋後發現可能是色素中的分子被太陽光分解的原因，於是想知道除了薑黃外，生活中還有哪些色素容易被分解呢？以及造成色素分解的原因為何？

本次實驗經上網查閱過去科展文獻，發現 2022 年雲林縣科展有一篇文章記載色素分解的測試方法，但該文獻是以半定量灰階格狀底片對色素試片進行曝曬，最後計算殘餘的色素方格格數來判斷色素穩定性。而根據目前所查到的文獻，色素的測試不外乎都是使用紫外光-可見光光譜儀、利用手機固定位置拍攝照片分析其 RGB 值、或自行組裝 RGB 三色 LED 光譜儀進行量測，但前者設備昂貴，一般中小學無力負擔，後者 RGB 數值會受到手機拍攝角度與環境光線影響，造成拍攝的照片光線顏色有所誤差，進而影響 RGB 值，而 RGB 光譜儀組裝較為繁複，需要額外製作零件，因此便想說是否能夠利用校園中的影印機進行色素穩定性的檢測。影印機相較於手機具有固定掃描角度以及距離的特性，只要固定設定參數與操作 SOP 便能進行測量，且各級學校不論偏鄉都市都會配備影印機，因此拿來進行色素分解分析是一大優勢。

二. 研究目的

1. 開發微量測試溶劑適配性方法
2. 利用學校現有設備進行影像 RGB 值分析，並利用 ImageJ 軟體計算色素分解率
3. 測試天然植物萃取色素光熱穩定性

貳、研究設備及器材

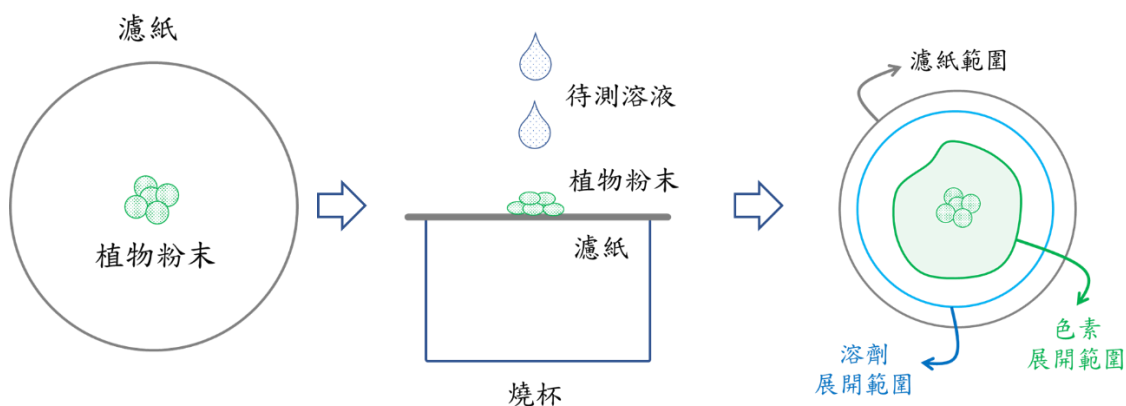
薑黃粉	菠菜粉	匈牙利紅椒粉	紅麴粉
蝶豆花粉	檳榔子粉	紫草粉	95%酒精
蒸餾水	丙酮	鋁箔烤雞袋	定性濾紙(直徑9cm)
打氣幫浦	溫控開關	LED 紫外線燈 50W 395 nm	吹風機
60ml 注射餵食器	脫脂棉花	50ml 燒杯	海綿刷/豬鬃刷
夾鏈袋	電湯匙 1000W	塑膠滴管	電子秤
鐵架	水桶	影印機 (RICOH MP5054)	筆記型電腦 (安裝 ImageJ 與 Excel)

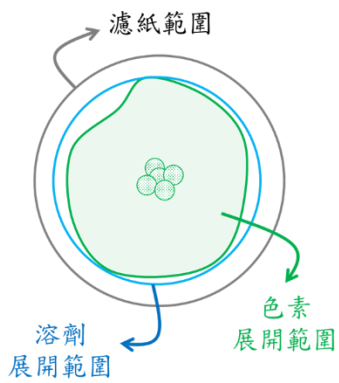
參、研究過程或方法

一. 天然色素萃取溶劑適配性測試

薑黃、菠菜與蝶豆花其萃取溶劑參考之前參與作品的比例，分別選用酒精(薑黃、菠菜)與熱水(蝶豆花)進行萃取，其餘植物依下列方式進行適配性測試。

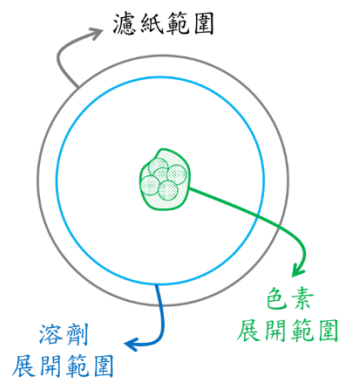
取約 0.05g 天然植物粉末於 9cm 濾紙正中央，並以塑膠滴管吸取欲測試之溶劑滴於植物粉末中央，觀察並比較溶液於濾紙上的展開情況。假如溶劑展開範圍與色素展開範圍愈近，則代表該溶劑愈容易從粉末中萃出色素。此方法優點在於可利用少許的溶劑與樣品，即可完成適配性測試，以達到綠色化學的宗旨。





溶劑展開範圍與色素展開範圍相近

該溶液對於色素萃取適配性**佳**



溶劑展開範圍與色素展開範圍相遠

該溶液對於色素萃取適配性**差**

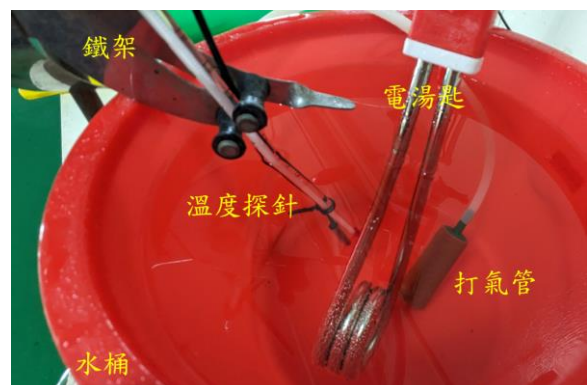
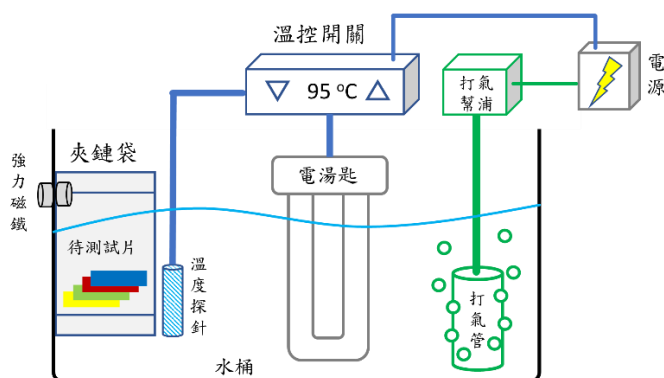
二. 色素萃取與試片製作

利用之前溶劑適配性試驗結果，分別以粉水比1:1進行色素萃取，乙醇萃取薑黃，丙酮萃取菠菜、紅麴、紅椒、紫草，50%熱乙醇水溶液萃取檳榔，以及熱水萃取蝶豆花。將萃取液過濾後，以豬鬃刷(有機溶劑)或海綿刷(水性溶劑)沾取色素萃取液，刷在濾紙上，並以吹風機將其吹乾備用。

三. 色素熱穩定性測試

1. 組裝恆溫水浴槽

如下圖所示，將水桶、鐵架、溫控開關、電湯匙、以及打氣幫浦組合成恆溫水浴槽，並於水桶中裝水至八分滿，並打開打氣幫浦擾動水流，以便於加熱過程中增加水流循環，使系統快速達熱平衡。



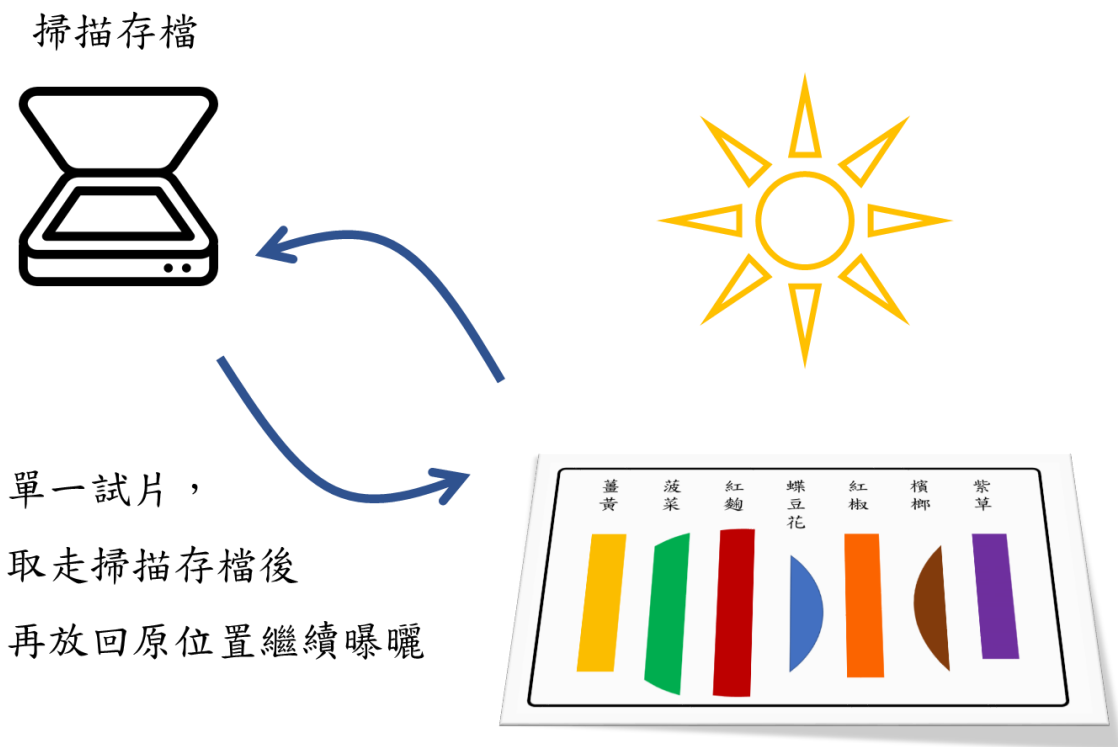
2. 進行色素熱穩定性測試

將恆溫水浴槽溫度設定為95°C，使其加熱一段時間至目標溫度後，將7種色素試

片各10片分類放入7個小夾鏈袋中，擠出袋內空氣並密封，並將7個小夾鏈袋置於鋁箔烤雞袋中，擠出空氣並密封。接著置於恆溫水浴槽，並以強力磁鐵固定於水桶上。於每一小時取出色素試片，以影印機掃描存檔。

四. 色素太陽光穩定性測試

由於利用8組太陽光試片測試結果有著因8組試片尺寸不同，且試片色素均勻度不一等因素，而造成實驗的誤差，因此修正實驗方法，將實驗方法改成製作單一組相框試片(內含各一片7種色素)，於太陽光下曝曬一小時後，以影印機掃描存檔後，將原相框試片置回太陽光下，繼續曝曬，累積曝曬時間，並於下一個小時完成後，再次收回，以影印機掃描存檔。重複持續該步驟，直到累積曝曬8小時結束。

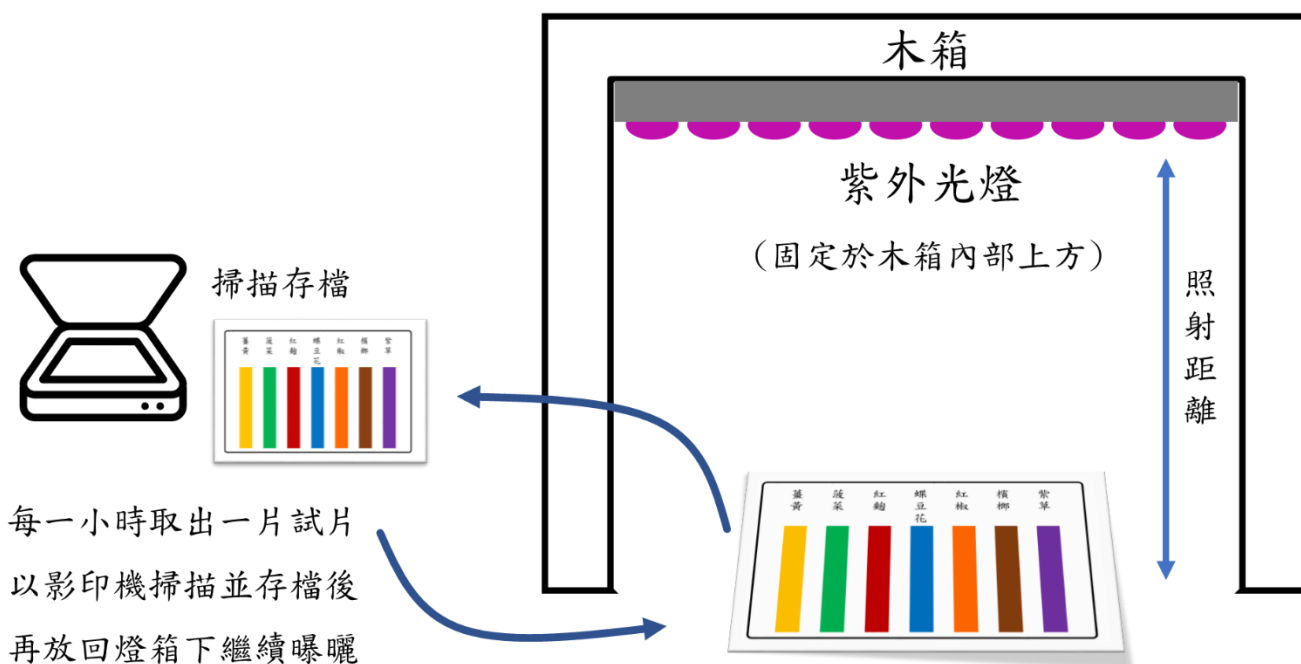


優點:同一試片累積光照射，不存在色素試片組別相異，與試片均勻度誤差

缺點:色素試片掃描時間占用光照時間

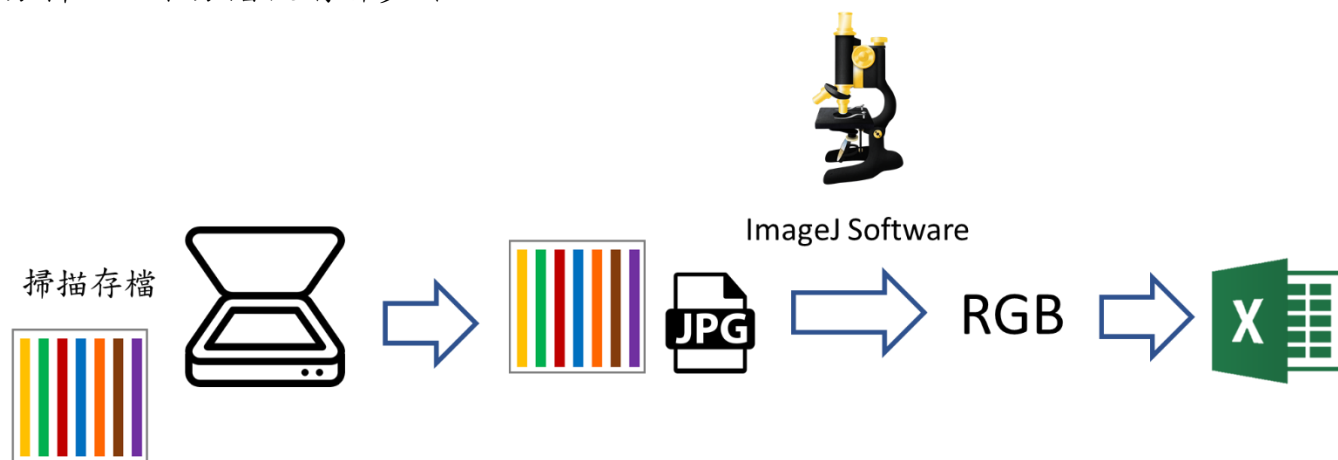
五. 色素紫外光(UV)燈光穩定性測試

先量測暗箱底部開口範圍，並將範圍繪製於 A4影印紙上，接著分別取7種色素黏貼於範圍中，並置於 UV 燈箱下，以50W、395nm 的 UV 燈照射8小時，並於每一小時取一組試片，利用影印機進行掃描存檔後，再放回燈箱下繼續照射。



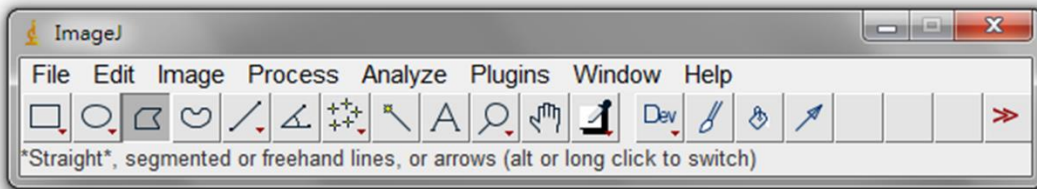
六. 數據處理與分析

利用 ImageJ 軟體轉換並統計實驗圖檔中的 RGB 與灰階值，並以 Excel 進行數據分析，以下分階段講解步驟。

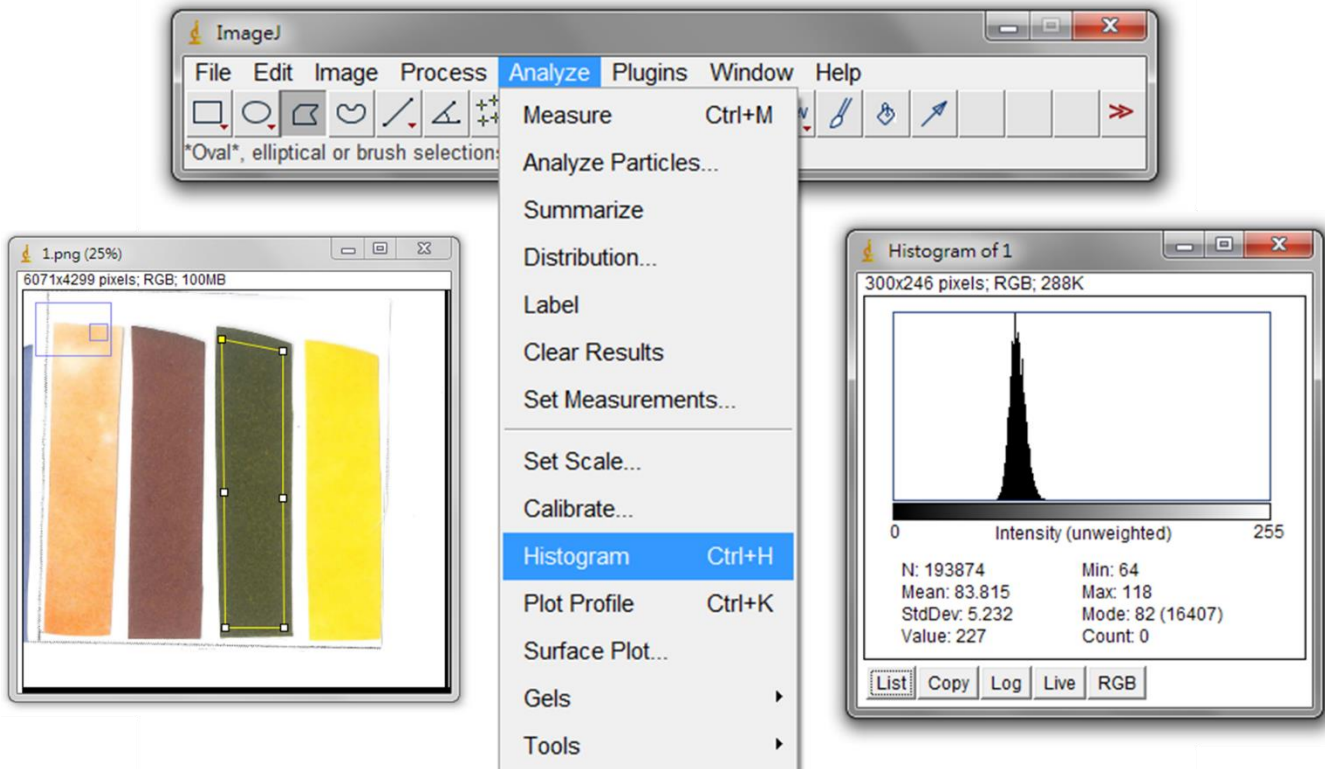


1. 選定圖檔分析範圍中的 RGB 值

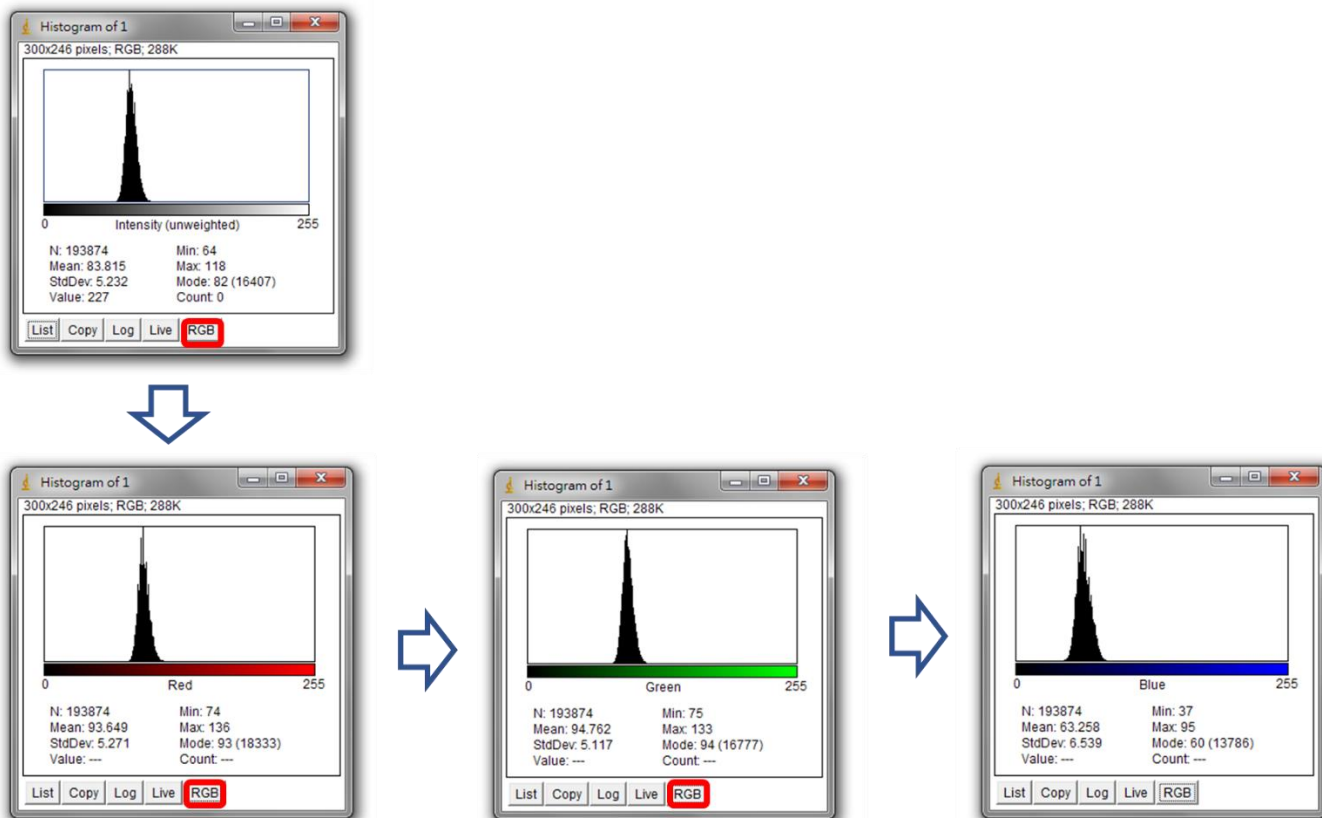
(1). 利用 ImageJ 工具列中的範圍分析工具，選取合適的圖檔範圍



(2). 利用 Analyze 選單中的 Histogram 功能統計選取範圍中的 RGB 值，此時 Histogram 視窗中顯示的為影像 8bit 灰階值，紀錄 Mean(平均數)中的數值做為選取範圍的灰階值。

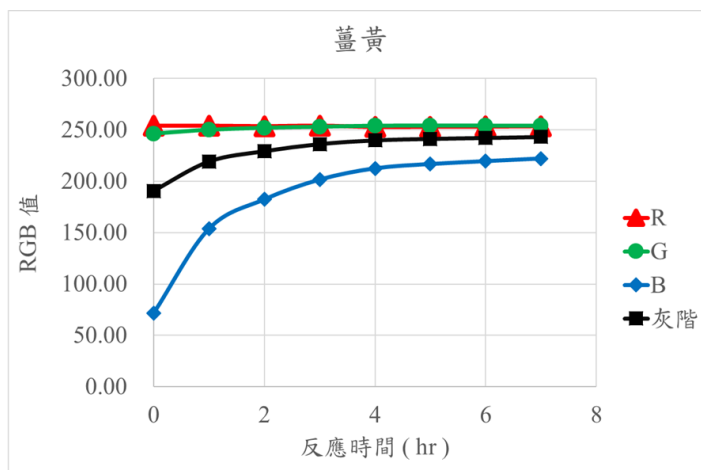


(3). 點選 Histogram 視窗中右下角的 RGB 按鈕切換成 R、G、B 三個視窗，繼續記錄 Mean 欄位中的數值做為選取範圍中的 R 值、G 值、與 B 值。



(4). 利用 Excel 紀錄所得到的 R、G、B、與灰階值，並以公式計算其分解率與變化度，並作圖。

色素種類	薑黃			
時間 (hr)	R	G	B	灰階
0	253.961	246.175	71.389	190.548
1	253.946	250.102	153.692	219.178
2	253.600	252.078	182.341	229.297
3	253.960	253.098	201.592	236.232
4	253.016	254.198	212.547	239.911
5	253.207	254.277	216.742	241.346
6	253.300	254.251	219.536	242.255
7	253.522	254.207	222.112	243.199



①. 分解率：利用灰階值與空白濾紙之間的變化可計算出色素於反應中的分解程度。(本實驗分解率數據以百分比%呈現)

$$\text{分解率} = \frac{n \text{ hr 灰階值} - 0\text{hr 灰階值}}{\text{空白濾紙 灰階值} - 0\text{hr 灰階值}}$$

②. 分解度：利用灰階值的變化可計算出色素於反應中的分解程度

$$\text{分解度} = \frac{n \text{ hr 灰階值}}{0\text{hr 灰階值}} - 1$$

③. 變化率：利用 RGB 值與空白濾紙的變化可計算出三種顏色於反應中的變化程度（本實驗變化率以百分比%呈現）

$$\text{變化率} = \frac{n \text{ hr RGB值} - 0\text{hr RGB值}}{\text{空白濾紙 RGB值} - 0\text{hr RGB值}}$$

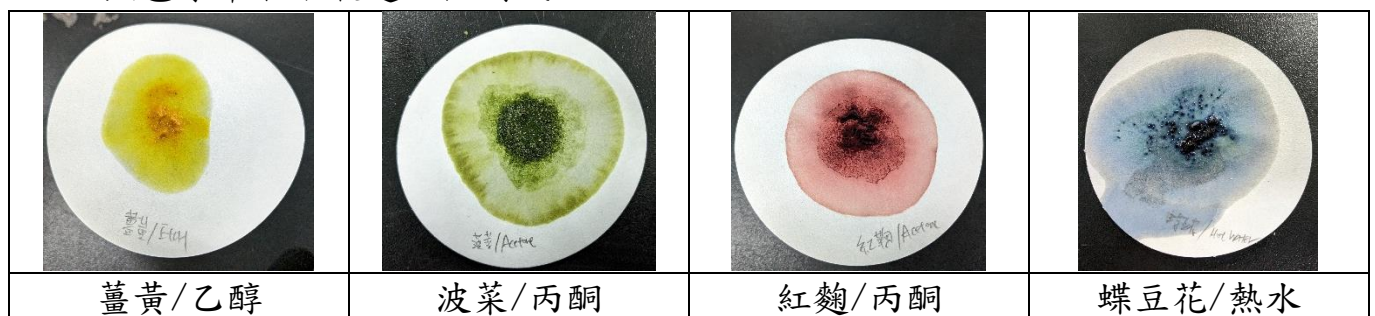
④. 變化度：利用 RGB 值的變化可計算出三種顏色於反應中的變化程度，其絕對值數值愈大，表示顏色變化愈明顯

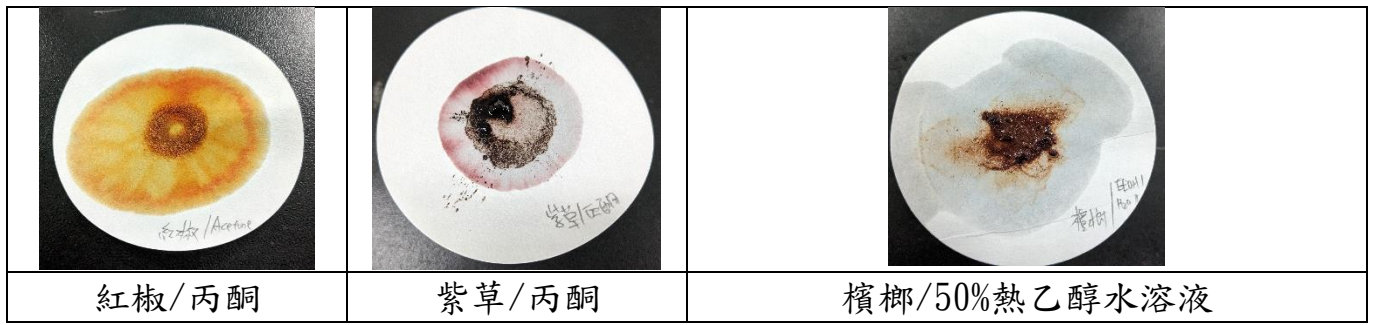
$$\text{變化度} = \frac{n \text{ hr RGB 值}}{0\text{hr RGB 值}} - 1$$

變化度 < 0 變暗
 變化度 = 0 無變化
 變化度 > 0 變亮

肆、研究結果與討論

一. 天然色素萃取溶液適配性測試



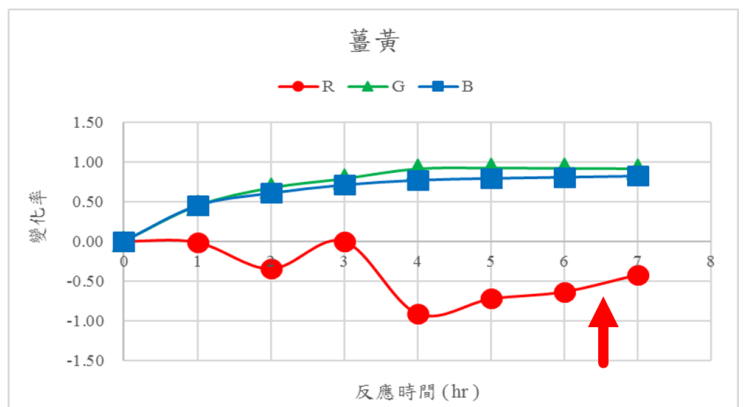
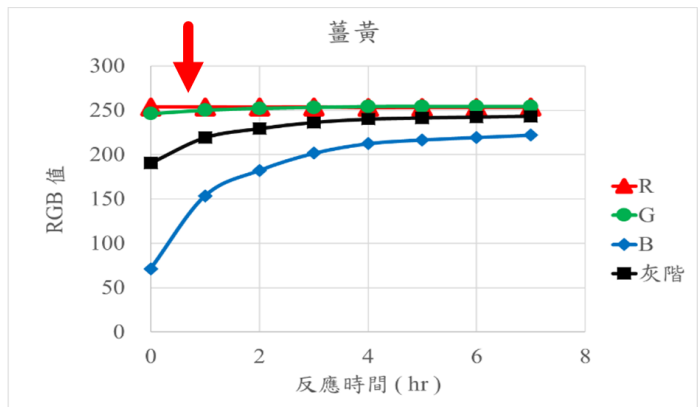


二. 實驗數據處理公式的適用性

在進行各色素 RGB 值分解率計算時發現，薑黃 R、G 值與紅椒的 R 值變化率 V.S 反應時間作圖後呈現非常大的起伏，其結果與原始 R 值 V.S 反應時間作圖有著非常大的差別(如下圖)。造成此現象的原因為薑黃 R、G 值與紅椒 R 值非常接近空白濾紙的 R、G 值255，因此在公式分母很小的情況下，R、G 值有稍微變動，經過公式計算後所得的變化率差距會很高，因此為了解決此情況，利用變化度的公式，進行計算，所得的結果與原始 RGB 值數據趨勢較符合。

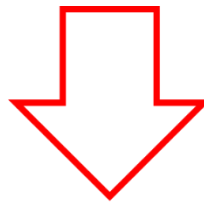
太陽光穩定性

色素種類	薑黃			
時間 (hr)	R	G	B	灰階
0	253.96	246.18	71.39	190.55
1	253.95	250.10	153.69	219.18
2	253.60	252.08	182.34	229.30
3	253.96	253.10	201.59	236.23
4	253.02	254.20	212.55	239.91
5	253.21	254.28	216.74	241.35
6	253.30	254.25	219.54	242.26
7	253.52	254.21	222.11	243.20



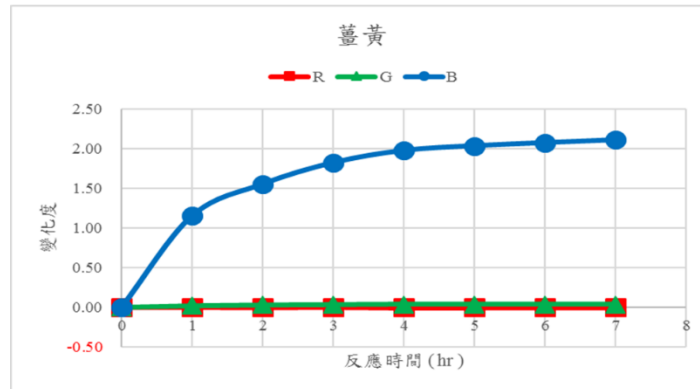
$$\text{變化率} = \frac{n \text{ hr RGB值} - 0\text{hr RGB值}}{\text{空白濾紙 RGB值} - 0\text{hr RGB值}}$$

過於接近 255 ，
導致計算出的 R 值變化率
與原始數據趨勢有很大的差異



修正為

$$\text{變化度} = \frac{n \text{ hr RGB 值} - 0 \text{ hr RGB 值}}{0 \text{ hr RGB 值}} - 1$$

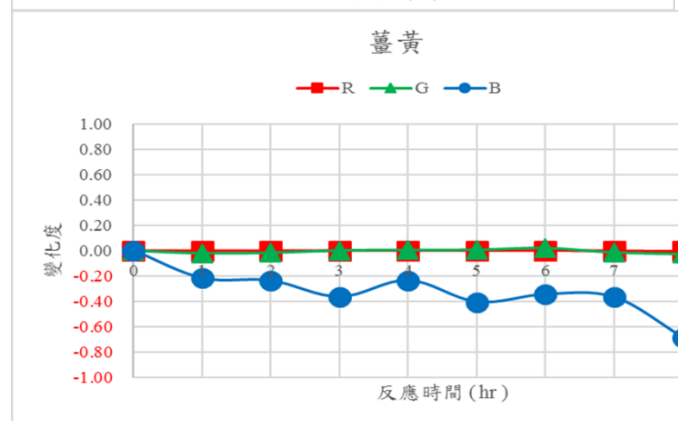
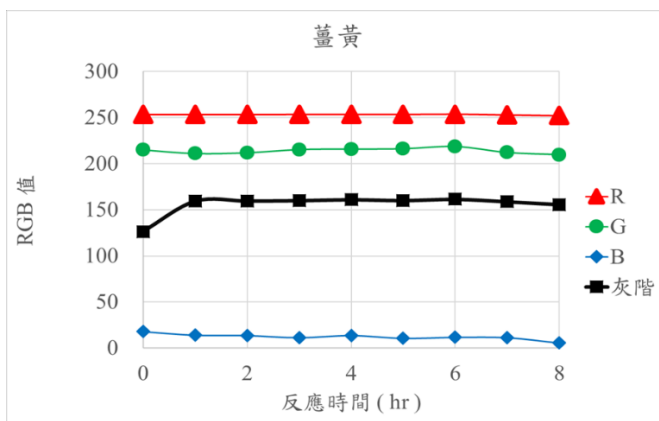
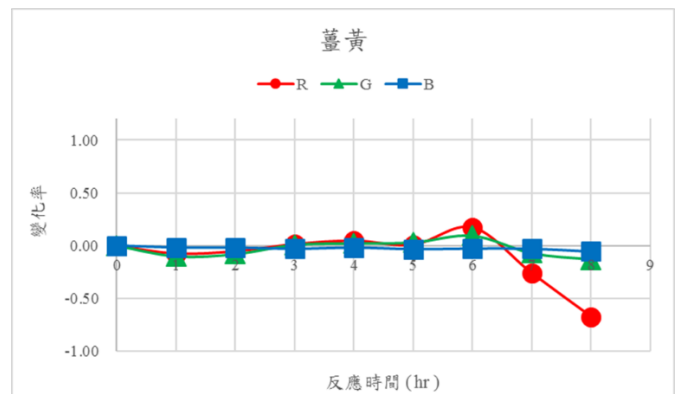


三. 薑黃色素光熱穩定性

薑黃色素於95°C 下 R、G 值無太大變化，灰階值顯示有些微分解，分解率大約 23%~26%，B 值略為下降；而於照射 UV 光以及太陽光情況下，R、G 值較無明顯變化，B 值與灰階值有著明顯上升，而在 UV 光照射下經過8小時分解率可達到63%；在太陽光照射下，其分解率最多可達到82%，且於太陽光照射下的分解速率較 UV 光快。從本次實驗結果可得知，薑黃的熱穩定性優於光穩定性。

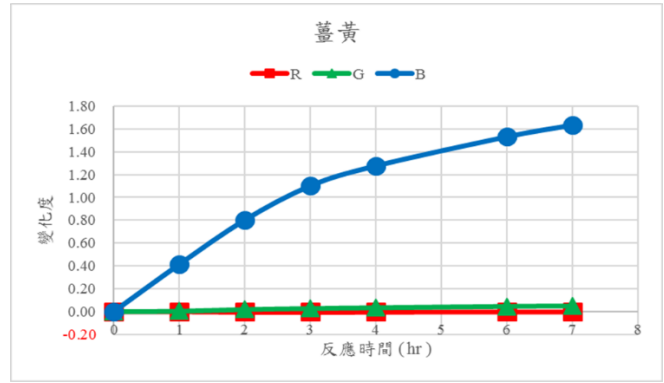
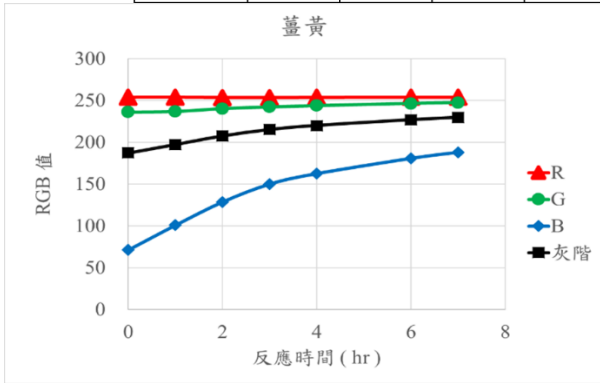
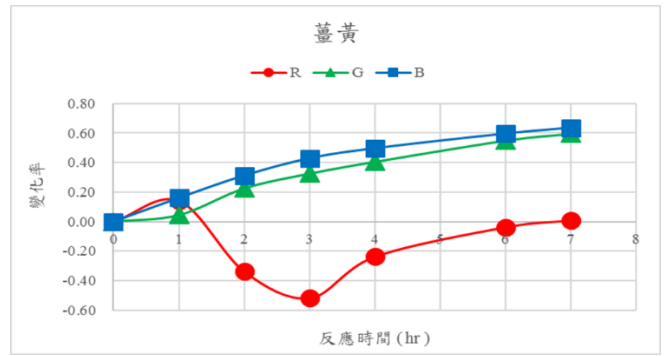
95°C 熱穩定性

色素種類	薑黃			
	R	G	B	灰階
時間 (hr)				
0	253.411	215.008	17.931	126.215
1	253.294	210.967	14.037	159.480
2	253.329	211.816	13.680	159.671
3	253.435	215.370	11.379	160.036
4	253.488	215.871	13.735	161.054
5	253.427	216.258	10.668	160.130
6	253.687	218.810	11.747	161.472
7	253.000	212.164	11.352	158.821
8	252.346	209.794	5.643	155.728



UV 光穩定性

色素種類	薑黃			
時間 (hr)	R	G	B	灰階
0	253.96	236.18	71.39	187.18
1	254.11	237.01	100.90	197.35
2	253.61	240.41	128.66	207.63
3	253.42	242.29	150.01	215.28
4	253.71	243.79	162.49	220.12
6	253.92	246.49	180.67	226.93
7	253.97	247.38	188.01	229.75



太陽光穩定性

色素種類	薑黃			
時間 (hr)	R	G	B	灰階
0	253.96	246.18	71.39	190.55
1	253.95	250.10	153.69	219.18
2	253.60	252.08	182.34	229.30
3	253.96	253.10	201.59	236.23
4	253.02	254.20	212.55	239.91
5	253.21	254.28	216.74	241.35
6	253.30	254.25	219.54	242.26
7	253.52	254.21	222.11	243.20

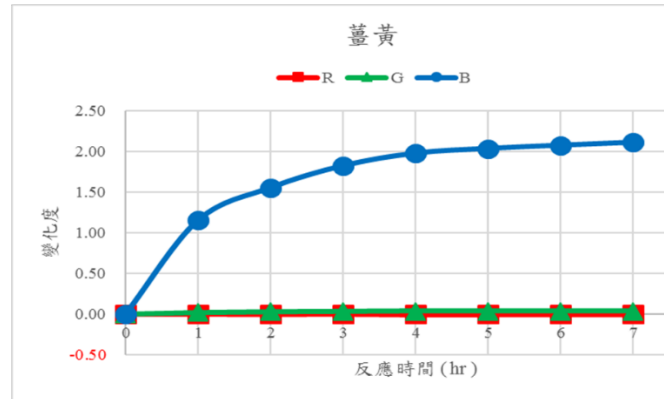
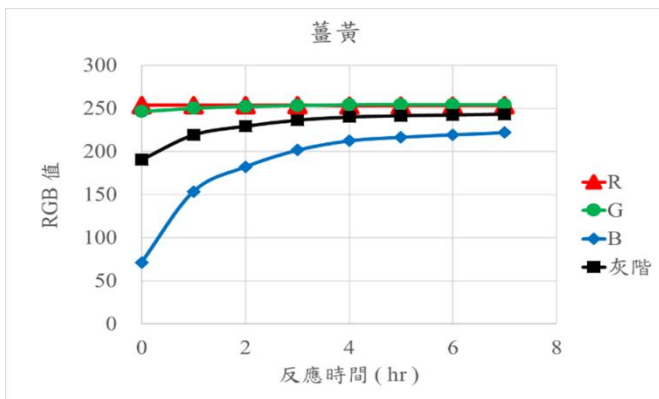
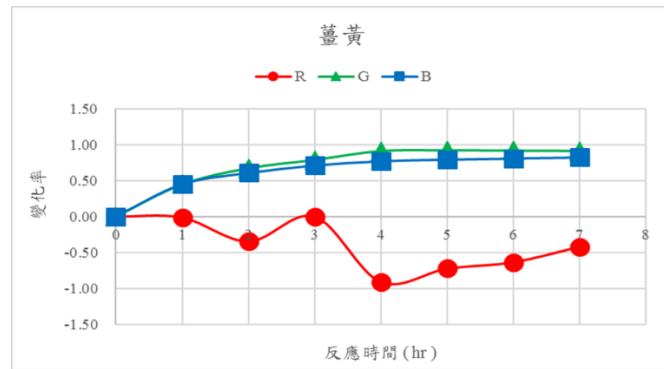


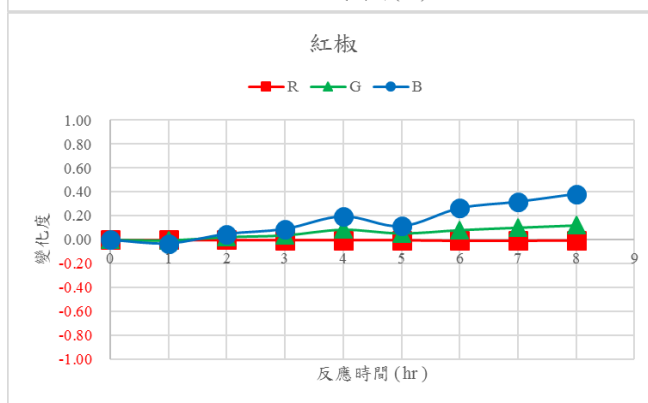
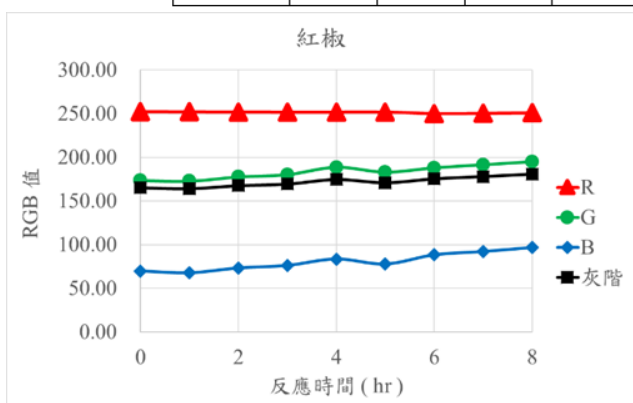
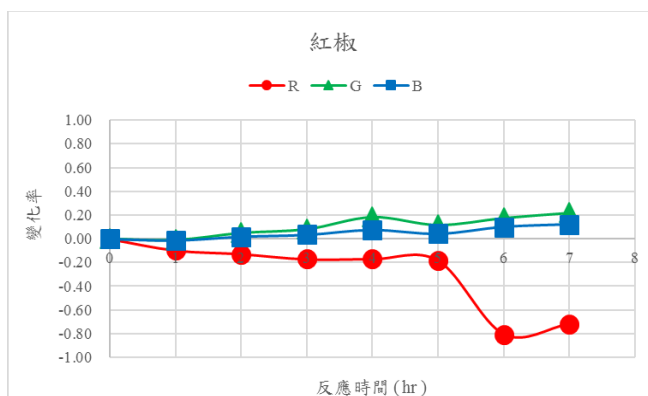
圖1. 薑黃色素各項實驗結果比較

四. 紅椒色素光熱穩定性

紅椒色素其 RGB 值與灰階值於95°C 環境下其 R 值略為下降，B、G 與灰階值略微上升，顯示紅薑色素在該環境下有些微分解，8小時分解率為17%。而在照射 UV 與太陽光環境下，其 R 值略微上升但變化不大，但 B、G 與灰階值於2小時內快速升高，顯示紅椒色素快速分解，其最終分解率照射 UV 組為100%，照射太陽光分解率為99%。因此由此可知紅椒色素其熱穩定性高於光穩定性。

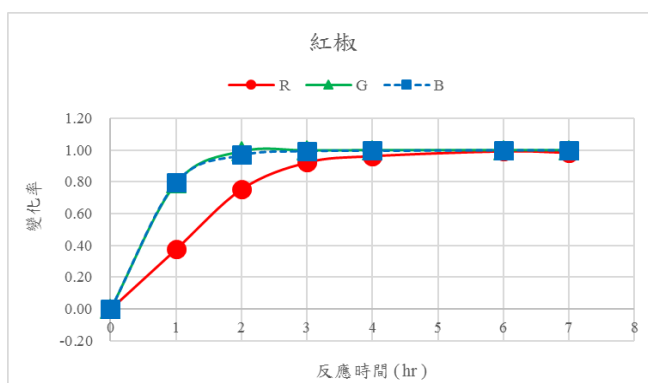
95°C 熱穩定性

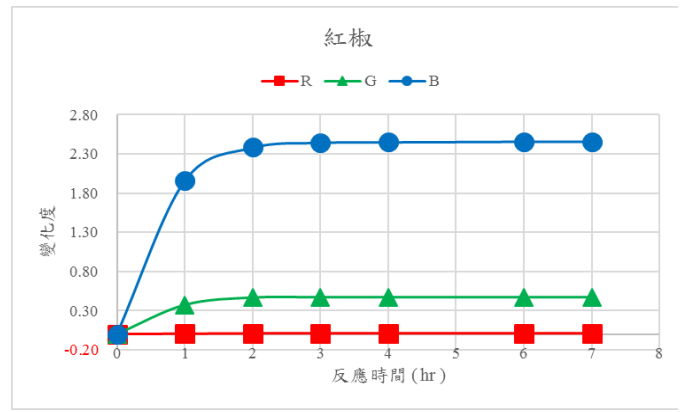
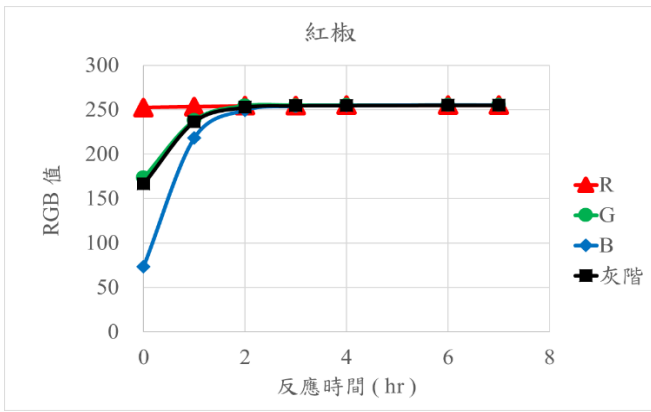
色素種類	紅椒			
	時間 (hr)	R	G	B
0	252.357	173.656	69.946	165.317
1	252.100	172.892	67.828	164.269
2	252.018	177.696	73.331	167.689
3	251.902	180.249	76.236	169.466
4	251.904	188.610	83.580	174.718
5	251.875	183.140	77.869	171.034
6	250.223	187.957	88.359	175.468
7	250.456	191.491	92.117	178.066
8	250.954	194.814	96.713	180.763



UV 光穩定性

色素種類	紅椒			
	時間 (hr)	R	G	B
0	252.35	173.54	73.69	166.50
1	253.35	238.01	218.11	236.48
2	254.34	254.36	249.33	252.65
3	254.79	254.82	253.90	254.50
4	254.90	254.91	254.43	254.74
6	254.98	254.98	254.95	254.97
7	254.95	254.95	254.93	254.95





太陽光穩定性

色素種類	紅椒			
時間 (hr)	R	G	B	灰階
0	252.35	173.54	73.69	166.50
1	253.49	219.89	169.90	214.42
2	253.62	252.62	229.33	245.15
3	253.96	254.52	248.39	252.29
4	254.58	254.78	251.05	253.29
5	254.71	254.86	252.54	253.99
6	254.78	254.89	253.28	254.29
7	254.79	254.90	253.66	254.45

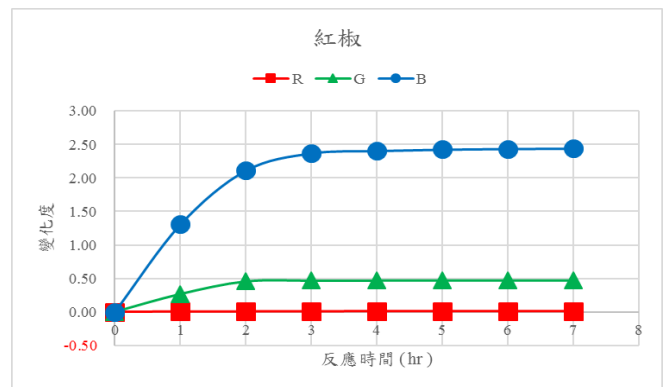
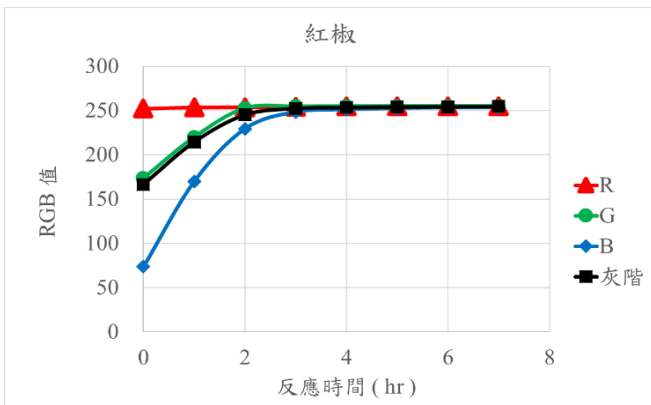
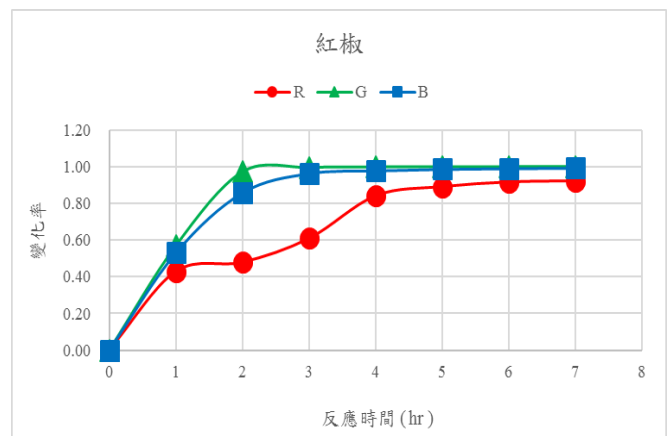


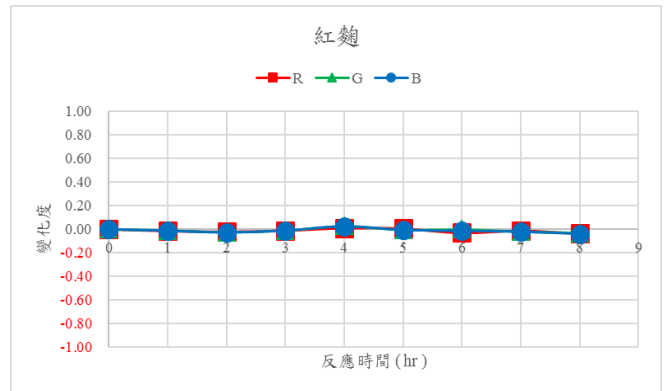
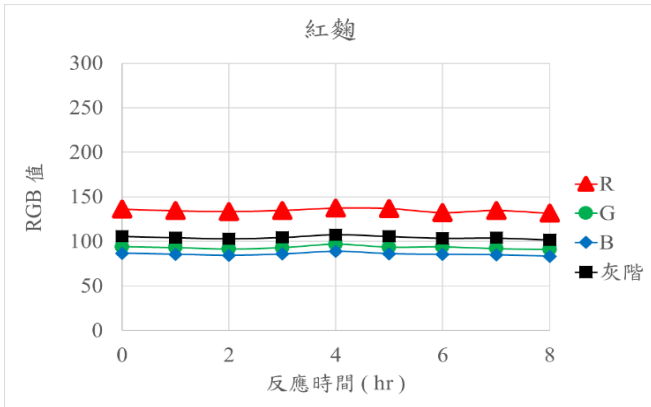
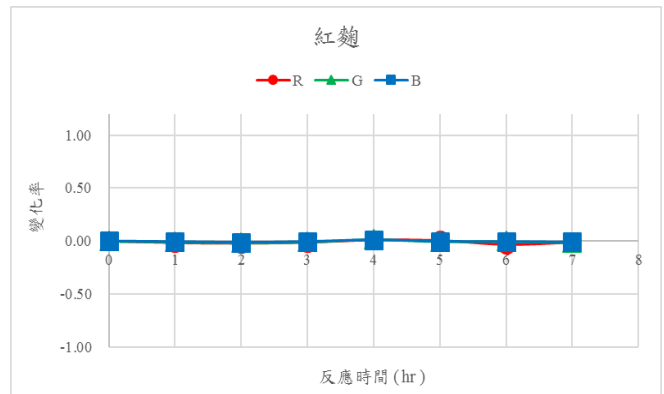
圖2. 紅椒色素各項實驗結果比較

五. 紅麴色素光熱穩定性

紅麴色素於95°C 環境下其 RGB 與灰階值皆無太大變化，其8小時分解率約3%，顯示有非常良好的熱穩定性。而在 UV 光與太陽光照射環境下，其各項數值皆隨光照時間增加而上升，光照射下8小時的分解率太陽光為74%，UV 光為58%，故所有數據皆顯示紅麴的熱穩定性優於光穩定性，且在太陽光下分解較 UV 照射下快速。

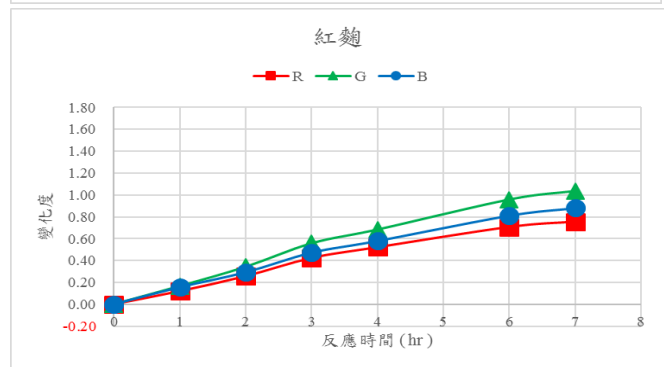
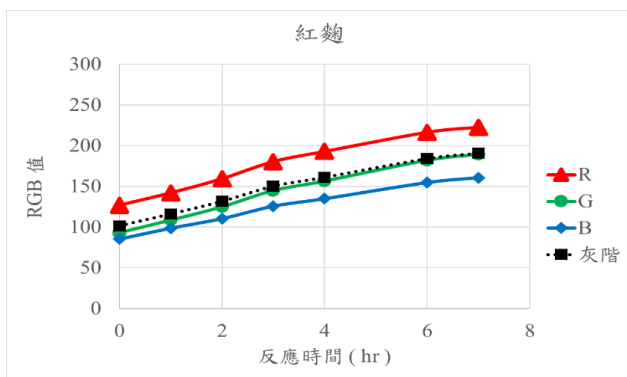
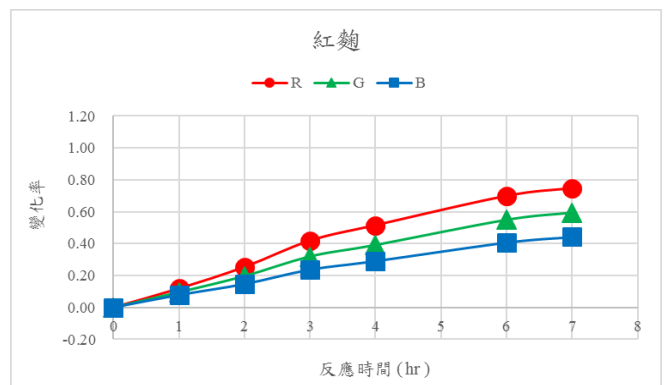
95°C 熱穩定性

色素種類	紅麴			
	R	G	B	灰階
時間 (hr)				
0	136.370	94.192	86.876	105.768
1	134.467	93.196	85.699	104.364
2	133.723	91.731	84.439	103.249
3	134.921	93.125	85.850	104.571
4	137.526	96.850	89.033	107.675
5	137.052	93.658	86.320	105.707
6	132.447	93.968	85.574	103.755
7	134.835	92.107	85.040	103.985
8	131.609	91.098	83.373	101.896



UV 光穩定性

色素種類	紅麴			
	R	G	B	灰階
時間 (hr)				
0	126.80	93.03	85.34	101.41
1	141.94	108.48	98.63	116.04
2	159.31	124.83	110.32	131.61
3	180.37	144.78	125.61	150.24
4	192.85	156.46	134.80	161.23
6	216.31	181.98	154.53	184.28
7	222.54	189.29	160.50	190.78



太陽光穩定性

色素種類	紅麴			
時間 (hr)	R	G	B	灰階
0	126.797	93.026	85.337	101.411
1	158.932	114.18	101.18	124.699
2	191.382	143.585	120.899	151.942
3	222.765	174.814	142.84	180.086
4	236.738	196.125	158.711	197.167
5	242.56	206.319	167.962	205.704
6	246.289	212.832	174.215	211.213
7	248.967	217.929	178.931	215.37

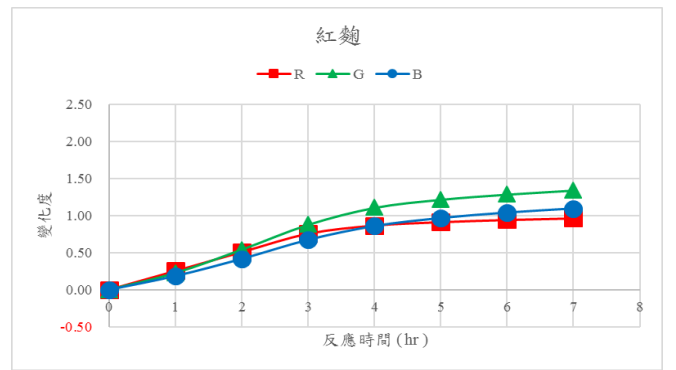
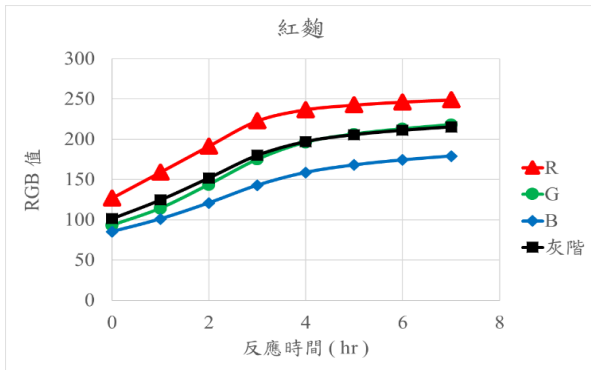
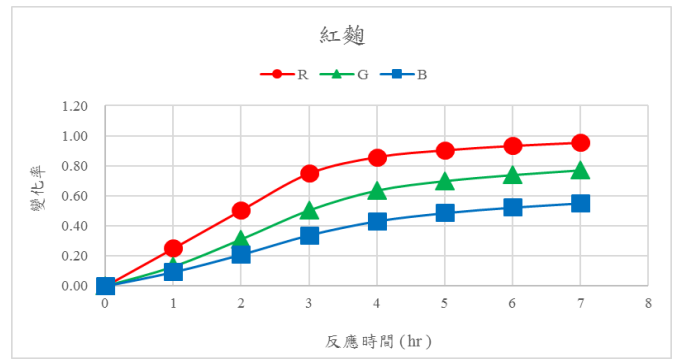


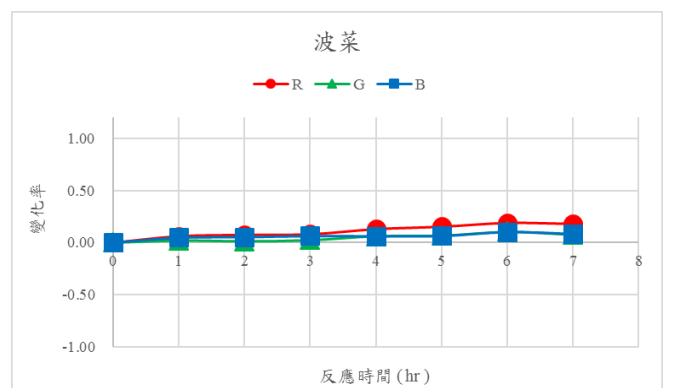
圖3. 紅麴色素各項實驗結果比較

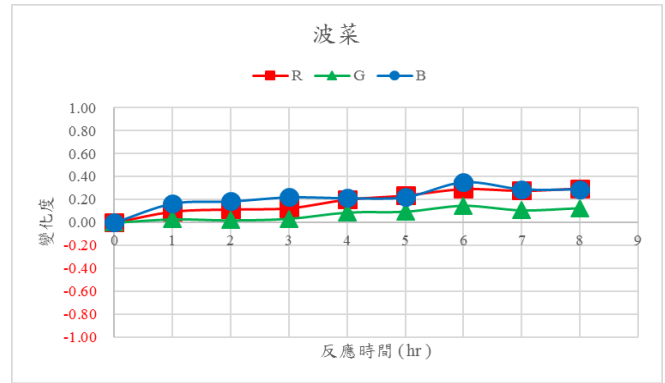
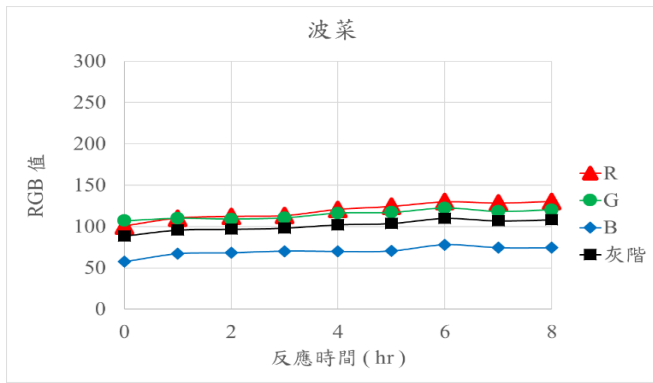
六. 菠菜色素光熱穩定性

菠菜色素於95°C 環境下其 RGB 與灰階值有隨反應時間增加而略微上升，其8小時的熱分解率為12%。在照射 UV 光與太陽光的環境下，其 RGB 值與灰階值皆隨照射時間增加而上升，其中8小時分解率 UV 光為39%，太陽光為61%。顯示菠菜的熱穩定性較佳，且於太陽光照射下分解較快。

95°C 熱穩定性

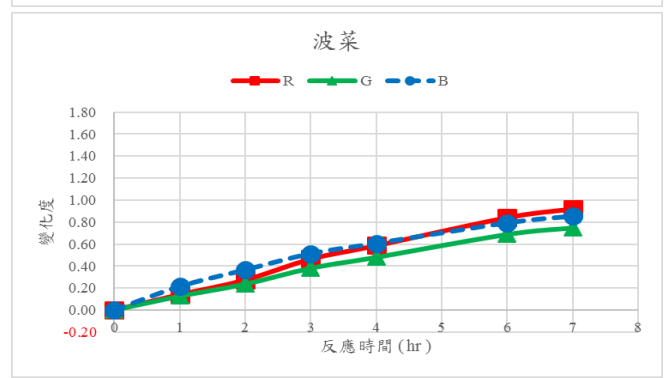
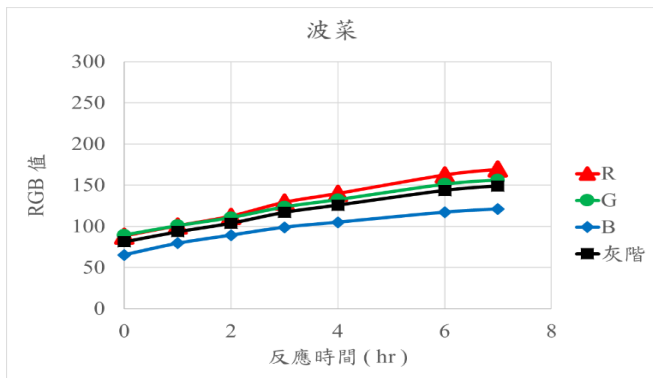
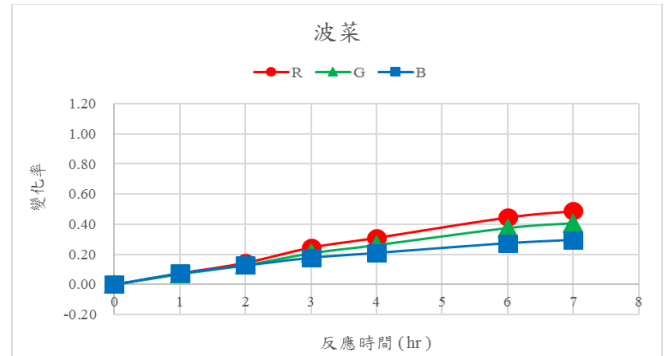
色素種類	菠菜			
時間 (hr)	R	G	B	灰階
0	100.580	106.986	57.566	88.565
1	110.254	110.083	67.096	95.894
2	112.270	109.144	68.202	96.840
3	113.245	110.636	70.273	98.294
4	120.874	116.279	69.851	102.318
5	124.486	117.070	70.368	103.926
6	130.079	122.456	77.814	110.042
7	128.568	118.348	74.296	107.027
8	130.552	120.349	74.270	108.381





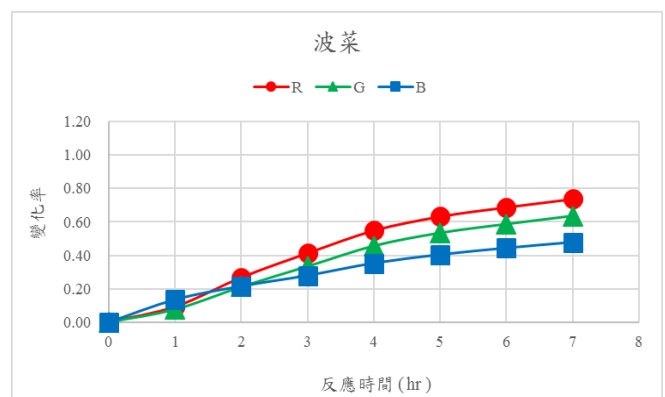
UV
光
穩
定
性

色素種類	菠菜			
時間 (hr)	R	G	B	灰階
0	88.27	89.43	65.50	81.33
1	100.72	100.81	79.56	93.49
2	112.43	110.70	89.42	103.92
3	129.25	123.63	99.06	117.06
4	140.06	132.59	105.19	125.89
6	162.55	151.27	117.34	143.63
7	169.57	156.62	121.36	149.15



太陽
光
穩
定
性

色素種類	菠菜			
時間 (hr)	R	G	B	灰階
0	104.269	104.433	65.498	91.331
1	118.263	115.891	91.072	108.246
2	144.639	136.325	106.161	128.886
3	166.543	154.664	118.273	146.393
4	186.905	173.145	132.225	164.14
5	199.51	184.826	141.912	175.517
6	207.789	192.788	149.359	183.346
7	215.271	200.136	155.839	190.359



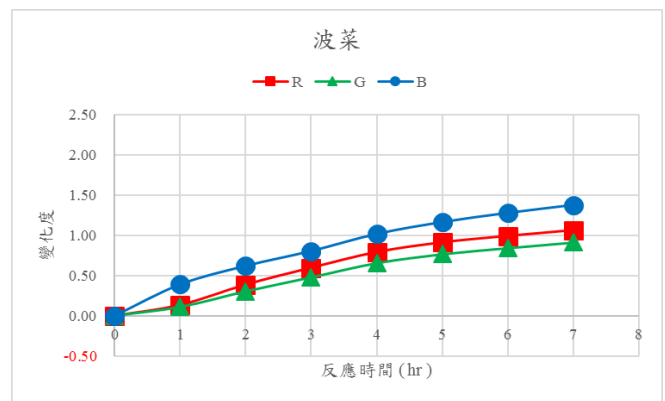
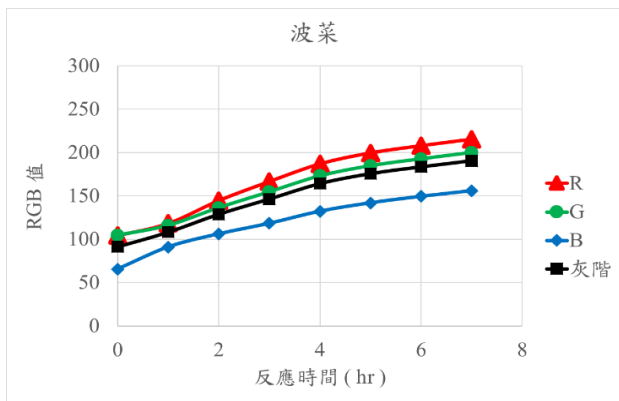


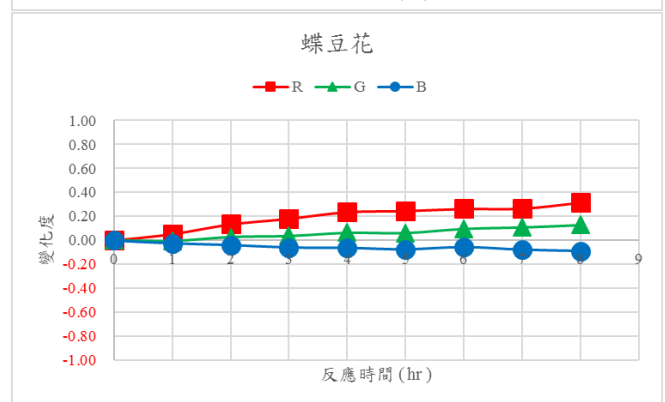
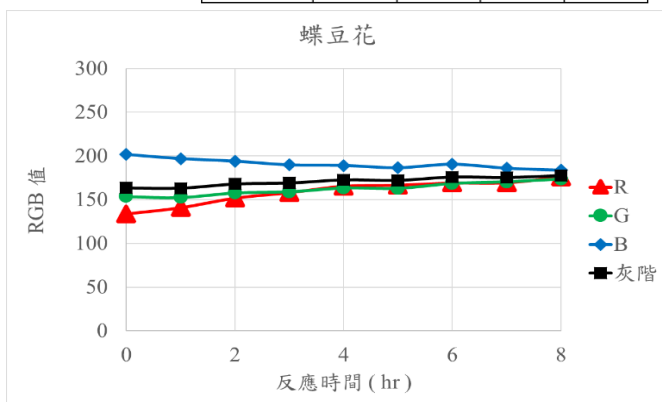
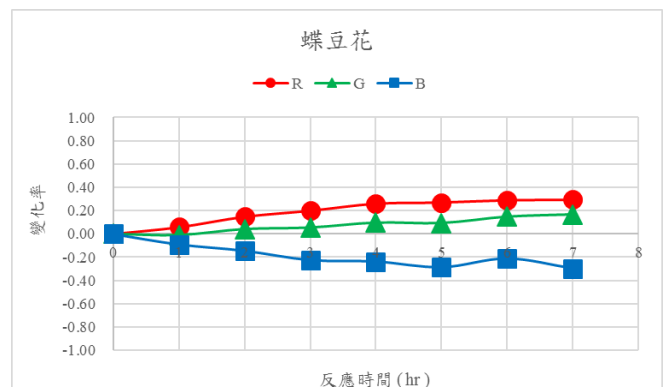
圖4. 菠菜色素各項實驗結果比較

七. 蝶豆花色素光熱穩定性

蝶豆花色素於95°C 環境下其 R、G 與灰階值隨加熱時間增加略微上升，B 值則略為下降，其第8小時分解率為15%，RGB 變化度分別為 R0.31、G0.13、B -0.09。在 UV 光照射下其 RGB 與灰階值無明顯改變，第7小時的分解率為-1%，RGB 變化度分別為 R0.04、G-0.01、B-0.00。在太陽光照射下，RGB 與灰階值有略微上升現象，第8小時分解率為7%，RGB 變化度分別為 R0.09、G0.04、B0.01。綜合上述數據顯示蝶豆花色素穩定性以 UV 光穩定性最佳，其次為太陽光穩定性，而熱穩定性最差。

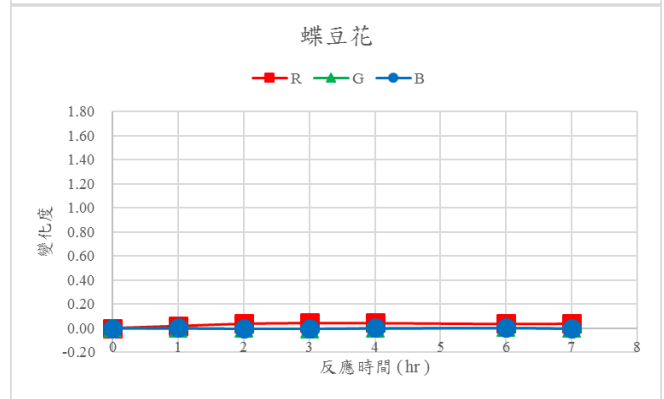
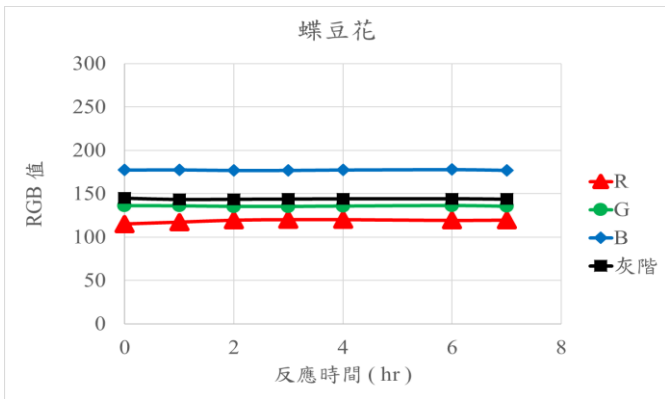
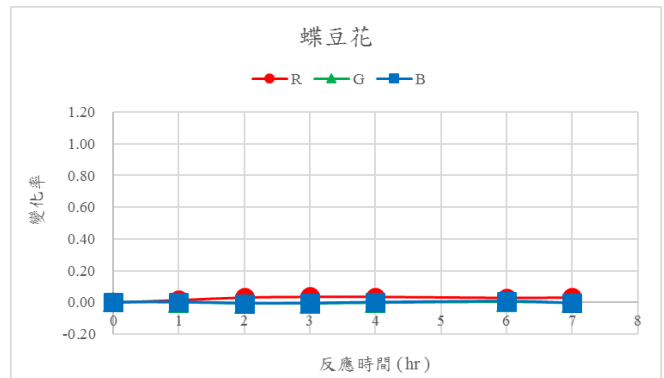
95°C
熱
穩
定
性

色素種類	蝶豆花			
時間 (hr)	R	G	B	灰階
0	133.759	153.691	201.744	163.354
1	140.831	152.646	196.963	163.147
2	151.736	157.846	194.049	167.870
3	158.005	159.143	189.762	168.985
4	165.372	163.383	189.111	172.559
5	166.588	163.060	186.488	172.010
6	168.976	168.558	190.514	175.844
7	169.310	170.437	185.930	175.307
8	175.855	173.533	183.674	177.449



UV 光 穩 定 性

色素種類	蝶豆花			
時間 (hr)	R	G	B	灰階
0	115.17	136.26	177.40	144.95
1	117.29	136.11	177.65	143.38
2	119.60	135.37	176.89	143.72
3	120.20	135.30	177.00	143.94
4	120.15	135.81	177.47	144.24
6	119.29	136.44	177.92	144.29
7	119.59	135.53	177.09	143.83



太陽 光 穩 定 性

色素種類	蝶豆花			
時間 (hr)	R	G	B	灰階
0	133.171	151.264	193.4	158.949
1	136.431	151.389	194.333	160.391
2	139.062	150.951	193.238	160.77
3	141.293	152.976	192.782	162.034
4	143.519	154.198	192.553	163.208
5	144.462	155.288	192.656	163.975
6	145.394	155.725	192.777	164.499
7	144.997	157.267	195.057	165.566

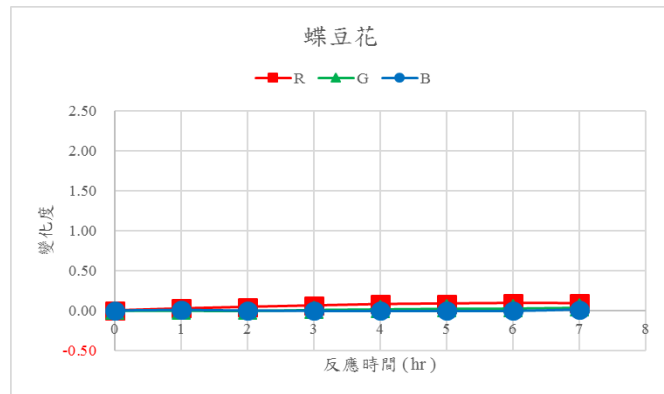
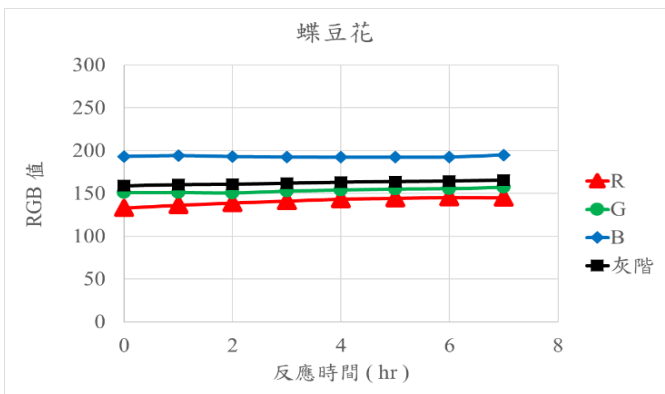
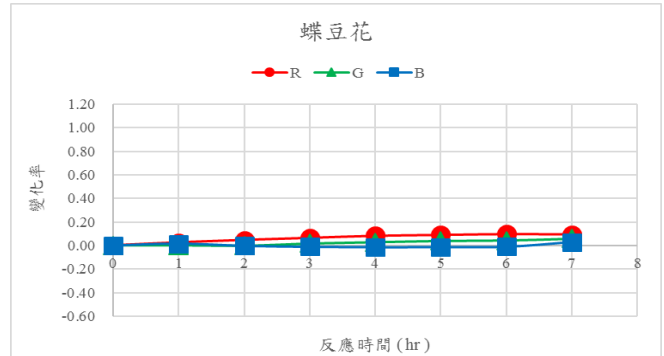


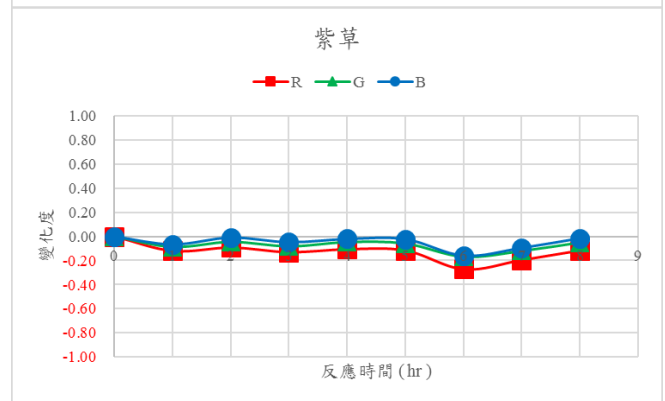
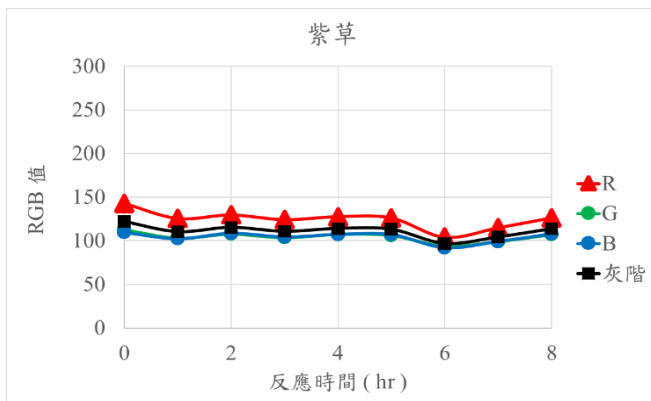
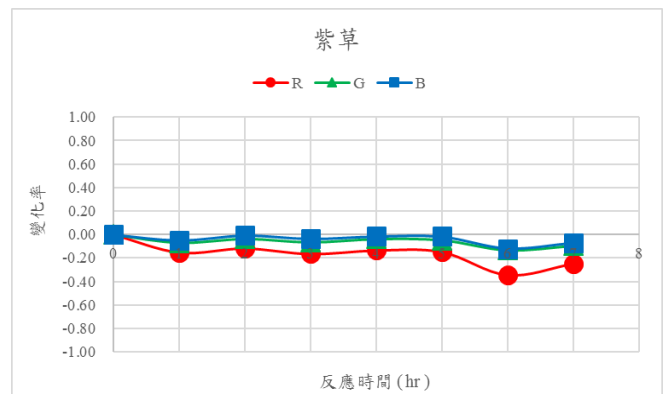
圖 5. 蝶豆花色素各項實驗結果比較

八. 紫草色素光熱穩定性

紫草色素於95°C 環境下其 RGB 與灰階值有著較大的起伏，總體來說經過8小時加熱後，RGB 與灰階值有略微下降趨勢，其分解率在第1小時後即在-5%~-13%間來回震盪，且8小時的 RGB 變化度範圍分別為 R (-0.09)~(-0.27)、G (-0.05)~(-0.17)、B (-0.01)~(-0.16)。而在 UV 光照射下，其 RGB 與灰階皆隨照射時間增加略微上升，第7小時分解率為11%，RGB 變化度分別為 R0.29、G0.12、B0.02。而在太陽光照射下，R、G 與灰階值微幅上升，B 值無明顯變化，其分解率為4%，RGB 變化度分別為 R0.11、G0.06、B0.00。由此比較可知紫草色素在加熱後有變暗的趨勢，而照光情況下，其在 UV 光照射下穩定度較太陽光穩定度低。

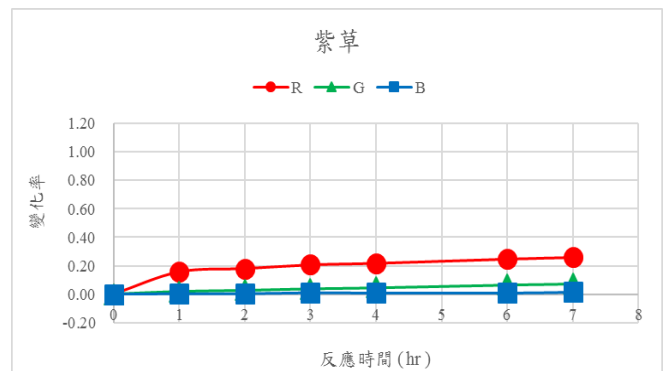
95°C 熱穩定性

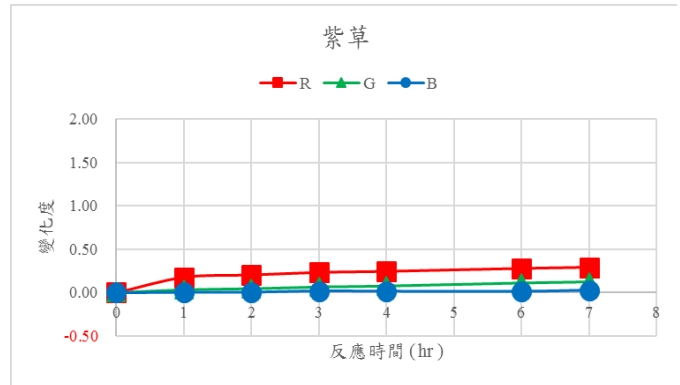
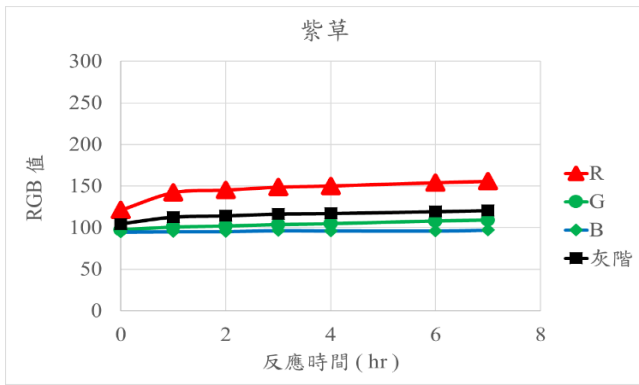
色素種類	紫草			
	R	G	B	灰階
時間 (hr)				
0	142.726	112.939	109.625	121.888
1	125.689	103.088	102.419	110.377
2	129.654	107.802	108.670	115.351
3	124.266	103.634	104.435	110.716
4	127.697	107.567	107.413	114.112
5	126.254	106.230	107.201	113.141
6	104.160	93.794	92.119	96.886
7	115.046	99.252	99.276	104.297
8	126.271	107.210	108.049	113.758



UV 光穩定性

色素種類	紫草			
	R	G	B	灰階
時間 (hr)				
0	121.05	97.48	94.92	104.43
1	142.18	100.63	95.38	112.76
2	145.26	101.83	95.47	114.26
3	148.79	103.62	96.58	116.48
4	150.26	104.72	96.26	117.21
6	154.17	107.86	96.22	119.45
7	155.77	109.11	97.18	120.72





太陽光穩定性

色素種類	紫草				
	時間 (hr)	R	G	B	灰階
	0	121.049	97.475	94.917	104.431
	1	123.04	98.163	93.322	104.766
	2	125.52	99.091	92.555	105.612
	3	127.772	99.881	92.413	106.541
	4	129.939	100.96	92.896	107.764
	5	132.288	102.131	93.764	109.23
	6	132.965	102.225	93.833	109.459
	7	134.706	102.854	94.477	110.433

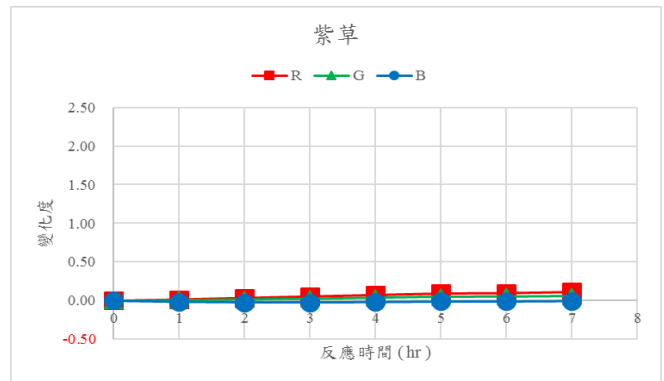
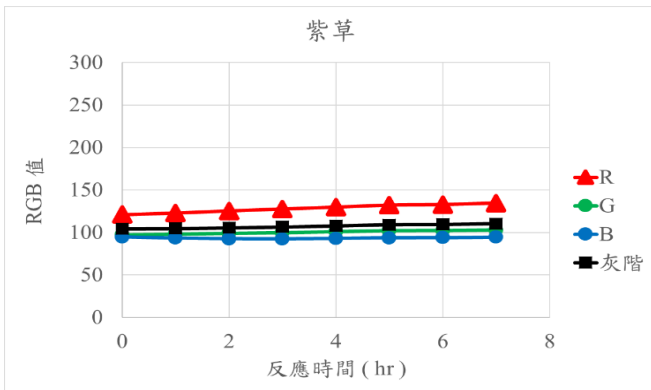
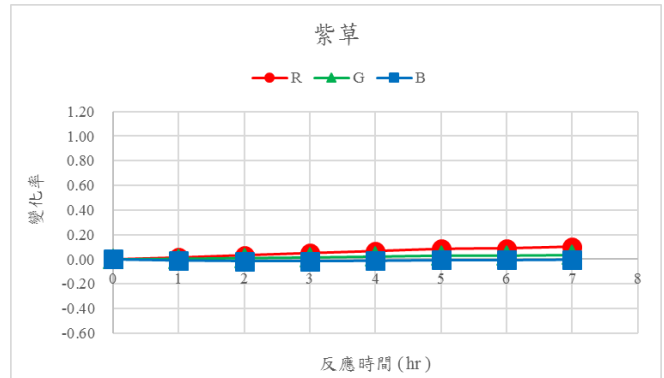


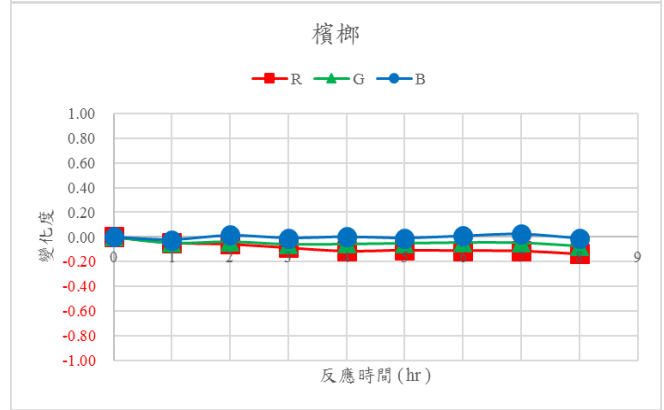
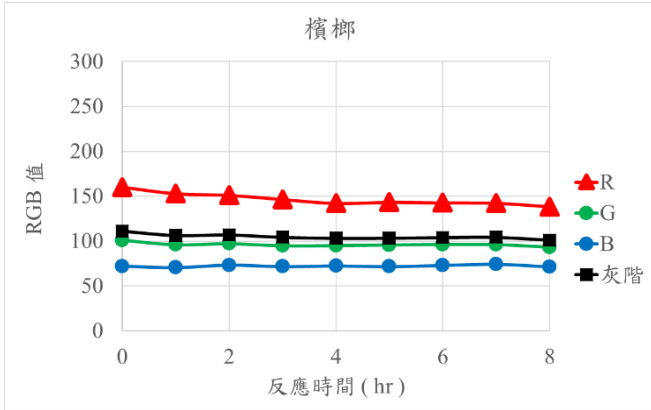
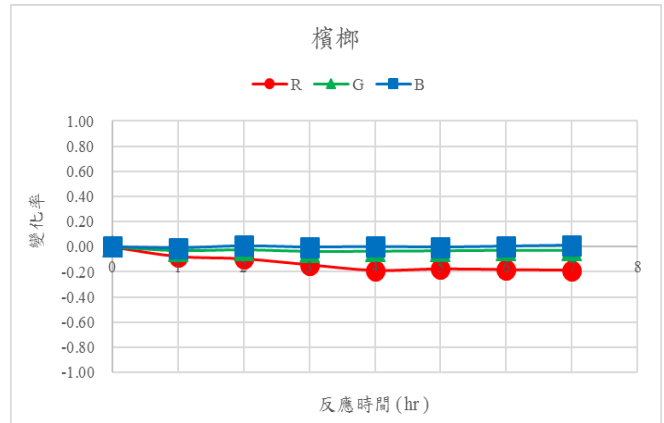
圖 6. 紫草色素各項實驗結果比較

九. 檳榔色素光熱穩定性

檳榔色素於 95°C 加熱過程中，其 R、G 與灰階值有隨加熱時間略微下降的趨勢，而 B 值則無明顯改變，經過 8 小時反應後，其分解率為 -7%，分解度為 -0.09。RGB 變化度分別為 R -0.14、G -0.07、B -0.01。在 UV 光照射下，其 RGB 與灰階值皆微幅下降，第 7 小時分解率為 -5%，RGB 變化度分別為 R -0.09、G -0.05、B -0.03。在太陽光照射下，其分解率為 -3%，RGB 變化度分別為 R -0.05、G -0.03、B 0.00。因此經比較後發現，檳榔在太陽光照射下有最佳的光穩定度，其次在 UV 光照射下，而在加熱環境中熱穩定度最差。

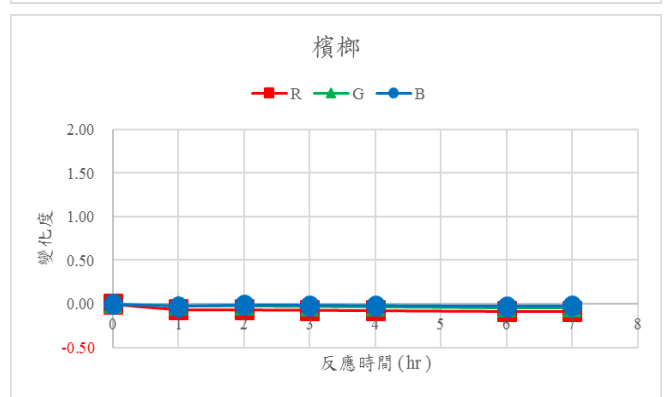
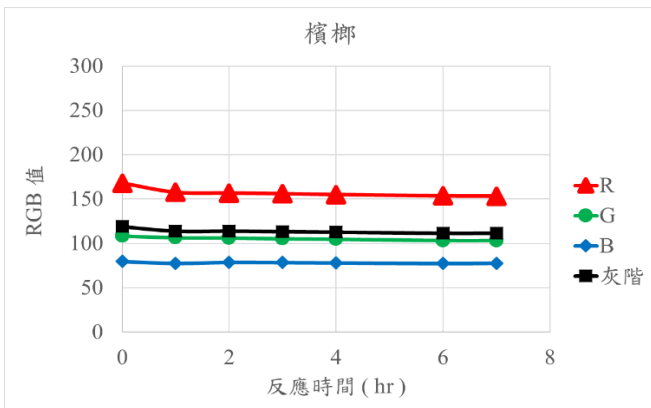
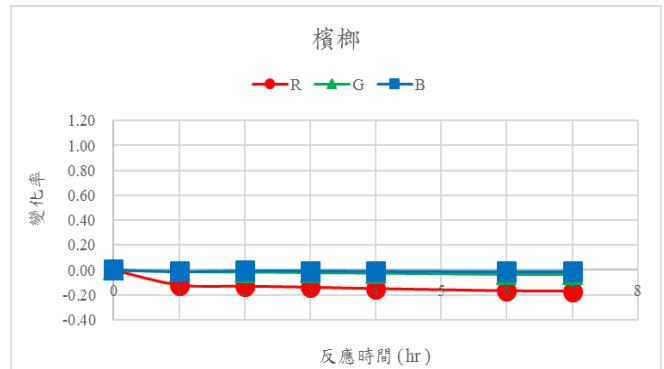
95°C 熱穩定性

色素種類	檳榔			
時間 (hr)	R	G	B	灰階
0	160.145	101.044	72.357	111.274
1	152.869	96.110	70.695	106.419
2	151.046	97.240	73.462	107.071
3	146.454	95.033	71.781	104.347
4	142.132	95.233	72.540	103.286
5	143.344	95.872	71.775	103.348
6	142.741	96.537	73.119	104.081
7	142.318	96.283	74.316	104.335
8	138.462	93.576	71.575	101.180



UV 光穩定性

色素種類	檳榔			
時間 (hr)	R	G	B	灰階
0	168.03	108.58	79.79	118.89
1	157.57	106.61	77.56	113.99
2	156.74	106.39	78.75	114.10
3	155.99	105.49	78.49	113.45
4	155.03	104.96	78.10	112.85
6	153.52	103.54	77.37	111.64
7	153.31	103.50	77.72	111.68



太陽光穩定性

色素種類	檳榔			
時間 (hr)	R	G	B	灰階
0	168.026	108.576	79.792	118.891
1	162.114	107.054	79.491	116.109
2	160.721	106.575	79.718	115.564
3	159.183	105.399	79.316	114.515
4	158.724	105.76	79.921	114.742
5	158.248	104.503	78.689	113.69
6	158.665	104.846	79.671	114.254
7	159.82	105.061	79.814	114.721

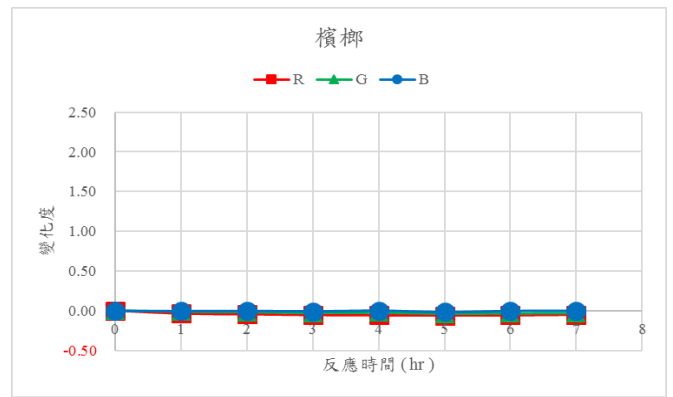
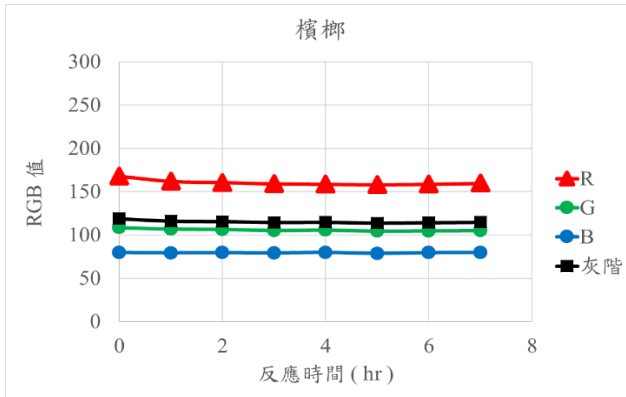
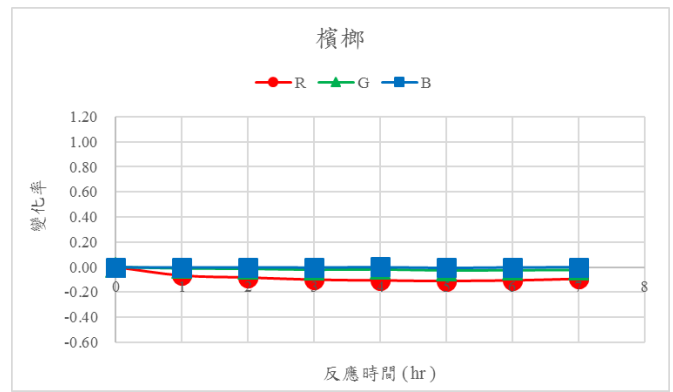


圖 7. 檳榔色素各項實驗結果比較

十. 各色素的熱穩定性比較

由下圖中可發現，95°C 加熱環境下，薑黃、波菜、蝶豆花、紅椒，皆有稍微分解，且第8小時分解率，由大到小依序排列，薑黃23%、紅椒17%、蝶豆花15%、波菜12%，紅麴、檳榔、紫草皆顯示良好的熱穩定性，不太產生分解。

95°C 熱穩定性

分解率	薑黃	波菜	紅麴	蝶豆花	紅椒	檳榔	紫草
時間 (hr)	灰階	灰階	灰階	灰階	灰階	灰階	灰階
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.26	0.04	-0.01	0.00	-0.01	-0.03	-0.09
2	0.26	0.05	-0.02	0.05	0.03	-0.03	-0.05
3	0.26	0.06	-0.01	0.06	0.05	-0.05	-0.08
4	0.27	0.08	0.01	0.10	0.10	-0.06	-0.06
5	0.26	0.09	0.00	0.09	0.06	-0.06	-0.07
6	0.27	0.13	-0.01	0.14	0.11	-0.05	-0.19
7	0.25	0.11	-0.01	0.13	0.14	-0.05	-0.13
8	0.23	0.12	-0.03	0.15	0.17	-0.07	-0.06

※ 分解率 = (n hr 灰階值 - 0 hr 灰階值) / (空白濾紙灰階值 - 0 hr 灰階值)

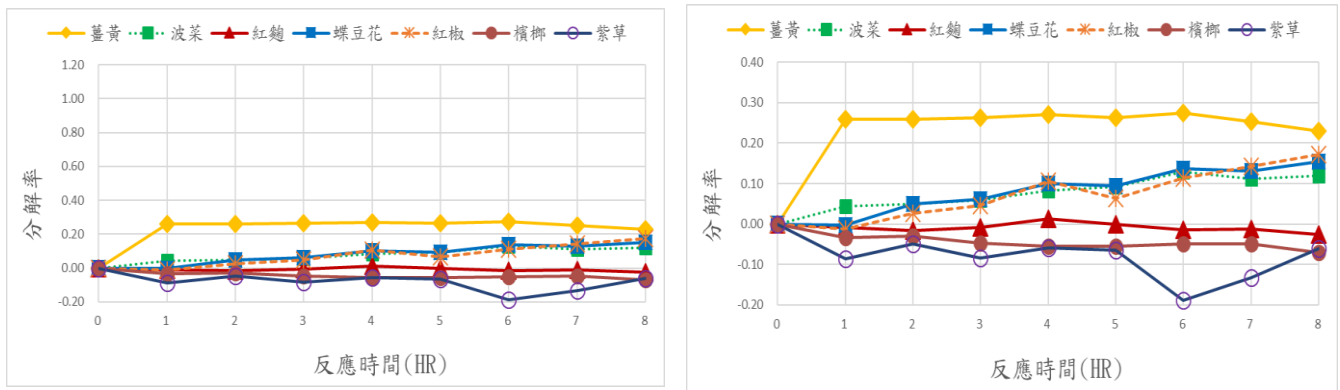


圖 8. 各色素的熱穩定性比較。

十一. 各色素 UV 光穩定性比較

各色素於 UV 光照射下，分解率由高至低，依序為紅椒100%、薑黃63%、紅麴58%、菠菜39%、紫草11%。蝶豆花與檳榔照射 UV 光後略微變暗，視為不分解。

UV 光 穩 定 性

分解率	薑黃	菠菜	紅麴	蝶豆花	紅椒	檳榔	紫草
時間 (hr)	灰階	灰階	灰階	灰階	灰階	灰階	灰階
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.15	0.07	0.10	-0.01	0.79	-0.04	0.06
2	0.30	0.13	0.20	-0.01	0.97	-0.04	0.07
3	0.41	0.21	0.32	-0.01	0.99	-0.04	0.08
4	0.49	0.26	0.39	-0.01	1.00	-0.04	0.08
6	0.59	0.36	0.54	-0.01	1.00	-0.05	0.10
7	0.63	0.39	0.58	-0.01	1.00	-0.05	0.11

※ 分解率 = (n hr 灰階值 - 0 hr 灰階值) / (空白濾紙灰階值 - 0 hr 灰階值)

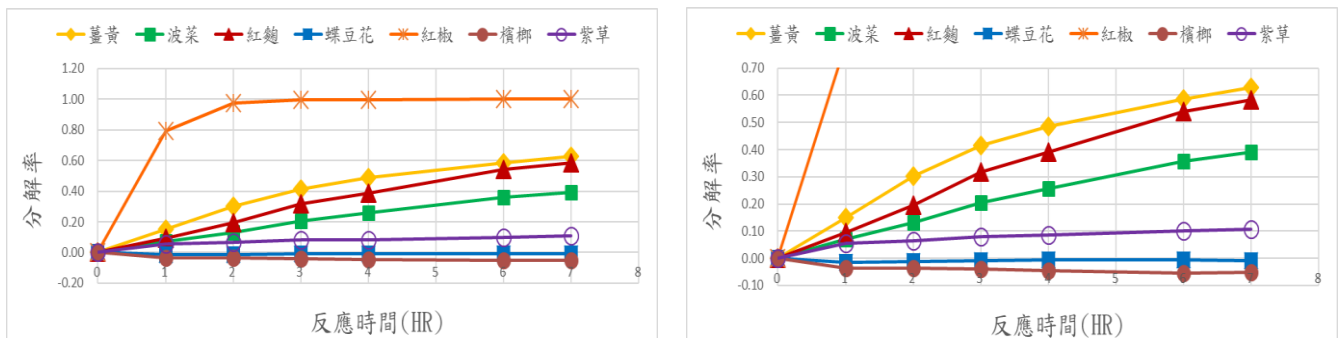


圖 9. 各色素 UV 光穩定性比較

十二. 各色素太陽光穩定性比較

各色素於太陽光照射下，分解率由高至低，依序為紅椒99%、薑黃82%、紅麴74%、菠菜61%、蝶豆花7%、紫草4%。檳榔照射太陽光後略微變暗，視為不分解。

太陽光穩定性

分解率	薑黃	菠菜	紅麴	蝶豆花	紅椒	檳榔	紫草
時間 (hr)	灰階	灰階	灰階	灰階	灰階	灰階	灰階
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.44	0.10	0.15	0.02	0.54	-0.02	0.00
2	0.60	0.23	0.33	0.02	0.89	-0.02	0.01
3	0.71	0.34	0.51	0.03	0.97	-0.03	0.01
4	0.77	0.44	0.62	0.04	0.98	-0.03	0.02
5	0.79	0.51	0.68	0.05	0.99	-0.04	0.03
6	0.80	0.56	0.71	0.06	0.99	-0.03	0.03
7	0.82	0.61	0.74	0.07	0.99	-0.03	0.04

※ 分解率 = (n hr 灰階值 - 0 hr 灰階值) / (空白濾紙灰階值 - 0 hr 灰階值)

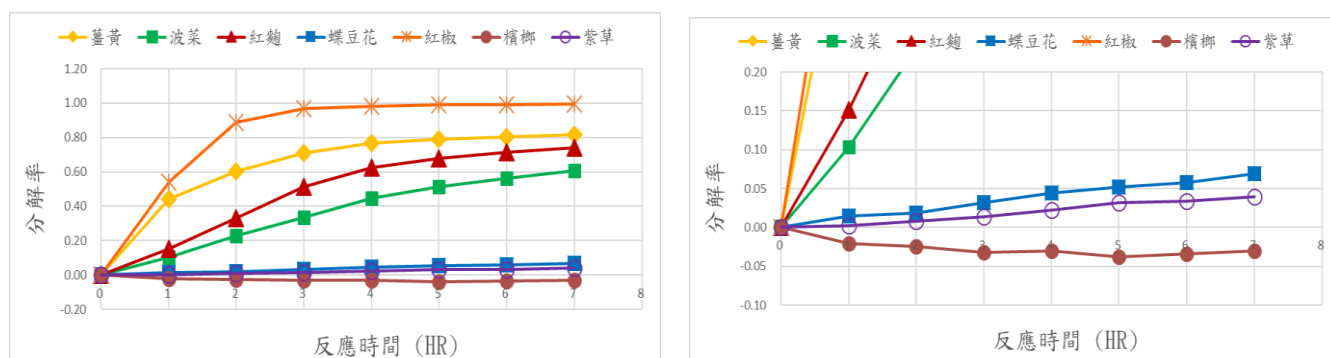


圖 10. 各色素太陽光穩定性比較

十三. 本次實驗結果疑點分析與解釋

1. 紅椒、薑黃、紅麴、菠菜光穩定性差異原因

此四種色素其光穩定性主要來自其化學結構，下圖為四種色素的化學結構，菠菜色素為葉綠素，其為有機金屬結構，由 Porphin 結構中間螯合鎂離子形成，因此在光穩定度上較其三者來的穩定。而紅椒中的辣椒紅素為本次最易分解的實驗色素，原因為其分子結構中有很長的 trans-烯類共軛結構(Conjugated system)，使其吸光範圍較廣泛，且共軛結構照光後容易與氧自由基反應，破壞共軛結構或產生 cis-與 trans-結構反轉，導致吸光範圍改變，影響呈色性。而薑黃素較紅椒色素穩定的原因為其共軛結構較短，且與苯環產生共軛系統，能夠增加分子結構的穩定性。紅麴色素由三個不同顏色的分子組成，其化學結構為環狀結構相較於辣椒紅素與薑黃素這類線性結構有著較強的穩定性。而紫草素與蝶豆花花青素其分子結構都有苯環參予共軛系統，因此穩定性更佳。

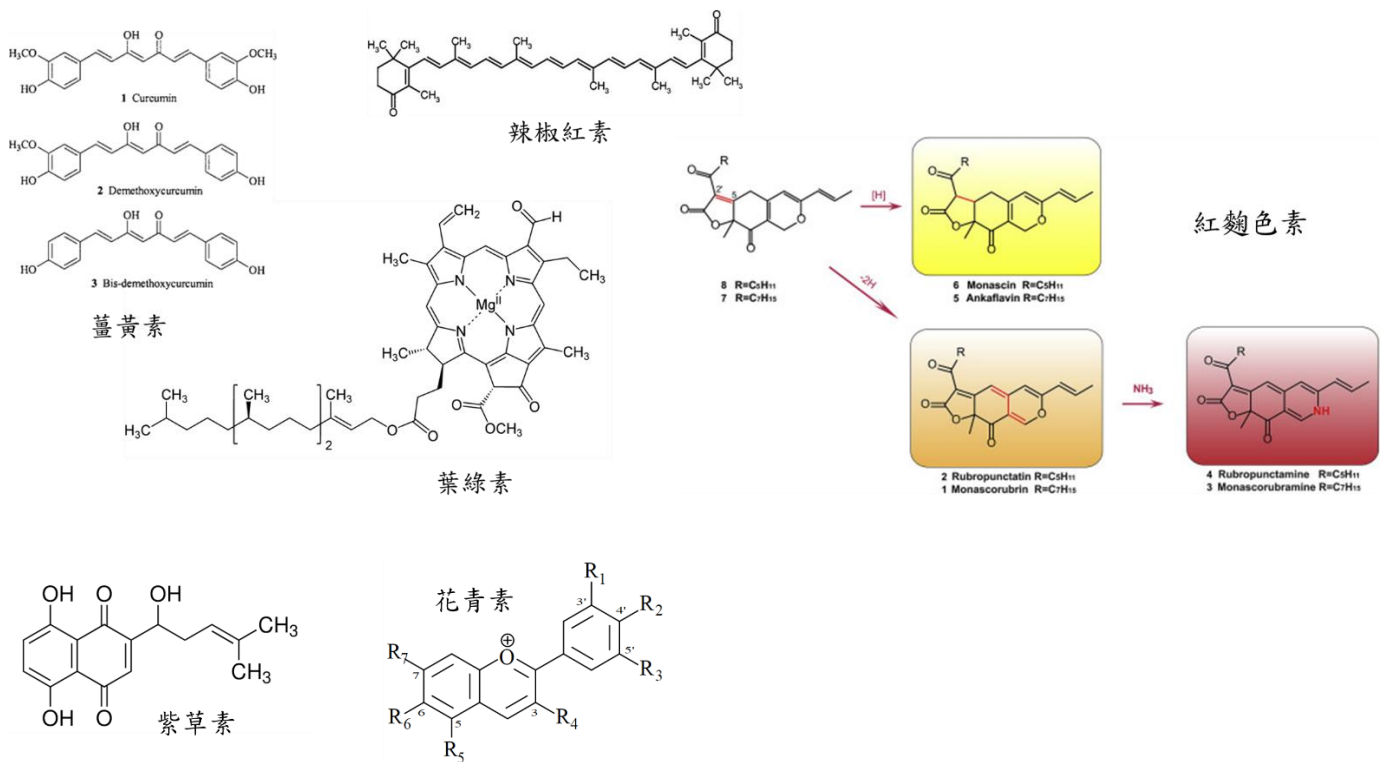


圖 11. 各色素化學結構

2. 蝶豆花色素穩定性以 UV 光穩定性最佳，其次為太陽光穩定性，而熱穩定性最差

根據(R. Rakkimuthu 等, 2016)的研究顯示，花青素隨著環境溫度升高，分解速率會變快，且在照光情況下加熱，分解速率更快，此結果顯示花青素在高溫環境下會緩慢分解。而蝶豆花色素在 UV 環境下分解速度較太陽光慢可能原因為其最大吸收波長為528nm，實驗所使用的 UV 燈波長為395nm，因此蝶豆花色素於強度較強，且波長範圍較廣的太陽光下分解較快。

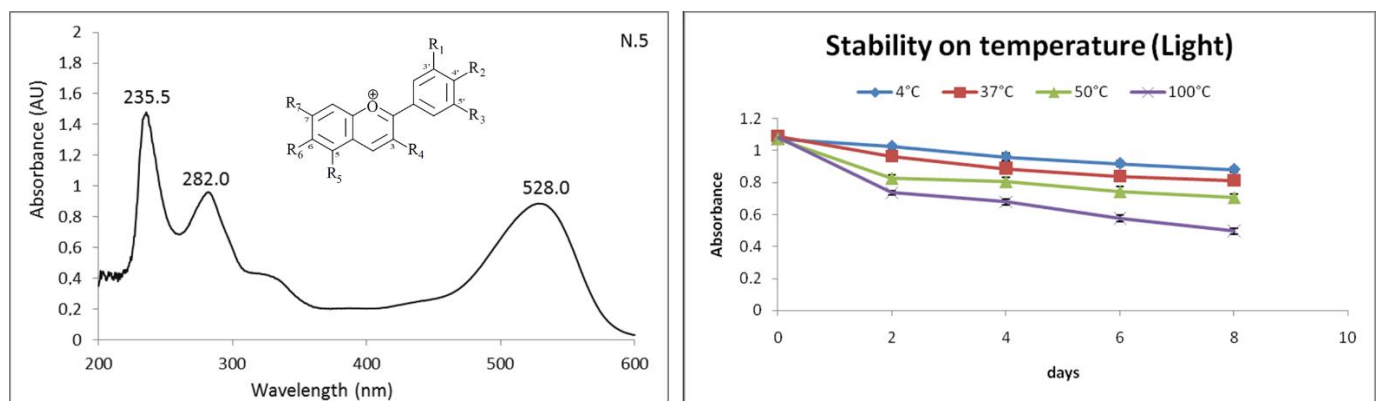


圖 12. 花青素紫外光可見光譜圖 (左) 花青素熱穩定性 (右)

3. 紅椒在 UV 光下分解比太陽光下快

由於實驗用 UV 燈波長為395nm，而辣椒紅素在470nm 左右有最高的吸收峰，因此光元坡長並非造成此現象的原因。因此推測在進行太陽光分解時，為了防止實驗場地周遭的塵土與灑水影響實驗，因此試片被封在相框內，而進行UV 光分解時，試片在暗箱中，並無相框密封(相框無法放進暗箱中)，因此推測進行UV 光分解時氧氣量較充足，能夠參予分解反應，導致UV 光分解速率較太陽光分解速率快。但由於目前無法進行氧氣含量是否影響光分解反應的實驗，故只能推測，希望未來能夠想到實驗方法進行測試。

伍、結論

本次實驗成功粹取薑黃、波菜、紅麴、紅椒、紫草、蝶豆花等色素，並製成色素試紙(片)後進行實驗，並以影印機掃瞄記錄數據，搭配 ImageJ 軟體進行分解率 RGB 變化度分析。從實驗中得知紅椒、薑黃、紅麴、波菜照光非常容易分解，其光穩定性遠低於熱穩定性，因此；而蝶豆花則是加熱較容易分解，其次是照射太陽光，在 UV 光下最穩定；紫草照 UV 光較照射太陽光容易分解，但光穩定性還是優於紅椒等，加熱則是顏色會加深；檳榔不論加熱或照光，顏色皆會變深，尤其加熱變深較明顯，而在照光下 UV 光比太陽光更能造成檳榔變化。

陸、參考資料及其他

1. 阿簡. (2014, 十二月 28). 用 imagej 分析圖片中各點的 RGB 值與灰階. 阿簡生物筆記.
<http://a-chien.blogspot.com/2014/12/imagejrgb.html>
2. 陳柏村, 高宜蓁, 余巧庭, & 劉宥汶. (2020). 以自組修飾光學檢測儀器探討甜菜紅的特性及與銅鉛離子的作用. 中華民國第60屆中小學科學展覽會.
3. 陳建志, 廖方盈, 賴家翎, & 王靖瑄. (2015). 『薑』湖傳說薑黃素光降解特性之研究. 中華民國第 55 屆中小學科學展覽會.
4. 張淳茹 (2022). 植物色素光分解性質探討及應用. 雲林縣第62屆公私立國民中小學科學展覽會.
5. 植物光合色素實驗改良與研發. (2015). 金門地區第 55 屆中小學科學展覽會.
6. R. Rakkimuthu, S. Palmurugan, & A. Shanmugapriya. (2016). *EFFECT OF TEMPERATURE,*

LIGHT, PH ON THE STABILITY OF ANTHOCYANIN PIGMENTS IN COCCULUS HIRSUTUS FRUITS.