

中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 化學科

040215

線性歸化－顏色方程式

學校名稱：國立彰化女子高級中學

作者： 高二 賴盈禎 高二 許雅涵 高二 柯雅方	指導老師： 鄭茜如
-----------------------------------	--------------

關鍵詞：指示劑、高麗菜汁、顏色線性歸化

壹、摘要

我們推測紫高麗菜汁中含多種具有指示劑效果的成分，所以想知這些成分在紫色高麗菜汁中所佔的比例。

我們先配製多種比例的甲基紅和靛胭脂，並用電腦分析這兩種溶液在所佔比例不同的情況下之色相值，以歸納出一條方程式。

另一方面，我們用管柱分離紫高麗菜汁中的成分，並拍攝這些成分在 pH1~14 的顏色變化，再用電腦分析這些溶液顏色之色相值。

最後，將色相值代入先前歸納出的方程式，希望藉此算出其顏色組成比例。舉例：有一成份 A 在 pH3~5 呈粉紅色，有另一成份 B 在 pH4~7 呈紫色，那麼我們測出紫高麗菜汁在 pH4、5 的顏色是粉紫色，再代入方程式，即可知多少比例的粉紅色和紫色混合，會等於粉紫色。

pH	3	4	5	6	7
成分A 顏色		粉紅色			
成分B 顏色		紫色	紫色	紫色	紫色
AB 混和液		粉紫色	粉紫色		

貳、研究動機

當廣用指示劑遇上酸、鹼溶液，就會呈現多種美麗的色彩。我們深為此吸引，想深入探討其顏色變化，並預計以方程式來歸納出待測液在不同酸鹼值所呈現之顏色的顏色組成比例。

廣用指示劑是由許多不同的指示劑混合而成，因此，我們聯想到紫高麗菜汁也含有多種具有指示液效果的成分。但其中的成分有哪些？這些不同的顏色變化是否能如我們所預期呈線性關係？若是，我們便能探討出紫高麗菜汁在測量酸鹼時的變色，是由哪些成分影響。為解決上述問題，我們決定開始著手研究。

參、研究目的

一、紫色高麗菜汁之色層分析

1. 嘗試以不同的有機溶劑分離出紫高麗菜的成份
2. 檢驗分離的成分在 pH1~14 下的顏色變化，以得知紫高麗菜汁在不同酸鹼值中所顯現的顏色受這些成分影響的範圍。

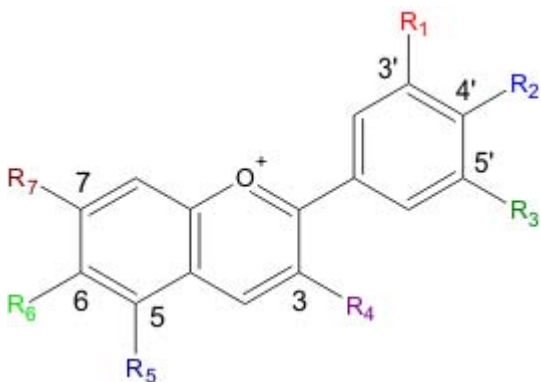
二、分別用 RGB 和 HSV 理論，線性歸化顏色方程式

1. 嘗試以甲基紅與靛胭脂配製多種不同比例的溶液，分析其色相值，歸納出顏色方程式。
2. 將顏色方程式運用到紫高麗菜汁酸鹼變化色層，以得知紫高麗菜汁在不同酸鹼值中所顯現的顏色受這些成分影響的比例。

肆、文獻探討

一、花青素

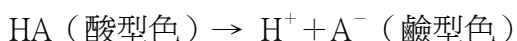
花青素 (anthocyanini) 是一種水溶性的色素，其顏色依據環境之 pH 值不同，可呈現紅到藍的不同顏色。是植物各種顏色基礎，主要結構如下圖所示：



Anthocyanidin	R₁	R₂	R₃	R₄	R₅	R₆	R₇
<u>Aurantidin</u>	-H	-OH	-H	-OH	-OH	-OH	-OH
<u>Cyanidin</u>	-OH	-OH	-H	-OH	-OH	-H	-OH
<u>Delphinidin</u>	-OH	-OH	-OH	-OH	-OH	-H	-OH
<u>Europinidin</u>	-OCH ₃	-OH	-OH	-OH	-OCH ₃	-H	-OH
<u>Luteolinidin</u>	-OH	-OH	-H	-H	-OH	-H	-OH
<u>Pelargonidin</u>	-H	-OH	-H	-OH	-OH	-H	-OH
<u>Malvidin</u>	-OCH ₃	-OH	-OCH ₃	-OH	-OH	-H	-OH
<u>Peonidin</u>	-OCH ₃	-OH	-H	-OH	-OH	-H	-OH
<u>Petunidin</u>	-OH	-OH	-OCH ₃	-OH	-OH	-H	-OH
<u>Rosinidin</u>	-OCH ₃	-OH	-H	-OH	-OH	-H	-OCH ₃

二、酸鹼指示劑

能夠作為酸鹼指示劑的條件，需在酸和鹼中會改變其分子結構，導致光入射分子後，其反射出來的顏色因結構改變而不同。其反應方程式可以下式表示之，在酸中，指示記顯現酸型色，在鹼中則顯現鹼型色。



每種指示劑在酸和鹼中有固定的顏色，從酸到鹼之間有段不明顯區分範圍——變色範圍。當一個指示劑從酸到鹼的顏色變化出現多種色彩時，我們可推斷其中含有不只一種指示劑，如廣用指示劑是由酚酞、溴瑞香草酚藍、甲基紅依一定比例組合而成。

三、色相值

顏色是通過眼、腦和我們生活所產生的一種對光的視覺效應。

大多數光源的光譜不是單色的，這些光是由不同強度、波長的光混合而成的。人眼會將這許多混合光的顏色與單色光源的光之顏色視為同樣。例如：橙色看起來是單色 600 奈米的光，實際上卻是由紅色和綠色的光混合組成的。出於眼睛的生理原理，我們無法區分這兩種顏色的差別。

因此，顏色的讀取在電腦上有許多種方法，常見的比如 RGB（紅、綠、藍）或者 HSV（色相、彩度、明度）……等。

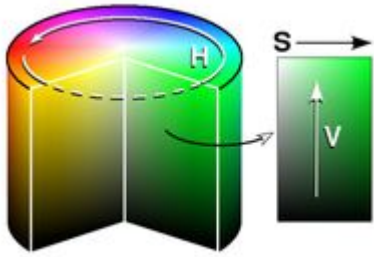
1. RGB 理論

顏色混合當中，如要再現一顏色，則需其組成顏色比例，其中三原色無法由其他顏色合成，分別為紅、綠、藍，因此我們有了 RGB 的模組，分別代表三原色。而在 RGB 的模組裡，具有數學上加法混色效果（山中俊夫，色彩學的基礎）。



2. HSV 理論

HSV 色彩模組中的 H 為色相值，不同顏色的色相值不同，如：紅色的色相值為 0、藍色的色相值為 200。S 為彩度，也就是色彩的飽和度，彩度愈高，則此顏色愈純，當彩度為最低時，則無顏色。V 為明度，是色彩明暗的表現，即白至黑的表現。



<圖 1>HSV 色相圖

其中HSV系統乃將顏色的色相值、飽和度及明度分開計量，故一物質顏色之深淺、彩度之強弱，不會影響到H值。H是色彩的基本屬性，就是顏色的名稱，如紅色、黃色等，其數值即為它在色輪上的角度（0-360度）。

3. RGB 與 HSV 換算公式

若 R 最大，則 $H = [0+(G-B) \div (MAX-MIN)] \times 60$

若 G 最大，則 $H = [2+(B-R) \div (MAX-MIN)] \times 60$

若 B 最大，則 $H = [4+(R-G) \div (MAX-MIN)] \times 60$

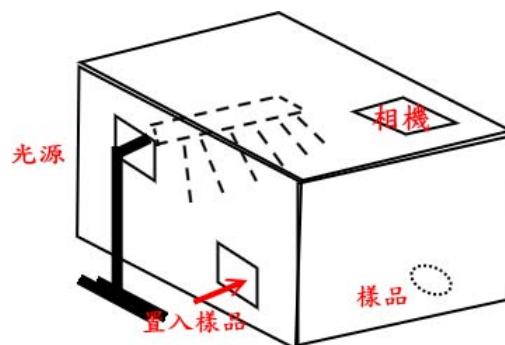


<圖 2>十二色相環

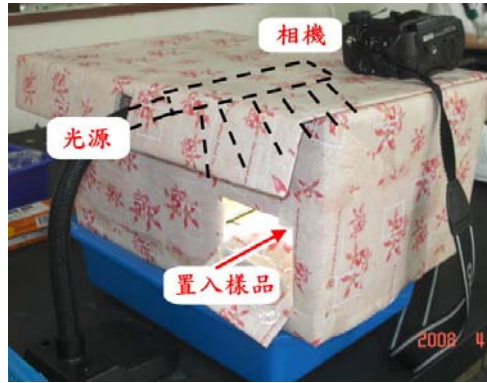
伍、研究設備及器材

1. 材料：

燒杯、滴管、熱水、甲醇、高麗菜、研鉢、抽濾漏斗、濾紙、量筒、容量瓶、鐵架、白底圓形容容器、甲基紅、靛胭脂、管柱(直徑 1.6cm 長 10cm)、乙酸乙酯、丙酮、鹽酸、氫氧化鈉、電子秤、玻棒、棉花、蒸餾水、數位相機(OLYMPUS ; No.c8080)、自製翻拍箱(圖 2)、電腦軟體 PhotoImpact、檯燈。



<圖 3>自製翻拍箱的透視圖



<圖 4>自製翻拍箱裝置圖(含相機、自製箱子、固定光源)，箱內以白色西卡紙作為背景。

陸、研究方法與過程

一、研究方法：

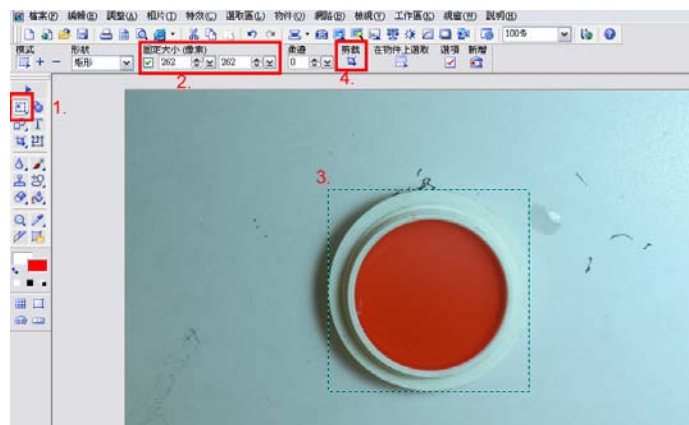
樣品拍攝與電腦色相值取法

- a. 自製一個翻拍箱(如圖 3、圖 4)，並固定光源、拍攝相機。
- b. 將溶液裝在白底的圓形容器(如圖 5)後，放入翻拍箱中拍攝。



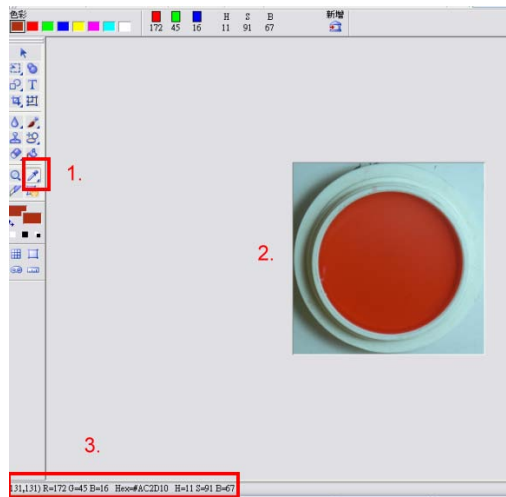
<圖 5>白平底容器

- c. 拍攝前，需固定相機的焦距(定為 4)、OEV/白平衡(定為 0)、畫素(定為 2592x1944)、ISO(定為 100)。
- d. 所有照片一律以 PhotoImpact 開啓檔案，將檔案縮小 20%後，再用選取工具固定像素長寬均為 262，選出所需部份。



<圖 6>點選裁切工具

- e. 裁剪後，利用色彩選取工具，固定選取五個座標點的 RGB 和 HSV 值，再以 excel 求平均。



<圖 7>點選選取工具

二、研究過程：

(一) 紫色高麗菜汁之色層分析

實驗一、以不同溶劑萃取高麗菜汁

1. 將高麗菜葉以清水清洗後切成碎片，以研鉢搗成泥狀。
2. 將 0.05ml 的 1M 鹽酸，滴入 100ml 的甲醇中，配製酸化甲醇溶液。
3. 將高麗菜泥分別浸入酸化甲醇溶液及 100ml 熱水中，靜置 10 分鐘。
4. 以抽濾漏斗過濾得高麗菜汁。
5. pH 配製: 以 1M 鹽酸及氫氧化鈉配製 pH1~14 的溶液。
6. 測試高麗菜汁在 pH1~14 的呈色變化，並拍攝後以電腦分析其 H 值，記錄下來。
7. 將酸化甲醇萃的和熱水萃的紫高麗菜放置冰箱 1 個月後，觀察其變化並記錄。

實驗二、以不同溶液填充矽膠

1. 將一小塊棉花塞於管柱的管口中。
2. 將矽膠分別與水或甲醇混合均勻，填充兩管柱至約 15ml 處。
3. 分別滴入 5ml 高麗菜汁於管柱中，靜置約 10 分鐘，使樣品充分沒入矽膠中。
4. 依序以三倍體積(45mL)的乙酸乙酯、丙酮、甲醇及水流洗，並分別收集流洗液。
5. pH 配製: 以 1M 鹽酸及氫氧化鈉配製 pH 3~8 的溶液。
6. 分別測試步驟 4 之流洗液在 pH 3~8 的顏色變化，並記錄之。

實驗三、改變溶劑流洗順序

1. 依照實驗一和二的結果，選擇適當以甲醇萃取紫高麗菜、並以甲醇填充矽膠。
2. 滴入 5ml 高麗菜汁於管柱中，靜置約 10 分鐘，使樣品充分沒入矽膠中。

3. 改變溶劑流洗順序，分為三組實驗 A、B、C。
管柱A. 依序以水、乙酸乙酯、甲醇、丙酮、水 II 進行流洗。
管柱B. 依序以水、甲醇、丙酮、乙酸乙酯進行流洗。
管柱C. 依序以乙酸乙酯、丙酮、甲醇、水進行流洗。
其中，各溶劑流洗的量均固定為矽膠的三倍體積 (45mL)。
4. 收集上述三實驗之流洗液，並拍攝流洗過程中的管柱顏色。

實驗四、流洗溶液之顏色分析

1. 依照實驗一步驟 1~4 以甲醇萃取高麗菜汁。
2. 依照實驗二步驟 1~3 以甲醇填充矽膠。
3. 依照實驗三之管柱 C 流洗順序流洗管柱，並收集流洗液。
4. 測試不同流洗液在 pH1~14 的顏色變化，置入自製翻拍箱中拍攝，並利用影像軟體以色相值取法取得其 H 值並記錄。

(二) 分別用 RGB 和 HSV 理論，線性歸化顏色方程式

A、利用甲基紅及靛胭脂進行預備實驗，求出溶液混和時色相值之方程式

實驗五、以 RGB 理論進行分析

1. 分別配製 0.01M 的甲基紅及靛胭脂溶液，再以 1:4、2:3、1:1、3:2、4:1 混合成不同比例。
2. 將上述七種混合液以滴管各吸取 1 毫升至容量瓶內，稀釋成 100 毫升。
3. 將稀釋好的甲基紅與靛胭脂原液和各比例溶液，各自吸取 2ml，裝入圓形白平底容器，置入自製翻拍箱拍攝。
4. 用電腦依色相值取法，取得照片之 RGB，帶入假設公式，得到理論 r、g、b 值。

$$r = (K_R \times m/m+n) + (L_R \times n/m+n)$$

$$g = (K_G \times m/m+n) + (L_G \times n/m+n)$$

$$b = (K_B \times m/m+n) + (L_B \times n/m+n)$$

其中

- ✦ 混和溶液中甲基紅及靛胭脂之莫耳數分別為 m 及 n mol
- ✦ r、g 及 b 分別代表混和溶液之 R 值、G 值及 B 值
- ✦ K_R 、 K_G 及 K_B 分別代表甲基紅原液之 R 值、G 值及 B 值
- ✦ L_R 、 L_G 及 L_B 分別代表靛胭脂原液之 R 值、G 值及 B 值

5. 比較與混和液理論上之 r、g、b 及實驗測之 R、G、B，並分析其誤差。

實驗六、以 HSV 理論 1 進行分析

1. 依照實驗五步驟 1~3 配置溶液並拍攝。
2. 用電腦依色相值取法，取得照片之色相值，帶入假設公式，得到理論 H 值。

$$H_{\text{混合}} = H^0_{\text{甲基紅}} X_{\text{甲基紅}} + H^0_{\text{靛胭脂}} X_{\text{靛胭脂}}$$

其中

- ⊕ H 為混和液之色相值
- ⊕ $H^0_{\text{甲基紅}}$ 、 $H^0_{\text{靛胭脂}}$ 分別為甲基紅與靛胭脂原汁之色相值
- ⊕ $X_{\text{甲基紅}}$ 、 $X_{\text{靛胭脂}}$ 分別為甲基紅與靛胭脂在溶液中之莫耳分率

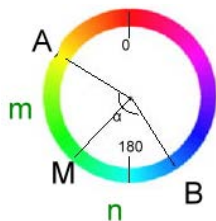
3. 比較理論與實驗之色相值，並分析其誤差。

實驗七、根據實驗六進行 HSV 理論修正

1. 將稀釋好的甲基紅與靛胭脂原液和各比例溶液，各自吸取 2ml，裝入圓形白平底容器，置入自製翻拍箱。固定相機的焦距 4、OEV(白平衡)0、ISO 值 100，進行拍攝。
2. 用電腦依色相值取法，取得照片之 H 值，代入計算。
3. 我們將色相環分成 360 度，將取得之 H 值換成角度。利用甲基紅(K)與靛胭脂(L)以 m:n 的比例混合，則該混合後的溶液其 H 值應可由角度比例得出。
4. 因此假設計算方式如下：

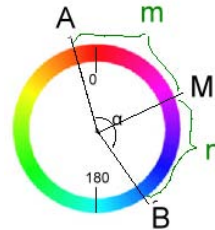
$$B-A < 180$$

$$M = A + (B-A) \frac{m}{m+n}$$



$$B-A > 180$$

$$M = B + (A+360-B) \frac{n}{m+n}$$



其中

- ⊕ 混和溶液中甲基紅及靛胭脂之莫耳數分別為 m 及 n mol
- ⊕ A、B、M 分別為甲基紅、靛胭脂及混合液汁 H 值於色相環上之角度

5. 將甲基紅原汁之色相值 A、靛胭脂原汁之色相值 B 代入上述方程式後，求出溶液之理論色相值。
6. 歸納上列運算式可得到

$$H_{\text{混合}} = (H^0_{\text{甲基紅}} + 360) X_{\text{甲基紅}} + H^0_{\text{靛胭脂}} X_{\text{靛胭脂}}$$

(其中 H 為混和液之色相值、

$H^0_{\text{甲基紅}}$ 、 $H^0_{\text{靛胭脂}}$ 分別為甲基紅與靛胭脂原汁之色相值

$X_{\text{甲基紅}}$ 、 $X_{\text{靛胭脂}}$ 分別為甲基紅與靛胭脂在溶液中之莫耳分率)

7. 比較理論與實驗之色相值，並分析其誤差。















柒、研究結果

(一) 紫色高麗菜汁之色層分析















實驗一、以不同溶劑萃取高麗菜汁

1. 實驗數據

(1) 以酸化甲醇萃取之紫色高麗菜汁在 pH 1~14 之色相變化圖表

pH 值	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
顏色														
H 值	353	350	314	302	288	300	296	295	297	298	283	191	142	73

(2) 以水萃取之紫色高麗菜汁在 pH 1~14 之色相變化圖表

pH 值	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
顏色														
H 值	353	352	8	21	18	21	20	18	30	18	20	80	68	54

實驗二、以不同溶液填充管柱

1. 實驗數據

(1) 以甲醇填充矽膠，依序以乙酸乙酯、丙酮、甲醇流洗之結果。

① 乙酸乙酯流洗液在 pH 3~8 之呈色



② 丙酮流洗液在 pH 3~8 之呈色



③ 甲醇流洗液在pH3~8 之呈色



(2) 以水填充矽膠後，依序以乙酸乙酯、丙酮、甲醇流洗之結果。

① 乙酸乙酯流洗液在pH3~8 之呈色



② 丙酮流洗液在pH3~8 之呈色



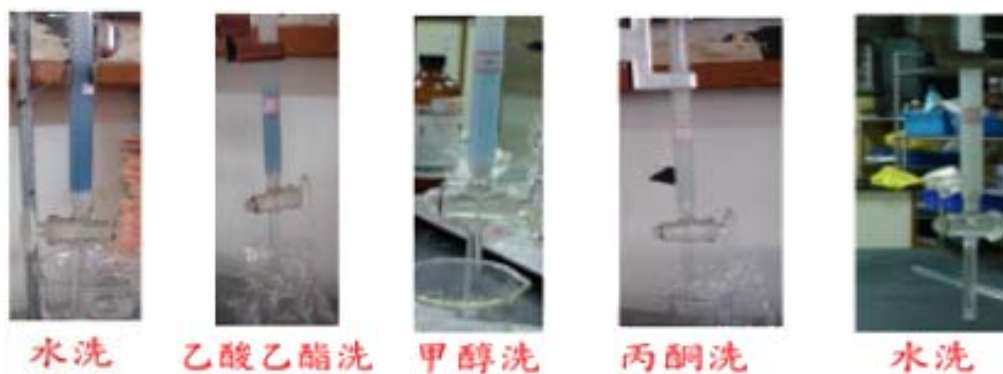
③ 甲醇流洗液在pH3~8 之呈色



實驗三、改變溶劑流洗順序

1. 實驗數據

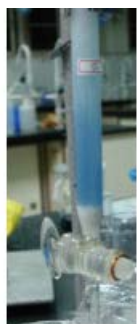
實驗A.



實驗B.



水洗



甲醇洗



丙酮洗



乙酸乙酯洗

實驗C.



乙酸乙酯洗



丙酮洗



甲醇洗



水洗

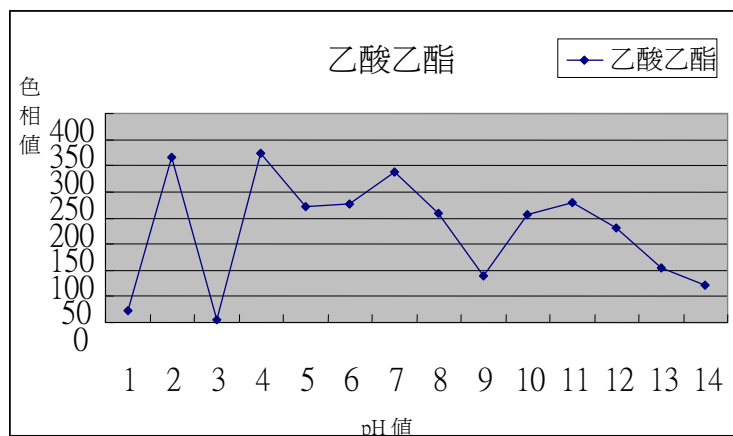
實驗四、流洗溶液之顏色選取

1. 實驗數據：以甲醇萃取的紫色高麗菜汁經乙酸乙酯、丙酮、甲醇、水流洗後，檢驗其在 pH1~14 中所呈現的顏色，再將這些顏色經電腦分析出其 RGB 值和色相值。整理後的數據表格參見附錄。

2. 數據比較

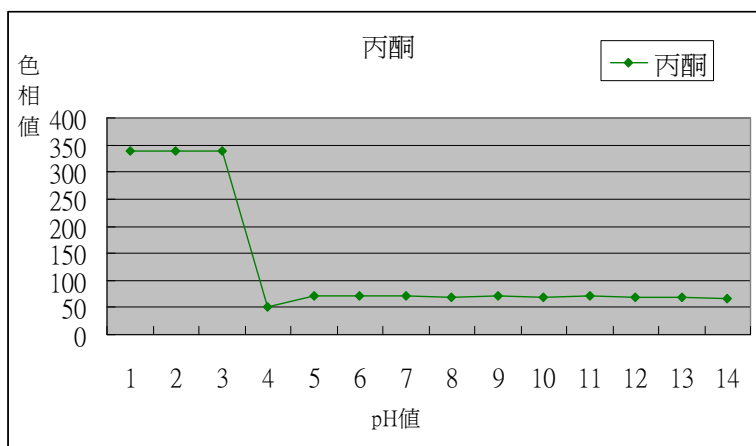
(1) 乙酸乙酯流洗液在不同酸鹼度之顏色及色相變化

乙酸乙酯														
pH 值	pH1	pH2	pH3	pH4	pH5	pH6	pH7	pH8	pH9	pH10	pH11	pH12	pH13	pH14
圖														
顏色	深粉紅	粉紅	淡粉紅	淺粉紅	淡藍	淡藍綠	淡黃綠	透明	淺藍	藍	藍綠	青綠	黃綠	亮黃
色相值	22	315	4	324	222	228	288	210	89	206	230	181	104	72



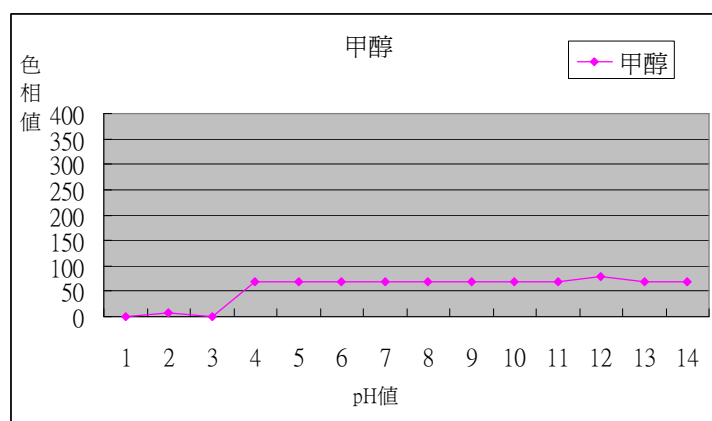
(2) 丙酮流洗液在不同酸鹼度之顏色及色相變化

丙酮														
pH 值	pH1	pH2	pH3	pH4	pH5	pH6	pH7	pH8	pH9	pH10	pH11	pH12	pH13	pH14
圖														
顏色	桃紅	淡紅	淡紅	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明	淡黃綠	淡綠	淡黃
色相值	338	340	339	50	72	71	72	70	72	70	72	70	69	67



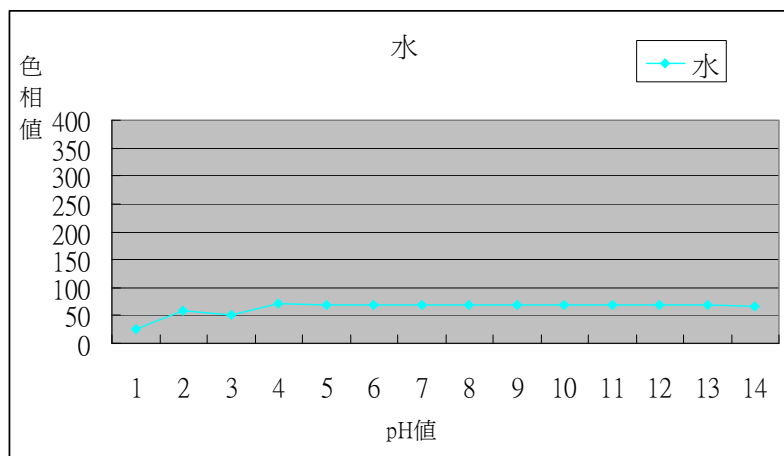
(3) 甲醇流洗液在不同酸鹼度之顏色及色相變化

甲醇														
pH 值	pH1	pH2	pH3	pH4	pH5	pH6	pH7	pH8	pH9	pH10	pH11	pH12	pH13	pH14
圖														
顏色	淡粉紅	淡粉紅	淡粉紅	淡粉紅	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明	淡黃	淡黃綠	淡黃
色相值	0	8	1	70	69	70	70	70	69	70	70	79	69	70



(4) 水流洗液在不同酸鹼度之顏色及色相變化

水														
pH 值	Ph1	pH2	pH3	pH4	pH5	pH6	pH7	pH8	pH9	pH10	pH11	pH12	pH13	pH14
圖														
顏色	淡紅	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明	透明	淡黃
色相值	26	59	52	71	68	70	70	70	70	70	70	69	69	66



(二) 以 RGB 和 HSV 理論，對色相值作線性歸化。

實驗五、以 RGB 理論進行分析

1. 實驗數據

- ①. 甲基紅原液以固定拍攝、取色方式得到：R 值 169，G 值 46，B 值 20
 靛胭脂原液以固定拍攝、取色方式得到：R 值 20，G 值 58，B 值 126
- ②. 以公式計算甲基紅與靛胭脂原液之 R、G、B 值在不同比例下的計算值
 與以固定拍攝、取色方式得到的各混合液色相值(實驗值)，相互比較。

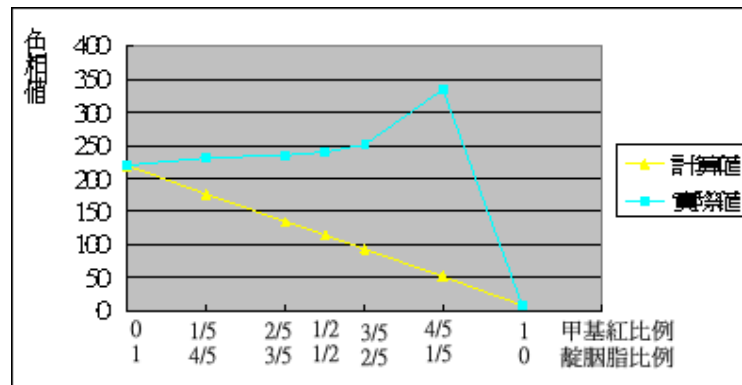
混合比例 (甲基紅：靛胭脂)		公式 (計算值)	實驗 值	誤差
1 : 4	R	$(169 \times 1/5) + (20 \times 4/5) = 49.8$	22	126.4%
	G	$(46 \times 1/5) + (58 \times 4/5) = 55.6$	29	91.7%
	B	$(20 \times 1/5) + (126 \times 4/5) = 104.8$	62	69.0%
2 : 3	R	$(169 \times 2/5) + (20 \times 3/5) = 79.6$	20	298.0%
	G	$(46 \times 2/5) + (58 \times 3/5) = 53.2$	23	131.3%
	B	$(20 \times 2/5) + (126 \times 3/5) = 83.6$	44	90.0%
1 : 1	R	$(169 \times 1/2) + (20 \times 1/2) = 94.5$	15	530.0%
	G	$(46 \times 1/2) + (58 \times 1/2) = 52$	15	246.7%
	B	$(20 \times 1/2) + (126 \times 1/2) = 73$	23	217.3%
3 : 2	R	$(169 \times 3/5) + (20 \times 2/5) = 109.4$	21	421.0%
	G	$(46 \times 3/5) + (58 \times 2/5) = 50.8$	19	167.4%
	B	$(20 \times 3/5) + (126 \times 2/5) = 62.4$	31	101.3%
4 : 1	R	$(169 \times 4/5) + (20 \times 1/5) = 139.2$	40	248.0%
	G	$(46 \times 4/5) + (58 \times 1/5) = 48.4$	24	101.7%
	B	$(20 \times 4/5) + (126 \times 1/5) = 41.2$	31	32.9%

實驗六、以 HSV 理論 1 進行分析

1. 實驗數據

- ①. 甲基紅及靛胭脂原液之色相值分別為 10.2 及 218.6。
- ②. 套入假設公式 $H_{\text{混合}} = H^0_{\text{甲基紅}} X_{\text{甲基紅}} + H^0_{\text{靛胭脂}} X_{\text{靛胭脂}}$ 計算
- ③. 以固定拍攝、取色方式得到的各混合液色相值(實驗值)

混合比例 (甲基紅：靛胭脂)	甲基紅 色相值	靛胭脂 色相值	套入公式 計算值	實驗值
靛胭脂	0	218.6	218.6	218.6
1 : 4	2.04	174.88	176.92	230.2
2 : 3	4.08	131.16	135.24	235.6
1 : 1	5.1	109.3	114.4	240
3 : 2	6.12	87.44	93.56	250.6
4 : 1	8.16	43.72	51.88	333.6
甲基紅	10.2	0	10.2	10.2



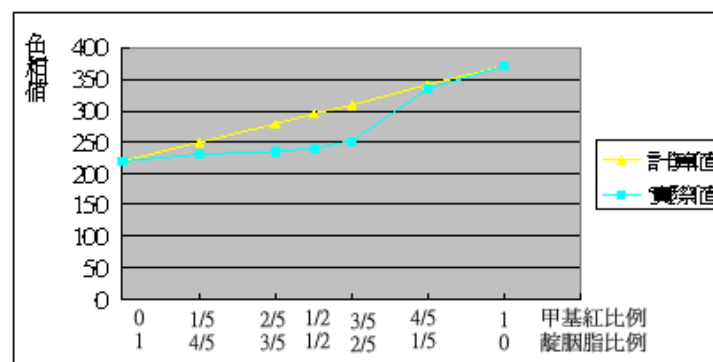
<圖 8>以不同比例混合甲基紅與酞菁藍之計算值與實驗值比較圖

實驗七、根據實驗六 HSV 理論進行修正

1. 實驗數據

- ①. 甲基紅與酞菁藍在色環上換算角度為 370.2 及 218.6。
- ②. 套入修正公式 $H_{混合} = (H^0_{甲基紅} + 360) \times X_{甲基紅} + H^0_{酞菁藍} \times X_{酞菁藍}$ 計算
- ③. 以固定拍攝、取色方式得到的各混合液色相值(實驗值)

混合比例 (甲基紅：酞菁藍)	甲基紅 色相值	酞菁藍 色相值	套入公式 計算值	實驗值
酞菁藍	0	218.6	218.6	218.6
1：4	74.04	174.88	248.92	230.2
2：3	148.08	131.16	279.24	235.6
1：1	185.1	109.3	294.4	240
3：2	222.12	87.44	309.56	250.6
4：1	296.16	43.72	339.88	333.6
甲基紅	370.2	0	370.2	370.2



<圖 9>以不同比例混合甲基紅與酞菁藍之計算值與實驗值比較圖

捌、討論

1. 紫色高麗菜之色層分析

實驗一 由照片比較得知，剛配製好的高麗菜汁，由甲醇萃取的溶液在酸鹼下的顏色變化亦比水萃溶液在酸鹼下的顏色變化更明顯，所以我們可以知道以甲醇萃取的高麗菜汁是較好的。另外放置一個月後以水萃取的高麗菜汁已經變質，顏色呈現黃褐色且有明顯的酸腐味，而酸化甲醇萃取的高麗菜汁(圖左)仍呈現最初的深紫色，無明顯臭味，推測酸化甲醇可防止細菌生長繁殖。另以酸鹼測試兩杯溶液，以水萃取之紫色高麗菜汁其顏色不隨 pH 而變，而酸化甲醇萃取之紫色高麗菜汁仍有指示劑的效果，在不同 pH 值下呈現出各種顏色，因此有利於實驗進行，不受時間限制。故最後選擇以酸化甲醇作為後續實驗之高麗菜萃取液。

實驗二 經過實驗測試，我們發現以不同的溶劑來進行矽膠填充，實驗的結果會有所不同，所以我們以一完整實驗比較分別以甲醇及水進行填充的兩支管柱，在分離效果上有何不同。實驗結果顯示以甲醇溶解的矽膠所分離高麗菜汁的溶液，在酸鹼中所呈現的顏色比水溶解的矽膠更為明顯，這有助於我們實驗的觀察。故後續實驗選擇以甲醇來進行矽膠之填充。

實驗三 極性的不同對分離高麗菜汁之效果有很大的影響。因為還不知道高麗菜汁成分的極性分佈，所以我們以溶液極性大小所沖洗的順序分成三組實驗，分別為不依照極性順序、極性由大而小、極性由小而大的三支管柱進行實驗 A、B、C，並比較其分離後的結果。由結果可知，實驗 A 與 B 在第一個溶劑(水)加入後，顏色即轉淡許多，推測因為水是極性很大的溶劑，紫色高麗菜中之呈色分子多為極性很大之物質，故許多成分在一開始便被流洗出來。實驗 A 與 B 在最後管柱中仍有黃色的成分殘留，代表並無法溶離出所有呈色分子。再加上實驗 C 的顏色變化較平均，成份是漸漸的溶出，所以我們選擇以極性小至大的順序來分離高麗菜汁。

實驗四 由實驗結果得知乙酸乙酯流洗液在 pH1~14 下皆有顏色變化；丙酮流洗液在 pH1~3 下有明顯的顏色變化(紅色)；甲醇流洗液在 pH1~3 下有顏色變化(淡紅色)；最後水流洗液皆呈透明。

對照實驗一甲醇粹取紫高麗菜汁在 pH1~14 下的顏色變化圖，可知約有 80% 具有指示計效果的組成成份由乙酸乙酯流洗出。約有 15% 具有指示計效果的組成成份由丙酮流洗出，其影響的範圍界在 pH1~3。約有 3% 具有指示劑效果的組成成份由甲醇流洗出，其影響的範圍也約介在 pH1~3。

2. 顏色方程式

實驗五 以 RGB 理論進行分析：

從我們的數據看出，只有 G 值誤差最小，而 R 值和 B 值的誤差都很大。這樣一來，用此 R G B 推算出的 H 值就與我們實驗測出的 H 值有很大的誤差，或許是我們一開始的假設公式有誤。因此，接下來我們改以使用另一顏色模組 HSV 模組來做分析。

實驗六 以 HSV 理論進行分析：

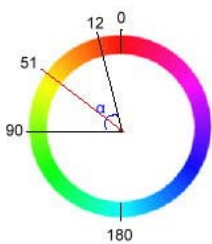
我們假設 H 值可視為角度，因此我們假設顏色混合可以以下列方式歸納。

$$H_{\text{紫}} = H_{\text{紅}} \times X_{\text{紅}} + H_{\text{藍}} \times X_{\text{藍}}。$$

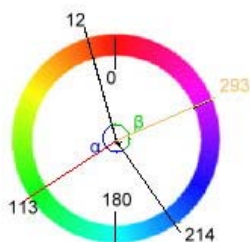
但由實驗圖表可知：靛胭脂的色相值遠大於甲基紅的色相值，所以計算值受靛胭脂比例下降而跟著下降，甲基紅對其影響相對少很多，但我們的實驗值卻因為甲基紅比例增加而略有上升的趨勢，所以甲基紅和靛胭脂對混合後色相值的影響是一樣大的。且在色環上，紅色色相值約介於 20~330 之間，跨過了 0 度，也就是說：若是我們測得的甲基紅色相值為 0，在比例計算時，計算值會完全隨靛胭脂比例下降而下降，但混合液的實驗值一定會受甲基紅增加而趨近紫色。所以我們認為將色相值視為角度來運算必須修正，因此，我們回歸到用色環角度運算，企圖找出修正甲基紅色相值的方法。

實驗七 根據實驗六 HSV 理論進行修正：

1. 所有的色彩依其色相值可排成一環形，其數值介於 0~359。當色相值為 12 的顏色與色相值為 90 的顏色以 1 比 1 的混合，其混合後的色相值為 $1/2(12+90)=51$



2. 當色相值為 12 的顏色與色相值為 214 的顏色以 1 比 1 的混合時，其色相值並不是 $1/2(12+214)=113$ 。這是因為這樣求出來的是大角度 α 的中間值，而我們欲求的色相值是小角度 β 的中間值。應該要用



$$\rightarrow \beta = 12 + (360 - 214) = 158$$

$$158 \div 2 = 79$$

$$79 + 214 = 293$$

$$\text{也就是} \rightarrow (12 + 360) \times 0.5 + 214 \times 0.5 = 293$$

所以我們修正的方法：當兩個色相值之差超過 180 時，較小的色相值需加上 360 再計算 $\rightarrow H_{\text{混合}} = (H_{\text{甲基紅}} + 360) \times X_{\text{甲基紅}} + H_{\text{靛胭脂}} \times X_{\text{靛胭脂}}。$

3. 實驗七以幾何的方法進行混色的分析，大大改善了實驗六的誤差。使得實際值與理論值更為接近。
4. 經過無數次的實驗及調整，發現仍無法讓實際值與理論值之間的誤差在更縮小，經過分析，其可能原因如下：
 - I. 我們雖已採用進階的單眼數位像機進行拍攝，並以手動的模式固定所有的可調因素(焦距、iso 值、白平衡)，但仍無法完全排除設備本身所造成的誤差。
 - II. 因考量到周圍光線強弱、色溫、陰影、或其他物質反射光等種種因素的影響，我們自製了一個翻拍箱，將樣品固定於其中，以相同光源進行拍攝。但翻拍箱的光源(高頻日光燈)礙於國內供電來源為固定頻率，故無法完全避免閃爍。
 - III. 經過多次實驗，發現仍無法減少誤差。我們前往大學資訊系與教授進行討論，教授提及目前色彩學之分析方法，是以簡化後之理論作為基礎，在電腦上以單純之色塊進行討論及研究。故本次實驗的誤差極大可能來自於混和液之成分複雜，不同分子之吸光發光顯色因子不同，綜合影響，非現有之技術可以綜合討論分析。

玖、結論

(一) 紫色高麗菜汁之色層分析

綜合比較後，我們發現分離紫高麗菜汁最佳的方法是：以酸化甲醇粹取紫高麗菜汁，倒入以甲醇填充之矽膠管柱，溶劑依極性小到大流洗。

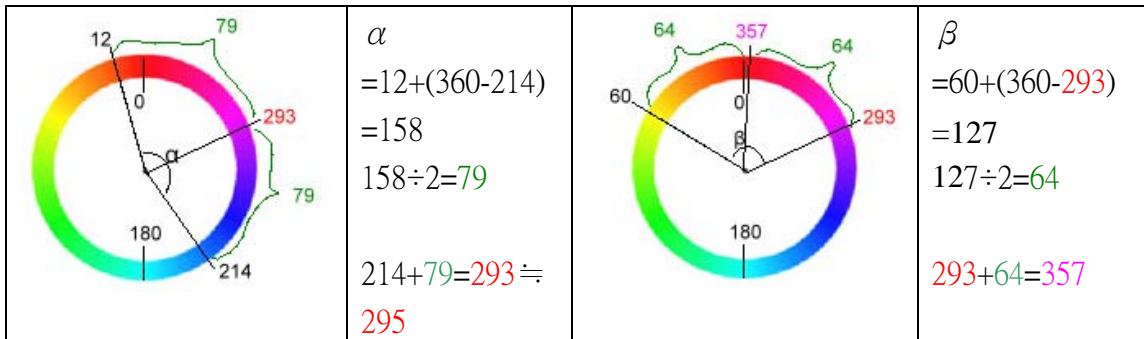
實驗得知：紫高麗菜汁中，和乙酸乙酯同極性的變色成分分布在酸、中、鹼；和丙酮同極性的變色成分分布在酸、鹼；和甲醇同極性的變色成分分布在酸、鹼；和水同極性的變色成分分布在酸、鹼。

(二) 以 RGB 和 HSV 理論，對色相值作線性歸化。

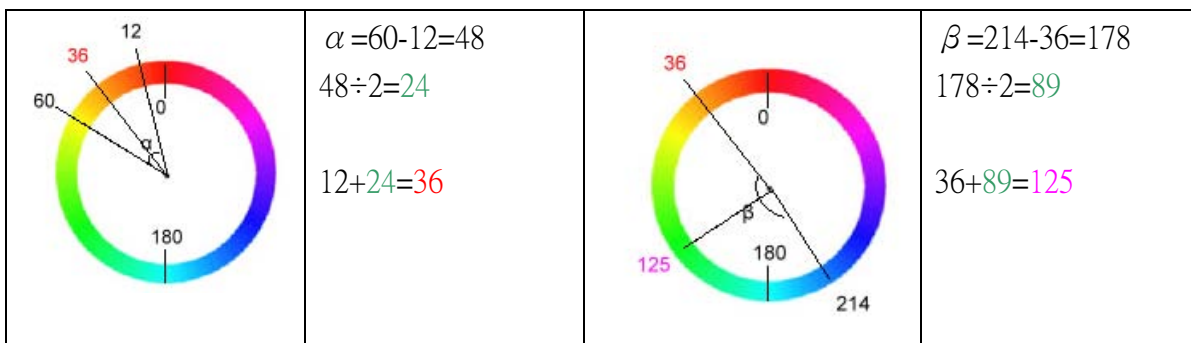
1. 在以甲基紅與靛胭脂兩色，作顏料混合的線性歸化時，我們發現顏料若只有兩種原色混合，在兩個色相值之差 < 180 ，可以用 $H_{\text{混合}} = H_{\text{甲基紅}}^0 X_{\text{甲基紅}} + H_{\text{靛胭脂}}^0 X_{\text{靛胭脂}}$ ；當兩個色相值之差 > 180 ，可以用 $H_{\text{混合}} = (H_{\text{甲基紅}}^0 + 360) X_{\text{甲基紅}} + H_{\text{靛胭脂}}^0 X_{\text{靛胭脂}}$ 。

2.當顏料有三種以上（以下用紅 12、黃 60、藍 214 比喻），會發生數據不一的情形：依 1.結論類推，需先比較兩混合色的差值是否 > 180 ，故可分為以下三種情況：

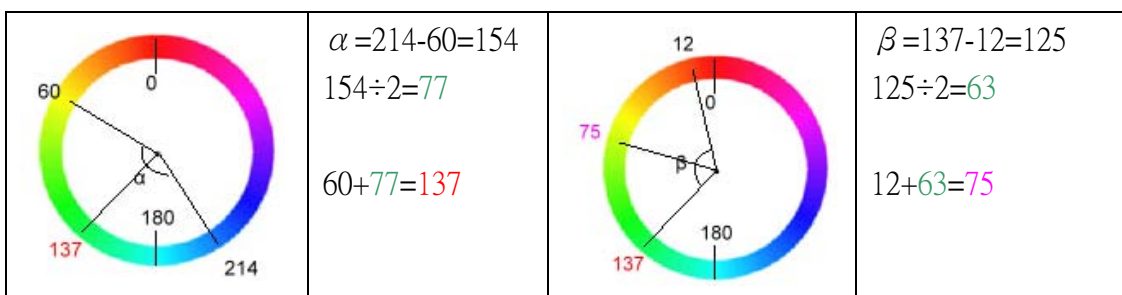
①. 紅色先和藍色混合，再加上黃色，可得到色相值 357。



②. 紅色先和黃色混合，再加上藍色，可得到色相值 125。



③. 黃色先和藍色混合，再加上紅色，可得到色相值 75。



由於上列三種情況皆無法得到一致的答案，所以此法只適用於兩個顏料混合。然而，我們的紫高麗菜在分離後可看出其所含成分不只兩種，所以無法用 $H_{\text{混合}} = H_{\text{成份1}}^0 X_{\text{成份1}} + H_{\text{成份2}}^0 X_{\text{成份2}} + \dots$ ，來歸納。

拾、參考資料

1. **KM theory**
http://www.art-si.org/PDFs/Processing/KMreport_10_01.pdf
2. 六合出版社《色彩學的基礎》P.33-38。山中俊夫著。
3. 色彩簡介 <http://caterpillar.onlyfun.net/Gossip/ComputerGraphics/IntroductionToColor.htm>
4. 維基百科，HSV 色彩屬性模式
<http://zh.wikipedia.org/w/index.php?title=HSV%E8%89%B2%E5%BD%A9%E5%B1%9E%E6%80%A7%E6%A8%A1%E5%BC%8F&variant=zh-tw>

伍●附錄

乙酸乙酯洗

乙酸乙酯 pH1 (紅)							乙酸乙酯 pH8 (淡藍)						
座標	R	G	B	H	S	B	座標	R	G	B	H	S	B
79, 81	148	120	95	26	35	57	79, 81	131	143	155	210	15	61
99, 61	132	95	79	18	40	52	99, 61	104	114	124	210	16	49
59, 61	145	112	93	22	36	57	59, 61	114	128	141	209	19	55
99,101	148	119	95	27	36	58	99,101	123	136	152	213	19	60
59,101	145	111	80	18	40	52	59,101	123	137	150	209	18	59
平均	143.6	111.4	88.4	22.2	37.4	55.2	平均	119	131.6	144.4	210.2	17.4	56.8
乙酸乙酯 pH2 (粉紅)							乙酸乙酯 pH9 (淡藍)						
座標	R	G	B	H	S	B	座標	R	G	B	H	S	B
79, 81	105	80	99	314	24	41	79, 81	138	155	111	83	28	61
99, 61	109	84	103	314	23	43	99, 61	146	167	124	89	26	65
59, 61	104	80	96	320	23	41	59, 61	144	167	118	93	29	66
99,101	95	72	88	318	24	37	99,101	140	164	116	90	29	64
59,101	93	72	89	307	20	36	59,101	144	168	120	90	29	66
平均	101.2	77.6	95	314.6	22.8	39.6	平均	142.4	164.2	117.8	89	28.2	64.4
乙酸乙酯 pH3 (粉紅)							乙酸乙酯 pH10 (淡藍)						
座標	R	G	B	H	S	B	座標	R	G	B	H	S	B
79, 81	95	81	81	0	15	37	79, 81	108	108	110	240	2	43
99, 61	82	72	71	5	13	32	99, 61	136	136	138	240	2	54
59, 61	91	85	85	0	7	36	59, 61	149	148	154	250	4	60
99,101	93	85	83	12	11	36	99,101	151	148	157	60	6	62
59,101	74	64	63	5	15	29	59,101	140	140	148	240	5	58
平均	87	77.4	76.6	4.4	12.2	34	平均	136.8	136	141.4	206	3.8	55.4
乙酸乙酯 pH4 (淡粉紅)							乙酸乙酯 pH 11 (淡藍)						
座標	R	G	B	H	S	B	座標	R	G	B	H	S	B
79, 81	169	156	163	328	8	66	79, 81	126	126	134	240	6	53
99, 61	164	153	159	327	7	64	99, 61	132	136	147	224	10	58
59, 61	168	159	162	340	5	66	59, 61	124	127	134	222	7	53
99,101	157	146	152	327	7	62	99,101	131	134	143	225	8	56
59,101	165	156	163	300	4	64	59,101	132	132	142	240	7	56
平均	164.6	154	159.8	324.4	6.2	64.4	平均	129	131	140	230.2	7.6	55.2

乙酸乙酯 pH5 (淡藍)							乙酸乙酯 pH12 (青綠)						
座標	R	G	B	H	S	B	座標	R	G	B	H	S	B
79, 81	148	158	170	213	13	67	79, 81	119	143	143	180	17	56
99, 61	147	150	165	230	11	65	99, 61	114	140	141	182	19	55
59, 61	153	159	173	222	11	68	59, 61	113	143	141	176	21	56
99,101	156	164	177	217	12	69	99,101	115	143	144	182	20	56
59,101	146	151	170	228	14	67	59,101	115	143	146	186	21	57
平均	150	156.4	171	222	12.2	67.2	平均	115.2	142.4	143	181.2	19.6	56
乙酸乙酯 pH6 (淡藍)							乙酸乙酯 pH13 (黃)						
座標	R	G	B	H	S	B	座標	R	G	B	H	S	B
79, 81	127	127	135	240	6	53	79, 81	117	143	106	102	26	56
99, 61	124	123	131	222	7	51	99, 61	112	138	99	100	28	54
59, 61	130	133	140	222	7	55	59, 61	109	136	103	109	24	53
99,101	138	142	153	224	10	60	99,101	108	133	101	107	24	52
59,101	128	129	134	230	4	53	59,101	109	133	99	102	25	52
平均	129.4	130.8	138.6	227.6	6.8	54.4	平均	111	136.6	101.6	104	25.4	53.4
乙酸乙酯 pH7 (透明)							乙酸乙酯 pH14 (黃)						
座標	R	G	B	H	S	B	座標	R	G	B	H	S	B
79, 81	128	126	129	280	2	51	79, 81	142	151	94	69	38	59
99, 61	135	133	136	280	2	53	99, 61	135	145	93	72	36	57
59, 61	152	147	153	290	4	60	59, 61	139	146	94	68	36	57
99,101	152	147	151	312	3	60	99,101	130	142	94	75	34	56
59,101	141	139	142	280	2	56	59,101	133	146	100	77	31	57
平均	141.6	138.4	142.2	288.4	2.6	56	平均	135.8	146	95	72.2	35	57.2

丙酮洗

丙 酮洗 pH1 (桃紅)							丙 酮洗 pH8 (無)						
座標	R	G	B	H	S	B	座標	R	G	B	H	S	B
79, 81	210	146	170	338	31	82	79, 81	206	207	201	70	3	81
99, 61	207	143	167	338	31	81	99, 61	205	206	200	70	3	81
59, 61	207	142	166	338	31	81	59, 61	204	205	199	70	3	80
99,101	215	151	175	338	30	84	99,101	207	208	202	70	3	82
59,101	213	149	173	338	30	84	59,101	207	208	202	70	3	82
平均	210.4	146.2	170.2	338	30.6	82.4	平均	205.8	206.8	200.8	70	3	81.2

醃洗 pH2 (淡紅)							醃洗 pH9 (無)						
座標	R	G	B	H	S	B	座標	R	G	B	H	S	B
79, 81	213	172	186	340	19	84	79, 81	198	199	194	72	2	78
99, 61	212	168	183	340	21	83	99, 61	198	199	194	72	2	78
59, 61	211	167	182	340	21	83	59, 61	196	197	191	70	3	77
99,101	216	175	189	340	19	85	99,101	201	202	197	72	2	79
59,101	214	173	187	340	19	84	59,101	201	202	197	72	2	79
平均	213.2	171	185.4	340	19.8	83.8	平均	198.8	199.8	194.6	71.6	2.2	78.2
醃洗 pH3 (淡紅)							醃洗 pH10 (無)						
座標	R	G	B	H	S	B	座標	R	G	B	H	S	B
79, 81	209	183	192	339	13	82	79, 81	206	207	201	70	3	81
99, 61	211	181	191	340	14	83	99, 61	206	207	201	70	3	81
59, 61	208	181	190	340	13	82	59, 61	205	206	200	70	3	81
99,101	213	187	196	339	12	84	99,101	209	210	204	70	3	82
59,101	210	184	193	339	13	82	59,101	208	209	203	70	3	82
平均	210.2	183.2	192.4	339.4	13	82.6	平均	206.8	207.8	201.8	70	3	81.4
醃洗 pH4 (淡紅)							醃洗 pH11 (無)						
座標	R	G	B	H	S	B	座標	R	G	B	H	S	B
79, 81	181	180	175	50	3	71	79, 81	191	192	187	72	3	75
99, 61	180	179	174	50	4	71	99, 61	192	193	188	72	3	76
59, 61	179	178	173	50	4	70	59, 61	191	192	187	72	3	75
99,101	184	183	179	48	3	72	99,101	196	197	192	72	2	77
59,101	182	181	176	50	3	71	59,101	193	194	188	70	3	76
平均	181.2	180.2	175.4	49.6	3.4	71	平均	192.6	193.6	188.4	71.6	2.8	75.8
醃洗 pH5 (無)							醃洗 pH12 (淡黃)						
座標	R	G	B	H	S	B	座標	R	G	B	H	S	B
79, 81	177	178	173	72	3	70	79, 81	176	180	157	70	13	81
99, 61	176	177	172	72	3	69	99, 61	176	180	157	70	13	81
59, 61	174	175	170	72	3	69	59, 61	174	178	155	70	13	70
99,101	179	180	175	72	3	71	99,101	180	184	161	70	13	72
59,101	178	179	173	70	4	70	59,101	178	182	159	70	13	71
平均	176.8	177.8	172.6	71.6	3.2	69.8	平均	176.8	180.8	157.8	70	13	75

酮洗 pH6 (無)							酮洗 pH13 (淡黃)						
座標	R	G	B	H	S	B	座標	R	G	B	H	S	B
79, 81	205	206	201	72	2	81	79, 81	186	191	159	69	17	75
99, 61	204	205	200	72	2	80	99, 61	186	191	159	69	17	75
59, 61	203	204	198	70	3	80	59, 61	181	187	153	71	18	73
99,101	207	208	202	70	3	82	99,101	190	194	167	69	14	76
59,101	206	207	201	70	3	81	59,101	189	194	162	69	16	76
平均	205	206	200.4	70.8	2.6	80.8	平均	186.4	191.4	160	69.4	16.4	75
酮洗 pH7 (無)							酮洗 pH14 (淡黃)						
座標	R	G	B	H	S	B	座標	R	G	B	H	S	B
79, 81	178	179	174	72	3	70	79, 81	197	201	164	66	18	79
99, 61	178	179	174	72	3	70	99, 61	196	201	161	68	20	79
59, 61	176	177	142	72	3	69	59, 61	194	199	159	68	20	78
99,101	182	183	178	72	3	72	99,101	200	204	169	67	17	80
59,101	179	180	174	70	4	71	59,101	199	203	166	66	18	80
平均	178.6	179.6	168.4	71.6	3.2	70.4	平均	276.4	201.6	163.8	67	18.6	79.2

甲醇洗

甲醇 pH1 (淡粉紅)							甲醇 pH8 (無)						
座標	R	G	B	H	S	B	座標	R	G	B	H	S	B
79, 81	195	183	283	0	6	76	79, 81	208	209	203	70	3	82
99, 61	194	182	182	0	6	76	99, 61	208	209	203	70	3	82
59, 61	180	192	180	0	6	75	59, 61	209	210	204	70	3	82
99,101	198	186	186	0	6	78	99,101	211	212	216	70	3	83
59,101	197	185	185	0	6	77	59,101	210	211	205	70	3	83
平均	192.8	185.6	203.2	0	6	76.4	平均	209.2	210.2	206.2	70	3	82.4
甲醇 pH2 (淡粉紅)							甲醇 pH9 (無)						
座標	R	G	B	H	S	B	座標	R	G	B	H	S	B
79, 81	177	167	166	5	6	69	79, 81	207	208	200	68	4	82
99, 61	178	168	167	5	6	70	99, 61	207	208	200	68	4	82
59, 61	176	166	165	5	6	69	59, 61	205	206	198	68	4	81
99,101	181	173	171	12	5	71	99,101	210	212	201	71	5	83
59,101	178	170	168	12	5	70	59,101	209	211	200	71	5	83
平均	178	168.8	167.4	7.8	5.6	69.8	平均	207.6	209	199.8	69.2	4.4	82.2

甲醇 pH3 (淡粉紅)							甲醇 pH10 (無)						
座標	R	G	B	H	S	B	座標	R	G	B	H	S	B
79, 81	210	200	199	5	5	82	79, 81	175	176	170	70	4	69
99, 61	211	199	199	0	6	83	99, 61	173	174	168	70	4	68
59, 61	209	197	197	0	6	82	59, 61	173	174	168	70	4	68
99,101	215	203	203	0	5	84	99,101	178	179	173	70	4	70
59,101	212	200	200	0	5	83	59,101	176	177	171	70	4	69
平均	211.4	199.8	199.6	1	5.4	82.8	平均	175	176	170	70	4	68.8
甲醇 pH4 (無)							甲醇 pH11 (無)						
座標	R	G	B	H	S	B	座標	R	G	B	H	S	B
79, 81	180	181	175	70	3	71	79, 81	190	191	185	70	3	75
99, 61	181	182	176	70	3	71	99, 61	190	191	185	70	3	75
59, 61	180	186	175	70	3	71	59, 61	189	190	184	70	3	75
99,101	185	184	180	70	3	73	99,101	195	196	190	70	3	77
59,101	183	180	178	70	3	72	59,101	192	193	185	68	4	76
平均	181.8	182.6	176.8	70	3	71.6	平均	191.2	192.2	185.8	69.6	3.2	75.6
甲醇 pH5 (無)							甲醇 pH12(透明偏黃)						
座標	R	G	B	H	S	B	座標	R	G	B	H	S	B
79, 81	179	180	172	68	4	71	79, 81	192	195	186	80	5	76
99, 61	178	179	171	68	4	70	99, 61	193	196	187	80	5	77
59, 61	176	177	169	68	5	69	59, 61	191	194	185	80	5	76
99,101	183	185	174	71	6	73	99,101	197	200	191	80	4	78
59,101	181	183	172	71	6	72	59,101	196	200	186	77	7	78
平均	179.4	180.8	171.6	69.2	5	71	平均	193.8	197	187	79.4	5.2	77
甲醇 pH6 (無)							甲醇 pH13(淡黃:)						
座標	R	G	B	H	S	B	座標	R	G	B	H	S	B
79, 81	208	209	203	70	3	82	79, 81	176	178	164	69	8	70
99, 61	208	209	203	70	3	82	99, 61	175	177	163	69	8	69
59, 61	206	207	201	70	3	81	59, 61	173	175	161	69	8	69
99,101	211	212	206	70	3	83	99,101	177	179	165	69	8	70
59,101	209	210	204	70	3	82	59,101	176	178	164	69	8	70
平均	208.4	209.4	203.4	70	3	82	平均	175.4	177.4	163.4	69	8	69.6
甲醇洗 pH7 (無)							甲醇 pH14(淡黃)						
座標	R	G	B	H	S	B	座標	R	G	B	H	S	B
79, 81	207	208	202	70	3	82	79, 81	179	182	165	71	9	71
99, 61	207	208	202	70	3	82	99, 61	180	181	165	64	9	71
59, 61	205	206	200	70	3	81	59, 61	178	181	164	71	9	71
99,101	210	211	205	70	3	83	99,101	184	187	170	71	9	73
59,101	208	209	203	70	3	82	59,101	180	183	166	71	9	72
平均	207.4	208.4	202.4	70	3	82	平均	180.2	182.8	166	69.6	9	71.6

水洗

水洗 pH1 (淡淡紅)							水洗 pH8 (無)						
座標	R	G	B	H	S	B	座標	R	G	B	H	S	B
79, 81	196	191	187	27	5	77	79, 81	185	186	181	72	3	73
99, 61	198	190	187	16	5	78	99, 61	184	185	179	70	3	73
59, 61	194	189	183	33	5	76	59, 61	182	183	177	70	3	72
99,101	201	196	192	27	4	79	99,101	188	189	183	70	3	74
59,101	198	193	189	27	5	78	59,101	186	187	181	70	3	73
平均	197.4	191.8	187.6	26	4.8	77.6	平均	185	186	180.2	70.4	3	73
水洗 pH2 (無)							水洗 pH9 (無)						
座標	R	G	B	H	S	B	座標	R	G	B	H	S	B
79, 81	191	192	187	72	3	75	79, 81	183	184	178	70	3	72
99, 61	191	190	185	50	3	75	99, 61	183	184	178	70	3	72
59, 61	188	189	184	72	3	74	59, 61	181	182	174	68	4	71
99,101	195	194	189	50	3	76	99,101	187	188	182	70	3	74
59,101	194	193	188	50	3	76	59,101	185	186	180	70	3	73
平均	191.8	191.6	186.6	58.8	3	75.2	平均	183.8	184.8	178.4	69.6	3.2	72.4
水洗 pH3 (無)							水洗 pH10 (無)						
座標	R	G	B	H	S	B	座標	R	G	B	H	S	B
79, 81	193	192	187	50	3	76	79, 81	179	180	174	70	4	71
99, 61	193	192	187	50	3	76	99, 61	178	179	173	70	4	70
59, 61	192	191	186	50	3	75	59, 61	175	176	170	70	4	69
99,101	197	196	191	50	3	77	99,101	182	183	177	70	3	72
59,101	195	195	187	60	4	76	59,101	179	180	174	70	4	71
平均	194	193.2	187.6	52	3.2	76	平均	178.6	179.6	173.6	70	3.8	70.6
水洗 pH4 (無)							水洗 pH11 (無)						
座標	R	G	B	H	S	B	座標	R	G	B	H	S	B
79, 81	177	178	173	72	3	70	79, 81	193	194	188	70	3	76
99, 61	176	177	171	70	4	69	99, 61	192	193	187	70	3	76
59, 61	175	176	171	72	3	69	59, 61	190	191	185	70	3	75
99,101	180	181	175	70	3	71	99,101	196	197	191	70	3	77
59,101	179	180	174	70	4	71	59,101	194	195	187	68	4	76
平均	177.4	178.4	172.8	70.8	3.4	70	平均	193	194	187.6	69.6	3.2	76

水洗 pH5 (無)							水洗 pH12 (無)						
座標	R	G	B	H	S	B	座標	R	G	B	H	S	B
79, 81	195	196	188	68	4	77	79, 81	183	184	179	72	3	72
99, 61	194	195	187	68	4	76	99, 61	182	183	175	68	4	72
59, 61	192	193	185	68	4	76	59, 61	180	181	173	68	4	71
99,101	197	198	192	70	3	78	99,101	186	187	181	70	3	73
59,101	194	195	187	68	4	76	59,101	184	185	177	68	4	73
平均	194.4	195.4	187.8	68.4	3.8	76.6	平均	183	184	177	69.2	3.6	72.2
水洗 pH6 (無)							水洗 pH13 (無)						
座標	R	G	B	H	S	B	座標	R	G	B	H	S	B
79, 81	177	178	172	70	4	70	79, 81	186	188	175	69	7	74
99, 61	177	178	172	70	4	70	99, 61	186	188	175	69	7	74
59, 61	175	176	170	70	4	69	59, 61	183	185	171	69	7	73
99,101	182	183	177	70	3	72	99,101	189	190	182	68	4	75
59,101	179	180	174	70	4	71	59,101	187	189	176	69	7	74
平均	178	179	173	70	3.8	70.4	平均	186.2	188	175.8	68.8	6.4	74
水洗 pH7 (無)							水洗 pH14 (淡淡黃)						
座標	R	G	B	H	S	B	座標	R	G	B	H	S	B
79, 81	177	178	172	70	4	70	79, 81	176	178	165	69	7	70
99, 61	176	177	171	70	4	69	99, 61	174	176	163	69	7	69
59, 61	175	176	170	70	4	69	59, 61	172	174	160	69	8	68
99,101	180	181	176	72	3	71	99,101	179	180	166	64	8	71
59,101	179	180	172	68	4	71	59,101	177	177	165	60	7	69
平均	177.4	178.4	172.2	70	3.8	70	平均	175.6	177	163.8	66.2	7.4	69.4

【評語】 040215

本作品將高麗菜色素萃取後作色相度分析，不過對 R.G.B 色相度的分析聯結到色素組成，又未考量 PH 值的影響在學理上宜再慎思。