# 中華民國第 54 屆中小學科學展覽會

# 作品說明書

---

國中組　化學科

## 佳作

030213

## 花開花飛花滿天－以手機應用軟體色差計探討植物色素對酸鹼與重金屬之色差值可行性


學校名稱：臺北市私立東山高級中學(附設國中)

| 作者： | 指導老師： |
| --- | --- |
| 國三 彭佳悅 | 曾靜香 |
| 國一 彭佳怡 | 蔡宗偉 |



關鍵詞：色差計、重金屬、植物色素

# 摘 要

本實驗首創以手機應用軟體：”色差計”與 ColorMath 測 Lab 值，並計算色差值。在自紫甘藍菜、菠菜及甜菜萃取的花青素、葉綠素和甜菜色素液中加入不同 pH 值酸鹼液及各種不同濃度重金屬水溶液後，將色素放入自製標準光源觀察箱中，使用手機應用軟體測量 Lab 值，並分析其色差值，發現高、低濃度色素液對酸鹼水溶液及不同濃度之各重金屬液皆有變化，且濃度可偵測準確至 1/50ppm。此證明了：使用植物色素檢驗重金屬和溶液酸鹼度為可行之方式。本實驗植物三種色素皆可自生活中之蔬果萃取而得，提供大眾簡便環保又低成本的檢驗方式。

# 壹、 研究動機

天然植物色素可運用於染布，改變染液酸鹼度或加入含金屬離子的媒染劑會改變染液顏色；參考了自然科生物第一冊第三章「植物體的營養」、和理化第四冊第三章「溶液配製」之後，我們想嘗試利用天然色素來檢驗溶液中的重金屬離子和酸鹼度，發展一套可自生活中取材，人人皆可嘗試的低成本和門檻之檢驗流程、並建立數據資料庫，減少人們受到重金屬汙染的威脅。實驗前”判色”是最困難的問題，雖曾參考前人以 PhotoShop 軟體測量其色差值，但仍麻煩不夠親民；況且，檢測顏色的色差儀是很貴重的設備，也不是一般人所能負擔。困惑許久，突然想到目前最夯的手機，於是在 play 商店裡找找看「測色儀」，皇天不負苦心人，終於找到”色差計”，接者相關類似的軟體”ColorMath”也找到，於是我們大步展開此實驗。除此，我們希望減少萃取色素之成本與了解色素偵測金屬離子濃度的極限，因此我們分別測量出將不同濃度之醋酸鐵、醋酸銅、醋酸鎳、醋酸鎘、醋酸鉛溶液(坊間植物染所用之媒染劑多為醋酸金屬鹽類)加入高、低濃度色素液中之色差值，希望能在此重金屬氾濫、環保迫切的年代中，找到既簡便又有效的檢測方法。

# 貳、研究目的

本研究透過實驗一至六，先探討手機測色差的可能性，再分別以不同酸鹼度及不同重金屬的水溶液，測試其對各種高、低濃度植物色素的影響程度，進一步建立參考數據資料庫和簡便之檢驗流程。

實驗一：探討測試手機測量色差值的可信度。

實驗二：光源照度穩定性、使用不同廠牌手機拍照對色差影響的測量。

實驗三：高、低濃度花青素、葉綠素和甜菜色素的萃取。

實驗四：探討溶液酸鹼度對花青素、葉綠素和甜菜色素顏色的影響。

實驗五：探討不同濃度各重金屬離子溶液對高濃度植物色素顏色的影響。

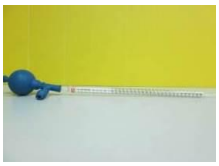
實驗六：探討不同濃度各重金屬離子溶液對低濃度植物色素顏色的影響。

# 參、研究設備及器材

**一、藥品與材料：**

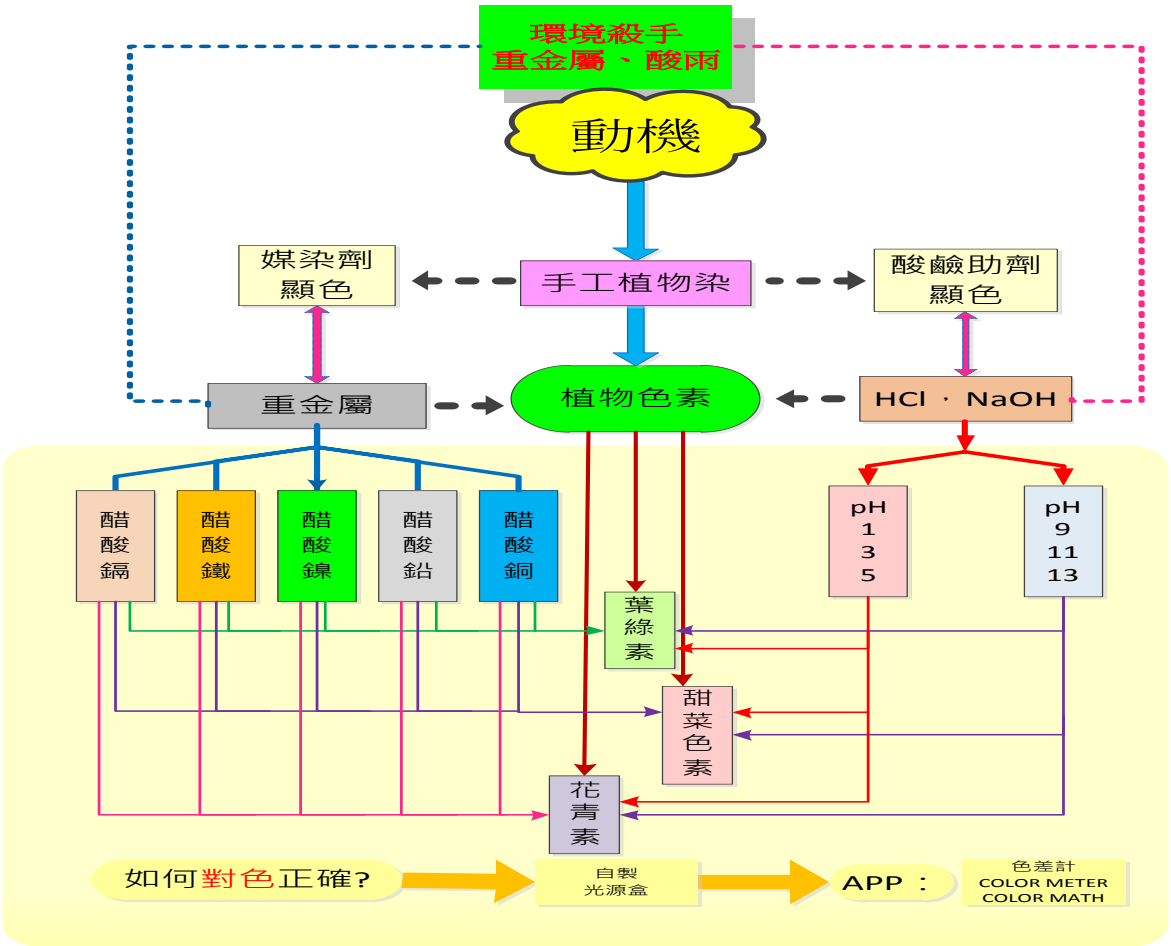
| 1. 菠菜 | 2. 紫甘藍菜 | 3. 甜菜 | 4. 鹽酸 |
|---|---|---|---|
| | | | |
| 5. 酒精 | 6. 氫氧化鈉 | 7. 醋酸鎘 | 8. 醋酸銅 |
| | | | |
| 9. 醋酸鉛 | 10. 醋酸鎳 | 11. 醋酸鐵 | 12.純水 |
| | | | |

## 二、儀器與設備：

| 1. 定量管、安全吸球 | 2. pH 測定儀 | 3. 酒精燈 | 4.比色皿 |
|---|---|---|---|
|  | | | |
| 5. 分光光度計 | 6.標準光源燈泡 | 7.自製觀察箱 | 8.試管振盪器 |
| | | | |

# 肆、研究過程或方法

## 一、實驗構想圖：



## 二、歷史文獻探討：

(一) 植物色素之研究　中華民國第47屆中小學科學展覽生活與應用科學　國中組

本篇主要探討：植物汁液中是否只含有葉綠素、植物的色素是否能作為酸鹼指示劑與染劑、影響染布顏色的因素。研究發現植物汁液中可能含有不同的色素、且可以做為天然酸鹼指示劑 。染物浸泡較久會得到比較深的顏色、溫度上升會加速染料附著於染物上。加入媒染劑之後，染出的顏色比較亮麗，不易褪色。當媒染劑是鹼金屬鹽類時，所染出的顏色比較鮮豔，偏向黃色；而以鹼土金屬鹽類為媒染劑時，所染出的顏色比較偏向米色，表示有化學變化發生。

(二) 你毒我!? 我吸你　高雄市第 50 屆中小學科學展覽農業及生物科技科　高職組

本篇目的為瞭解植物對特定離子的吸收度、比較在不同濃度的重金屬液中，各種植物對各種重金屬離子的吸收度。期待以簡單的化學方法來檢驗物品中是否含有重金屬。實驗發現：蕨類對任何重金屬離子的吸收度都很高，若將蕨類種在重金屬離子汙染的土壤裡，淨化能力不容小看。用去離子水就可以得到不錯的去除率、小白菜對鉛離子的吸收能力較高。

## 三、重金屬水溶液的製備：

(一) 配置 1%醋酸銅、醋酸鉛、醋酸鎳、醋酸鐵、醋酸鎘等重金屬離子水溶液。

1. 依下表計算配製 1%重金屬溶液所需之溶質質量( 下表中以〝X〞表示)。

| 溶液 | 分子式 | 分子量 | 配製計算 | 水量 (g) | 秤取溶質質量(g) |
|---|---|---|---|---|---|
| 醋酸銅水溶液 | $Cu(CH_3COO)_2{\cdot}H_2O$ | $Cu(CH_3COO)_2{\cdot}H_2O$＝199.65，$Cu(CH_3COO)_2$＝181.65 | [X×(181.65÷199.65)]÷(500＋X)＝1%, X＝5.56 | 500.0 | 5.56 |
| 醋酸鉛水溶液 | $Pb(CH_3COO)_2{\cdot}3H_2O$ | $Pb(CH_3COO)_2{\cdot}3H_2O$＝379.33 $Pb(CH_3COO)_2$=325.33 | [X×(325.33÷379.33)]÷(500＋X)＝1%, X＝5.90 | 500.0 | 5.90 |
| 醋酸鎳水溶液 | $Ni(CH_3COO)_2{\cdot}4H_2O$ | $Ni(CH_3COO)_2{\cdot}4H_2O$=248.86 $Ni(CH_3COO)_2$＝176.86 | [X×(176.86÷248.86)]÷(500＋X)＝1%, X＝7.14 | 500.0 | 7.14 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 醋酸鐵水溶液 | $Fe(OH)(CH_3COO)_2$ | 190.95 | X÷(500＋X)＝1%, X＝5.05 | 500.0 | 5.05 |
| 醋酸鎘水溶液 | $Cd(CH_3COO)_2{\cdot}2H_2O$ | $Cd(CH_3COO)_2{\cdot}2H_2O$＝266.5<br>$Cd(CH_3COO)_2$＝230.5 | [X×(230.5÷266.5)]÷(500＋X)＝1%, X＝5.15 | 500.0 | 5.15 |

2. 將重金屬水溶液倒入乾淨的錐形瓶，以保鮮膜及鋁箔紙密封錐形瓶保存。

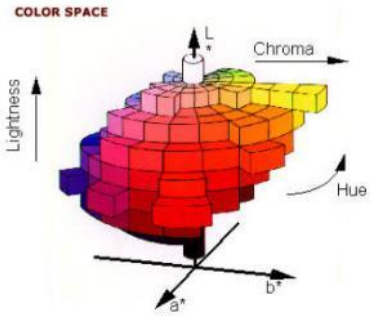
(二) 各以上述 1%(＝10000ppm)重金屬溶液調配重量百分率 0.1%(＝1000ppm)、0.01%(＝100ppm)、0.001%(＝10ppm)及 0.0001%(＝1ppm)之稀釋溶液。

**四、酸鹼水溶液的製備：**

(一) 以濃鹽酸配製 pH＝1、pH＝3、pH＝5 之水溶液。

(二) 配製 pH＝9、pH＝11、pH＝13 之氫氧化鈉水溶液。

(三) 以酸鹼計確認以上各水溶液之 pH 值。




**五、實驗一:探討測試手機測量色差值的可信度**

(一) 製作標準線：參考康軒版七年級美術第三單元「美妙的色彩」趣味十二色相環。

1. 下載手機應用軟體：色差計。株式會社親和 Shinwa Co.Ltd(Japan,China,Poland, India) 與 colormeter：色差計

2. 色差分析原理：L值代表顏色的亮度，A值表示顏色的綠紅值，B值表示顏色的藍黃值，國際標準照明委員會建立了一系列表示可見光譜的顏色空間標準。目前我們最常使用的是CIE Lab色空間。L的數值區域由0到100，當L＝50時，相當於50%的黑；a和b的數值都是由+127至-128，其中+127 a就是洋紅色，漸漸轉變到-128 a的時候就會變成綠色；同樣的道理，+127 b是黃色的，-128 b是藍色的。所有的顏色都是由這三種數值互相變化所組成。例如，一塊色彩的Lab值是L = 100，a = 30，b = 0時，這個色彩就是粉紅色。當我們對兩個顏色進行相互比較時，我們就可以通過這兩個顏色的Lab差值來判斷出它們之間的差別。

$$\triangle E\ (\text{色差值}) = (\triangle L^2 + \triangle a^2 + \triangle b^2)\text{，再開根號}$$

3. 以小畫家軟體製作四色六階色卡：

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| R | 255 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 255 | 204 | 153 | 102 | 51 | 0 |
| G | 255 | 204 | 153 | 102 | 51 | 0 | 255 | 204 | 153 | 102 | 51 | 0 |
| B | 255 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 255 | 255 | 255 | 255 | 255 | 255 |
| | | | | | | | | | | | | |
| R | 255 | 255 | 255 | 255 | 255 | 255 | 255 | 255 | 255 | 255 | 255 | 255 |
| G | 255 | 255 | 255 | 255 | 255 | 255 | 255 | 204 | 153 | 102 | 51 | 0 |
| B | 255 | 204 | 153 | 102 | 51 | 0 | 255 | 204 | 153 | 102 | 51 | 0 |

(二) 以相機測色比較各色階：

1. 觀察箱製作：(圖 1～3)

(1) 將一般可見的郵局便利箱(長 23cm、寬 14cm、高 13cm)上方鑽一個直徑 3cm 之圓孔，固定 LED 燈座。

(2) 在盒子內壁以雙面泡棉膠黏貼上白色珍珠板。

(3) 在橡皮擦中間挖一個邊長 1cm 的正方形凹槽，以便放置比色皿。

2. 測色比較：

(1) 將製作完成之四色六階色卡圖片，用”色差計”應用軟體分析其 Lab 值。

(2) 以 EXCEL 繪出各色階之 Lab 讀值並求出相關係數。

| (圖 1) 放入 LED 燈 | (圖 2)測量紙箱面積 | (圖 3)裁割橡皮擦大小 |
|---|---|---|
| | | |

## 六、實驗二：光源穩定性和不同廠牌手機測量色差之差異測試

(一) 光源穩定性測試：(圖 4～6)

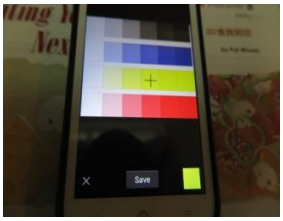
1. 方法：將照度計感測頭置於測色盒光源下，照度計電源 ON，打開電燈電源，每 30 秒紀錄一次照度值。

2. 以 excel 繪出曲線圖。

(二) 不同廠牌手機對色差之差異測量：

1. 方法：使用以下兩款具照相功能智慧型手機，Acer Liquid E2 800 萬畫素、Samsung Galaxy S III 800 萬像素。

2. 將四色六階標準色卡載入手機記憶卡中，使用 color math app 軟體測試其 Lab 值。

| （圖 4）光源穩定實驗 | （圖 5）標準色卡 | （圖 6）兩款手機測量結果一致 |
|---|---|---|
| |  | |

## 七、實驗三：高、低濃度花青素、葉綠素和甜菜色素的萃取

(一) 花青素萃取：(圖 7)

1. 取紫甘藍菜 110. 23g 清洗後瀝乾再切成碎片，加入純水 110. 23g（紫甘藍菜：水＝1：1）後，置於酒精燈上加熱 20 分鐘，使花青素溶出。

2. 過濾、抽濾：將打好的漿液以 20 目篩網過濾掉雜質，再將濾液置於抽氣瓶抽濾。

3. 將上述過濾液(高濃度花青素溶液)以比例 1:10 稀釋後得低濃度之花青素溶液。

(二) 葉綠素萃取：(圖 8)

1 . 將 106.48g 菠菜葉置於沸水中浸泡 30 秒，取出後用擦手紙擦乾並剪碎菜葉。

◎用沸水浸泡菜葉之目的為軟化細胞壁，讓葉綠素更易溶出。

2.將剪碎的波菜葉平鋪在烤盤上，溫度設定 40℃烤 20 分鐘後取出菜葉冷卻至室溫。

3.倒入 106.48g 之 95%酒精淹沒菠菜葉片，隔水加熱 5 分鐘冷卻後取出菜葉，並過濾取得濾液。

◎葉綠素為脂溶性色素，高溫下易降解，故以酒精當溶劑，隔水低溫加熱幫助溶解。

4.將上述過濾液(高濃度葉綠素溶液)用酒精以比例 1：10 稀釋後得低濃度之葉綠素溶液。

(三) 甜菜色素萃取：(圖 9)

1. 將 200g 甜菜洗淨瀝乾以刨刀去皮、去掉根及果蒂後切成塊狀 。

2. 將處理好的甜菜，加入純水 200g（甜菜根：水＝1：1）放進果汁機打成漿。

3. 以濾網過濾渣滓，將濾液(高濃度甜菜色素溶液)以比例 1：10 稀釋後得低濃度甜菜色素溶液。

| (圖 7) 花青素溶液 | (圖 8) 葉綠素溶液 | （圖 9）甜菜色素溶液液 |
|---|---|---|
| | | |

(四) 分光光度測量吸收光譜：

1. 以分光光度計測量高、低濃度葉綠素、花青素與甜菜色素萃取液的吸光值。

2. 自 380nm 起每隔 20nm 波長測量一次，至波長 720nm 為止。

3. 以 EXCEL 軟體繪出三種色素的吸收光譜值，波長為橫軸、吸光值為縱軸。

## 八、實驗四：探討溶液酸鹼度對花青素、葉綠素和甜菜色素色差的影響

(一) 在每支裝 5 毫升色素液的試管中加入 0.1 毫升不同 pH 值酸鹼液。

(二) 拍照比較、測量與紀錄：

1. 將加酸鹼液之各色素溶液倒入比色皿後，並把比色皿放入自製觀察箱，觀察結果(以手機 APP「ColorMeter Free」測定 RGB 值)並拍攝照片。

2. 使用智慧手機之應用軟體程式(1)色差計測色後，以(2)Color Math 計算色差值。

## 九、實驗五、六: 探討不同濃度各重金屬離子溶液對高、低濃度植物色素色差的影響

(一) 將高濃度植物色素分裝在試管中，加入各種濃度之醋酸鐵、醋酸銅、醋酸鎳、醋酸鎘、醋酸鉛溶液。

1. 在 30 支試管中各加入 5 毫升高濃度花青素萃取液。(花青素、葉綠素、甜菜色素各 30 支，共 90 支。)

2. 將上述 30 支花青素萃取液分成 5 組，每組取 1 支作為對照組，另外 5 支分別加入 0.1 毫升 10000ppm、1000ppm、100ppm、10ppm 和 1ppm 之醋酸鐵溶液；故花青素溶液中之醋酸鐵濃度分別為 200ppm、20ppm、2ppm、1/5ppm 和 1/50ppm。(另外 4 組分別

加入 0.1 毫升 10000ppm、1000ppm、100ppm、10ppm 和 1ppm 之醋酸銅、醋酸鎳、醋酸鎘、醋酸鉛溶液。)

3. 重複上述步驟，將各濃度之各金屬鹽溶液分別加入高濃度葉綠素和甜菜色素萃取液中。

(二) 將低濃度植物色素分裝在試管中，加入各種濃度之醋酸鐵、醋酸銅、醋酸鎳、醋酸鎘、醋酸鉛溶液。

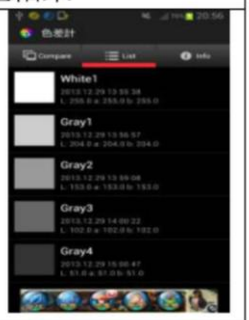
(三) 使用震盪器搖勻每支試管中溶液後，將溶液倒入比色皿中，放入觀察箱內，觀察並拍攝相片 。

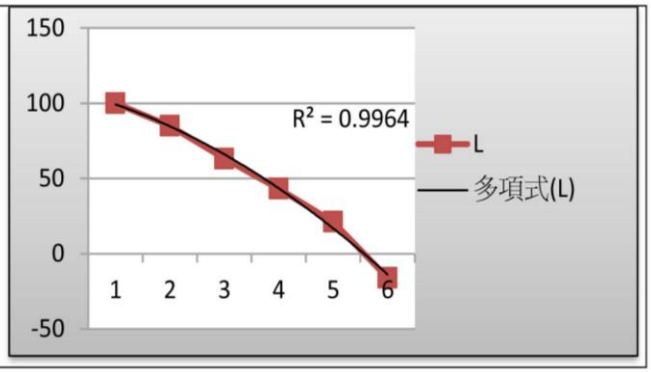
# 伍、研究結果

## 一、實驗一：探討測試手機測量色差值的可信度

灰色各階測量結果

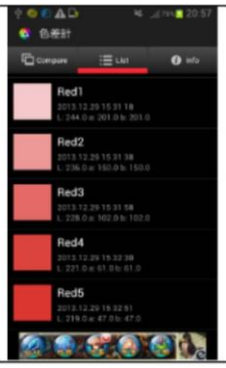
| 顏色 | L | a | b |
|---|---|---|---|
| 0 | 100 | 0 | 0 |
| 1 | 85.05 | 0 | -0.01 |
| 2 | 63.22 | 0 | -0.01 |
| 3 | 43.19 | 0 | -0.01 |
| 4 | 21.25 | 0 | -0.01 |
| 5 | -16 | 0 | -0.01 |

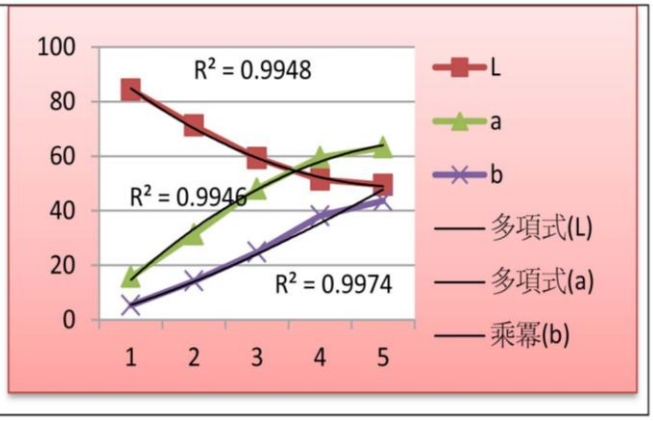


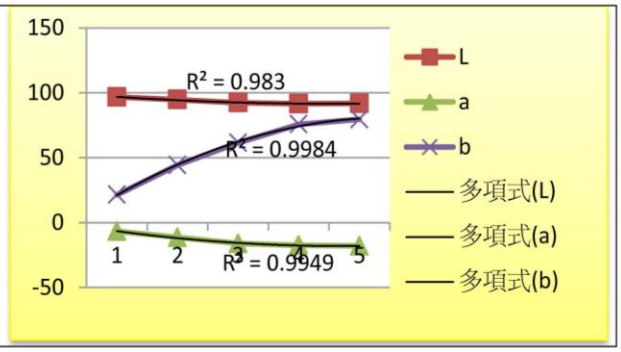

紅色各階測量結果

| 顏色 | L | a | b |
|---|---|---|---|
| 1 | 84.36 | 15.71 | 5.37 |
| 2 | 71.21 | 31.26 | 14.21 |
| 3 | 59.3 | 48.06 | 24.78 |
| 4 | 51.39 | 59.56 | 38.1 |
| 5 | 49.46 | 63.15 | 43.67 |

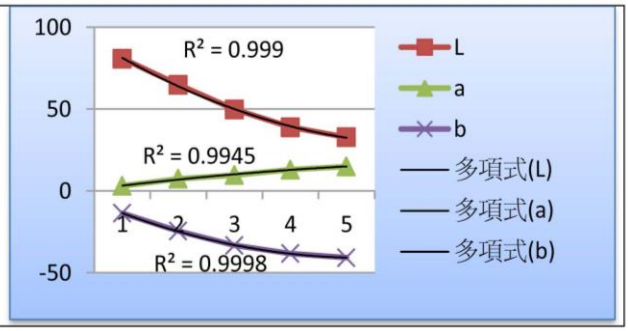


| 黃色各階測量結果 | | | |
|---|---|---|---|
| 顏色 | L | a | b |
| 1 | 96.67 | -6.71 | 21.31 |
| 2 | 94.72 | -11.51 | 44.31 |
| 3 | 92.3 | -16.11 | 61.4 |
| 4 | 91.49 | -17.46 | 75.69 |
| 5 | 91.77 | -18 | 79.56 |



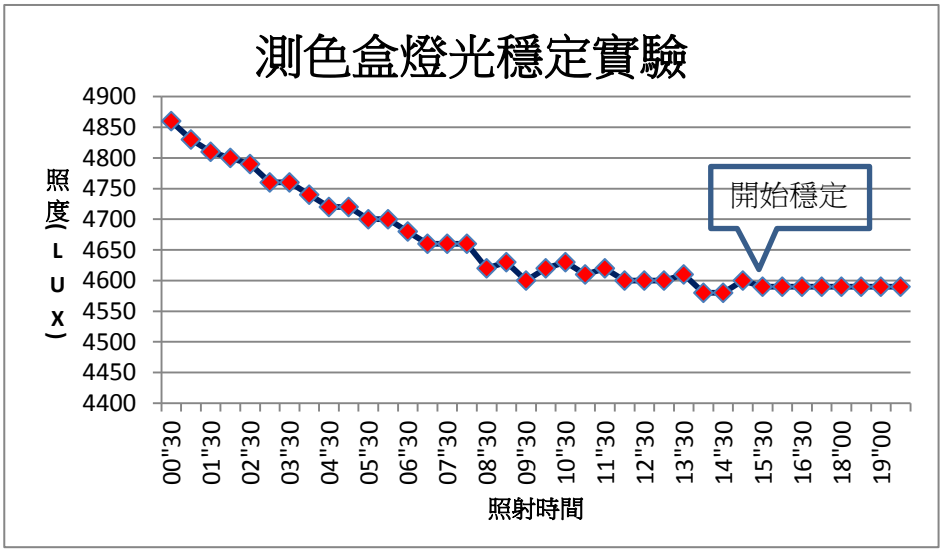

| 藍色各階測量結果 | | | |
|---|---|---|---|
| 顏色 | L | a | b |
| 1 | 84.36 | 15.71 | 5.37 |
| 2 | 71.21 | 31.26 | 14.21 |
| 3 | 59.3 | 48.06 | 24.78 |
| 4 | 51.39 | 59.56 | 38.1 |
| 5 | 49.46 | 63.15 | 43.67 |




【結果】：將手機測得的四色六階 Lab 結果，輸入 excel 軟體繪出折線圖，再計算其相關係數均為 0.99 以上的高度相關，確認以手機應用軟體功能作為色差計是為可行。

## 二、 實驗二：光源穩定性和不同廠牌手機測量色差之差異測試

(一) 光源穩定性測試：

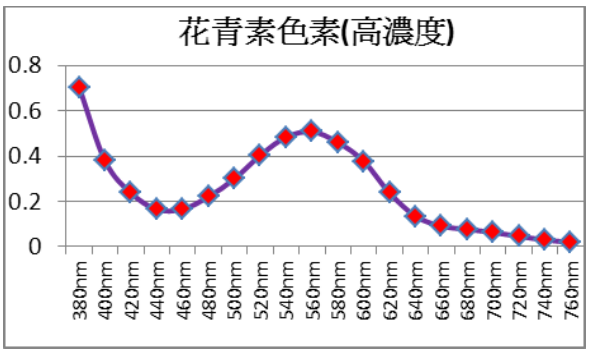


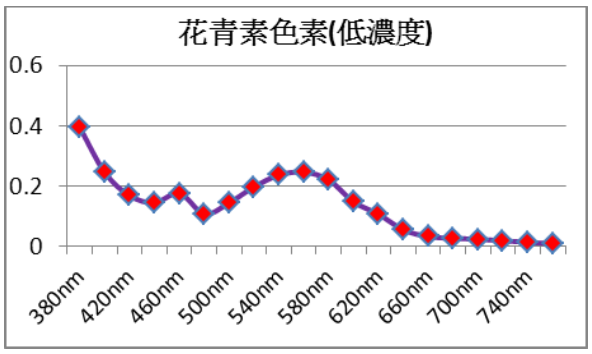

(二) 不同廠牌手機測量色差之差異測試：所得 Lab 值如【附錄 1】。

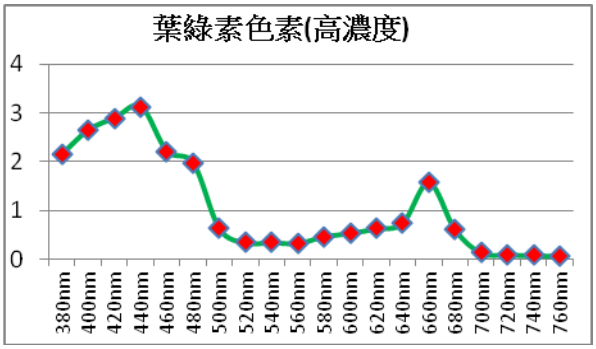
【結果】：連續照射時間 15 分 30 秒後照度計數值呈現穩定，故要對樣品拍照測量色差前 20 分鐘即把 LED 燈打開，待光源照度穩定才開始進行；使用不同手機測量色差並不會造成差異。

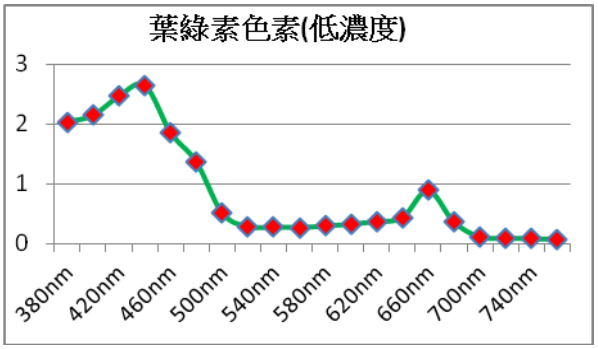
## 三、實驗三：高、低濃度花青素、葉綠素和甜菜色素的萃取

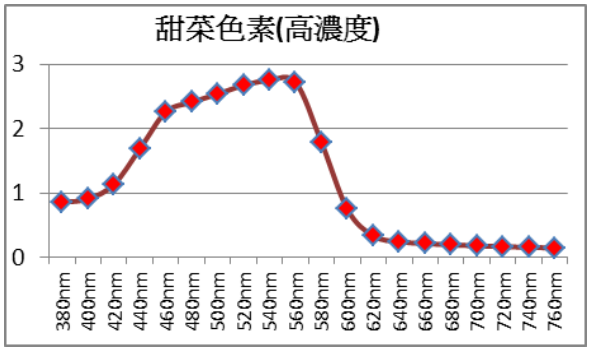
以光波長為橫軸、吸光值為縱軸，繪出三種色素吸收光譜，各吸光值如【附錄 2】。

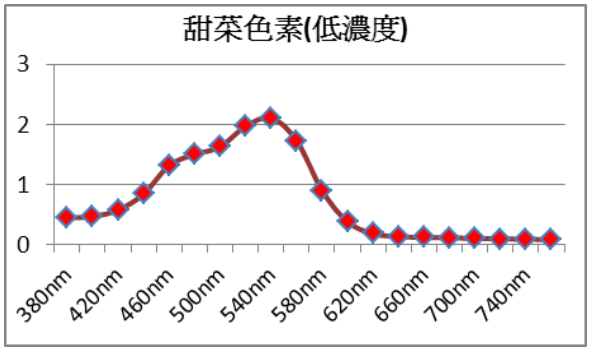


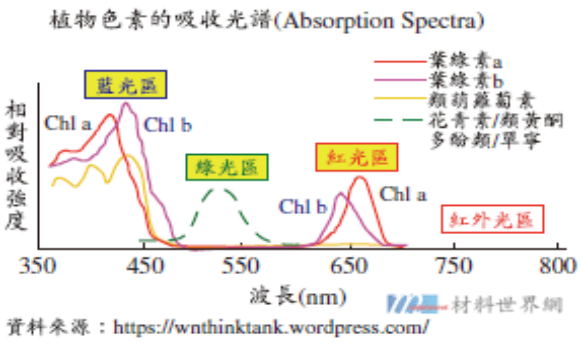



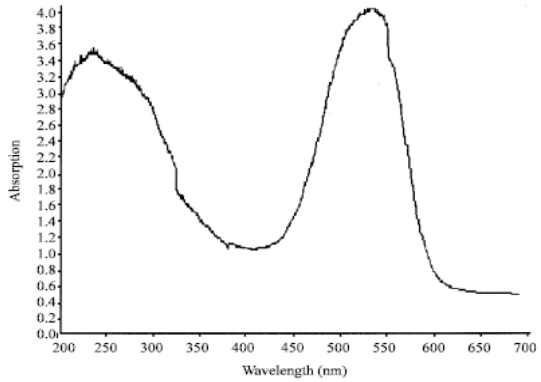



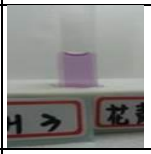
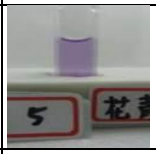
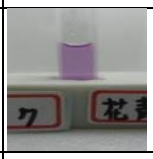
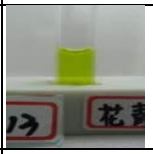

【結果】:將以上所繪製吸收光譜圖，與參考資料中葉綠素與花青素、甜菜色素光譜圖核對，有所符合。(左圖：花青素、葉綠素，右圖：甜菜色素)



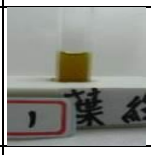
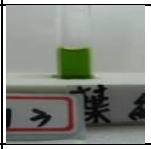
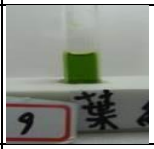



## 四、實驗四：探討溶液酸鹼度對花青素、葉綠素和甜菜色素顏色的影響

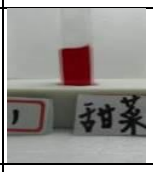
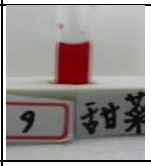
(一) 花青素加入不同酸鹼值水溶液後，置於單一光源下手機測量 Lab 值：

| 水溶液酸鹼度 | pH 1 | pH 3 | pH 5 | pH 7(對照組) | pH 9 | pH 11 | pH 13 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 手機拍照 | |  |  |  | | |  |
| 色差值 | 30.32 | 6.45 | 5.56 | 0 | 4.87 | 8.77 | 55.06 |

(二) 葉綠素加入不同酸鹼值水溶液後，置於單一光源下手機測量 Lab 值：

| 水溶液酸鹼度 | pH 1 | pH 3 | pH 5 | pH 7(對照組) | pH 9 | pH 11 | pH 13 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 手機拍照 |  |  | | |  | | |
| 色差值 | 10.02 | 3.70 | 0.38 | 0 | 0.79 | 4.79 | 2.71 |

(三) 甜菜色素加入不同酸鹼值水溶液後，置於單一光源下手機測量 Lab 值：

| 水溶液酸鹼度 | pH 1 | pH 3 | pH 5 | pH 7(對照組) | pH 9 | pH 11 | pH 13 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 手機拍照 |  | | | |  | | |
| 色差值 | 4.82 | 14.64 | 0.86 | 0 | 2.86 | 13.66 | 10.32 |

【結果】:

(1) 花青素色差值隨著加入水溶液的 pH 值變動差異頗大，甚至目測就可區別；加入 pH ＜3 的水溶液時呈粉紅色， pH3～13 時呈紫藍色，pH＞13 呈黃綠色。

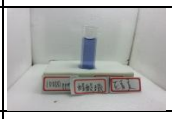
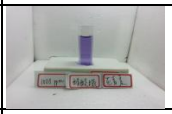
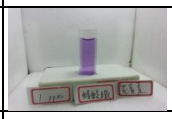
(2) 葉綠素色差值在加入 pH ＞5 的水溶液時變化不大，加入 pH＜3 的水溶液時色差值增大， 但目測不容易判別，僅加入 pH1 的水溶液時呈褐綠色。

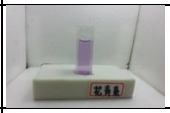
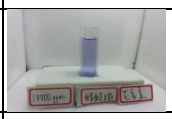
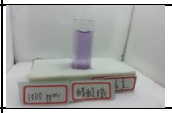
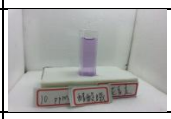
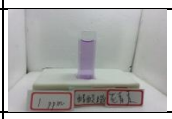
(3) 甜菜色素色差值在加入 pH 5～7 的水溶液時差異不大，加入 pH3 和 pH11 的水溶液時色差值最大，但目測不容易判別，僅加入 pH13 的水溶液時呈咖啡色。

## 五、實驗五、六:探討不同濃度各重金屬離子溶液對高、低濃度植物色素色差的影響

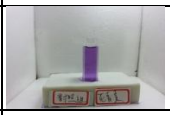
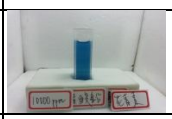
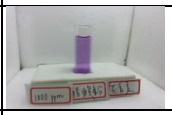
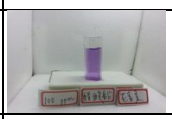
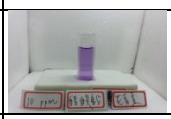
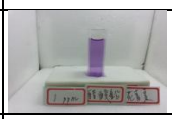
### (一) 不等濃度各金屬鹽溶液對高、低濃度花青素對的影響

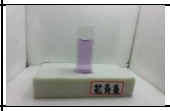
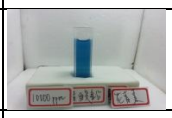
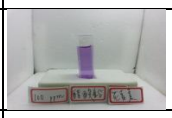
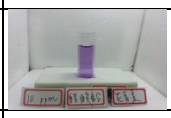
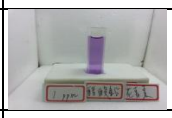
1.**花青素** ＋醋酸鐵

| **高**濃度 | 對照組 | 10000ppm $Fe^{+3}$ | 1000ppm $Fe^{+3}$ | 100ppm $Fe^{+3}$ | 10ppm $Fe^{+3}$ | 1ppm $Fe^{+3}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 手機拍照 | |  |  | | |  |
| 色差值 | 0 | 26.99 | 18.94 | 16.63 | 15.63 | 13.97 |

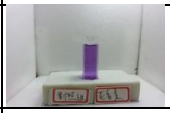
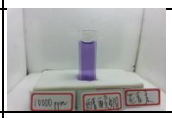
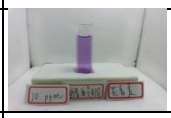
| **低**濃度 | 對照組 | 10000ppm $Fe^{+3}$ | 1000ppm $Fe^{+3}$ | 100ppm $Fe^{+3}$ | 10ppm $Fe^{+3}$ | 1ppm $Fe^{+3}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 手機拍照 |  |  |  | |  |  |
| 色差值 | 0 | 24.87 | 24.29 | 22.03 | 21.62 | 21.23 |

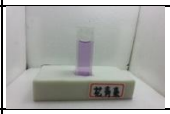
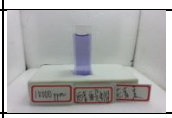
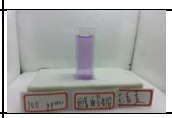
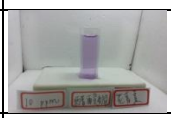
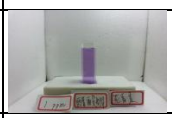
2.**花青素**＋醋酸鉛

| **高**濃度 | 對照組 | 10000ppm $Pb^{2+}$ | 1000ppm $Pb^{+2}$ | 100ppm $Pb^{+2}$ | 10ppm $Pb^{+2}$ | 1ppm $Pb^{+2}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 手機拍照 |  |  |  |  |  |  |
| 色差值 | 0 | 31.93 | 15.28 | 15.51 | 15.77 | 14.45 |

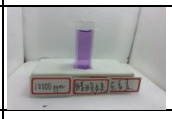
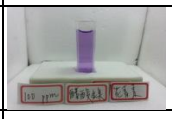
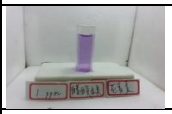
| **低**濃度 | 對照組 | 10000ppm $Pb^{2+}$ | 1000ppm $Pb^{+2}$ | 100ppm $Pb^{+2}$ | 10ppm $Pb^{+2}$ | 1ppm $Pb^{+2}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 手機拍照 |  |  | |  |  |  |
| 色差值 | 0 | 23.84 | 22.90 | 23.17 | 22.72 | 21.74 |

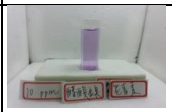
3.**花青素**＋醋酸銅

| **高**濃度 | 對照組 | 10000ppm $Cu^{2+}$ | 1000ppm $Cu^{2+}$ | 100ppm $Cu^{2+}$ | 10ppm $Cu^{2+}$ | 1ppm $Cu^{2+}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 手機拍照 |  |  | | |  | |
| 色差值 | 0 | 16.68 | 16.50 | 15.92 | 14.54 | 12.21 |

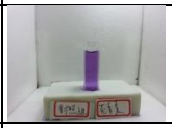
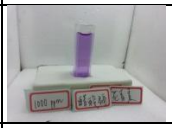
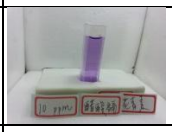
| **低**濃度 | 對照組 | 10000ppm $Cu^{2+}$ | 1000ppm $Cu^{2+}$ | 100ppm $Cu^{2+}$ | 10ppm $Cu^{2+}$ | 1ppm $Cu^{2+}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 手機拍照 |  |  | |  |  |  |
| 色差值 | 0 | 22.42 | 22.75 | 22.73 | 21.81 | 22.71 |

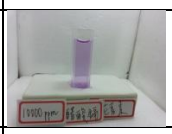
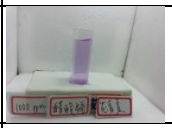
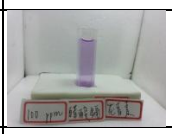
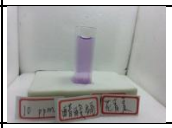
4.**花青素**＋醋酸鎳

| **高**濃度 | 對照組 | 10000ppm $Ni^{2+}$ | 1000ppm $Ni^{2+}$ | 100ppm $Ni^{2+}$ | 10ppm $Ni^{2+}$ | 1ppm $Ni^{2+}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 手機拍照 | |  | |  | |  |
| 色差值 | 0 | 22.16 | 16.75 | 15.55 | 16.16 | 15.22 |

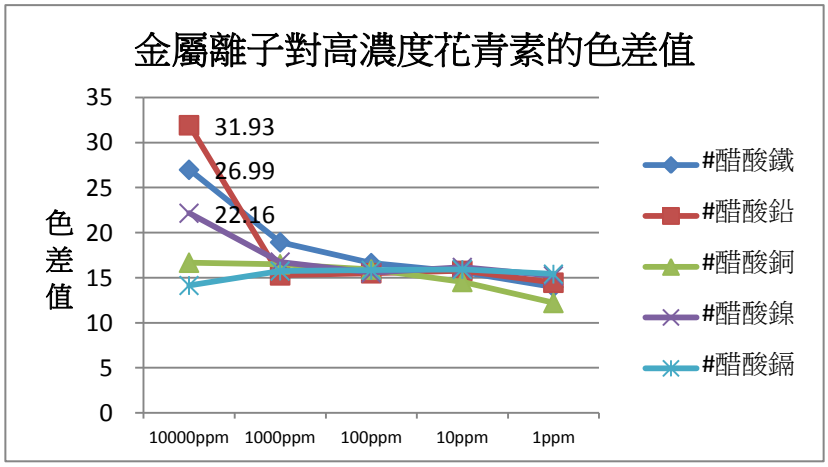
| **低**濃度 | 對照組 | 10000ppm $Ni^{2+}$ | 1000ppm $Ni^{2+}$ | 100ppm $Ni^{2+}$ | 10ppm $Ni^{2+}$ | 1ppm $Ni^{2+}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 手機拍照 | | | | |  | |
| 色差值 | 0 | 22.21 | 22.13 | 21.68 | 21.96 | 22.28 |

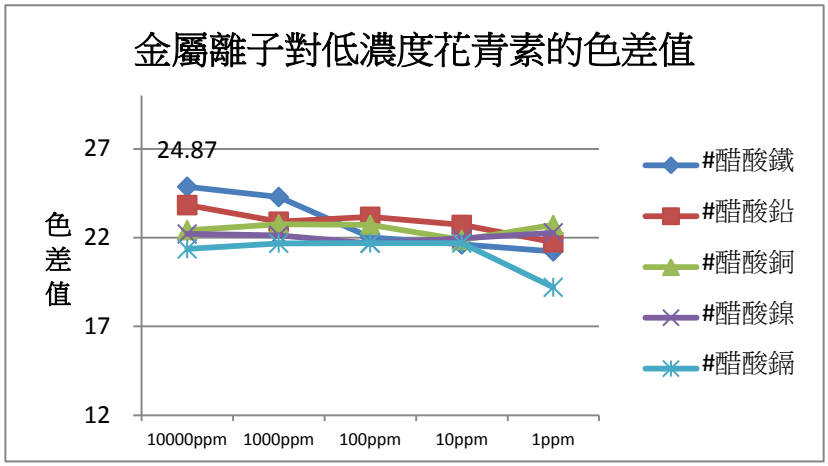
5.**花青素**＋醋酸鎘

| **高**濃度 | 對照組 | 10000ppm $Cd^{2+}$ | 1000ppm $Cd^{2+}$ | 100ppm $Cd^{2+}$ | 10ppm $Cd^{2+}$ | 1ppm $Cd^{2+}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 手機拍照 |  | |  | |  | |
| 色差值 | 0 | 14.15 | 15.75 | 15.84 | 15.93 | 15.40 |

| **低**濃度 | 對照組 | 10000ppm $Cd^{2+}$ | 1000ppm $Cd^{2+}$ | 100ppm $Cd^{2+}$ | 10ppm $Cd^{2+}$ | 1ppm $Cd^{2+}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 手機拍照 | |  |  |  |  | |
| 色差值 | 0 | 21.36 | 21.68 | 21.69 | 21.70 | 19.20 |

6.綜合比較：(各金屬鹽溶液加入色素液中，濃度變為原本之 1/50)






【結果】:

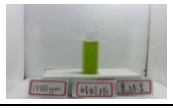
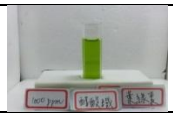
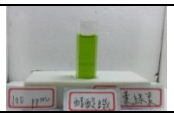
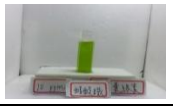
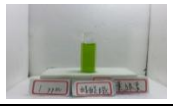
(1) 同種金屬離子，等金屬離子濃度時：低濃度花青素色差值＞高濃度花青素色差值，且低濃度花青素對各種金屬離子色差值皆可達 20 以上，代表低濃度花青素可偵測重金屬離子濃度達 1/50ppm 以下。

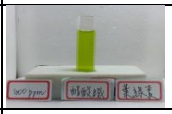
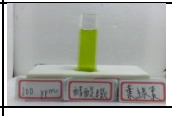
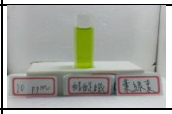
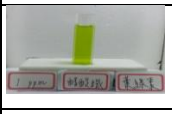
(2) 等花青素濃度，同種金屬離子時：色差值與金屬離子濃度無明顯差異，200ppm 和 20ppm 的醋酸鐵、醋酸鉛和醋酸鎳在高濃花青素中色差值差距較大。

(3) 等花青素濃度，等金屬離子濃度：色差值與金屬離子種類有明顯差異，使用高、低濃 度花青素皆可區分 200ppm 之醋酸鐵、醋酸鉛、醋酸銅、醋酸鎳、醋酸鎘溶液。

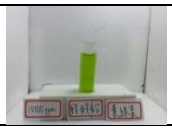
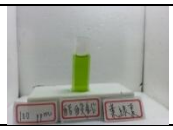
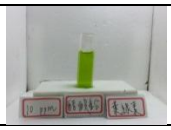
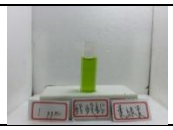
## (二) 不等濃度各金屬鹽溶液對高、低濃度葉綠素的影響

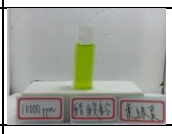
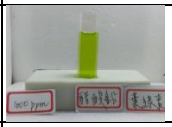
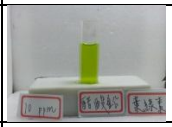
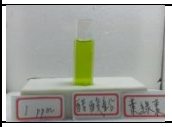
1. **葉綠素** ＋醋酸鐵

| 高濃度 | 對照組 | 10000ppm$Fe^{+3}$ | 1000ppm$Fe^{+3}$ | 100ppm$Fe^{+3}$ | 10ppm$Fe^{+3}$ | 1ppm$Fe^{+3}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 手機拍照 | |  |  |  |  |  |
| 色差值 | 0 | 15.58 | 9.97 | 9.14 | 7.19 | 5.28 |

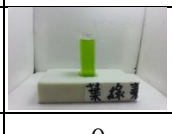
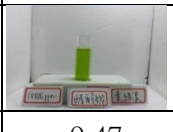
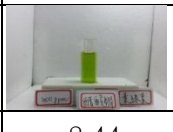
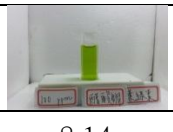
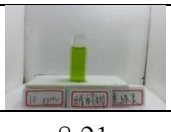
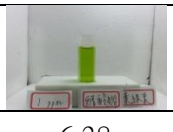
| 低濃度 | 對照組 | 10000ppm$Fe^{+3}$ | 1000ppm$Fe^{+3}$ | 100ppm$Fe^{+3}$ | 10ppm$Fe^{+3}$ | 1ppm$Fe^{+3}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 手機拍照 | | |  |  |  |  |
| 色差值 | 0 | 10.41 | 6.89 | 5.99 | 5.34 | 4.25 |

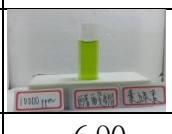
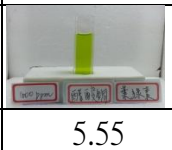
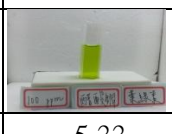
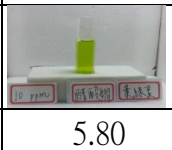
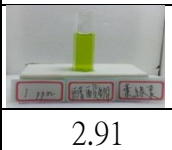
2. **葉綠素** ＋醋酸鉛

| **高**濃度 | 對照組 | 10000ppm $Pb^{2+}$ | 1000ppm $Pb^{+2}$ | 100ppm $Pb^{+2}$ | 10ppm $Pb^{+2}$ | 1ppm $Pb^{+2}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 手機拍照 | |  | |  |  |  |
| 色差值 | 0 | 8.66 | 7.59 | 6.63 | 5.91 | 3.87 |

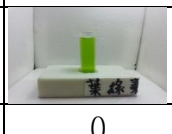
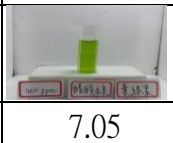
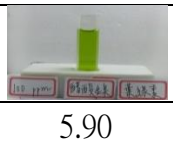
| **低**濃度 | 對照組 | 10000ppm $Pb^{2+}$ | 1000ppm $Pb^{+2}$ | 100ppm $Pb^{+2}$ | 10ppm $Pb^{+2}$ | 1ppm $Pb^{+2}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 手機拍照 | |  |  | |  |  |
| 色差值 | 0 | 6.24 | 6.27 | 4.54 | 5.11 | 5.19 |

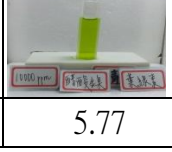
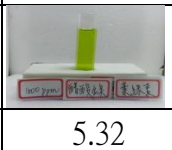
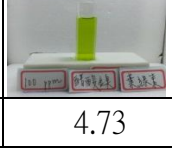
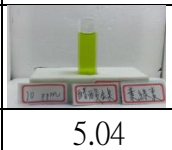
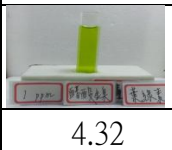
3.**葉綠素** ＋醋酸銅

| **高**濃度 | 對照組 | 10000ppm $Cu^{2+}$ | 1000ppm $Cu^{2+}$ | 100ppm $Cu^{2+}$ | 10ppm $Cu^{2+}$ | 1ppm $Cu^{2+}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 手機拍照 |  |  |  |  |  |  |
| 色差值 | 0 | 9.47 | 8.44 | 8.14 | 8.21 | 6.38 |

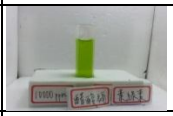
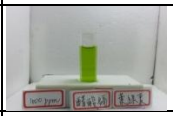
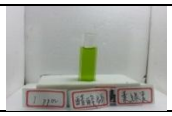
| **低**濃度 | 對照組 | 10000ppm $Cu^{2+}$ | 1000ppm $Cu^{2+}$ | 100ppm $Cu^{2+}$ | 10ppm $Cu^{2+}$ | 1ppm $Cu^{2+}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 手機拍照 | |  |  |  |  |  |
| 色差值 | 0 | 6.90 | 5.55 | 5.33 | 5.80 | 2.91 |

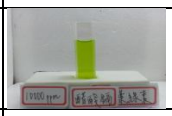
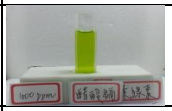
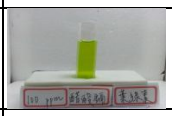
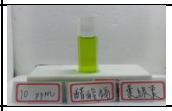
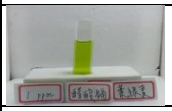
4.**葉綠素**＋醋酸鎳

| **高**濃度 | 對照組 | 10000ppm $Ni^{2+}$ | 1000ppm $Ni^{2+}$ | 100ppm $Ni^{2+}$ | 10ppm $Ni^{2+}$ | 1ppm $Ni^{2+}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 手機拍照 |  | |  |  | | |
| 色差值 | 0 | 8.17 | 7.05 | 5.90 | 5.96 | 5.47 |

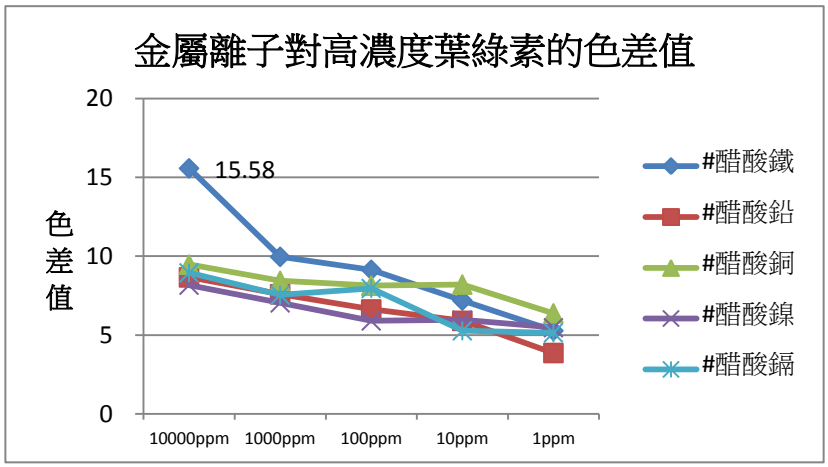
| **低**濃度 | 對照組 | 10000ppm $Ni^{2+}$ | 1000ppm $Ni^{2+}$ | 100ppm $Ni^{2+}$ | 10ppm $Ni^{2+}$ | 1ppm $Ni^{2+}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 手機拍照 | |  |  |  |  |  |
| 色差值 | 0 | 5.77 | 5.32 | 4.73 | 5.04 | 4.32 |

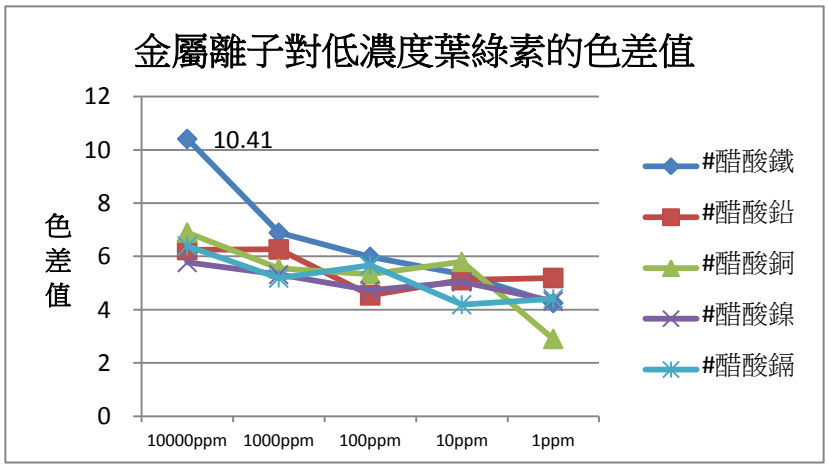
5.**葉綠素** ＋醋酸鎘

| **高**濃度 | 對照組 | 10000ppm $Cd^{2+}$ | 1000ppm $Cd^{2+}$ | 100ppm $Cd^{2+}$ | 10ppm $Cd^{2+}$ | 1ppm $Cd^{2+}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 手機拍照 | |  |  | | |  |
| 色差值 | 0 | 8.95 | 7.54 | 7.96 | 5.27 | 5.15 |

| **低**濃度 | 對照組 | 10000ppm $Cd^{2+}$ | 1000ppm $Cd^{2+}$ | 100ppm $Cd^{2+}$ | 10ppm $Cd^{2+}$ | 1ppm $Cd^{2+}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 手機拍照 | |  |  |  |  |  |
| 色差值 | 0 | 6.40 | 5.19 | 5.67 | 4.19 | 4.41 |

6.綜合比較：(各金屬鹽溶液加入色素液中，濃度變為原本之 1/50)




【結果】:

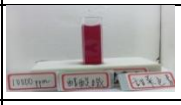
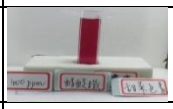
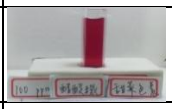
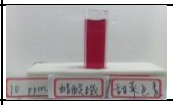
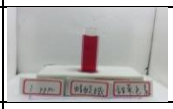
(1) 同種金屬離子，等金屬離子濃度：高濃度葉綠素色差值＞低濃度葉綠色差值，但色差值皆不大。

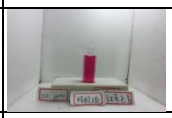
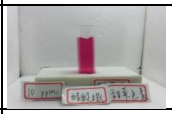
(2) 等葉綠素濃度，同種金屬離子：色差值與金屬離子濃度差異小，各濃度的醋酸鐵在高、低濃度葉綠素中和各濃度的醋酸鉛在高濃度葉綠素中的色差值差距較大。

(3) 等葉綠素濃度，等金屬離子濃度：色差值與金屬離子種類差異明顯(高濃度葉綠素尤最)，代表可用高濃度葉綠素來區分醋酸鐵、醋酸鉛、醋酸銅、醋酸鎳、醋酸鎘溶液。

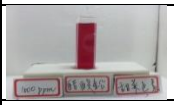
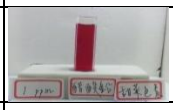
## (三) 不等濃度各金屬鹽溶液對高、低濃度甜菜色素的影響

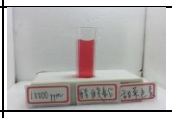
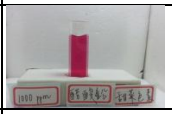
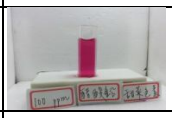
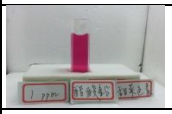
1.**甜菜色素**＋醋酸鐵

| **高**濃度) | 對照組 | 10000ppm$Fe^{+3}$ | 1000ppm$Fe^{+3}$ | 100ppm$Fe^{+3}$ | 10ppm$Fe^{+3}$ | 1ppm$Fe^{+3}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 手機拍照 | |  |  |  |  |  |
| 色差值 | 0 | 37.50 | 36.29 | 35.05 | 36.40 | 35.68 |

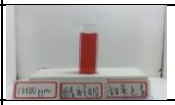
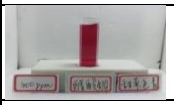
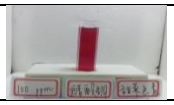
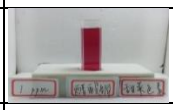
| **低**濃度 | 對照組 | 10000ppm$Fe^{+3}$ | 1000ppm$Fe^{+3}$ | 100ppm$Fe^{+3}$ | 10ppm$Fe^{+3}$ | 1ppm$Fe^{+3}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 手機拍照 | | | |  |  | |
| 色差值 | 0 | 7.51 | 8.06 | 6.86 | 5.32 | 6.51 |

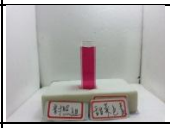
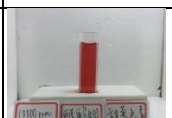
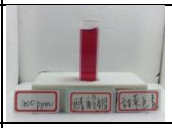
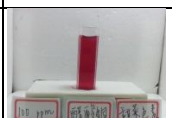
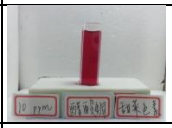
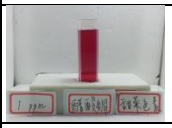
2.**甜菜色素**＋醋酸鉛

| **高**濃度 | 對照組 | 10000ppm $Pb^{2+}$ | 1000ppm $Pb^{+2}$ | 100ppm $Pb^{+2}$ | 10ppm $Pb^{+2}$ | 1ppm $Pb^{+2}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 手機拍照 | | |  | | |  |
| 色差值 | 0 | 40.68 | 37.92 | 35.15 | 33.75 | 31.81 |

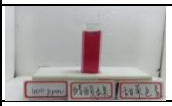
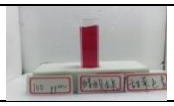
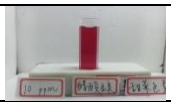
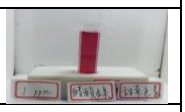
| **低**濃度 | 對照組 | 10000ppm $Pb^{2+}$ | 1000ppm $Pb^{+2}$ | 100ppm $Pb^{+2}$ | 10ppm $Pb^{+2}$ | 1ppm $Pb^{+2}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 手機拍照 | |  |  |  | |  |
| 色差值 | 0 | 13.62 | 8.51 | 7.15 | 7.41 | 7.16 |

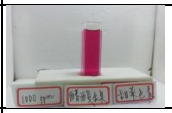
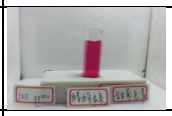
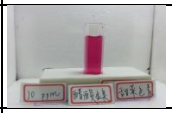
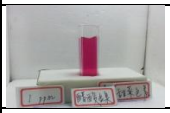
3.**甜菜色素**＋醋酸銅

| **高**濃度 | 對照組 | 10000ppm $Cu^{2+}$ | 1000ppm $Cu^{2+}$ | 100ppm $Cu^{2+}$ | 10ppm $Cu^{2+}$ | 1ppm $Cu^{2+}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 手機拍照 | |  |  |  | |  |
| 色差值 | 0 | 36.98 | 34.95 | 32.80 | 32.40 | 24.86 |

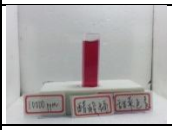
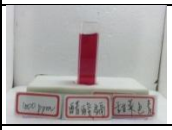
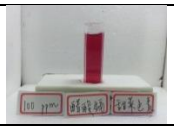
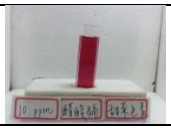
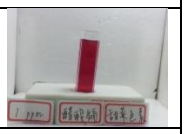
| 低濃度 | 對照組 | 10000ppm $Cu^{2+}$ | 1000ppm $Cu^{2+}$ | 100ppm $Cu^{2+}$ | 10ppm $Cu^{2+}$ | 1ppm $Cu^{2+}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 手機拍照 |  |  |  |  |  |  |
| 色差值 | 0 | 17.31 | 6.25 | 3.98 | 5.40 | 3.30 |

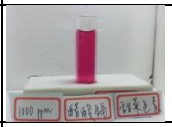
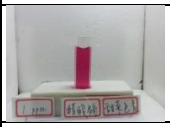
4.**甜菜色素**＋醋酸鎳

| **高**濃度 | 對照組 | 10000ppm $Ni^{2+}$ | 1000ppm $Ni^{2+}$ | 100ppm $Ni^{2+}$ | 10ppm $Ni^{2+}$ | 1ppm $Ni^{2+}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 手機拍照 | | |  |  |  |  |
| 色差值 | 0 | 40.13 | 32.97 | 34.28 | 33.22 | 32.51 |

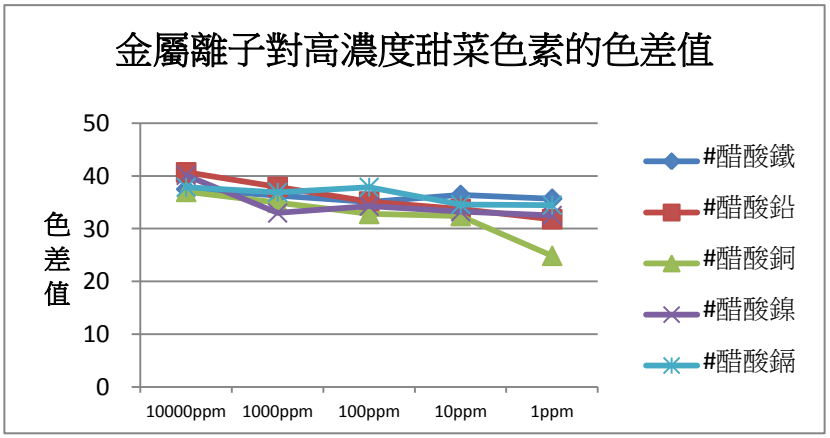
| **低**濃度 | 對照組 | 10000ppm $Ni^{2+}$ | 1000ppm $Ni^{2+}$ | 100ppm $Ni^{2+}$ | 10ppm $Ni^{2+}$ | 1ppm $Ni^{2+}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 手機拍照 | | |  |  |  |  |
| 色差值 | 0 | 8.33 | 6.27 | 4.98 | 5.42 | 6.18 |

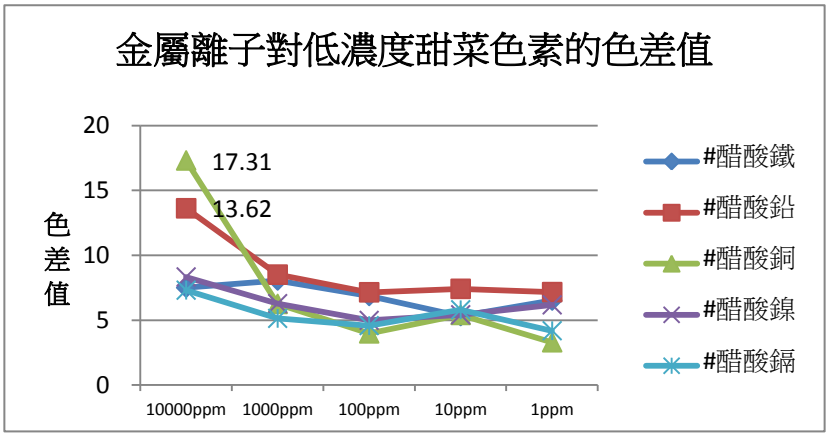
5.**甜菜色素**＋醋酸鎘

| **高**濃度 | 對照組 | 10000ppm $Cd^{2+}$ | 1000ppm $Cd^{2+}$ | 100ppm $Cd^{2+}$ | 10ppm $Cd^{2+}$ | 1ppm $Cd^{2+}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 手機拍照 | |  |  |  |  |  |
| 色差值 | 0 | 37.85 | 36.91 | 37.86 | 34.60 | 34.45 |

| **低**濃度 | 對照組 | 10000ppm $Cd^{2+}$ | 1000ppm $Cd^{2+}$ | 100ppm $Cd^{2+}$ | 10ppm $Cd^{2+}$ | 1ppm $Cd^{2+}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 手機拍照 | | |  | | |  |
| 色差值 | 0 | 7.31 | 5.14 | 4.58 | 5.80 | 4.19 |

6.綜合比較：(各金屬鹽溶液加入色素液中，濃度變為原本之 1/50)






【結果】:

(1) 同種金屬離子,等金屬離子濃度:高濃度甜菜色素色差值＞低濃度甜菜色素色差值，高濃度甜菜色素色差值皆大於 30，代表高濃度甜菜色素可偵測重金屬離子濃度達 1/50ppm 以下。

(2) 等色素濃度，同種金屬離子時：色差值與金屬離子濃度差異小，且色差值並不一定隨著金屬離子濃度遞減而減少。

(3) 等甜菜色素濃度，等金屬離子濃度：色差值與金屬離子種類差異明顯(高濃度甜菜色素尤最)，代表可用高濃度甜菜色素來區分醋酸鐵、醋酸鉛、醋酸銅、醋酸鎳、醋酸鎘溶液。

# 陸、討 論

一、實驗一：

以小畫家軟體畫出四色六階色卡，取其 RGB 最大(255)與最小(0)，區分 5 段每段間距 51，數值分為 0-51-102-153-204-255，為直線關係，但實驗結果以 Lab 測色後將數值輸入電腦 Excel 繪圖，呈現二次曲線非一次式直線關係，探其原因：因 Lab 色彩空間是顏色對立空間，L 表示亮度，a 和 b 表示顏色對立維度。而 RGB 色彩空間是表示像素的顏色，傳達是像素在紅、綠、藍三者中的相關性；但是，從 RGB 表示法無法得知像素的明亮度、飽和度及色相(hue)，因此我們將像素的色彩由 RGB 色彩空間轉換至 CIE Lab，透過複雜矩陣計算得到同等高度相關係數(係數值 $R^2$0.99 以上)的二次曲線。

二、實驗三：

萃取植物色素時，需預防色素降解，因此萃取過程採低溫隔水加熱，所得之色素除須在低溫保存外，也應在短時間內儘速完成實驗。葉綠素為脂溶性色素，花青素和甜菜色素為水溶性色素，除葉綠素以酒精溶出外，花青素與甜菜色素直接以果汁機打成汁後萃取，其目的就是要簡單化，讓大家方便取得各種植物色素萃取液，再以手機測色追蹤不同汙染源。

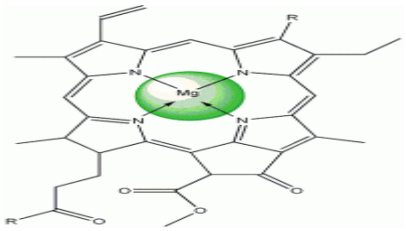
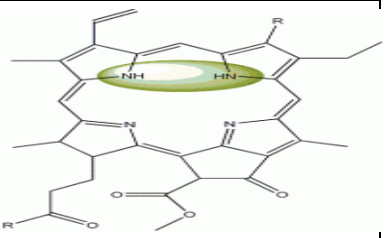
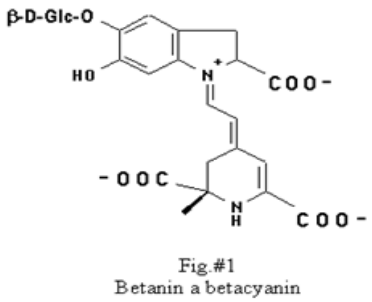
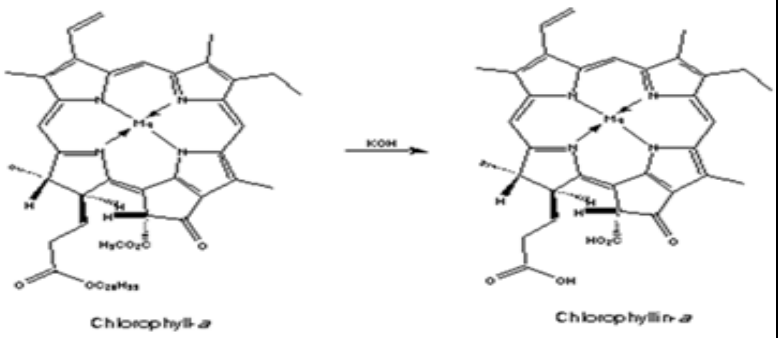
三、實驗四：

花青素、葉綠素、甜菜色素加入酸鹼溶液後以 color math 程式將 Lab 轉換為 RGB 值的分析結果如【附錄 3】，發現：

(一) 花青素：色域極廣，易因酸鹼 pH 值改變顏色。根據參考資料知道從紫甘藍菜萃取之花青素化學結構如圖(10)，隨著酸鹼性的改變，導致花青素發生 $H^+$的結合或脫離，影響了結構與對可見光的吸收，使得花青素在不同的酸鹼環境下，呈現出各種的顏色變化。

(二) 葉綠素：在鹼性環境下較穩定顏色變化小，在酸性環境下明顯變為橄欖綠色。根據參考資料知道葉綠素的主要化學結構如圖(11)，在酸性環境中，其中心的鎂離子會被氫離子取代(圖 12)，；在鹼性環境中會形成葉綠酸(chlorophyllin)(圖 13)，顏色呈較亮綠色，變化不大。

(三) 甜菜色素：在弱酸、弱鹼環境下顏色變化小，在強鹼環境下色差值增大。根據參考資料知道從甜菜所萃取的甜菜色素化學結構如圖(14)， 吸收光波長約為 535-550nm，推測在強鹼環境下加速氧化而降解變質。

| 圖(10) 花青素 | 圖(11) 葉綠素 a | 圖(12) 葉綠素加酸液 |
|---|---|---|
| |  |  |
| 圖(14) 甜菜色素 | 圖(13) 葉綠素加鹼液 | |
|  |  | |

四、實驗五、六：

高、低濃度花青素、葉綠素、及甜菜色素溶液都能檢驗重金屬離子，以下為各重金屬離子與植物色素之色差值列表。

| 金屬鹽 / 金屬鹽濃度 / 花青素 | #醋酸鐵 | | #醋酸鉛 | | #醋酸銅 | | #醋酸鎳 | | #醋酸鎘 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 高濃度 | 低濃度 | 高濃度 | 低濃度 | 高濃度 | 低濃度 | 高濃度 | 低濃度 | 高濃度 | 低濃度 |
| 200ppm | 26.99 | 24.87 | 31.93 | 23.84 | 16.68 | 22.42 | 22.16 | 22.21 | 14.15 | 21.36 |
| 20ppm | 18.94 | 24.29 | 15.28 | 22.90 | 16.50 | 22.75 | 16.75 | 22.13 | 15.75 | 21.68 |
| 2ppm | 16.63 | 22.03 | 15.51 | 23.17 | 15.92 | 22.73 | 15.55 | 21.68 | 15.84 | 21.69 |
| 1/5ppm | 15.63 | 21.62 | 15.77 | 22.72 | 14.54 | 21.87 | 16.16 | 21.96 | 15.93 | 21.70 |
| 1/50ppm | 13.97 | 21.23 | 14.45 | 21.74 | 12.21 | 22.71 | 15.22 | 22.28 | 15.40 | 19.20 |

| 金屬鹽 / 葉綠素 / 金屬鹽濃度 | #醋酸鐵 | | #醋酸鉛 | | #醋酸銅 | | #醋酸鎳 | | #醋酸鎘 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 高濃度 | 低濃度 | 高濃度 | 低濃度 | 高濃度 | 低濃度 | 高濃度 | 低濃度 | 高濃度 | 低濃度 |
| 200ppm | 15.58 | 10.41 | 8.66 | 6.24 | 9.47 | 6.90 | 8.17 | 5.77 | 8.95 | 6.40 |
| 20ppm | 9.97 | 6.89 | 7.59 | 6.27 | 8.44 | 5.55 | 7.05 | 5.32 | 7.54 | 5.19 |
| 2ppm | 9.14 | 5.99 | 6.63 | 4.54 | 8.14 | 5.33 | 5.90 | 4.73 | 7.96 | 5.67 |
| 1/5ppm | 7.19 | 5.34 | 5.91 | 5.11 | 8.21 | 5.80 | 5.96 | 5.04 | 5.27 | 4.19 |
| 1/50ppm | 5.28 | 4.25 | 3.87 | 5.19 | 6.38 | 2.91 | 5.47 | 4.32 | 5.15 | 4.41 |

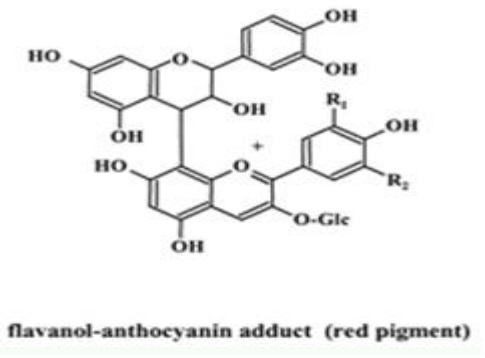
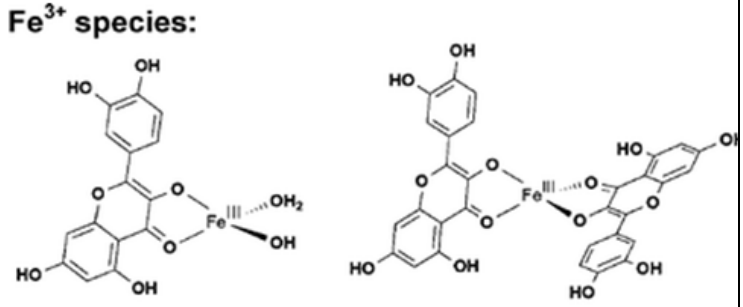
| 金屬鹽 / 金屬鹽濃度 甜菜素 | #醋酸鐵 | | #醋酸鉛 | | #醋酸銅 | | #醋酸鎳 | | #醋酸鎘 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 高濃度 | 低濃度 | 高濃度 | 低濃度 | 高濃度 | 低濃度 | 高濃度 | 低濃度 | 高濃度 | 低濃度 |
| 200ppm | 37.50 | 7.51 | 40.68 | 13.62 | 36.98 | 17.31 | 40.13 | 8.33 | 37.85 | 7.31 |
| 20ppm | 36.29 | 8.06 | 37.92 | 8.51 | 34.95 | 6.25 | 32.97 | 6.27 | 36.91 | 5.14 |
| 2ppm | 35.05 | 6.86 | 35.15 | 7.15 | 32.80 | 3.98 | 34.28 | 4.98 | 37.86 | 4.58 |
| 1/5ppm | 36.40 | 5.32 | 33.75 | 7.41 | 32.40 | 5.40 | 33.22 | 5.42 | 34.60 | 5.80 |
| 1/50ppm | 35.68 | 6.51 | 31.81 | 7.16 | 24.86 | 3.30 | 32.51 | 6.18 | 34.45 | 4.19 |

(一) 花青素：等金屬離子和濃度時，高濃度花青素之色差值較低濃度花青素差，推測是因在高濃度花青素溶液中，色素分子間作用力較強，降低與金屬離子錯合機會(圖 14)；又因色素分子與不同金屬離子錯合後影響結構差異(圖 15)，故可由色差值判斷金屬離子種類，也因此，往後必須講究盛裝花青素溶液之容器材質，避免造成色素變質。

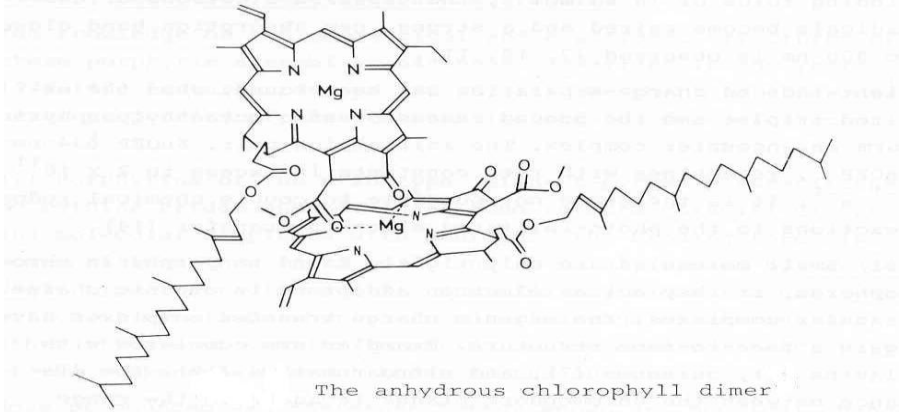
(二) 葉綠素：不管是高濃度葉綠素或低濃度葉綠素，色差均為三種色素中之最小值，推測除了因色素分子間作用力外（圖 16），色素分子中央已與鎂離子錯合，除非在強酸或高溫下才容易被氫離子或其他金屬離子取代，也因此，金屬離子濃度愈大造成的色差值愈大，鐵離子電荷密度最高造成的色差值也最大。

(三) 甜菜色素：等金屬離子和濃度時，高濃度甜菜色素色差值與低濃度甜菜色素色差差異大，且低濃甜菜色素色差值並不隨金屬離子濃度遞減而減少，推測因色素分子易接觸氧氣氧化而降解，根據參考資料發現在 25℃時， 色素分子半衰期為 413 秒，

故對色差值造成波動；使用高濃度甜菜色素偵測色差值時，因色素分子間作用力較小，與金屬離子結合力強，故造成明顯色差值。

| 圖(14) 花青素分子間作用力 | 圖(15) 花青素與金屬離子錯合影響分子結構 |
|---|---|
|  |  |

圖（16）葉綠素分子間作用力




五、根據行政院環境保護署環署水字第 1030005842 號令修正發布第二條：事業、污水下水道系統及建築物污水處理設施之放流水標準，其水質項目及限值如下表：

| 重金屬離子 | $Cd^{2+}$ | $Ni^{2+}$ | $Pb^{2+}$ | $Cu^{2+}$ | 溶解性 $Fe^{3+}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 最大限值(ppm) | 0.03 | 1.0 | 1.0 | 3.0 | 10 |

依據本實驗檢測金屬離子所得數據發現，即使是色差值最小的低濃度甜菜色素，都可偵測重金屬離子濃度達 0.02ppm 以下，代表本實驗方法可低成本又有效檢測周遭生活中之汙染重金屬離子。

六、本實驗使用 6500K 光源，在觀察箱使用白色背景，其目的為減少干擾，將測量時的誤差減至最低。為了避免發生所謂色差，每組實驗均測量 5 次取其平均值。因智慧手機電子

儀器的進步與眾多投入軟體製作，使顏色判定與色差值對照幾乎為一致，已可屏除傳統人為”對色”的盲點，如光源差異、男女性別差異、個人視網膜差異、角度差異……等，過去高價的色差儀器或是對色燈座，經本實驗證明手機加上標準光源在無干擾下以可被取代，尤其在野外調查更加方便。

七、展望：本實驗參考相關文獻，經科學方式確認萃取得到的為實驗所需要的色素。期待此實驗能在生活中被實際運用，唯不同季節、不同產地、同株植物不同處萃取的色素可能造成色差值些許差異，將來希望除對色素液成分定性分析外，也能更明確定量色素成份，讓大家也能在不同季節，利用不同來源的蔬果，以此簡便的方式對生活中的重金屬作檢測，為環境與自我安全把關!

# 柒、結 論

一、由實驗一將用手機測得的四色六階 Lab 結果，輸入 Excel 軟體繪出折線圖，再計算其相關係數均為 0.99 以上的高度相關，確認以手機應用軟體功能作為色差計是為可行。

二、由實驗四知，花青素對溶液酸鹼性最敏感，可因溶液不同ｐＨ值呈現不同顏色，葉綠素只會在酸液中變色，甜菜色素分子不穩定不易保存，只會在強鹼液中變色。

三、由實驗五、六知，本實驗使用之高、低濃度色素皆可偵測各金屬離子濃度達 0.02ppm 以下，下表為偵測 0.02ppm 各重金屬離子時所得之最(次)佳色差值，作為檢測之參考。

| 金屬離子 / 色素 / 色差值 | 0.02ppm $Fe^{3+}$ | 0.02ppm $Pb^{2+}$ | 0.02ppm $Cu^{2+}$ | 0.02ppm $Ni^{2+}$ | 0.02ppm $Cd^{2+}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 高濃度甜菜色素 | 35.68 | 31.81 | 24.86 | 32.51 | 34.45 |
| 低濃度花青素 | 21.23 | 21.74 | 22.71 | 22.28 | 19.20 |

使用葉綠素偵測重金屬離子造成的色差值不明顯，考量色素萃取成本，使用低濃度花青素（萃取比例：甘藍菜：水＝１：１００）即可偵測出不等濃度之各種金屬離子；若使用甜菜色素雖可得較高色差值，但甜菜色素分子不安定易氧化保存不易。

四、 從上述實驗可知：以天然色素(例如:花青素、葉綠素及甜菜色素)配合智慧型手機下載之色差計來檢驗重金屬離子及溶液酸鹼度，是可行的做法，我們可在生活中多加利用，為這個充滿汙染的地球盡一份心力!

# 捌、參考資料及其他


1、中華民國第 52 屆中小學科學展覽會(2012)。薯榔之美，2013.11.20 取自 http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/52/?a=1073

2、臺南高工學生小論文第 981115 梯次得獎作品(2010)。超級變!變!變!廢棄物變黃金 植物變染料，2013.11.20 取自 http://www.shs.edu.tw/works/essay/2010/03/2010032722250808.pdf

3、 林斯賢(無日期)中研院高中生命科學資優生培育畫 專題研究報告。花青素對葉綠素測定的影響，2013.11.20 取自 http://proj1.sinica.edu.tw/~hispj/news/paper/98/96097Lin_si_xian.pdf

4、夏靖雯、蔡政諺、郭雲亭(2010)高雄市第 50 屆中小學科學展覽會。你毒我?!我吸你，2013.11.21 取自 http://www.shs.edu.tw/works/essay/2010/11/2010111511264067.pdf

5、任君儒、周承翰(2010)。花青素最佳萃取原料及模式之探討，2013.12.20 取自 http://www.shs.edu.tw/works/essay/2010/11/2010111115045247.pdf

6、Véronique Cheynier 2008-12-28 美國臨床營養學雜誌 2014.05.27 取自 http://www.21tcm.com/cooperate/qk/American-Society-for-Nutrition/058101/2008-12-28-551662.shtml

7、Xiupeng Mei, Hongni Qin 等六人 Studies on Physicochemical Characteristics of Anthocyanin from Super Dark Maize *Journal of Food and Nutrition Research, 2014, Vol. 2, No. 3, 109-114* 2014.05.27 取自 http://pubs.sciepub.com/jfnr/2/3/3/

8、Causes of color 圖片 2014.05.27 取自 webexhibits 網站 http://www.webexhibits.org/causesofcolor/images/content/chloroabs.gif

9、James Steer (無日期) Structure and Reactions of Chlorophyll 2014.05.27 取自 http://www.ch.ic.ac.uk/local/projects/steer/chloro.htm

10、predoc.org (27.01.2013)B eetroot pigments and membranes – These pigments are betalain . 2014.05.27 取自 http://predoc.org/docs/index-185301.html

11、Véronique Cheynier( 2008-12-28) Polyphenols in foods are more complex than often thought 美國臨床營養學雜誌 2014.05.30 取自 http://www.21tcm.com/cooperate/qk/American-Society-for-Nutrition/058101/2008-12-28-551662.shtml

12、Royal Society of Chemistry 圖片 2014.05.27 取自網站 http://www.rsc.org/ej/DT/2007/b705136k/b705136k-c2.gif

13、Регистрация、Найти 等七人(06/11/2006) The Function And The Structure Of Porphyrin Molecules 2014.05.27 取自網站 http://samlib.ru/o/oleg_w_m/cdocumentsandsettingsolegmoidokumentythefunctionandthestructureofporphyrinmoleculesrtf.shtml

# 【附錄 1】不同廠牌手機測量色差之差異測試

一、廠牌：ACERAcer Liquid E2 800 萬畫素

| LAB / 顏色 | L 平 | A 均 | B 值 | LAB / 顏色 | L 平 | A 均 | B 值 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 白 01 | 100 | 0.01 | -0.01 | 白 | 100 | 0.01 | -0.01 |
| 黑 01 | 82.05 | 0 | -0.01 | 黃 01 | 96.67 | -6.71 | 21.31 |
| 黑 02 | 63.22 | 0 | -0.01 | 黃 02 | 94.72 | -11.51 | 44.31 |
| 黑 03 | 43.19 | 0 | -0.01 | 黃 03 | 92.3 | -16.11 | 61.4 |
| 黑 04 | 21.25 | 0 | 0 | 黃 04 | 91.49 | -17.46 | 75.69 |
| 黑 05 | -16 | 0 | 0 | 黃 05 | 91.77 | -18 | 79.56 |
| 白 02 | 100 | 0.01 | -0.01 | 白 | 100 | 0.01 | -0.01 |
| 藍 01 | 80.89 | 3.11 | -13.58 | 紅 01 | 84.36 | 15.71 | 5.37 |
| 藍 02 | 64.85 | 7.46 | -24.55 | 紅 02 | 71.21 | 31.26 | 14.21 |
| 藍 03 | 49.85 | 9.73 | -33.28 | 紅 03 | 59.3 | 48.06 | 24.78 |
| 藍 04 | 38.92 | 13.03 | -38.27 | 紅 04 | 51.39 | 59.56 | 38.1 |
| 藍 05 | 32.86 | 15 | -40.74 | 紅 05 | 49.46 | 63.15 | 43.67 |

二、廠牌：Samsung Galaxy S III 800 萬像素

| LAB / 顏色 | L 平 | A 均 | B 值 | LAB / 顏色 | L 平 | A 均 | B 值 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 白 01 | 100 | 0.01 | -0.01 | 白 | 100 | 0.01 | -0.01 |
| 黑 01 | 82.05 | 0 | -0.01 | 黃 01 | 96.67 | -6.71 | 21.31 |
| 黑 02 | 63.22 | 0 | -0.01 | 黃 02 | 94.72 | -11.51 | 44.31 |
| 黑 03 | 43.19 | 0 | -0.01 | 黃 03 | 92.3 | -16.11 | 61.4 |
| 黑 04 | 21.25 | 0 | 0 | 黃 04 | 91.49 | -17.46 | 75.69 |
| 黑 05 | -16 | 0 | 0 | 黃 05 | 91.77 | -18 | 79.56 |
| 白 02 | 100 | 0.01 | -0.01 | 白 | 100 | 0.01 | -0.01 |
| 藍 01 | 80.89 | 3.11 | -13.58 | 紅 01 | 84.36 | 15.71 | 5.37 |
| 藍 02 | 64.85 | 7.46 | -24.55 | 紅 02 | 71.21 | 31.26 | 14.21 |
| 藍 03 | 49.85 | 9.73 | -33.28 | 紅 03 | 59.3 | 48.06 | 24.78 |
| 藍 04 | 38.92 | 13.03 | -38.27 | 紅 04 | 51.39 | 59.56 | 38.1 |
| 藍 05 | 32.86 | 15 | -40.74 | 紅 05 | 49.46 | 63.15 | 43.67 |

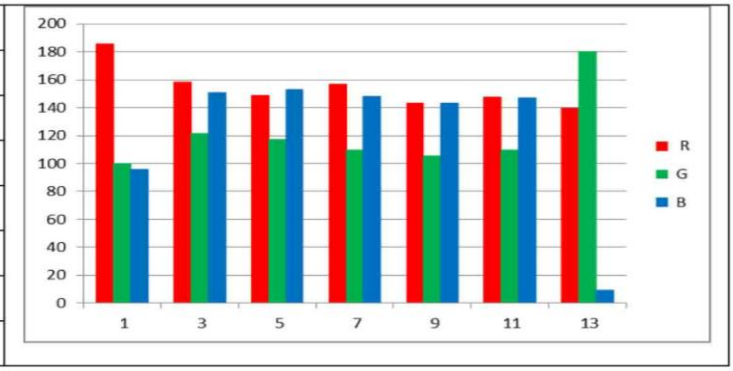
# 【附錄 2】高、低濃度花青素、葉綠素和甜菜色素吸收光譜值

| 色素 | 花青色素 | | 葉綠素 | | 甜菜色素 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 波長(nm) | 高濃度 | 低濃度 | 高濃度 | 低濃度 | 高濃度 | 低濃度 |
| 380nm | 0.704 | 0.394 | 2.165 | 2.036 | 0.857 | 0.447 |
| 400nm | 0.379 | 0.245 | 2.651 | 2.149 | 0.909 | 0.465 |
| 420nm | 0.2378 | 0.168 | 2.894 | 2.469 | 1.137 | 0.575 |
| 440nm | 0.165 | 0.144 | 3.127 | 2.648 | 1.69 | 0.841 |
| 460nm | 0.166 | 0.176 | 2.212 | 1.858 | 2.261 | 1.317 |
| 480nm | 0.221 | 0.107 | 1.976 | 1.366 | 2.413 | 1.5 |
| 500nm | 0.3 | 0.144 | 0.631 | 0.515 | 2.54 | 1.628 |
| 520nm | 0.404 | 0.197 | 0.342 | 0.284 | 2.676 | 1.969 |
| 540nm | 0.484 | 0.236 | 0.345 | 0.281 | 2.753 | 2.104 |
| 560nm | 0.508 | 0.246 | 0.332 | 0.27 | 2.723 | 1.729 |
| 580nm | 0.46 | 0.22-4 | 0.468 | 0.298 | 1.79 | 0.896 |
| 600nm | 0.377 | 0.147 | 0.535 | 0.326 | 0.746 | 0.377 |
| 620nm | 0.237 | 0.106 | 0.63 | 0.371 | 0.334 | 0.18 |
| 640nm | 0.135 | 0.054 | 0.739 | 0.433 | 0.243 | 0.132 |
| 660nm | 0.091 | 0.032 | 1.571 | 0.892 | 0.214 | 0.117 |
| 680nm | 0.077 | 0.026 | 0.61 | 0.363 | 0.195 | 0.109 |
| 700nm | 0.063 | 0.023 | 0.134 | 0.115 | 0.18 | 0.103 |
| 720nm | 0.046 | 0.018 | 0.095 | 0.093 | 0.167 | 0.093 |
| 740nm | 0.03 | 0.013 | 0.081 | 0.082 | 0.157 | 0.087 |
| 760nm | 0.02 | 0.008 | 0.066 | 0.073 | 0.147 | 0.081 |

## 【附錄 3】花青素、葉綠素、甜菜色素加入酸鹼溶液後 RGB 值的分析：

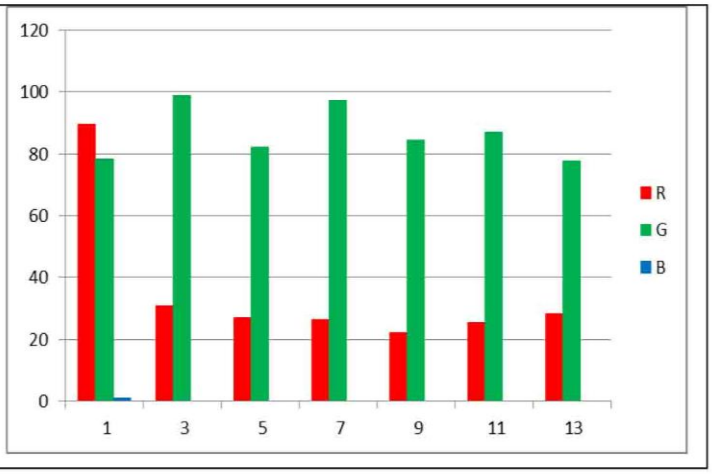
一、花青素在不同酸鹼溶液中

| pH | R | G | B |
|---|---|---|---|
| 1 | 185.6 | 100.2 | 95.8 |
| 3 | 158.2 | 121.4 | 150.6 |
| 5 | 148.8 | 116.8 | 153.0 |
| 7 | 156.8 | 109.4 | 148.2 |
| 9 | 143.0 | 105.4 | 143.0 |
| 11 | 147.4 | 109.6 | 147.2 |
| 13 | 139.4 | 179.8 | 9.0 |



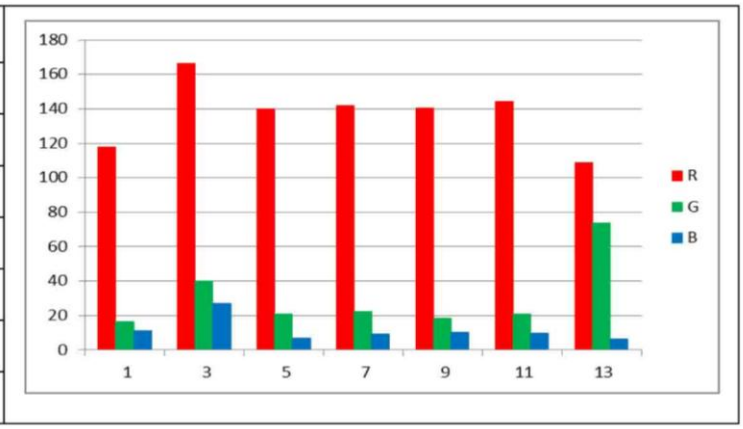

二、葉綠素在不同酸鹼溶液中

| pH | R | G | B |
|---|---|---|---|
| 1 | 89.60 | 78.40 | 1.00 |
| 3 | 31.0 | 98.8 | 0.0 |
| 5 | 27.0 | 82.2 | 0.0 |
| 7 | 26.4 | 97.0 | 0.0 |
| 9 | 22.2 | 84.4 | 0.0 |
| 11 | 25.4 | 86.8 | 0.0 |
| 13 | 28.4 | 77.6 | 0.0 |




三、甜菜色素在不同酸鹼溶液中

| pH | R | G | B |
|---|---|---|---|
| 1 | 118.0 | 16.6 | 11.2 |
| 3 | 166.2 | 40.0 | 27.2 |
| 5 | 140.0 | 21.0 | 7.0 |
| 7 | 142.0 | 22.4 | 9.2 |
| 9 | 140.6 | 18.4 | 10.2 |
| 11 | 144.2 | 21.0 | 9.6 |
| 13 | 108.8 | 73.8 | 6.6 |



## 【評語】030213

利用手機上新的功能來做研究是一項新的趨勢，下載 APP 是年輕學生的長處，繼續向下做時可以將色卡輸出來校正，精確度將會提升。