

# 中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 化學科

佳作

080207

搶救紅色危機--胭脂樹籽 Annatto 紅木素色素應用之探究

學校名稱： 國立南科國際實驗高級中學附設國小

作者：  小五 劉宸羽  小五 李奕勳  小五 陳昱維  小四 陳至新  小四 陳芊樂	指導老師：  何夢青
---	------------------

關鍵詞： 紅色色素、婀娜多、紅木素

# 品名稱：搶救紅色危機---胭脂樹籽Annatto紅木素色素應用之探究

## 摘要

本研究探討胭脂樹籽（婀娜多色素）的特性及其應用，並分析其在不同環境中的行為。結果顯示，人工紅色色素如紅色40號與蘇丹紅顏色鮮豔且穩定，但可能對健康有害；相較之下，天然色素較安全，但易受氧化、光照與溫度影響，穩定性較低，保存期較短。實驗發現，胭脂樹籽色素在60-80℃顯色最佳，高於100℃則顏色變淺；其在酸鹼性溶液中隨pH值變化而改變顏色，最適環境為中性至弱鹼性。光譜分析證實其具橙紅色特徵，適用於食品、化妝品及纖維染色，並兼具環保與無毒優勢。綜合而言，婀娜多色素在天然染料應用上潛力廣泛，能提供穩定且安全的色澤效果。

## 壹、前言

### 一、研究動機

2024 年蘇丹紅食安事件引發社會對紅色色素的關注，因其鮮豔色彩能促進食慾，常被添加於食品與飲料中，如熱狗、紅芒果乾、草莓牛奶等。色素可分為人工與天然兩類，並依溶解性區分為水溶性與脂溶性。為探討人工與天然紅色色素的差異及辨識方式，本研究聚焦於天然紅色色素的來源與應用。

在資料收集中，發現校園內有兩棵胭脂樹（Annatto），其種子含有脂溶性紅色色素，可用於製作天然口紅與染料。因此，我們以婀娜多（Annatto）為研究對象，比較水草與油草後的色素穩定性，並觀察其對酸鹼值、溫度、光照與氧化的反應。此外，嘗試將其應用於食材染色與布料染色，探索其可行性。

透過本研究，希望提升對天然色素的認識，減少對人工添加物的依賴，培養健康飲食觀念，並推廣安全、自然的色素應用方式。

### 二、研究目的

- (一)探討市面上常見的天然蔬果紅色色素與化學人工紅色色素之差異
- (二)探討胭脂樹籽在不同溶劑(蒸餾水、95%酒精、丙酮、甘油、大豆油、豬油)與不同溫度(20度、40度、60度、80度、100度)顏色改變之差異
- (三)探討胭脂樹籽萃取液在酸鹼性水溶液下顏色改變之差異
- (四)探討胭脂樹籽萃取液在照光(UV)及氧化後顏色改變之差異
- (五)探討胭脂樹籽萃取液的色層分析與光譜分析
- (六)探討天然胭脂樹籽之婀娜多脂溶性色素的生活應用(食物染色、口紅製作、染布)

### 三、文獻回顧

#### (一)紅色色素用途、來源及使用上的差異：

類型	來源	用途	使用差異與限制	潛在風險
天然紅色色素	<ul style="list-style-type: none"> <li>紅麴（發酵）</li> <li>紅椒提取物</li> <li>紅甜菜素</li> <li>蝦紅素</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>食品著色</li> <li>飲料、甜品</li> <li>肉類加工品</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>天然來源，安全性高</li> <li>色澤較淡，穩定性不及人工色素</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>過敏反應（少見）</li> </ul>
人工紅色色素	<ul style="list-style-type: none"> <li>苯甲酸衍生物-胭脂紅 (Ponceau 4R)</li> <li>偶氮染料</li> <li>苋菜紅</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>糖果、果凍</li> <li>飲料和糕點</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>廉價、穩定性高</li> <li>使用需符合食品安全標準，過量使用可能被禁止</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>可能致過敏或誘發哮喘等問題</li> </ul>
工業紅色染料	<ul style="list-style-type: none"> <li>偶氮類化合物-蘇丹紅</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>工業著色</li> <li>鞋油、地板蠟、塑料等</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>嚴禁用於食品</li> <li>部分不法業者違法添加於食品中，以增加色澤</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>已證實致癌風險（動物實驗）肝臟、腎臟受損及膀胱癌</li> </ul>

#### (二) 水溶性與脂溶性的天然紅色色素：

類別	紅色色素名稱	來源或特徵	用途
水溶性	紅花素 (Carmine)	蟲體提取物（蟲紅素）	食品、化妝品、藥品
	甜菜素 (Betanin)	甜菜根	食品、飲料、保健品
	花青素 (Anthocyanin)	各種水果（如藍莓、葡萄）	食品、飲料、化妝品
脂溶性	紅麴素 (Monascus Red)	紅麴發酵產品（紅麴米）	食品、保健品
	婀娜多 (Annatto)	生長在熱帶和亞熱帶的紅木（又稱胭脂樹）種子中提取	食品、化妝品
	辣椒紅素 (Capsanthin)	辣椒	食品、化妝品
	番茄紅素 (Lycopene)	番茄、紅色水果	食品、保健品

#### (三)胭脂樹籽及婀娜多色素：

胭脂樹(*Bixa orellana* Linn.)，英文名：Bixa orellana，又稱紅木、紅椒樹、阿娜豆。屬胭脂樹科(Bixaceae)，胭脂樹屬(*Bixa*)。原產地為熱帶美洲，現廣泛栽培於南美、東南亞及台灣南部。胭脂樹為多年生常綠灌木或喬木，樹高約2-3公尺，葉片背面有褐色的鱗痂，嫩葉用手搓揉，會出現紅色的汁液。每年秋天開花結果，花朵為粉紅色，呈密集的圓錐花序，開花期為10月至隔年1月；果實為紅色三角形(雞心形)蒴果，外表密披肉質軟刺，賞果期在12月至隔年2月，全臺皆適合種植。

胭脂樹種子表面(稱為種皮)覆有鮮紅色的蠟質色素，富含呈現橙紅色的色素，早在亞馬遜河流域與西印度群島熱帶地區為原住民常用手掌搓揉後將種皮所產生汁液拌著唾液，塗抹臉部或身體作為裝飾染料作物。

胭脂樹籽可萃取的天然食用色素稱為「婀娜多」(Annatto)，稱「紅木素」或「胭脂樹紅」，屬於類胡蘿蔔素的一種。其主要活性色素成分為兩種，分別為Bixin是脂溶性，偏紅橘色；另一種Norbixin是水溶性，偏橘黃色，具有抗菌、抗氧化效果。可用於食品加工色或製為化妝品原料。

<下列圖片來源取自網路 kplant 認識植物-胭脂樹>



婀娜多色素（Annatto，包括 Bixin 和 Norbixin）在全球多數國家被認為是天然且安全的著色劑可於多類食品中使用，需明確標示為“Annatto”。在台灣《食品添加物使用範圍及限量暨規格標準》編號：胭脂樹紅；歐盟（EU）食品添加劑編號 E160b（Annatto）；美國（FDA）為免認證色素被視為安全（GRAS）。但各國或國際機構對其使用量仍有安全上限建議，以避免過量攝取。

#### （四）歷屆科展作品參考相關資料

歷屆科展（屆數/年份）	作品主題	關鍵字	研究問題與發現
2012 年臺灣國際科學展覽會 國中組 化學科	薑黃素的特性及其在生活上之應用研究	薑黃素、抗氧化、抑菌作用	咖哩掉到地板後 以水清洗仍難以清洗乾淨



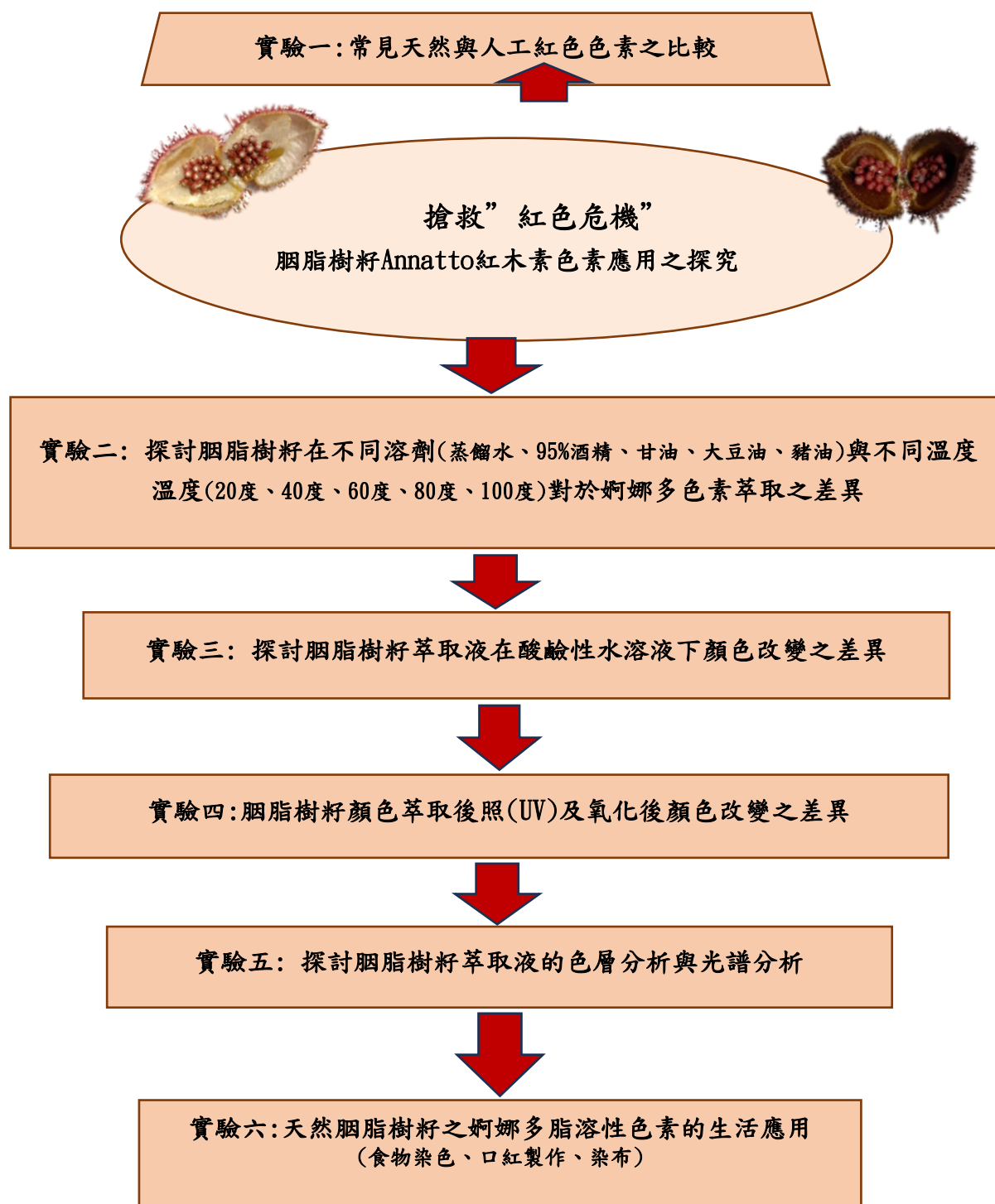
中華民國第 51 屆中 小學科學展覽會 高職組 生物科	紅鳳菜對麵條色澤 及感官品質影響之 研究	紅鳳菜、花青 素、感官品評	為了可以使麵條有更多元的選 擇，加入 了具有天然色素及健康 價值的紅鳳菜，使顏色有更多繽 紛多樣的變化，又具有機能性， 提高 其銷售的價值。
中華民國第 51 屆中 小學科學展覽會 國小組 化學科	在地ㄟ色水—染出 「蕨」色	蕨類、染布、 酸鹼	植物染讓我 們想到，染料是否也 可以用蕨類來製作

## 貳、研究設備及器材

- 一、研究設備:研磨機、紫外光燈 (UV 燈，波長 254 nm 和 365 nm)、電磁爐、蔬  
果烘乾機、可調溫熱水浴鍋 (20°C、40°C、60°C、80°C、100°C)、Vernier Go D  
irect Specttavis Plus光譜儀、微量天秤、溫度計、燒杯、量筒、色卡、攪拌棒、  
鐵鍋、湯勺、白色瓷盤、燒杯、試管(瓶)。
- 二、研究材料:市售紅色色粉(蘇丹紅四號、人工紅色色素40號、紅麴粉、甜菜根粉、  
雞心辣椒粉)、紅色蔬果(甜菜根、火龍果、洛神花、紅辣椒)各式溶液(蒸餾純水、  
95%酒精、丙酮、甘油、大豆油、豬油)、丙酮、石油醚、條狀濾紙、毛細管 (點  
樣) 胭脂樹籽色素 (油萃)、蜂蠟、植物油 (甜杏仁油)、精油(薰衣草、玫  
瑰天竺葵、檸檬)、馬口鐵容器。

## 參、實驗設計與過程

### 一、實驗架構圖



圖表一：實驗流程架構圖  
〈本實驗流程架構圖為作者自行繪製〉

## 二、研究過程

### (一)實驗一:探討市面上常見的天然蔬果紅色色素與化學人工紅色色素之差異

1. 實驗設計:我們很好奇市面上可以買到那些天然及人工的紅色色素，因此到了化工材料行及食品烘焙材料行購買相關的材料，找到11種蔬果(市售匈牙利紅椒粉、市售雞心朝天椒粉、市售甜菜根、市售蘇丹紅4號、市售水溶性紅色色素、自製乾辣椒磨成粉、自種朝天椒粉、市售胭脂樹紅(婀娜多)、自製火龍果粉、市售洛神花、市售紅麴粉)製成粉末，進行外觀及利用色票卡來比對顏色，並利用純水溶解比較其差異。

#### 2. 實驗過程紀錄

<本實驗照片皆為作者自行拍攝>



#### 3. 常用天然/人工化學紅色色素或色粉之比較表格(詳細如下兩頁)

##### 4. 結果發現:

- (1)市售人工紅色色粉末有紅色色素40號，這是坊間食物添加染色劑常用的色素，另外2024年非法添加的蘇丹紅色素必須在油脂下才可以溶解，兩者不到1克量顏色都很深紅，少許就可有過度鮮豔且虛假的紅色，因為是化學粉末非常細緻，用量少就可以染出很鮮豔的顏色來。這兩種化學色素利用石油醚比丙酮9:1的展開液操作濾紙色層分析無法測出。
- (2)本實驗分析的天然色素粉有匈牙利紅椒粉、雞心朝天椒粉、市售乾辣椒磨成粉、自種朝天椒粉、胭脂樹紅(婀娜多)和紅麴粉皆為脂溶性紅色色素。甜菜根粉、火龍果粉、洛神花粉為水溶性色素，進行石油醚比丙酮9:1的展開液操作濾紙色層分析無法測出，查閱資料之後，發現其數值較低，在一般濾紙的色層分析較無法看出

結果(可使用TLC較為明顯)。當中因自行研磨顆粒較大，較為粗糙。自製的辣椒粉及婀娜多顏色偏橘紅及橘黃色，較不鮮豔。

- (3)本實驗裡我們著重分析到脂溶性的椒紅素Rf值分別為0.46-0.53之間，與婀娜多色素其Rf值分別為0.35，其他的水溶性花青素及甜菜根色素則無法順利測出較準確的數值。
- (4)利用色票上CMYK的青、洋紅、黃和黑色的四種油墨來產生顏色進行比較發現紅色色素主要以M、Y的紅及黃色為主色呈現出橘紅或是橘黃色，若是顏色較深則會在K的數據增加，另外若偏紫紅則會有C的數據增加，因此，我們特別利用色票及CMYK比較其顏色深淺及差異。



實驗一：常用天然/化學紅色色素或色粉之比較之一 <本表格照片為作者自行繪製與拍攝>

名稱	1 匈牙利紅椒粉 (市售)	2 雞心 朝天椒粉(市 售)	3 甜菜根粉	4 蘇丹紅4號	5 水溶性紅色色 素 40號
食物原形 (手繪)					
色票	dp4深紅橙色 	s4強紅橙色 	dk2暗紅色 	dk2暗紅色 	dk2暗紅色 
CMYK值	20 80 100 20	20 70 90 0	40 70 55 35	40 70 55 35	40 70 55 35
濾紙色層分析 Rf值	0.53	0.46	無法測出	無法測出	無法呈現
天然色素組成	椒紅素 (脂溶性)	椒紅素 (脂溶性)	甜菜紅素 甜菜黃素 (水溶性)	親脂性偶氮化合 物 (脂溶性)	人工化學合成色 (水溶性)
外觀描述	粗粗的，有一 點橘紅色粉 末，類似土 色。	顏色較鮮艷， 有一點白白的 粉末(辣椒 籽)。	有一點酒紅色 加紫色有一顆 一顆的，摸起 來像黏土。	很像深偏咖啡 的顏色，有一 粒一粒的顆粒 狀。	細小的粉末很 紅，有一點亮 亮的。
溶解水的顏色					

實驗一：常用天然/化學紅色色素或色粉之比較之二〈本表格照片為作者自行繪製與拍攝〉

名稱	6 市售乾辣椒磨成粉	7自種朝天椒粉	8 胭脂樹紅(阿娜多)	9火龍果粉	10洛神花粉	11紅麴粉(市售)
食物原形(手繪)						
色票	dk4暗紅橙色 	s4強紅橙色 	dp4深紅橙色 	sf24軟紅紫色 	dp24深紅紫色 	dk4暗紅橙色 
CMYK值	35 65 70 30	20 70 90 0	20 80 100 20	0 72 43 0	0 100 65 47	35 65 70 30
濾紙色層分析Rf值	0.49	0.51	0.35	無法呈現	無法呈現	無法呈現
天然色素組成	辣椒紅素(脂溶性)	辣椒紅素(脂溶性)	阿娜多色素(脂溶性)	花青素(水溶性)	花青素(水溶性)	紅麴素(脂溶性)
外觀描述	有一顆一顆的顆粒，偏橘紅色的粉末。	比一般的顏色還淺，偏橘紅色，一粒一粒的，香味比一般的香更濃郁。	橘紅色中夾雜了一點黑色，細細的。	鮮豔的粉紅色，粉末很小，有一點綠綠的粉末(綠果皮)。	粉偏暗紫紅色，粉末顆粒明顯較粗，有酸酸的氣味。	有一點紫紫的深粉色，粉末非常小。
溶解水的顏色						

(二)探討胭脂樹籽在不同溶劑(純水、95%酒精、丙酮、甘油、大豆油、豬油)與不同溫度(20度、40度、60度、80度、100度)萃取婀娜多色素顏色改變之差異

1. 設計構想:我們嘗試利用五種不同浸泡液(純水、95%酒精、丙酮、大豆油、豬油)來溶解出婀娜多的紅色色素，並設計隔水加熱(分有室溫20度、40度、60度、80度、100度)的方法來浸泡30分鐘，比較其顏色是否有差異。

2. 製作方法:

(1)將當季新鮮的婀娜多3克種子放入玻璃試管瓶中

(2)六種溶液(A:純水、B:95%酒精、C:丙酮、D:甘油、E:大豆油、F:豬油)利用滴管倒入瓶子，水位到達瓶口時將瓶蓋蓋緊。

(3)使用溫奶器及電磁爐隔水加熱20分鐘，觀察在常溫下20度、40度、60度、80度、100度觀察顏色及外觀等差異。

3. 實驗過程: <本實驗照片皆為作者自行拍攝>

		
圖2-1: 用微量天秤量出3克的婀娜多種子	圖2-2: 利用滴管將液體滴進玻璃試管瓶	圖2-3: 新鮮婀娜多種子沉澱在平底，搖晃後色素慢慢溶解。
		
圖2-4: 計時20分鐘使用溫度計測量	圖2-5: 利用溫奶器最高60度	圖2-6: 100度沸騰滾燙隔水加熱



#### 4. 不同浸泡液萃取及不同溫度玻璃試管瓶的顏色變化之比較

〈本實驗照片為作者自行拍攝〉

裝瓶當下		A 純水	
20度		B 95% 酒精	
40度		C 丙酮	
60度		D 甘油	
80度		E 大豆油	
100度		F 豬油	

#### 5. 結果發現

- (1) 剛盛裝水溶液時，發現六種水溶液中，大多數的婀娜多種子會沉澱，只有甘油的會浮起來(比重不同)，但經過均勻搖晃且放置超過1天後，種子皆會下沉。



- (2)純水溶解後，顏色橘黃色類似紅蘿蔔汁，不透光；酒精和丙酮會透光，但丙酮的顏色較為深紅，酒精呈現橘紅色；甘油和大豆油較為黏稠不透光，顏色橘黃，豬油會有凝結成白色固狀物。
- (3)比較六種浸泡溶液在溫度下有的差異，發現溫度在60-80度越高顏色越深橘紅，在沸騰的100度之後反而會變淺橘。唯獨丙酮沸點為56度，加熱超過此溫度時，瓶內的液體會沸騰滾燙，慢慢蒸發減少不見，本實驗中，發現後便將丙酮取出不再加溫，避免揮發出有害物質。從其他溶劑在溫度上的表現，顯示表示婀娜多色素在40、60、80度下，溫度越高顏色變深，較為穩定，不變色，但不建議加熱至100度使用。

### (三)探討胭脂樹籽萃取液在酸鹼性水溶液下顏色改變之差異




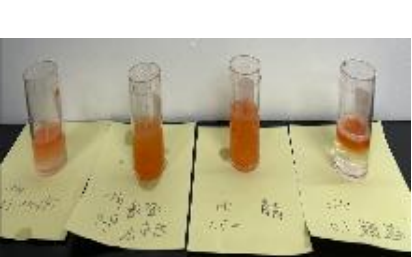


1. 實驗構想:文獻上找到許多天然的色素對於酸鹼很敏感，容易變色，甚至對於酸鹼也會有規律顏色的變化便可以製成酸鹼指示劑，我們嘗試胭脂樹籽水草的婀娜多色素在不同酸鹼pH值的水溶液下顏色會不會改變。

#### 2. 實驗步驟:

- (1)準備四種不同酸鹼度的水溶液，分別為鹽酸、醋、澄清石灰水和漂白水。
- (2)倒入塑膠試管瓶中約1/3量，進行簡易酸鹼實驗
- (3)使用滴管，吸取驗水草的婀娜多溶液(Ph=7.8)分別滴入四種酸鹼水溶液，觀察其顏色改變情形。

#### 3. 實驗過程:

<本實驗照片皆為作者自行拍攝>

		
圖3-1:準備生活中常見的四種酸鹼水溶液	圖3-2:不同水溶液倒入塑膠試管瓶中檢測其pH值	圖3-3:試管滴定水草婀娜多色素，觀察其顏色變化
		
圖3-4:滴定兩次水草胭脂樹籽	圖3-5:放置一天後，顏色有改變	圖3-6:放置一周後，觀察顏色更有差異

#### 4. 四種酸鹼水溶液的滴定後顏色改變情形

〈本表格皆為作者自行繪製〉

水溶液	鹽酸	醋	澄清石灰水	漂白水
pH	1.0	3.1	9.7	11.2
當下顏色變化	濃鹽酸在底部，婀娜多浮在上方分兩層，有細微的泡泡。	婀娜多快速分解於醋水中，產生大量的泡泡往上。	婀娜多緩緩的分解於澄清石灰水中。	婀娜多漂浮在漂白水上，顏色快速變淺。
放置一天	溶液變成不透明的橘黃色均勻分布。	橘色物體沉澱，微透明的淡橘色。	變成不透明的深橘色，顏色明顯。	顏色變淺橘，有淺橘色物體沉澱。
放置一周	溶液變成不透明的橘黃色均勻分布。	大量橘色物體沉澱，液體呈現微透明的淡橘色。	變成不透明的深橘色，顏色明顯。	水溶液顏色呈現透明澄清，有白色物體沉澱在瓶底。

#### 5. 實驗結果：

- (1) 婀娜多色素在接近中性至弱鹼性(pH=7-8)時，紅木素處於最穩定的顯色形式，呈現較深的深紅色。
- (2) 鹽酸pH=1.0屬於高度酸性環境，顏色會偏淺，呈現較淺的黃橙色。這是由於它在不同的 pH 值下與氫離子的互動會改變其結構，進而影響其顏色。
- (3) 漂白水pH=11.2，漂白水中的次氯酸鈉(NaOCl)或次氯酸(HOCl)會與有機化合物(如紅木素)發生反應，氧化這些分子，破壞結構，會使顏色永久性褪色、變淺或失去原本的色澤。
- (4) 婀娜多色素最佳顯色是以中性或是微鹼性的液體來進行水草溶液，呈現出橘紅色，其化學結構不同酸鹼會產生變色，但因無規律顏色變化之差異，不可作為酸鹼指示劑。

#### (四)探討胭脂樹籽萃取液在照光(UV)及氧化後顏色改變之差異

1. 實驗設計：我們從資料中發現天然色素容易受到氧化及光照的影響，產生顏色變淡，因此我們將水草及油萃後的婀娜多色素，放在玻璃試管瓶進行紫外線燈的照射以及放在燒杯中不加蓋，觀察三天後其顏色的變化。

#### 2. 實驗步驟：







- (1) 將依據以下兩種方式進行水草與油萃胭脂樹籽的色素 〈本表格皆為作者自行繪製〉

油性萃取	水溶性萃取
取10克胭脂樹籽放入50mL植物油中。 加熱至40~50℃並攪拌10分鐘，待色素溶解至油中。 過濾去除籽殼，保留紅橙色的油溶液。	取10克胭脂樹籽，放入50mL 5%碳酸鈉溶液中。 加熱並攪拌10分鐘，使紅色素溶出。 過濾後獲得水溶性色素溶液。

- (2)實驗組利用紫外線燈進行照射(20W光效最高亮款365nm波長)，在紙箱內照射1-5天，對照組使用報紙包覆，放在小型紙箱裝不照射任何光線進行兩者比較。
- (3)每日固定時間取出進行拍照，確認照射UV及在開放燒杯內氧化的情形進行記錄。

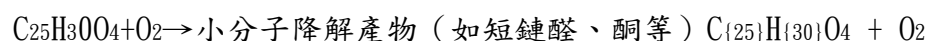
### 3. 實驗過程：

<本實驗照片皆為作者自行拍攝>

		
圖4-1: 紫外線燈所使用的型號與波長	<對照組> 圖4-2: 不照光的用報紙包起來	<油萃>      <水草> 圖4-3: 紫外光照射前，顏色鮮豔且飽和
		
圖4-4: 燒杯靜置在實驗室三天後，變得澄清顏色較淺；一團團色素成膠狀沉澱在底部		
		
<油萃> 1天    2天    3天    4天    5天 圖4-5: 油亮，隨著照光時間越長顏色變得淺色，但是油量有透光，玻璃瓶底部有沉澱物產生		
		
<水草> 1天    2天    3天    4天    5天 圖4-6: 原本混濁不透光，隨著照光時間越長，原本橘紅變淺色橘黃，有沉澱，液體呈現混濁無透光性		

### 4. 實驗結果：

- (1)玻璃瓶內液體的顏色變淺，但是水草與油萃瓶底會有一團團疑似色素成膠狀沉澱在底部(黏稠的樣子)。與文獻資料比對後，發現紅木素容易受到氧化劑(未蓋瓶蓋，空氣接觸)或光照(UV紫光)影響，發生降解反應，化學反應式如下：



- (2)本實驗驗證紅木素在接觸氧氣、光照(UV)之後，會造成紅木素降解，使其原本橘紅色的顏色變淺橘色或淡黃色。因此會影響紅木素在食品加工過程中的穩定性，因此萃取後的紅木素建議存放於避光、低氧環境。本實驗可用來研究紅木素作為光敏感色素的應用(如天然防曬劑、抗氧化物質)。



## (五)探討胭脂樹籽萃取液的色層分析與光譜分析

1. 實驗設計：利用溶劑對不同物質有不同的溶解度及吸附力，藉此分離和鑑定胭脂樹籽紅木素色素的成分。色素與濾紙的附著力越大，移動距離越小；色素與濾紙的附著力越小，移動距離越大。藉由 $R_f$ 值＝色素上升距離／展開液上升距離，確認紅木素為一種類胡蘿蔔素。另外使用Go Direct® SpectroVis Plus 分光光度計分析胭脂樹籽萃取液的光譜特徵，確定主要吸收波長。

### 2. 實驗步驟：

- (1)取乾燥的胭脂樹籽的色粉浸泡至丙酮，因色素屬脂溶性有機物，使用 90%丙酮做為萃取液。
- (2)調配展開液以石油醚：丙酮以9：1 的比例混合而成20毫升。
- (3)將長條形濾紙剪成如下圖的1.5公分的底端尖狀。
- (4)利用滴在濾紙條離尖端 3cm 處，滴上萃取液，待乾後再滴（避免點的面積過大），點的面積愈小愈好。
- (5)利用展開液放入容器中，上方放入長條濾紙，進行色層分析。
- (6)另外，將利用純水、丙酮、大豆油萃取的婀娜多萃取液放入Go Direct® SpectroVis Plus 分光光度計儀器中，進行光譜分析，利用軟體確認婀娜多的吸收波長。

### 3. 實驗過程：

<本實驗照片為作者自行拍攝>

圖5-1:2*40cm的長條濾紙剪成末端剪成尖狀	圖5-2:利用石油醚：丙酮，以9：1比例調配展開液	圖5-3:在長條濾紙片尖狀處上量3cm滴3次色素萃取液
圖5-4:光合色素層析分離裝置圖 本圖非自行繪製，其檔案取自網路資料-自然實驗室 高中生物 活動10 光合作用	圖5-5:將色層分析片包住量筒上方開口，以免揮發。待操作完成後，取出測量 $R_f$ 值。<X Y圖說為作者自行繪製>	





圖5-6:操作光譜儀進行操作實驗

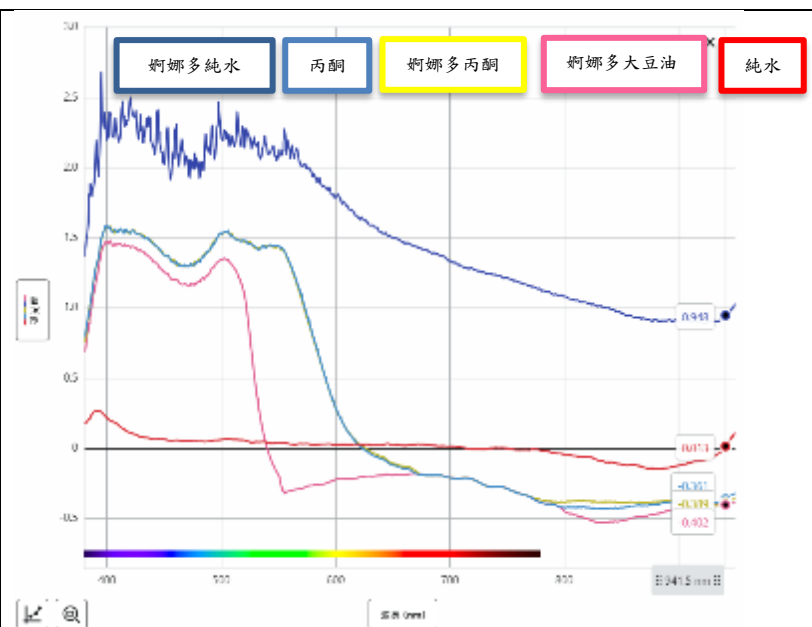


圖5-7:透過軟體分析純水、丙酮、大豆油萃取的婀娜多萃取液吸光度

(吸光度分析圖：由學生操作Vernier Spectral Analysis® 軟體進行繪製)

#### 4. 結果發現:

- (1)石油醚和丙酮皆為揮發性的有機溶液，在調配展開液丙酮:石油醚=1:9，不慎碰到手發現冰冰的，其為吸熱反應，第一次進行試驗時，使用塑膠圓柱容器，發現透明塑膠會霧化，且揮發出來的氣味不佳，因此實驗動作要快速、準確且仔細操作。
- (2)藉由長條濾紙找出色素分離的距離，X為類胡蘿蔔素移動距離，Y為展開液移動距離，計算出Rf值=X/Y，排除操作失敗的色層分析濾紙條，只有兩條成功，分別有  
 $Rf值 = 7.2 / 20.2 = 0.356$  以及  $6.3 / 21.7 = 0.290$ ，依據文獻發現丙酮:石油醚=1:9的展開溶劑系統下操作色層分析，其紅木素的Rf值會較低，範圍約在0.10-0.30之間，與本次實驗所進行的結果相似，確認色素為類胡蘿蔔素的紅木素Brazilein。
- (3)紅木素記錄色素的最大吸收波長 ( $\lambda_{max}$ ) 在 400-550 nm (可見光範圍) 出現吸收峰，對應其橙紅色外觀，與文獻資料中類胡蘿蔔素 (Annatto) 約 450~500 nm 的數值相似，本實驗可應用於食品或化妝品中的色素穩定性測試。

## (六)實驗六:探討天然胭脂樹籽婀娜多脂溶性色素的生活應用(食物染色、口紅製作、染布)

### <染色應用一:樹薯粉染色製成珍珠QQ>

1. 設計構想:小朋友喜歡喝珍珠奶茶,我們想如果珍珠QQ也可以是紅色的話,可以帶起一波潮流,因此,嘗試利用婀娜多和其他紅色色素進行染色,比較其在珍珠QQ的顯色情形。
2. 製作過程:
  - (1)先量好30克的樹薯粉和3克色粉(人工色素為1克)。
  - (2)把兩種粉倒在一起,倒入飲用水並均勻攪拌。
  - (3)將麵團倒到烘焙墊上,把麵團平分成小塊狀。
  - (4)將等重的小麵團放在手心上搓揉成圓球,等待放入鍋中煮。
  - (5)倒進鍋中煮,等小珍珠浮起就可以撈出來觀察顏色與嚐試其口感。






### 3. 製作過程圖片:

<本實驗照片皆為作者自行拍攝>

圖6-1:把樹薯粉和色粉量測比例重量分到碗中。	圖6-2:接著把兩種粉倒在一起均勻攪和。	圖6-3:倒入飲用水在容器裡攪拌至黏稠度均勻。
圖6-4:將麵團平分成等分,圖中顏色鮮豔的紅色為人工紅色色素40號。	圖6-5:將等重的小麵團放在手心上搓揉成圓球,等待放入鍋中。	圖6-6:倒進用熱水鍋內,等它浮起來後就可以撈出觀察顏色與嚐試口感。

#### 4. 染色前後麵團比較

〈本實驗表格及照片為作者自行繪製與拍攝〉

				
雞心朝天椒	蘇丹紅	人工紅色色素	婀娜多	紅麴粉
顏色呈現橘色，煮後顏色變得更深了。味道很辣。口感和一般的珍珠甜膩的感覺很衝突	蘇丹紅是脂溶性紅色色素，因此蘇丹紅粉和麵團無法混合。而且一放進鍋裡煮就化掉，無法成形。	顏色最鮮豔，揉麵團時手心會變得很紅，色粉已減至1克少量使用。吃起來沒有其他特殊味道。	顏色呈現橘色，煮後顏色變得更深了，因為色粉中有包含種子，所以麵團有一點點的黑點。味道有特殊青澀味。	還沒煮的時候是粉紅色，煮完後變成暗紫色了。沒有其他特殊味道。

#### 5. 實驗發現：

- (1)蘇丹紅是脂溶性紅色色素，因此發現蘇丹紅粉和麵團無法混合，染出的效果不佳。
- (2)雞心朝天椒的顏色呈現橘色，煮後顏色變得更深了，吃起來的口感會辣。
- (3)人工紅色色素顏色最鮮豔，揉麵團時手心會變得很紅，煮熟後的深紅色較為不自然，一看明顯而知是人工色素。
- (4)婀娜多色素因為是用乾燥的種子打成的色粉所染色，因此煮出來含有種子核的黑色小點點，建議可以用新鮮的種子進行水萃的方式來取得婀娜多色素，再倒入樹薯粉進行和麵染色，其效果較佳。
- (5)因使用染色製作成珍珠QQ，建議使用較無特殊氣味的紅麴粉其顏色變暗紫紅色來製作，但若能將接受婀娜多色素的青澀味，其製成珍珠QQ的顏色為橘紅色，再配成黑糖或糖漬珍珠來食用，應該會受到大眾青睞。


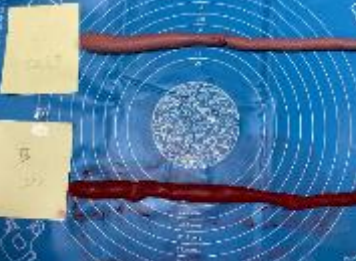










#### 〈染色應用二：糯米粉染色製成彩色湯圓〉

1. 實驗構想：我們會做湯圓是因為冬至吃湯圓有團圓的意思，傳統湯圓通常有白色跟紅色兩種，前陣子有爆發紅色色素蘇丹紅的食安問題，蘇丹紅是人工色素會致癌對身體有害，自然界中有許多天然食品有紅色色素成分，利用天然的紅色色素將湯圓染色相對使用人工色素是較為健康的，因此利用糯米粉進行染色比較其差異。
2. 製作步驟：
  - (1)先量好30克的糯米粉和3克色粉（人工色素為1克）。
  - (2)把兩種粉倒在一起，倒入飲用水並均勻攪拌。
  - (3)揉至表面光滑、不黏手，平分成小塊狀，比較未煮之顏色。
  - (4)搓成長條形，等量切成小塊，再搓揉成圓球，放入鍋中煮。
  - (5)沸水煮熟浮起，便可撈出觀察煮熟後顏色與嘗試口感。



### 3. 製作過程圖片：

〈本實驗表格及照片為作者自行繪製與拍攝〉

					
<p>圖6-7:麵團染色均勻表面油亮光滑，顏色鮮艷，增加食慾感受。</p>	<p>圖6-8:染色後的麵團搓成長條形</p>	<p>圖6-9:人工色素只用1克顏色很深，會染在手心裡</p>			
					
<p>圖6-10:切成等量的大小，放在手心搓成圓球形。</p>	<p>圖6-11:倒入沸騰水的鍋內，煮熟的湯圓浮起可撈出</p>	<p>圖6-12:呈現紅橘的六種彩色湯圓，很討喜。</p>			
					
<p>3甜菜根    5紅色色素    8胭脂樹籽    9火龍果    10洛神花    11紅麴粉 圖6-13:不同紅色色粉軟出的麵團顏色之差異</p>					
					
<p>圖6-14:揉成小團準備下鍋前的顏色</p>			<p>圖6-15:小團煮熟後的顏色較深</p>		

### 4. 結果發現：

- (1)5號人工紅色色素的顏色最鮮豔，顏色太深不自然，且是人工色素對人體有害。
- (2)洛神花湯圓吃起來微甜口味不錯(因為用洛神花糖漿製作)，但染色效果不佳。




- (3)胭脂樹籽染出的顏色偏橘色非紅色，且有黑色顆粒，因色粉是由乾燥的胭脂樹籽整顆研磨製成，黑色的部分為其果核，但吃起來有一種特殊的植物氣味(草味)。建議可以用新鮮的種子進行水草的方式來取得婀娜多色素，再倒入樹薯粉進行和麵染色，其效果較佳。
- (4)甜菜根、火龍果、紅麴粉染色效果相當討喜，粉紅及紅的表現，但紅麴粉湯圓看起來更有光澤，吃起來無特別的氣味，很適合作為天然染料。

### 〈染色應用三：中筋麵粉染色製成彩色麵包〉

- 實驗構想：在西式的麵包中我們常看到有草莓口味或是其他紅色的麵包，我們嘗試利用婀娜多和其他天然色素進行麵包的染色，比較其染顯色的效果。
- 製作步驟與配方
  - 準備中筋麵粉430g、鹽巴5g、白砂糖50g、雞蛋1顆、酵母粉6g的粉狀乾燥材料均勻混合。
  - 準備牛奶加上半顆蛋液(溫度控制在30-37度)分成六等分，再分別倒入天然色粉(紅麴粉、雞心朝天椒粉、婀娜多粉、甜菜根粉)3克，人工色粉(蘇丹紅和人工紅色色素40號)1克進行染色。
  - 將染色色粉的牛奶和麵粉粉末均勻揉捏成麵糰後，靜置30分鐘等待發酵大約2倍體積大。
  - 麵包以烤箱上下溫180度先預熱10分鐘後，麵團塗上半顆蛋液，再烤20分鐘，帶稍微冷卻後10分鐘，拿出烤箱，比較烤完之後的顯色效果與口感。

### 3. 實驗過程：

〈本實驗表格及照片為作者自行繪製與拍攝〉

		
圖6-16:用電子秤量色天然色粉	圖6-17:水溶液中倒入色粉攪拌	圖6-18:揉好的彩色麵糰
		
圖6-19:將麵團放置發酵	圖6-20:發酵完的麵團體積變大了	圖6-21:在烤箱中20分等待烤熟



#### 4. 結果發現---

(1)失敗中再嘗試，找到正確染色的方法。第一次染色時卻失敗了，找到原因是因為我們先揉麵團，之後再將色粉混入，卻發現再怎麼揉都無法將顏色均勻，且烤出來的顏色外觀不佳，較無法引起食慾。

(2)本實驗我們操作兩次，因為第一次染色的步驟方式錯誤。第二次成功染色了，修改步驟為先將色粉溶於液態的牛奶中，攪拌均勻後，再把麵粉倒入，揉成麵糰，如此一來就可把顏色揉均勻，靜置發酵後塗上蛋液，才能把麵團放入烤箱烤20分鐘，待稍微冷卻後10分鐘，拿出烤箱，這樣實驗就成功了。

(3)綜合以上的觀察，我們發現---

雞心朝天椒粉顏色濕麵團偏橘褐色，烘焙過後顏色變更淺。甜菜根粉揉入濕麵團及烘焙後顏色變淡，顯色不明顯。蘇丹紅濕麵團顏色為粉紅，但烘烤後顏色較為鮮豔紅色，因為過於鮮亮，外觀可明顯判斷為人工而非天然色素。人工紅色色素濕麵團時比較紅，烘焙後顏色會變淺一點點。婀娜多濕麵團時顏色比較深，烘焙後顏色比較淺。紅麴粉的顏色在濕和烤後都很顯色，前後改變差異不大。



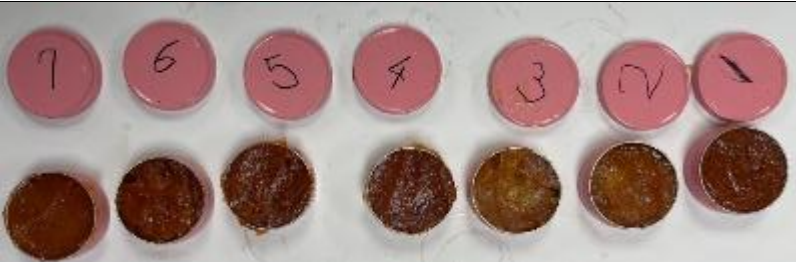


#### <染色應用四：護唇膏(口紅)製作>

1. 實驗構想:市面上有手工DIY唇膏及護唇膏，我們網路上找到製作的影片，利用其配方來將婀娜多色素染色，比較其顏色深淺之差異。
2. 準備材料:凡士林,基礎油(甜杏仁油),純精油(薰衣草、玫瑰天竺葵和檸檬精油)、馬口鐵盒
3. 操作步驟:
  - (1)利用電磁爐隔水加熱，在內鍋放入凡士林50g，慢慢融化，要注意避免溫度過高，過熱而變質。
  - (2)倒入5g甜杏仁油作為基礎油，增加滋潤性。
  - (3)倒入少量的胭脂樹籽磨成的粉末(其中帶有果仁，有細微黑顆粒)，攪拌均勻。
  - (4)最後依個人喜好，倒入純精油各三滴，調和氣味。
  - (5)利用攪拌棒挖取放置馬口鐵盒即可。

#### 4. 操作過程:

<本實驗照片為作者自行拍攝>

		
圖6-27:隔水加熱，婀娜多色粉與凡士林均勻攪拌	圖6-28:倒入甜杏仁油增加滋潤感及芳香精油味	圖6-29:盛裝到馬口鐵盒，攜帶方便隨時可使用
圖6-30: 調色過的胭脂樹籽護唇膏顏色偏橘黃色 (右邊由深到淺排列)		
圖6-31 放置冷卻後的胭脂樹籽護唇膏顏色漸漸變得橘紅，塗起來顏色不明顯		

#### 5. 結果發現:

- (1)因為配方中有薰衣草、玫瑰天竺葵及檸檬精油，聞起來很舒服，製作時整間教室充滿了芳香氣味，聞起來心情極好。

(2)剛挖入馬口鐵盒的顏色較淺為橘黃色；放置一個禮拜後，顏色變得更深，為橘紅偏暗紅色。擦起來有種子顆粒的，聞起來有起來有薰衣草、玫瑰天竺葵和檸檬精油的味道。色變得更深，為暗紅色。

(3)本次實驗所使用的乾燥婀娜多種子所研磨的色粉，因此擦起來有種子顆粒的，建議腳跟的滋潤霜或是磨砂膏使用。若要製成口紅或是護唇膏使用，建議使用新鮮的婀娜多種子，利用油粹的方式萃取出紅木素後再進行調和製成護唇膏，使用上較為細緻，且美觀。

#### <染色應用五：棉布婀娜多色素染>

1. 實驗構想:坊間有許多手工染的天然棉的衣著店，以往多用茜草根、檳榔、荔枝、鳳凰木、相思樹、月桃等天然植物素材染料可染出紅色系列的顏色，因此我們想嘗試使用婀娜多種子來進行染布，探究其染色的效果。

2. 實驗步驟:






(1)取新鮮胭脂樹籽倒入不鏽鋼鍋泡熱水煮，另一邊將胚布去漿(熱水加入小蘇打粉浸泡後，搓揉洗掉表面)

(2)將樣本布裁成7\*7公分的正方形及依據個人喜好用橡皮筋細綁；

(3)依據不同時間(間隔五分鐘取出，共16張80分鐘)分批進行染布，比較染布的顏色差異。

3. 實驗過程:

<本實驗照片為作者自行拍攝>

		
<p>圖6-32:用熱水將胚布表面去漿</p>	<p>圖6-33:胭脂樹籽煮出天然婀娜多色素</p>	<p>圖6-34:利用卡式瓦斯爐進行熱染</p>
		
<p>圖6-35:利用鑷子夾出染布的樣本布</p>	<p>圖6-36:不同時間染出來的深淺有差異</p>	



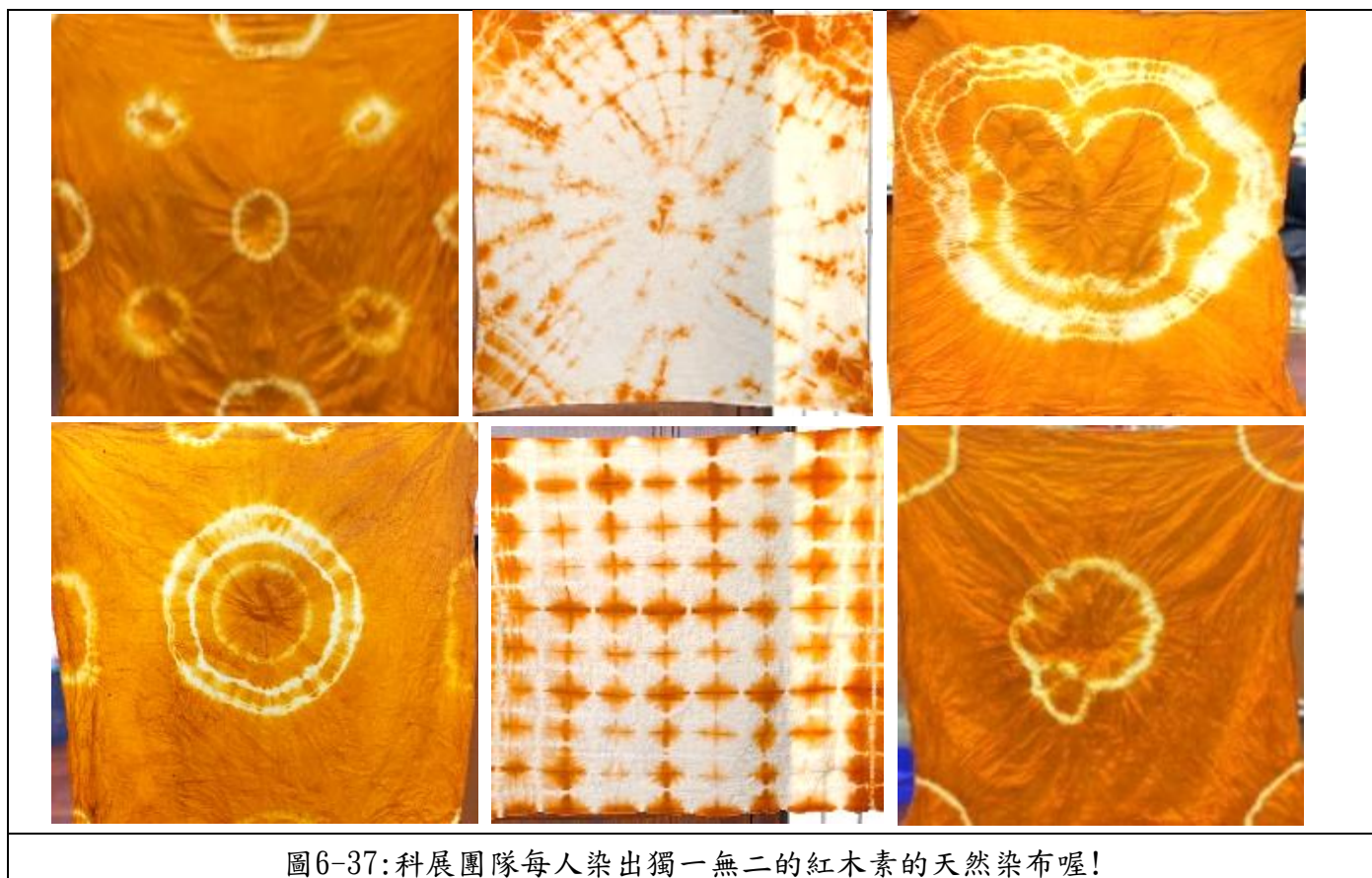


圖6-37:科展團隊每人染出獨一無二的紅木素的天然染布喔!

#### 4. 結果發現:

- (1)利用胭脂樹籽進行熱染水呈現的顏色為橘黃色，並非紅色，熱染時間越久，顏色便會越深，其顏色鮮艷飽和，非常適合用於紡織的染色，未來可嘗試不同的布料纖維進行其顯色的差異比較。
- (2)從文獻資料中找到原產地的南美洲、亞洲部分地區的傳統染布工藝應用植物染婀娜多色素可作為天然染料，在棉、絲綢、羊毛可吸附婀娜多色素，呈現橙紅色，若應用在皮革染色為天然上色，增加溫暖色調，其具有無毒環保，可取代化學合成染料，而且利用酸鹼調控顏色，可調整顯色，酸性偏橘黃，鹼性偏紅橙。

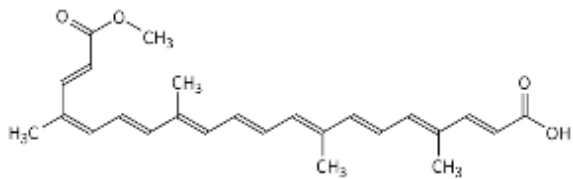
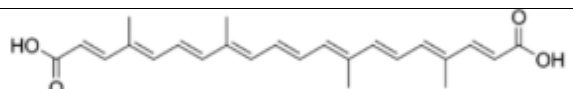
## 伍、問題與討論

### (一) 婀娜多(annatto)所提取的紅木素與降紅木素有何差異？

本研究利用胭脂樹籽(Annatto)中的紅木樹脂溶性色素進行生活應用。胭脂樹籽婀娜多(Annatto Seed)含有紅木素(Bixin)和降紅木素(Norbixin)是一種類胡蘿蔔素(carotenoid)，屬於雙萜類色素，可溶於油脂或鹼性水溶液，廣泛應用於食品、化妝品及天然染料。色素含量會受到品種、生長環境、加工方式等因素影響，其中其他的類胡蘿蔔素(如 $\beta$ -胡蘿蔔素、葉黃素)較少量(<5%)。下列為不同萃取方式的色素含量比較：

<本表格為作者自行文字整理繪製>

色素	化學式	分子量	萃取比例	特性	萃取方式	應用
紅木素 Bixin 橙紅色	$C_{25}H_{30}O_4$	394.51 g/mol	70%~80%	油性	有機溶劑萃取(油性)→植物油(如橄欖油、椰子油)	天然染料、食品色素
降紅木素 Norbixin 橙紅色	$C_{24}H_{28}O_4$	380.48 g/mol	20~30%	水溶性	鹼性水解(鹼水溶液)→碳酸鈉( $Na_2CO_3$ )或氫氧化鈉( $NaOH$ )溶液	飲料、乳製品、pH指示劑



紅木素 Bixin	
降紅木素 Norbixin	 <p>→ 少了一個甲基酯基(<math>-COOCH_3</math>)</p>

### (二) 胭脂樹籽色素作為天然添加物在生活上的應用有哪些？

婀娜多(Annatto)色素因其天然、安全且顏色鮮豔，廣泛應用於食品、化妝品、紡織染色等領域。透過多元應用，婀娜多展現了其作為健康天然色素的廣泛潛力，可作為人工色素的優質替代方案，還能促進更健康、自然且永續的生活方式，成為現代市場中備受關注的天然色素來源。分析如下---

<本表格為作者自行文字整理繪製>

應用類別	使用說明
食品與藥品應用 🍲💊	1. 作為天然食用色素，可賦予起司、奶油、飲料、零食、醬料等食品鮮豔的金黃色或橙紅色，提升視覺吸引力且耐熱穩定。 2. 在南美洲與亞洲傳統醫學中，婀娜多被用作抗氧化劑與草藥療法，應用於保健食品與膠囊補充品，以保護細胞免受自由基傷害，促進健康。
化妝品與個人護理 💄💧	1. 廣泛運用於天然美妝與個人護理產品。其脂溶性色素適合作為口紅、腮紅、粉底與眼影的天然染料，使妝感更自然。

	2. 添加於洗髮精、護髮油、肥皂與防曬產品，不僅能提供色澤，還能幫助護色與保護肌膚，適合追求無人工色素的消費者。
紡織與布料染色 	1. 婀娜多色素具有良好的附著力與穩定性，因此被廣泛應用於棉、絲綢、羊毛等紡織品的天然染色，提供溫暖的橙紅色或金黃色調。 2. 可用於皮革與木材染色，作為環保型天然染料，透過酸鹼調節改變顏色，為傳統與現代染布技術提供多樣化的應用可能。
藝術創作與工藝應用 	1. 可作為天然顏料、蠟筆、粉蠟筆與水彩的成分，適用於兒童無毒畫材與傳統植物染色工藝。 2. 用於木雕、家俱染色與紙張裝飾，透過調整溶劑與染色方式，創造不同層次的紅橙色調，使其成為結合自然與藝術的可持續色彩選擇。

### (三) 天然胭脂樹種籽提取婀娜多色素對環境永續及推廣層面有哪些？

胭脂樹籽婀娜多色素是天然可再生的資源，與許多合成色素相比，其生物可降解性更強，對環境影響較小，對有機農業和綠色生產非常有利，促進了有機種植和生產的推廣。建議從消費者進行關於天然色素和其健康益處的教育，並通過宣傳活動提高消費者對天然產品的認識。目前台灣南部零星有部分種植，但民眾大多不知如何應用，唯獨台東農改場有小規模經濟栽培模式(有機農業的契作方式)，透過農改場的研究，也推廣到原鄉部落種植，結合在地風味料理，成為帶動台東慢食生活及休閒農業發展的地景作物。本研究的推廣期待可以透過種植的生產履歷過程中取得有機、環保等認證，連結食品、化妝品及紡織品品牌可與天然色素供應商合作，開發和推廣以胭脂樹籽色素為基礎的創新產品，提升品牌形象。推動消費者對天然色素的信任，並促進可持續生產的擴展和健康趨勢中擁有重要地位。

## 陸、結論

### (一) 探討市面上常見的天然蔬果紅色色素與化學人工紅色色素之差異

本實驗探討市售及天然紅色色素的性質與差異，並進行濾紙色層分析以了解其溶解性與色彩表現。市售常見的人工紅色色素如紅色40號及2024年曾被非法添加的蘇丹紅，皆為化學粉末，色澤鮮豔且用量極少即可染出強烈紅色。這兩者皆為脂溶性，且粉末細緻，但在使用石油醚與丙酮9:1的展開液進行濾紙色層分析時，無法有效顯色，推測其分子特性或溶解度限制其在該系統中的表現。

天然色素方面，本研究分析了匈牙利紅椒粉、雞心朝天椒粉、自製辣椒粉、胭脂樹紅（婀娜多）與紅麴粉等脂溶性色素，以及甜菜根粉、火龍果粉和洛神花粉等水溶性色素。結果顯示，脂溶性色素在展開液中能顯示色層，其中椒紅素的 $R_f$ 值介於0.46至0.53，胭脂樹紅的 $R_f$ 值約為0.35；而水溶性色素在該展開液中無法展開，需以其他方法如TLC分析較為適合。自製的天然色素粉因研磨顆粒較大、色澤偏橘紅或橘黃，整體色彩表現不如市售產品鮮豔。



此外，透過CMYK色票比對顏色發現，紅色色素多由洋紅（M）與黃色（Y）組成，若顏色偏深則黑色（K）比例上升，偏紫紅時則青色（C）比例增加。我們藉此進行色彩深淺與偏色的量化分析，協助更準確地評估各色素呈現的色調與飽和度，作為天然色素應用與辨識的依據。

## **(二)探討胭脂樹籽在不同溶劑(蒸餾水、95%酒精、丙酮、甘油、芥花油、豬油)與不同溫度(20度、40度、60度、80度、100度)顏色改變之差異**

實驗發現，婀娜多種子初始多沉澱，僅甘油因比重不同使其浮起，靜置一天後皆下沉。色素溶解度與外觀因溶劑不同而異，純水呈橘黃色不透光，酒精與丙酮透光且分別為橘紅與深紅，甘油與大豆油黏稠不透光，豬油則凝結白色固狀物。綜合結果顯示，溫度影響顯示，色素在 60-80℃ 時顏色加深且穩定，但 100℃ 以上會變淺，以避免顏色變淺或降解。丙酮因低沸點（56℃）易揮發，因此不建議高溫使用。

## **(三)探討胭脂樹籽萃取液在酸鹼性水溶液下顏色改變之差異**

胭脂樹籽Annotto色素在接近中性至弱鹼性環境（pH=7-8）時呈現最穩定的發色形式，顯示較深的紅色；在酸性環境（如鹽酸pH=1.0）下，紅木素以質子化形式存在，顏色會變淺，呈現黃橙色。當遇到強鹼性環境（如漂白水pH=11.2）時，次氯酸鈉或次氯酸會與紅木素反應，氧化並破壞其結構，導致顏色永久褪色或變淺。總體而言，婀娜多色素最佳顯色在中性或微鹼性條件下，呈現橘紅色，雖然其顏色會隨酸鹼變化，但由於無規律的顏色變化，不適合作為酸鹼指示劑。

## **(四)探討胭脂樹籽萃取液在照光(UV)及氧化後顏色改變之差異**

本實驗發現，紅木素在接觸氧氣、光照（UV）及氧化劑（H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>）後，顏色變淺，並在瓶底形成黏稠沉澱，顯示其易受氧化與降解。根據文獻，紅木素因具有長共軛雙鍵結構，在氧氣或UV光照下發生降解反應，產生小分子產物（如醛、酮），導致色素穩定性降低。因此，紅木素在食品加工與應用時應存放於避光、低氧環境，以維持色澤穩定。本實驗結果亦可作為紅木素在光敏感色素應用（如天然防曬劑、抗氧化物質）方面的參考。

## **(五)探討胭脂樹籽萃取液的色層分析與光譜分析**

本實驗使用丙酮：石油醚 = 1:9 作為展開溶劑，發現其具揮發性與吸熱性，操作時需快速且避免接觸，以免影響試驗精確度。此外，透過薄層層析（TLC）測試紅木素的 R<sub>f</sub> 值，成功樣本分別為 0.356 與 0.290，結果與文獻中紅木素在該溶劑系統下 0.10-0.30 的範圍相近，確認其為類胡蘿蔔素紅木素（Brazilein）。進一步以光譜分析記錄其最大吸收波長（λ<sub>max</sub>）在 400-550 nm，對應其橙紅色外觀，與文獻中 Annotto 色素（450-500 nm）相符，顯示本實驗方法可應用於食品或化妝品色素的穩定性測試。



## (六)探討天然胭脂樹籽之婀娜多脂溶性色素的生活應用(食物染色、口紅製作、染布)

婀娜多色素在染色應用中有多種創新方法，主要應用於食品、化妝品和纖維染色等領域。在製作珍珠QQ時，使用不同的染色材料如蘇丹紅、雞心朝天椒、人工紅色色素及婀娜多色素，能帶來不同的顏色效果，然而婀娜多色素使用乾燥種子粉時會帶有黑色小顆粒，建議使用新鮮種子水萃取後的色素來獲得更好的染色效果。糯米粉染色製作彩色湯圓中，婀娜多色素的橙色偏向自然，雖然乾燥種子會有果核和草味，但水萃後效果較佳。中筋麵粉染色製作彩色麵包時，婀娜多色素會使麵團呈現深色，但烘焙後顏色變淺，而紅麴粉則保持較穩定的顏色。製作護唇膏時，乾燥婀娜多種子粉的顏色會變暗紅，使用新鮮種子則能獲得較為細緻的效果。在纖維染色方面，婀娜多色素為橙黃色，熱染後顏色鮮豔，適合用於紡織品染色，並且可以通過調整酸鹼度來改變色調，進一步提升其環保和無毒的優勢。這些多樣的應用展現了婀娜多色素在天然染料中的潛力，提供了多種創新的染色方法。

## 柒、參考文獻資料

1. 何必人工色素？胭脂樹天然婀娜多. (n.d.). <https://www.newsmarket.com.tw/blog/83564/?Authuser=0>.
2. 著色劑-婀娜多. (n.d.). <https://www.sinlong-food.com.tw/product-detail-1173757.html?Authuser=0>.
3. 美麗背後的殘酷 腥紅的胭脂紅 素食者要當心！. (n.d.). <https://www.suiis.com/info/article/596?Authuser=0>.
4. 天然的最好！水萃法萃取胭脂樹，天然色素運用範圍廣. (n.d.). <https://www.foodnext.net/science/additives/colorant/paper/5234569400?Authuser=0>.
5. Annatto Oil / Achiote Oil. (n.d.). <https://www.youtube.com/watch?v=pnizyImgYCA>.
6. 【爆點新聞】紅色天然色素是用蟲蟲(胭脂蟲)做的？. (n.d.). [https://www.youtube.com/watch?v=xP\\_yRuky0w4](https://www.youtube.com/watch?v=xP_yRuky0w4).
7. 吃番茄醬=吃蟲？「胭脂紅色素」揭密. (n.d.). <https://www.youtube.com/watch?v=uLDZenNuKUY>.
8. 【TVBS】「胭脂紅」色素來自蟲！ 專家：適量對人體無害. (n.d.). [https://www.youtube.com/watch?v=9z4x\\_atuFQA](https://www.youtube.com/watch?v=9z4x_atuFQA).
9. [植藝佳]胭脂樹 種莢 有一種紅叫胭脂紅,美極了!! (n.d.). <https://www.youtube.com/watch?v=XMZ8I0jL1uU>.
10. 紅木/胭脂樹 Lipstick Tree. (n.d.). <https://www.youtube.com/watch?v=6y6qXYWtJ1A>.

11. 什麼是天然色素？和食用色素的差別是什麼？. (n.d.). <https://Blog.Yuzupatisserie.Tw/2020/03/27/about-Food-Coloring>.
12. 食用色素來源及管理規範. (n.d.). <https://Www.Superlab.Com.Tw/Pigments/>.
13. 【生活裡的科學】20180302 - 食用色素真面目. (n.d.). <https://Www.Youtube.Com/Watch?V=BI0zKMNFvdE>.
14. 臺大醫院【健康營養補給站】天然食物的魔法師 植物色素. (n.d.). <https://Www.Youtube.Com/Watch?V=0bUaRnnMHpk>.
15. 農業部台東區農業改良場 添加食品好顏色-胭脂樹. (n.d.). [https://www.ttdares.gov.tw/theme\\_data.php?theme=news&sub\\_theme=news&id=7170](https://www.ttdares.gov.tw/theme_data.php?theme=news&sub_theme=news&id=7170)
16. 認識植物 胭脂樹. (n.d.). <http://kplant.biodiv.tw/%E8%83%AD%E8%84%82%E6%A8%B9/%E8%83%AD%E8%84%82%E6%A8%B9.htm>.
17. 自然實驗教室 高中生物 活動10 光合作用. (n.d.). <https://www.kut.com.tw/pdf/%E6%B4%BB%E5%8B%9510%E5%85%89%E5%90%88%E4%BD%9C%E7%94%A8.pdf>.
18. *Classic Roucou by Uncle Clyde in Paramin, Trinidad & Tobago*  $\pi$  *In De Kitchen*. (n.d.). <https://Www.Youtube.Com/Watch?V=OWoXNqoC3T4>.
19. 全國中小學科學展覽會 > 歷屆優勝作品. (n.d.). <https://Twsf.Ntsec.Gov.Tw/Article.Asp?A=41&lang=1>.
20. 陳敬文, 陳盈方, 吳菁菁. 2018. 婀娜多姿的胭脂樹. 林業研究專訊, 142, 10-13
21. 陳盈方, 陳敬文, 2022. 胭脂樹天然色素婀娜多姿萃取技術. 臺東區農業專訊, 121, 5-7

## 【評語】 080207

1. 本實驗使用丙酮：石油醚 = 1:9 作為展開溶劑，但可再利用不同比例或者不同溶劑組合也許可帶出更豐富的分離效果。
2. 該組合分析方法適合國小層級操作，兼顧基礎實驗技能訓練與儀器應用啟蒙，易於推廣至教學或科普應用。
3. 色層分析（濾紙層析）可分離不同色素成分，光譜分析則可定量吸光度與波長，兩者互補，讓結果更具說服力。觀察到  $R_f$  值與 450-500 nm 之間的吸收波段，與文獻報導一致，提升結果的可信度，也驗證了胭脂樹籽紅木素的特性。
4. 僅針對短期內的顏色表現進行觀察，未評估長期保存後的穩定性與色素可能的脫落問題，也缺乏食品安全性完整驗證。

作品海報



搶救 紅木色素 危機---

胭脂樹籽 **Annatto** 紅木色素 應用之探究





## 一、研究動機

2024 年蘇丹紅食安事件引發對紅色色素的關注，因其鮮豔色彩能促進食慾，常被添加於食品中，但卻對健康有危害。因此我們想較常見紅色色素色素可分為人工與天然紅色色素兩種，並且依溶解性區分為水溶性與脂溶性。校園內有兩棵胭脂樹，其種皮含有橘紅色的婀娜多(Annatto)色素，嘗試以水萃與油萃後比較色素的穩定性，並觀察其對酸鹼值、溫度、光照與氧化的反應，也嘗試應用於食材染色、化妝品製作與布料染色，探索其可行性。期待透過本研究提升對天然色素的認識，減少對人工添加物的依賴，培養健康飲食觀念，並推廣安全、自然的色素應用方式。

## 二、研究目的

- (一)探討市面上常見的天然蔬果紅色色素與化學人工紅色色素之差異。
- (二)探討胭脂樹籽在不同溶劑(蒸餾水、95%酒精、丙酮、甘油、大豆油、豬油)與不同溫度(20度、40度、60度、80度、100度)顏色改變之差異。
- (三)探討胭脂樹籽萃取液在酸鹼性水溶液下顏色改變之差異。
- (四)探討胭脂樹籽萃取液在照光(UV)及氧化後顏色改變之差異。
- (五)探討胭脂樹籽萃取液的色層分析與光譜分析。
- (六)探討天然胭脂樹籽之婀娜多脂溶性色素的生活應用(食物染色、口紅製作、染布)。

## 貳、研究材料與設備

- 一、設備：研磨機、紫外光燈、電磁爐、蔬果烘乾機、可調溫熱水浴鍋、溫度計、Vernier Go Direct Specttavis Plus光譜儀、微量天秤、燒杯、量筒、色卡、攪拌棒、鐵鍋、湯勺、白色瓷盤、燒杯、試管(瓶)
- 二、材料：市售紅色色粉(蘇丹紅四號、人工紅色色素40號、紅麴粉、甜菜根粉、雞心辣椒粉)、紅色蔬果(甜菜根、火龍果、洛神花、紅辣椒)、各式溶液(純水、95%酒精、丙酮、甘油、大豆油、豬油)、丙酮、石油醚、條狀濾紙、植物油(甜杏仁油)、精油(薰衣草、玫瑰天竺葵、檸檬)、馬口鐵容器。

## 參、研究設計、過程與結果

### 一、實驗架構圖

<實驗架構圖學生自行繪製>

實驗一:常見天然與人工紅色色素之比較

搶救“紅色危機”

胭脂樹籽Annatto紅木素色素應用之探究

實驗二: 胭脂樹籽在不同溶劑(蒸餾水、95%酒精、甘油、大豆油、豬油)與不同溫度溫度(20度、40度、60度、80度、100度)對於婀娜多色素萃取之差異

實驗三: 胭脂樹籽萃取液在酸鹼性水溶液下顏色改變之差異

實驗四:胭脂樹籽顏色萃取後照(UV)及氧化後顏色改變之差異

實驗五: 胭脂樹籽萃取液的色層分析與光譜分析

實驗六:天然胭脂樹籽之婀娜多脂溶性色素的生活應用  
(食物染色、口紅製作、染布)

### 二、實驗過程與結果

#### 實驗一：探討市面上常見的天然蔬果紅色色素與化學人工紅色色素之差異

1.實驗設計:我們購買及自製11種天然蔬果色粉與人工的紅色色素進行外觀及顏色、色票、濾紙色層分析、外觀及使用上的差異比較。

3.常用天然/人工化學紅色色素或色粉之比較表格 <照片：學生自拍或手繪;表格EXCEL繪製>

名稱	1匈牙利紅椒粉(市售)	2雞心朝天椒粉(市售)	3甜菜根粉	4蘇丹紅4號	5水溶性紅色色素40號	6市售乾辣椒層成粉	7自種朝天椒粉	8胭脂樹紅(婀娜多)	9火龍果粉	10洛神花粉	11紅麴粉(市售)
食物原形 (手繪)											
色票	dp4深紅橙色	s4強紅橙色	dk2暗紅色	dk2暗紅色	dk2暗紅色	dk4暗紅橙色	s4強紅橙色	dp4深紅橙色	sf24軟紅紫色	dp24深紅紫色	dk4暗紅橙色
CMYK值	20 80 100 20	20 70 90 0	40 70 55 35	40 70 55 35	40 70 55 35	35 65 70 30	20 70 90 0	20 80 100 20	0 72 43 0	0 100 65 47	35 65 70 30
濾紙色層分析Rf值	0.53	0.46	無法測出	無法測出	無法呈現	0.49	0.51	0.35	無法呈現	無法呈現	無法呈現
天然色素組成	槲紅素(脂溶性)	槲紅素(脂溶性)	甜菜紅素 甜菜黃素(水溶性)	親脂性偶氮化合物(脂溶性)	人工化學成色(水溶性)	槲紅素(脂溶性)	槲紅素(脂溶性)	婀娜多色素(脂溶性)	花青素(水溶性)	花青素(水溶性)	紅麴素(脂溶性)
外觀描述	粗粗的，有一點橘紅色粉末，類似土色。	顏色較鮮艷，有一點白白的粉末(辣椒籽)。	有一點酒紅色加紫色有一顆一顆的，摸起來像黏土。	很像深偏咖啡的顏色，有一粒一粒的顆粒狀。	細小的粉末很紅，有一點亮亮的。	有一顆一顆的顆粒，偏橘紅色的粉末。	偏淺橘紅色，顆粒明顯，香味更濃郁。	橘紅色中夾雜了一點黑色，細細的。	鮮艷的粉紅色，粉末很小，有一點綿綿的粉末(綠果皮)。	粉偏暗紫紅色，粉末顆粒明顯較粗，有酸酸的氣味。	有一點紫紫的深粉色，粉末非常小。
溶解水的顏色											

- (2)天然色素如辣椒粉、胭脂樹紅(婀娜多)等為脂溶性，甜菜根粉、火龍果粉等則為水溶性，水溶性色素難以用本實驗條件檢測，建議使用TLC方法較為明顯。部分自製樣本因研磨粗糙，色澤偏橘紅不鮮明。
- (3)實驗中脂溶性色素的Rf值約介於0.46至0.53之間，婀娜多色素約為0.35。水溶性花青素與甜菜根色素因不適用此展開液無法順利測得，顯示不同溶解性對色層分析結果有顯著影響。
- (4)透過CMYK色票比對紅色色素，發現主要由洋紅(M)與黃(Y)構成橘紅色，若色彩偏深則黑(K)值上升，偏紫紅時則有青色(C)參與。此法有助於進一步判斷色素色調與飽和度變化。

#### 實驗二：探討胭脂樹籽在不同溶劑與不同溫度萃取婀娜多色素顏色改變之差異

1.設計構想:我們嘗試利用六種不同浸泡液(純水、95%酒精、甘油、丙酮、大豆油、豬油)來溶解出婀娜多的紅色色素，並利用隔水加熱(室溫20度、40度、60度、80度、100度)浸泡30分鐘，比較其顏色是否有差異。

2.製作方法:

- (1)將當季新鮮的婀娜多3克種子放入玻璃試管瓶中
- (2)將六種溶液(A:純水、B:95%酒精、C:丙酮、D:甘油、E:大豆油、F:豬油)利用滴管倒入瓶子，水位到達瓶口時將瓶蓋蓋緊。
- (3)使用溫奶器及電磁爐隔水加熱20分鐘,觀察在常溫下20度、40度、60度、80度、100度觀察顏色及外觀等差異。

### 三、文獻回顧

<文獻資料表格由學生自行整理繪製>

(一)紅色色素用途、來源及使用上的差異:

類型	來源	用途	使用差異與限制	潛在風險
天然紅色色素	- 紅麴(發酵) - 紅椒提取物 - 紅甜菜素 - 蝦紅素	- 食品著色 - 飲料、甜品 - 肉類加工品	- 天然來源，安全性高 - 色澤較淡，穩定性不及人工色素	- 過敏反應(少見)
人工紅色色素	- 胭脂紅苯甲酸衍生物(Ponceau 4R) - 覓菜紅偶氮染料	- 糖果、果凍 - 飲料和糕點	- 廉價、穩定性高 - 需符合食品安全標準，過量使用可能被禁止	- 可能致過敏或誘發哮喘等問題
工業紅色染料	- 偶氮類化合物-蘇丹紅	- 工業著色 - 鞋油、地板蠟、塑料等	- 嚴禁用於食品 - 不當業者違法添加食品中增色澤	- 致癌風險(肝腎受損膀胱癌)

(二)水溶性與脂溶性的天然紅色色素:

類別	紅色色素名稱	來源或特徵	用途
水溶性	紅花素(Carmine)	蟲體提取物(蟲紅素)	食品、化妝品、藥品
	甜菜素(Betanin)	甜菜根	食品飲料、保健品
	花青素(Anthocyanin)	蔬果(如藍莓、葡萄)	食品飲料、化妝品
脂溶性	紅麴素(Monascus Red)	紅麴發酵產品-紅麴米	食品、保健品
	婀娜多(Annatto)	胭脂樹種子中提取	食品、化妝品
	辣椒紅素(Capsanthin)	辣椒	食品、化妝品
	番茄紅(Lycopene)	番茄、紅色水果	食品、保健品

(三)胭脂樹籽與婀娜多色素

胭脂樹(Bixa orellana Linn.)，英文名：Bixa orellana，又稱紅木、紅椒樹、阿娜豆。屬胭脂樹科(Bixaceae)，胭脂樹屬(Bixa)。原產地為熱帶美洲，現廣泛栽培於南美、東南亞及台灣南部。每年秋天開花結果，花朵為粉紅色，呈密集的圓錐花序，開花期為10月至隔年1月；果實為紅色三角形(雞心形)蒴果，外表密被肉質軟刺，賞果期在12月至隔年2月，全臺皆適合種植。婀娜多色素(Annatto，Bixin和Norbixin)在全球多數國家被認為是天然且安全的著色劑可於多類食品中使用，需明確標示為“Annatto”。<下方圖片來源取自網路 kplant 認識植物-胭脂樹>



(四)歷屆科展作品參考相關資料:

歷屆科展(屆數/年份)	作品主題	關鍵字
2012 年臺灣國際科學展覽會 國中組化學科	薑黃素的特性及其在生活上之應用研究	薑黃素、抗氧化 抑菌作用
中華民國第51屆中小學科學展覽會 高職組生物科	紅鳳菜對麵條色澤及感官品質影響之研究	紅鳳菜、花青素 感官品評
中華民國第51屆中小學科學展覽會 國小組化學科	在地色水—染出「蕨」色	蕨類、染布、酸鹼

#### 2.實驗過程紀錄

<實驗照片：學生自拍>

剝取校園種植的胭脂樹籽	蔬果烘乾機來低溫乾燥蔬果
乾燥後利用研磨機來研磨	利用篩網過濾出細緻的色粉

#### 4.結果發現:

(1)紅色40號與蘇丹紅為坊間常見化學紅色色素，化學粉末非常細緻，用量極少即呈鮮紅色，色澤過於鮮豔且不自然。兩者為細緻粉末，脂溶性強，使用石油醚與丙酮9:1的展開液進行色層分析時無法顯現結果。

#### 3.實驗過程紀錄：

<實驗照片：學生自拍>

用微量天秤量出3克的婀娜多種子	利用滴管將液體滴進玻璃試管瓶	新鮮的婀娜多種子沉澱在平底，搖晃後色素慢慢溶解。
計時20分鐘使用溫度計測量	利用溫奶器最高60度	100度沸騰滾燙隔水加熱



裝瓶當下		A 純水	
20 度		B 95% 酒精	
40 度		C 丙酮	
60 度		D 甘油	
80 度		E 大豆 油	
100 度		F 豬油	

<實驗照片：學生自拍>

4.四種酸鹼水溶液的滴定後顏色改變情形 <表格：EXCEL自行繪製> 觀察其顏色改變情形。

水溶液	鹽酸	醋	澄清石灰水	漂白水
pH	1.0	3.1	9.7	11.2
當下顏色變化	濃鹽酸在底部，婀娜多浮在上方分兩層，有細微的泡泡。	婀娜多快速分解於醋水中，產生大量的泡泡往上。	婀娜多緩緩的分解於澄清石灰水中。	婀娜多漂浮在漂白水上，顏色快速變淺。
放置一天	溶液變成不透明的橘黃色均勻分布。	橘色物體沉澱，微透明的淡橘色。	變成不透明的深橘色，顏色明顯。	顏色變淺橘，有淺橘色物體沉澱。
放置一周	溶液變成不透明的橘黃色均勻分布。	大量橘色物體沉澱，液體呈現微透明的淡橘色。	變成不透明的深橘色，顏色明顯。	水溶液顏色呈現透明澄清，有白色物體沉澱在瓶底。

4.結果發現：

- (1)剛盛裝水溶液時，大多數的婀娜多種子會沉澱，只有甘油的會浮起，經均勻搖晃放置超過1天後，種子皆下沉。
- (2)純水溶解後，顏色橘黃色類似紅蘿蔔汁，不透光；酒精和丙酮會透光，但丙酮為深紅色，酒精呈現橘紅色；甘油和大豆油較為黏稠不透光，顏色橘黃，豬油會有凝結成白色固狀物。
- (3)婀娜多色素在溫度40、60、80度顏色越深橘紅，較為穩定，不變色。在加熱至100度之後反而會變淺橘，不建議加熱至100度使用。唯獨丙酮沸點為56度，高溫加熱瓶內的液體會沸騰滾燙,慢慢蒸發減少，發現後便將丙酮取出不再加溫，避免揮發出有害物質。

### 實驗三：探討胭脂樹籽萃取液在酸鹼性水溶液下顏色改變之差異

- 1.實驗設計：許多天然的色素對於酸鹼很敏感，容易變色，其酸鹼有規律顏色的變化可製成酸鹼指示劑，因此探究胭脂樹籽水萃婀娜多色素在不同酸鹼pH值水溶液下顏色是否改變。
- 2.實驗步驟：
  - (1)準備四種不同酸鹼度的水溶液，分別為鹽酸、醋、澄清石灰水和漂白水。
  - (2)倒入塑膠試管瓶中約1/3量，進行簡易酸鹼實驗；
  - (3)使用滴管，吸取鹼水萃的婀娜多溶液 (Ph=7.8)分別滴入四種酸鹼水溶液，
- 3.實驗過程紀錄：

<實驗照片：學生自拍>

準備生活中常見的四種酸鹼水溶液	不同水溶液倒入塑膠試管瓶中檢測其pH值	試管滴定水萃婀娜多色素，觀察其顏色變化
滴定兩次水萃胭脂樹籽	放置一天後，顏色有改變	放置一周後，顏色更有差異

5.實驗結果：

- (1)婀娜多色素在接近中性至弱鹼性(Ph=7-8)時，紅木素處於最穩定的發色形式，呈現較深的紅色。
- (2) 鹽酸pH=1.0屬於高度酸性環境顏色會偏淺，呈現較淺的黃橙色。這是由於它在不同的pH 值下與氫離子的互動會改變其結構，進而影響其顏色。
- (3) 漂白水pH=11.2，水中的次氯酸鈉(NaOCl)或次氯酸(HOCl)會與紅木素發生氧化反應，破壞結構，使顏色永久性褪色、變淺 或失去原本的色澤。
- (4)婀娜多色素最佳顯色是以中性或是微鹼性的液體來進行水萃溶液，呈現出橘紅色，其化學結構不同酸鹼會產生變色，但因無規律顏色變化之差異，不可作為酸鹼指示劑。

### 實驗四：探討胭脂樹籽萃取液在照光(UV)及氧化後顏色改變之差異

- 1.實驗設計：天然色素容易受到氧化及光照的影響,產生顏色變淡，因此我們將水萃及油萃後的婀娜多色素，放在玻璃試管瓶進行紫外線燈的照射以及放在燒杯中不加蓋，觀察三天後其顏色的變化。
- 2.實驗步驟:
  - (1)將依據以下兩種方式進行水萃與油萃胭脂樹籽的色素：

<表格：EXCEL自行繪製>

油溶性萃取	水溶性萃取
取10克胭脂樹籽放入50mL植物油中→加熱至40~50℃並攪拌10分鐘，待色素溶解至油中→過濾去除籽殼，保留紅橙色的油溶液。	取10克胭脂樹籽，放入50mL 5%碳酸鈉溶液中→加熱並攪拌10分鐘，使紅色素溶解析出→過濾後獲得水溶性色素溶液。

- (2)實驗組→紫外線燈進行照射(20W光效最高亮款365nm波長)，紙箱內照射1-5天；對照組→報紙包覆放在小紙箱不照射任何光線進行比較。
- (3)每日固定時間取出進行拍照，確認照射UV及在開放燒杯內氧化的情形進行記錄。

4.實驗結果：

- (1)色素顏色變淺，底部會有一團團疑似色素成膠狀沉澱在底部(黏稠狀)，發現紅木素具有長共軛雙鍵，容易受到氧化劑(未蓋瓶蓋，空氣接觸)或光照(UV紫光)影響，發生降解反應，化學反應式如下：  
 $C_{25}H_{30}O_4 + O_2 \rightarrow \text{小分子降解產物 (如短鏈醛、酮等)} + C_{25}H_{30}O_4 + O_2$
- (2)紅木素在接觸氧氣、光照 (UV)、過氧化氫 (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 之後，會造成紅木素降解，其原本橘紅色的顏色變淡或消失，影響紅木素在食品加工過程中的穩定性→建議存放於避光、低氧環境。來研究紅木素作為光敏感色素的應用 (如天然防曬劑、抗氧化物質)。

### 實驗五：探討胭脂樹籽萃取液的色層分析與光譜分析

<實驗照片：學生自拍>

圖5-1:2*40cm的長條濾紙剪成末端剪成尖狀	圖5-2:利用石油醚：丙酮，以9：1比例調配展開液	圖5-3:在長條濾紙片尖狀處上量3cm滴3次色素萃取液
圖5-4:光合色素層析分離裝置圖 <b>本圖非自行繪製</b> ，其檔案取自網路資料-自然實驗室 高中生物 活動10 光合作用	圖5-5:將色層分析片包住量筒上方開口，以免揮發。待操作完成後，取出測量Rf值。 <b>&lt;X Y圖說為作者自行繪製&gt;</b>	

- 1.實驗設計: 利用溶劑對不同物質有不同的溶解度及吸附力，藉此分離和鑑定胭脂樹籽紅木素色素的成分。色素與濾紙的附著力越大，移動距離越小；色素與濾紙的附著力越小，移動距離越大。藉由Rf值=色素上升距離/展開液上升距離，確認紅木素為一種類胡蘿蔔素。另外使用Go Direct® SpectroVis Plus 分光光度計分析胭脂樹籽萃取液的光譜特徵，確定主要吸收波長。
- 2.實驗步驟:
  - (1)取乾燥的胭脂樹籽的色粉浸泡至丙酮，因色素屬脂溶性有機物,使用 90%丙酮做為萃取液。
  - (2)調配展開液以石油醚：丙酮以9：1的比例混合而成20毫升。
  - (3)將長條形濾紙剪成如左圖的1.5公分的底端尖狀。
  - (4)利用滴在濾紙條離尖端 3cm 處,滴上萃取液,待乾後再滴(避免點的面積過大)，點的面積愈小愈好。
  - (5)利用展開液放入容器中，上方放入長條濾紙,進行色層分析。
  - (6)另外，將利用純水、丙酮、大豆油萃取的婀娜多萃取液放入Go Direct® SpectroVis Plus 分光光度計儀器中,進行光譜分析，利用軟體確認婀娜多的吸收波長。



4.結果發現：

- (1)石油醚和丙酮是具揮發性有機溶液，配製展開液若接觸皮膚會感到冰涼，屬吸熱反應，因此操作需迅速且小心。

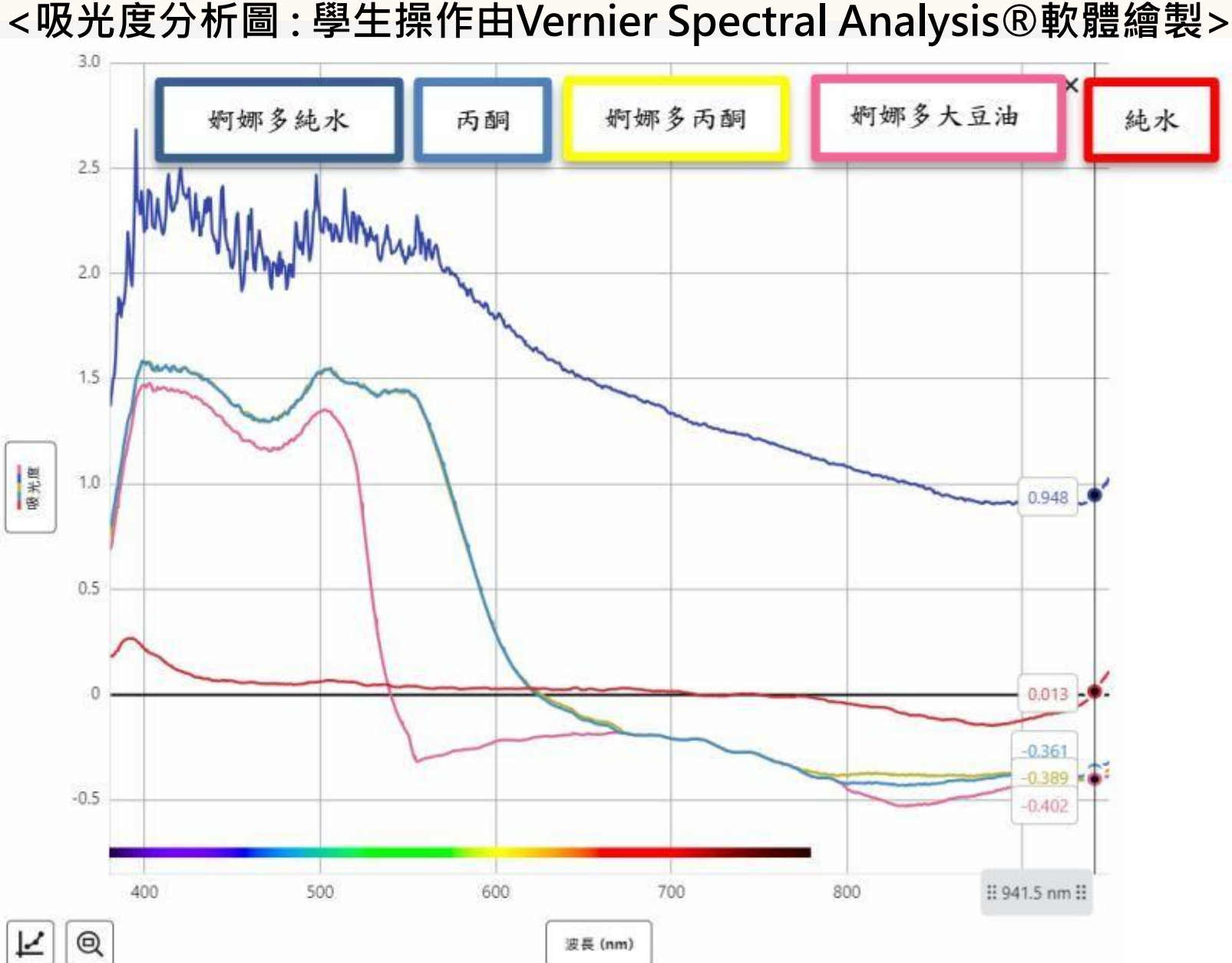
(2)透過長條濾紙測量色素分離距離，計算Rf值=X/Y分別為0.356與0.290，與文獻中紅木素在丙酮:石油醚=1:9條件下的Rf值（0.10~0.30）相符，推測為紅木素Brazilein。

(3)紅木素的最大吸收波長(λmax)為400-550 nm，對應橙紅色外觀，與類胡蘿蔔素的吸收範圍（約450~500 nm）接近，本實驗可應用於食品或化妝品色素穩定性測試。

<實驗照片：學生自拍>



操作光譜儀進行操作實驗

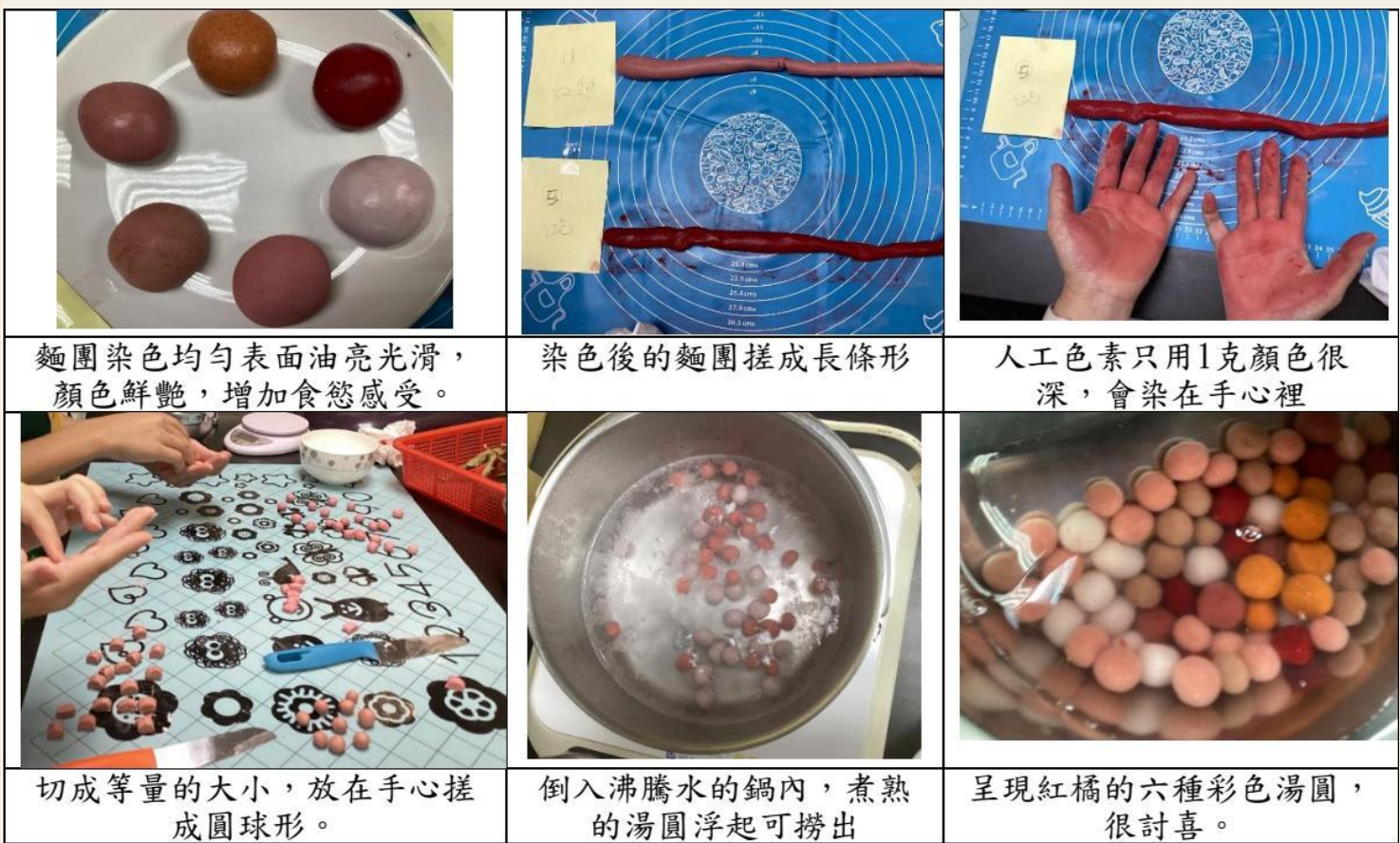


透過軟體分析純水、丙酮、大豆油萃取的婀娜多萃取液吸光度

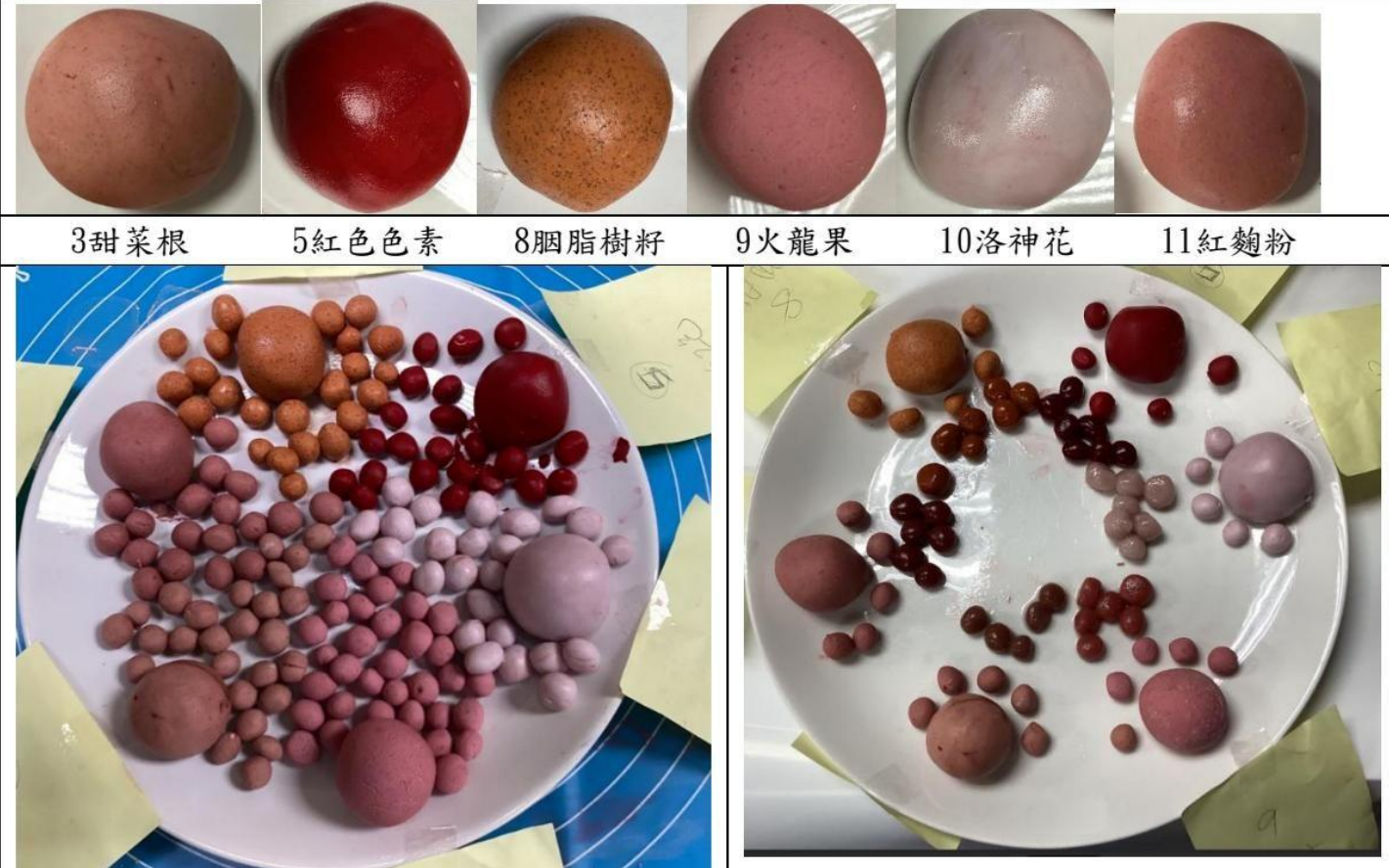
實驗六：探討天然胭脂樹籽婀娜多脂溶性色素的生活應用(食物染色、口紅製作、染布)

<實驗照片：學生自拍>

<染色一：樹薯粉製成珍珠QQ>



<染色二：糯米粉製成彩色湯圓>



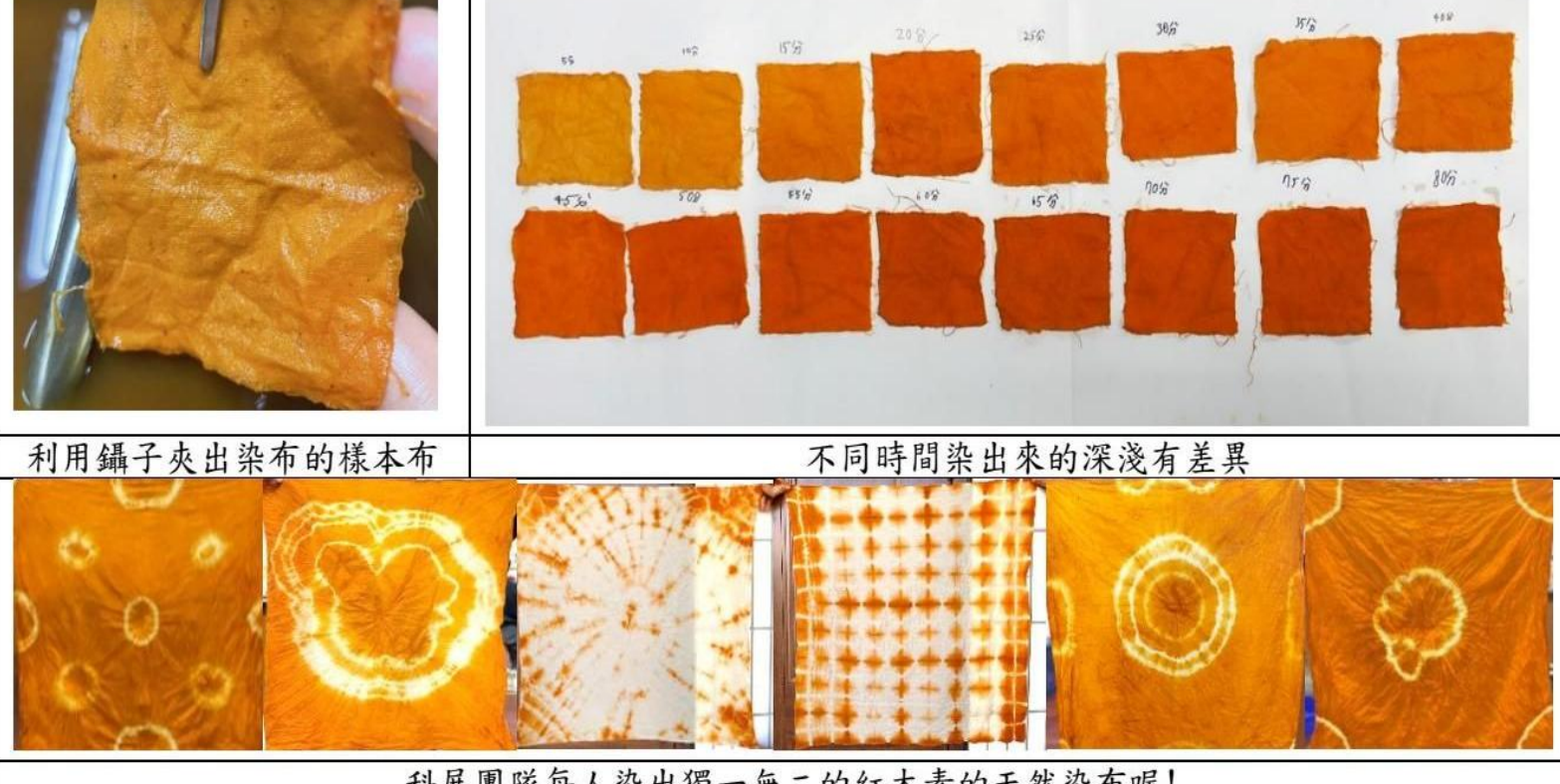
<染色三：中筋麵粉製成彩色麵包>



<染色四：護唇膏(口紅)製作>



<染色五：染布>



2.結果發現：

- (1)食品染色呈橘紅色、五彩繽紛有賣相。

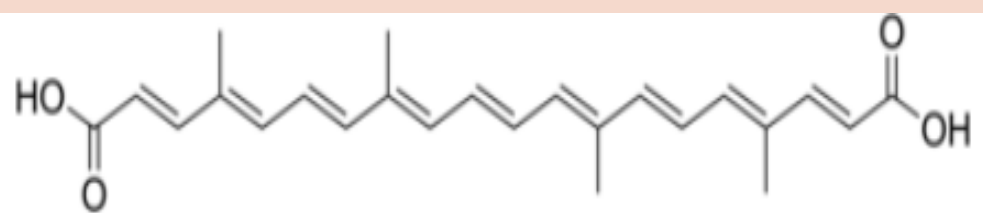
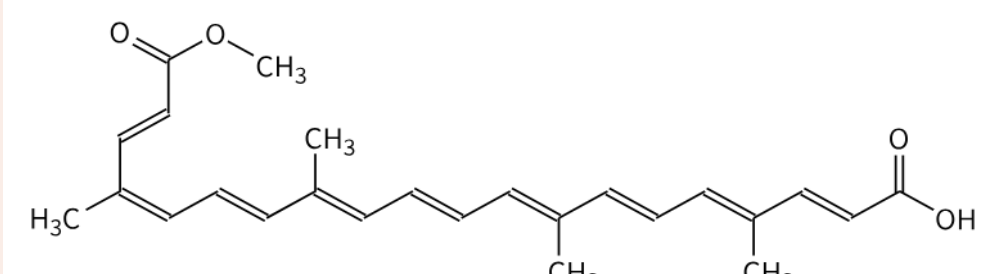
(2)化妝品建議使用新鮮種子油粹取出紅木素後再進行調和製成；乾燥婀娜多種子所研磨具有種子顆粒，建議腳跟的滋潤霜或是磨砂膏使用。

(3)紡織染布以熱染呈現橘紅色，浸泡時間越久顏色越深，呈現顏色飽和!

肆、問題與討論

(一) 婀娜多所提取的紅木素與降紅木素有何差異？

胭脂樹籽 ( Annatto Seed ) 中主要色素為紅木素 ( Bixin ) 與降紅木素 ( Norbixin )，兩者皆為雙萜類的類胡蘿蔔素，但在結構、溶解性與應用面有所差異。

色素	化學式	分子量	萃取比例	特性	萃取方式	應用
紅木素 Bixin	$C_{25}H_{30}O_4$ 	394.51 g/mol	70%~80%	脂溶性	有機溶劑萃取（油溶性）→植物油（如橄欖油、椰子油）	天然染料 食品色素
降紅木素 Norbixin	$C_{24}H_{28}O_4$  → 少了一個甲基酯基（-COOCH <sub>3</sub> ）	380.48 g/mol	20~30%	水溶性	鹼性水解（鹼水溶液）→碳酸鈉（Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ）或氫氧化鈉（NaOH）溶液	飲料、乳製品、pH指示劑

<表格：EXCEL學生自行整理繪製>

(二) 胭脂樹籽色素作為天然添加物在生活上的應用有哪些？

- 1.食品領域：常見於起司、奶油、糕點、糖果等，提供穩定的橘紅色調且不影響風味→標示為天然來源及健康意識。

2.化妝品製程：用於護唇膏、腮紅等產品，除顏色自然外，也提供天然植萃形象。

3.紡織染色：作為植物染料使用於布料染色，具環保與文化價值，色澤溫潤且不具刺激性。

4.永續替代：其低毒性與生物可降解特性→人工色素的可行替代方案，符合現今市場對天然與環保產品的需求。

(三) 天然胭脂樹籽色素對環境永續與推廣層面有何貢獻？

- 1.環境友善：婀娜多色素具天然、可再生、生物可分解等特性，友善環境，符合綠色化學原則，尤其適合有機農業導向。

2.產地發展：台東農改場的契作模式及推廣至原鄉部落的實例，顯示其可成為在地產業與慢食文化的結合點，有助於地方創生。

3.教育與推廣：強化消費者對天然色素認識與選擇意識，有助於建立信任感，促進市場對天然產品的接受度與購買意願。

4.產業鏈整合：建議透過食品、化妝品、紡織品牌與天然色素供應商合作，導入認證制度（如有機、環保標章）建立可追溯的生產履歷，發展具識別度的創新商品。

伍、結論

(一) 天然與人工紅色色素差異

本實驗比較人工與天然紅色色素，發現人工色素如紅色40號與蘇丹紅，雖用量極少卻顏色鮮豔。天然色素婀娜多等脂溶性色素Rf值約為0.35~0.53。色票CMYK分析顯示，紅色色素主要由洋紅與黃色構成，色深則與黑色比例有關。

(二) 胭脂樹籽色素在不同溶劑與溫度下的變化

不同溶劑會影響色素溶解度與呈色，丙酮與酒精效果較佳；溫度影響色澤穩定性，以60-80℃最適，超過100℃色澤易退，丙酮因易揮發不宜高溫使用。

(三) 胭脂樹籽色素在酸鹼環境下的變化

婀娜多色素在中性或微鹼性環境下顯色最佳，呈橘紅色；酸性使色素變淺，強鹼則可能破壞結構，導致褪色，不適合作為酸鹼指示劑。

(四) 胭脂樹籽色素在光照與氧化下的變化

紅木素易受氧氣、UV光與氧化劑影響而變淺或分解，降低穩定性，需避光、低氧保存，具應用於光敏感產品的潛力。

(五) 色層與光譜分析

使用丙酮：石油醚=1:9可有效分離紅木素，Rf值與文獻相符；光譜分析顯示吸收峰在400–550 nm，適用於天然色素的鑑別與穩定性測試。

(六) 胭脂樹籽色素的生活應用

婀娜多色素可用於食品、護唇膏及纖維染色，具天然、安全、可調色等優點；使用新鮮種子萃取可提升染色品質，展現多元應用潛力。

陸、參考文獻

1. 【生活裡的科學】20180302 - 食用色素真面目. (n.d.). <https://www.youtube.com/watch?v=BI0zKMNFvdE>.

2. 何必人工色素？胭脂樹天然婀娜多. (n.d.). <https://www.newsmarket.com.tw/blog/83564/?Authuser=0>.

詳細參考資料  
如作品報告書