

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學科(二)

082907

「果」然出「色」：天然藍與黃的色彩碰撞---從植物到環保顏料的轉化之旅

學校名稱： 二信學校財團法人基隆市二信高級中學

作者：	指導老師：
小六 王思翹	蔡博宇
小六 簡宇晴	
小六 周念穎	
小六 李昕玗	
小六 林苡瞳	
小六 蘇品叡	

關鍵詞： 植物性色素、天然顏料應用、 色彩穩定性分析

摘要

研究探討蝶豆花（青花素）與薑黃（薑黃素）兩種天然色素在不同天然添加劑與劑量下的色彩穩定性。實驗分為三部分，分別針對藍色色素、黃色色素與藍黃混色進行測試，在固定色粉用量下，分別加入蜂蜜、牛膽汁與阿拉伯膠三種添加劑，設五種劑量梯度（1~5 平匙），共製備 375 組樣品。每組樣品皆以色差儀測定 CIE LAB 色彩空間中 B 值（藍-黃軸偏向），作為穩定性指標。結果顯示：蝶豆花色素偏藍性穩定，以第 3 平匙效果最佳，牛膽汁穩定性最高；薑黃偏黃穩定，第 2 平匙最鮮明，牛膽汁與阿拉伯膠中劑量表現佳；混色組整體偏黃，蜂蜜與牛膽汁穩定性良好。整體而言，第 2 至第 3 平匙為最佳添加範圍，可提升天然染料的穩定性與應用性。

壹、前言

一、研究動機

在地球環境問題日益嚴重、永續議題備受重視的今日，如何從日常生活中減少化學污染、實踐環保理念，已成為全球共同關注的課題。觀察國小課程中常用的美術顏料，我們發現多數市售顏料皆為化學合成，內含分散劑、甘油、糊精等添加物，部分甚至含有揮發性有機物或重金屬，不僅對環境造成潛在污染，也可能對使用者健康構成風險，特別是在學齡兒童接觸時更需審慎考量。

因此，研究希望從「顏料來源」的角度出發，嘗試以天然植物為原料，製作不含化學添加物的天然色粉，並透過添加食用級天然添加劑（如阿拉伯膠、牛膽汁與蜂蜜）進行調製，使其兼具實用性與環保性。這些成分皆為天然來源，即使誤食亦無安全疑慮，對兒童友善、對環境友善，實踐真正的「從源頭減害」。

我們期待透過本研究，發展出兼具色彩表現力與安全性的植物顏料配方，為教育現場、美術活動乃至食品、文創等領域提供一種綠色、無毒、可持續的替代方案，為地球盡一份心力，從小地方做出改變。

二、研究目的

本研究旨在探討天然植物色素—蝶豆花中的青花素（藍色色素）與薑黃中的薑黃素（黃色色素）在不同天然添加劑與劑量條件下的色彩穩定性與偏色表現。透過分別添加蜂蜜、牛膽汁與阿拉伯膠三種天然物質，並設定五種濃度梯度，評估其對色素在 CIE LAB 色彩空間中 B 值（藍-黃軸）的影響程度，進而找出最適宜的穩定條件與配比方式。此外，亦進行藍黃混色測

試，以模擬實際應用情境下的色彩變化與控制策略。期望本研究結果能為天然色素在食品、美術與教育等領域的應用提供更具科學依據的選材與調色參考，並推廣環保且低敏的自然染料使用。

(一) 實驗分為三個階段進行：

1. **藍色階段**：以蝶豆花為主體，測試其在不同天然添加劑與劑量條件下的 B 值表現與色彩穩定性。
2. **黃色階段**：以薑黃為主體，進行相同設計條件之實驗，觀察其作為黃色色素的 B 值表現與色彩穩定性。
3. **混色階段**：將蝶豆花與薑黃進行比例混合，並分析其色彩融合後之 B 值變化、色彩穩定性與偏色現象。

(二) 添加物設計與測量方式：

本研究於每階段皆加入三種天然添加劑：牛膽汁、阿拉伯膠與蜂蜜，各設計五個劑量梯度（1~5 平匙），分析其對 B 值的變化，探討對**色彩穩定性**及**色彩表現**的影響。實驗全程採用色差儀測量 LAB 色彩數據，聚焦於 B 值（正值偏黃，負值偏藍）之變動，確保分析結果具備客觀性與可重現性。

研究目的如下：

- 探討天然添加劑的比例，對蝶豆花與薑黃色素單獨及混合時，**色彩穩定性**之影響。
- 透過分析 B 值，建立色素在單獨情況下，呈現**最偏藍色**及**最偏黃色**顏料的天然添加劑比例。
- 透過分析 B 值，探討色素在**混合**時，色彩呈現偏**藍色**及**黃色**的情況。

三、文獻回顧

(一) 天然色素原料：

1. 蝶豆花（*Clitoria ternatea*）

屬於豆科植物，其花瓣富含花青素（Anthocyanins），特別是 Ternatin 類型，是一種具高度抗氧化性的水溶性色素。蝶豆花提取物具有強烈的藍紫色，且對 pH 值極為敏感，在酸性環境中呈紅紫色，於鹼性環境中則轉為鮮明藍色甚至藍綠色。這種特性使蝶豆花成為天然藍色色素的代表。然而，花青素對熱、光與氧氣極為敏感，易產生色彩退化或褪色，因此需透過添加劑以提升其色素穩定性與實際應用價值。

2. 薑黃（*Curcuma longa*）

是一種多年生草本植物，常見於亞洲地區的料理與傳統藥用領域，其主要色素為薑黃素（Curcumin）。薑黃素在酸性至中性環境中呈現鮮明的黃色，並具有一定的抗氧化與抗發炎作用。然而，薑黃素的色穩定性會受到光照、pH 值與添加物質等因素影響，因此在實際應用中需搭配添加劑進行保色與延展性處理。

3. 天然添加劑:

為提升蝶豆花與薑黃天然色素的穩定性，本研究引入三種天然來源的添加劑進行濃度梯度測試：

(1) 阿拉伯膠（Arabic Gum）

阿拉伯膠為天然植物樹脂，主要成分為多醣與糖蛋白。具良好的黏著性、成膜性與分散穩定能力，可防止色素快速沉降或不均擴散。在實驗中，阿拉伯膠被設計為穩定劑，其作用包括：

- 延緩顏料乾燥，避免龜裂；幫助色料均勻附著在基材（如紙張）。
- 改善色澤光澤度與視覺飽和性。

(2) 牛膽汁（Ox Gall）

牛膽汁為傳統水彩顏料常用添加劑，含天然膽鹽，具界面活性與乳化能力，能有效改善色素粒子的潤濕與分散狀態。在實驗中，牛膽汁被用作流動性調節劑，其效果包含：

- 提升色素在液體中的均勻分佈。
- 增強顏料鋪展性，避免局部沉澱。

(3) 蜂蜜 (Honey)

蜂蜜的功能包括：

- 增強色素在介質中的滑順度。
- 提升顏料顯色亮度與透明感。

4. 色彩分析方法：CIE LAB 色空間與色差儀應用

CIE LAB 色彩空間是國際通用的色彩數值標準，透過三維座標表示顏色屬性：

- L 值 (Lightness)：亮度，範圍為 0 (黑) 至 100 (白)。
- A 值：紅 - 綠軸，正值偏紅，負值偏綠。
- B 值：黃 - 藍軸，正值代表偏黃，負值代表偏藍。

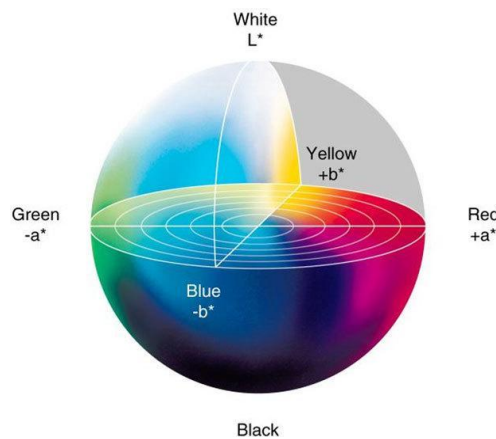


圖 1-1 LAB 三軸座標圖

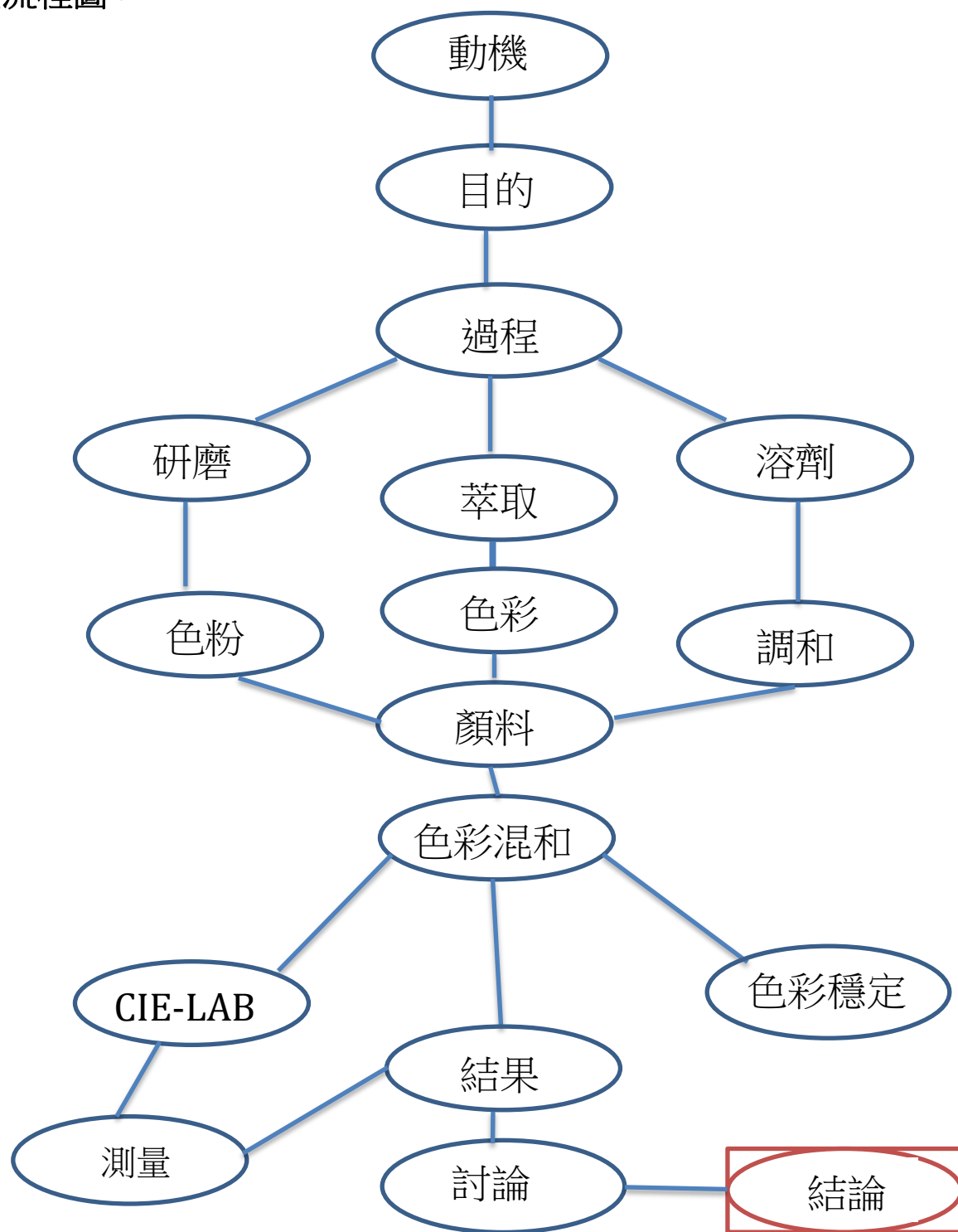
5. 色差儀用途與測量原理

色差儀為光學測量儀器，能精確測量樣品表面反射光強度，並自動計算出 LAB 值。透過對樣品與標準色的比較，可得出：

- ΔL (亮度差)、 ΔA (紅綠差)、 ΔB (黃藍差)
- ΔE ：綜合色差指標，數值越大代表差異越明顯

本研究大量使用色差儀測量樣品 LAB 值，可提升實驗的客觀性、可重現性與數據分析深度，亦可為天然顏料科學應用建立標準化依據。

實驗流程圖：



貳、研究設備與器材

一、實驗用具：

實驗材料					
研磨機 圖 2-1				牛膽汁 圖 2-6	
LAB 色差儀 圖 2-2				阿拉伯膠 圖 2-7	
玻璃杵 圖 2-3				蜂蜜 圖 2-8	
乾燥 蝶豆花 圖 2-4				薑黃 圖 2-9	
畫筆 圖 2-5				畫冊 圖 2-10	

磅秤 圖 2-11			
--------------	---	--	--

參、研究過程與方法

一、實驗前準備與設計:



(一) 色粉製作

實驗進行前，我們首先將乾燥後的植物樣品（蝶豆花與薑黃）研磨成細粉。若直接使用完整的乾燥植物，將無法與阿拉伯膠、牛膽汁及蜂蜜等添加成分充分混合，進而難以形成穩定的顏料。因此，透過細緻研磨處理，可使色素粉末均勻，提升其與各添加劑的融合效果，順利製備出可用於後續實驗的天然顏料樣本。每次實驗統一使用**兩平匙**色粉，確保各組配方在用量上的一致性，使觀察結果更具可比性與準確性。

1. 天然色素原料:

	
圖 3-1 蝶豆花	3-2 薑黃

2. 製作顏料粉末：

	
3-3 蝶豆花粉末	3-4 薑黃粉末

(二) 天然添加物劑量設計及換算

在實驗各階段中，我們分別加入三種天然輔助材料：牛膽汁、阿拉伯膠與蜂蜜，每種設計**五個劑量梯度（1~5 平匙）**進行混合實驗，觀察不同劑量對顏料**色彩穩定性**及**色彩表現**的影響。

為提升數據準確性與可重現性，本研究亦紀錄每一平匙的實際重量如下：

- 牛膽汁：1 平匙 \approx 1.5 克、阿拉伯膠：1 平匙 \approx 1.6 克、蜂蜜：1 平匙 \approx 2.5 克

天然色素部分則統一使用：

薑黃粉：1 平匙 \approx 0.7 克

蝶豆花粉：1 平匙 \approx 0.5 克

(三) 各添加物功能

- 牛膽汁：可提升顏料的流動性與混合均勻性，使顏色更容易塗抹與分佈。
- 阿拉伯膠：能增加顏料的光澤與透明度，並延緩乾燥速度，使色彩層次更豐富。
- 蜂蜜：可讓顏料更加滑順鮮豔，並防止顏料龜裂與褪色，提升整體視覺效果。

(四) 天然顏料製作流程

在製作天然顏料時，本研究採用依序添加阿拉伯膠、牛膽汁與蜂蜜的順序，主要基於各添加物的物理性質與其對混合穩定性的影響。首先加入阿拉伯膠，其具有良好的黏著性與包覆能力，能在色素周圍形成穩定的膠體結構，進一步提升色素的穩定性與保存效果。接著加入牛膽汁，其作為天然界面活性劑，能有效提升色素的分散性與液體流動性，有助於後續成分的均勻融合。最後再加入蜂蜜，因其含有高濃度糖類且黏稠度高，若過早加入可能妨礙其他成分的混合與溶解。因此，將蜂蜜置於最後加入，有助於避免干擾其他添加物的作用，並發揮其保濕與抗氧化等輔助穩色效果。此添加順序有助於提升整體顏料的色彩表現與穩定性。

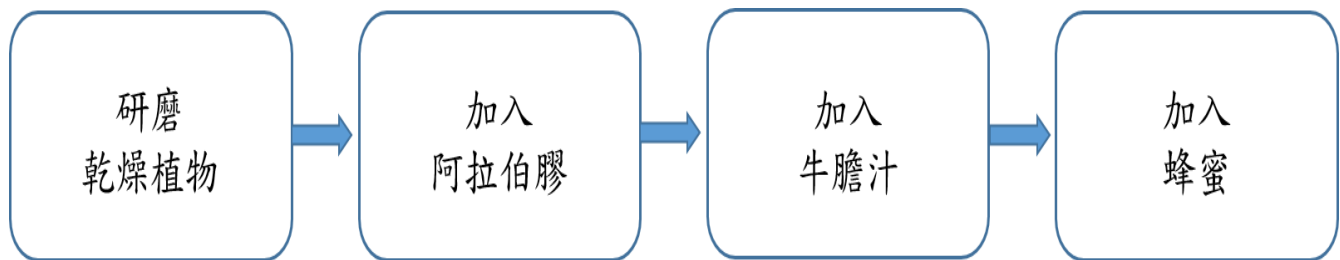


圖 3-5 天然顏料製作流程圖

(五) 操作標準化

為確保色彩數據的準確性與可重現性，研究在測量顏料的 B 值時，選擇將顏料塗佈於紙面並完全乾燥後進行分析，而非直接測量容器中液態顏料。此作法主要基於幾項考量。首先，顏料最終多應用於紙張或布料上，將其塗佈於紙面可更貼近實際使用情境，反映實際色彩表現。其次，液態顏料在容器中容易因厚度、氣泡、沉澱或液面反光等因素導致光線干擾，進而影響測量準確性。

在實驗過程中，為確保色彩測量的準確性與一致性，研究採用三支畫筆同時塗佈製作完成的天然顏料，並盡可能控制相同的施力強度、塗抹速度與操作時間，以減少因人為操作產生的誤差，提升實驗結果的重現性與信效度。

當將每種比例畫完後為了達到色彩測量的準確性，我們會使用色差儀量測出每種比例所畫出的三條色彩 B 值並進行平均取得平均數，以達到量測數據的準確性。

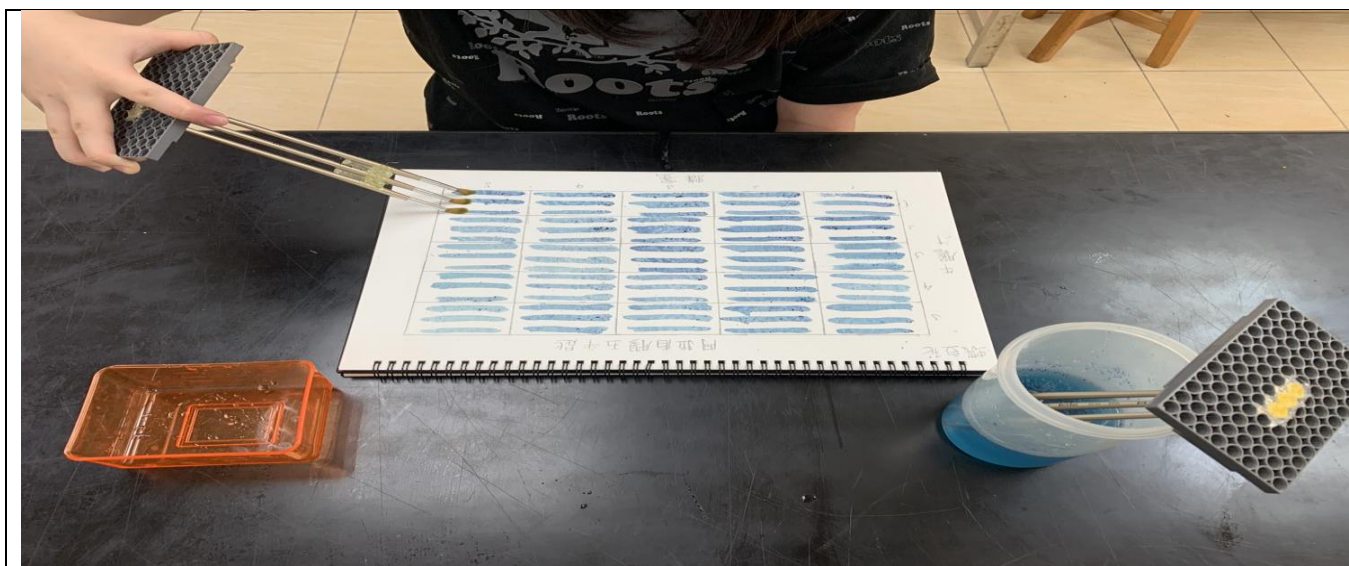


圖 3-6 將顏料用三支筆平塗在紙張上

(六) 顏色測量與記錄

我們將使用色差儀測量顏料的色彩數據，並紀錄其在 CIE LAB 色彩空間中的 B 值。B 值為用來判斷顏色偏藍或偏黃的重要指標：

- B 值為正數：表示顏色偏黃

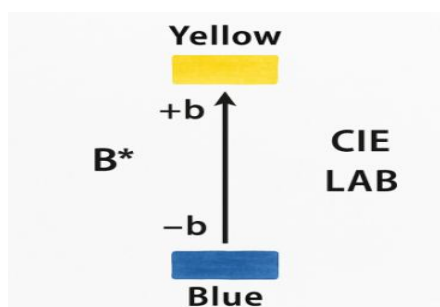


圖 3-7 LAB(B 值)線性圖

- B 值為負數：表示顏色偏藍

此外，我們也進行了蝶豆花與薑黃的混色實驗。將兩者依比例混合後，色彩由藍與黃轉為綠色系，而其 B 值則會介於正負之間，反映出藍黃混色所產生的偏色效果。我們藉此分析不同條件下混色的色彩表現與穩定性。






實驗分為三階段：分別針對蝶豆花、薑黃及兩者混合樣品進行測試。每階段皆固定色粉比例，並設計五種劑量梯度，總計完成 375 組樣品，並以色差儀量測 CIE LAB 值中的 B 值，作為顏色偏藍或偏黃的依據。

實驗一：


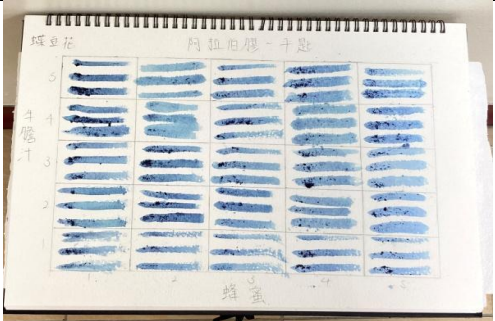
以蝶豆花為主體，測試其在不同天然添加劑與劑量條件下的 B 值表現與色彩穩定性。


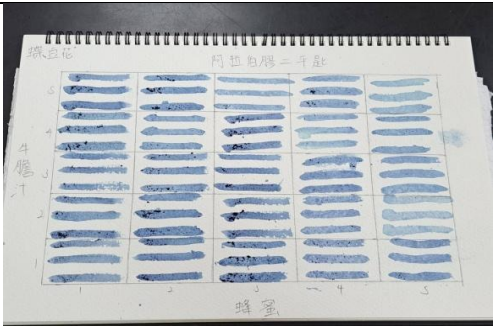



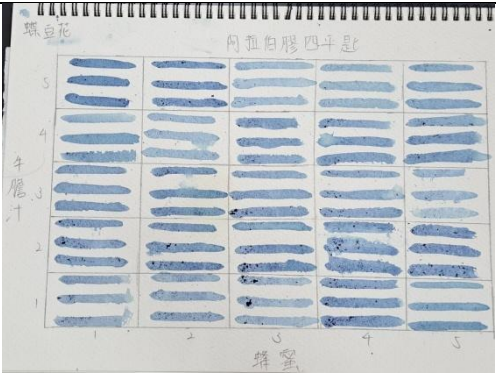
探討天然色素蝶豆花在添加三種不同劑量的天然添加劑後，CIE LAB 色彩空間中 B 值（藍 - 黃軸）的表現差異，分析於不同劑量條件下對色彩偏色趨勢的影響，建立一套科學化的天然顏料分析模式。


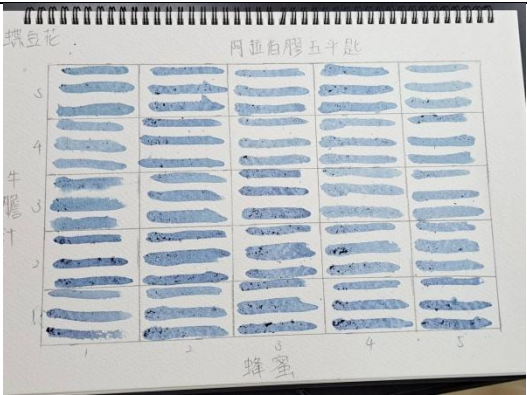
蝶豆花的藍 LAB(B 值)實驗：

				
圖 3-8	圖 3-9	圖 3-10	圖 3-11	圖 3-12
加入粉末	加入阿拉伯膠	加入牛膽汁	加入蜂蜜	混合所有原料

蝶豆花天然顏料及紙張上的呈現：

	
圖 3-13 蝶豆花的藍	圖 3-14






<p>粉末:阿拉伯膠 =2 : 1</p>	<p>繪製圖</p>
	
<p>圖 3-15 蝶豆花的藍</p> <p>粉末:阿拉伯膠 =2 : 2</p>	<p>圖 3-16</p> <p>繪製圖</p>
	
<p>圖 3-17 蝶豆花的藍</p> <p>粉末:阿拉伯膠 =2 : 3</p>	<p>圖 3-18</p> <p>繪製圖</p>
	
<p>圖 3-19 蝶豆花的藍</p> <p>粉末:阿拉伯膠 =2 : 4</p>	<p>圖 3-20</p> <p>繪製圖</p>

	
<p>圖 3-21 蝶豆花的藍 粉末:阿拉伯膠 =2 : 5</p>	<p>圖 3-22 繪製圖</p>

實驗二:

以薑黃為主體，進行相同設計條件之實驗，觀察其作為黃色色素的 B 值表現與色彩穩定性。

薑黃的黃 LAB(B 值)實驗：

				
<p>圖 3-23 加入粉末</p>	<p>圖 3-24 加入阿拉伯膠</p>	<p>圖 3-25 加入牛膽汁</p>	<p>圖 3-26 加入蜂蜜</p>	<p>圖 3-27 混合所有原料</p>

薑黃天然顏料及紙張上的呈現：



圖 3-28 薑黃的黃
粉末:阿拉伯膠 =2 : 1

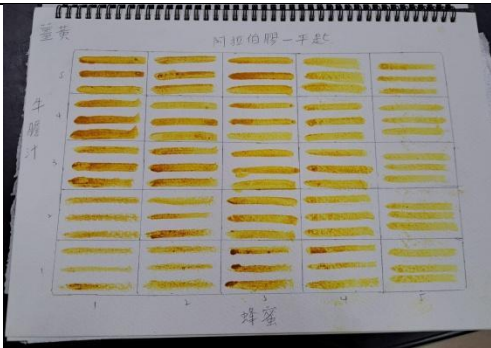


圖 3-29
繪製圖



圖 3-30 薑黃的黃
粉末:阿拉伯膠 =2 : 2




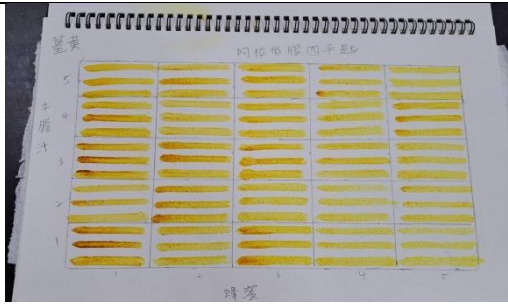

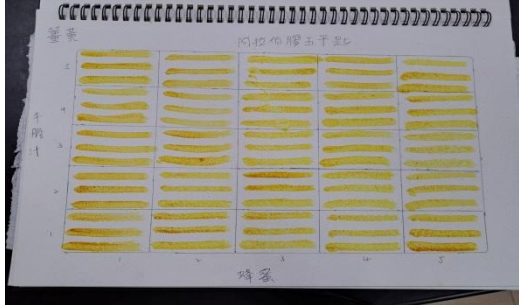
圖 3-31
繪製圖



圖 3-32 薑黃的黃
粉末:阿拉伯膠 =2 : 3



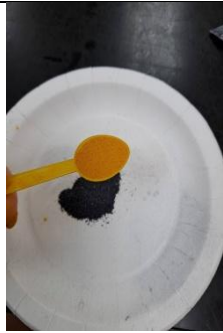




圖 3-33
繪製圖

	
<p>圖 3-34 薑黃的黃</p> <p>粉末:阿拉伯膠 =2 : 4</p>	<p>圖 3-35</p> <p>繪製圖</p>
	
<p>圖 3-36 薑黃的黃</p> <p>粉末:阿拉伯膠 =2 : 5</p>	<p>圖 3-37</p> <p>繪製圖</p>

實驗三:

將蝶豆花與薑黃進行比例混合，並分析其色彩融合後之 B 值變化、色彩穩定性與偏色現象。

蝶豆花的藍及薑黃的黃混合 LAB(B 值)實驗：

				
<p>圖 3-38</p> <p>加入粉末</p>	<p>圖 3-39</p> <p>加入阿拉伯膠</p>	<p>圖 3-40</p> <p>加入牛膽汁</p>	<p>圖 3-41</p> <p>加入蜂蜜</p>	<p>圖 3-42</p> <p>混合所有原料</p>

混合天然顏料及紙張上的呈現：



圖 3-43 蝶豆花藍+薑黃的黃
粉末:阿拉伯膠 =2 : 1

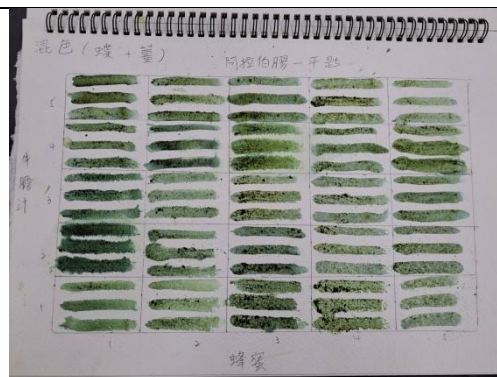


圖 3-44
繪製圖



圖 3-45 蝶豆花藍+薑黃的黃
粉末:阿拉伯膠 =2 : 2

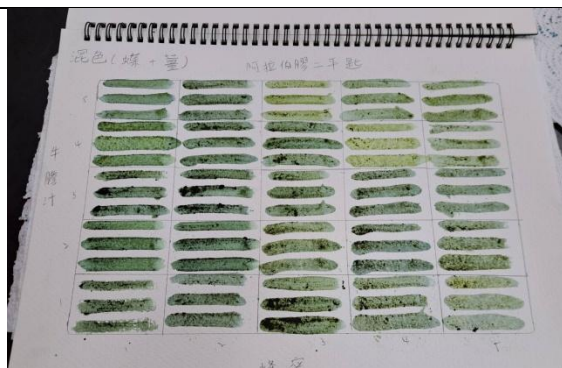


圖 3-46
繪製圖



圖 3-47 蝶豆花藍+薑黃的黃
粉末:阿拉伯膠 =2 : 3

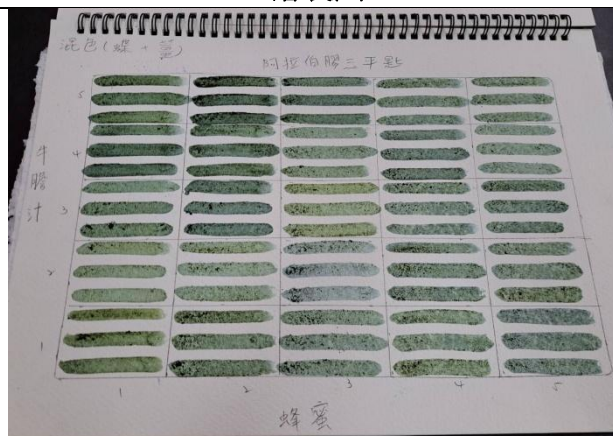


圖 3-48
繪製圖



圖 3-49 蝶豆花藍+薑黃的黃
粉末:阿拉伯膠 =2 : 4

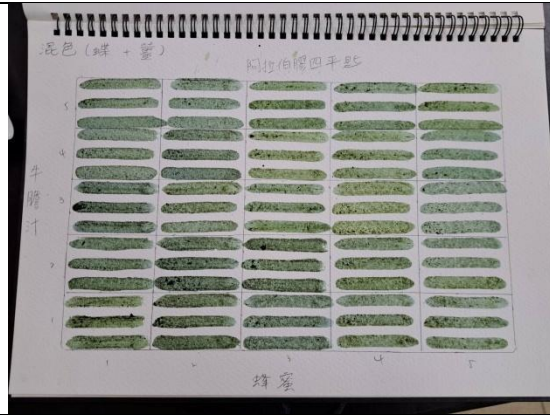


圖 3-50
繪製圖



圖 3-51 蝶豆花藍+薑黃的黃
粉末:阿拉伯膠 =2 : 5

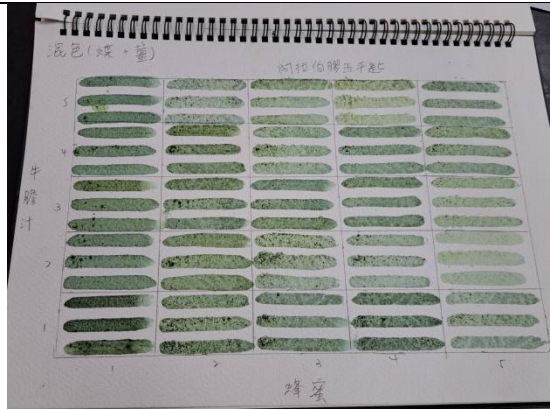


圖 3-52
繪製圖

肆、研究結果

一、實驗一結果：

研究針對天然藍色色素—青花素進行色彩穩定性分析，依照實驗設計在固定蝶豆花色粉比例下（2 平匙），分別加入三種天然添加劑（蜂蜜、牛膽汁與阿拉伯膠），並設定五種劑量梯度（1~5 平匙），共完成 125 組顏料樣品。所有樣品皆以色差儀測定其在 CIE LAB 色彩空間中的 B 值，作為顏色偏藍程度與穩定性的量化依據。

	蜂蜜平均	牛膽汁平均	阿拉伯膠平均	三總平均
平匙 1	-13.84	-13.27	-11.93	-13.01
平匙 2	-14.03	-14.39	-15.20	-14.54
平匙 3	-14.01	-14.21	-16.38	-14.87
平匙 4	-13.61	-13.45	-13.73	-13.60
平匙 5	-12.83	-13.38	-11.08	-12.43

圖 4-1 蝶豆花的藍 B 值

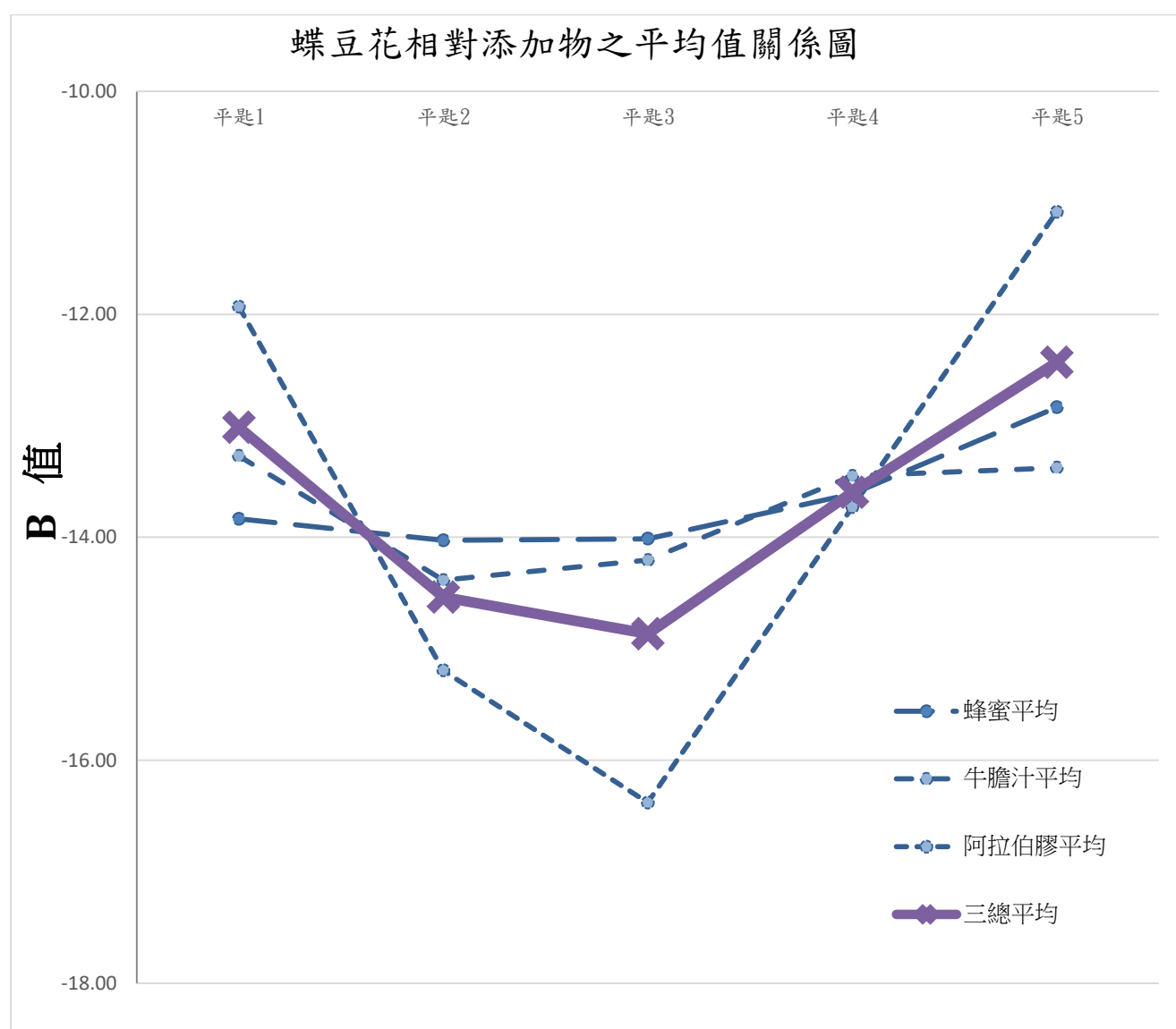


圖 4-2 蝶豆花（藍色）色彩實驗結果分析

(一) 蜂蜜添加組分析

蜂蜜組的 B 值範圍約為 -12 至 -15，整體變化曲線呈現溫和波動，代表其對藍色色彩的影響屬穩定。

- 在第 1 與第 5 平匙下，B 值穩定落在 -13 附近，顯示在低與高劑量條件下，蜂蜜可有效維持蝶豆花的藍色表現。第 3 平匙時，B 值下降至約 -15，為此組最偏藍的量。
- 整體而言，蜂蜜的表現穩定，但在特定的量（3 平匙）能夠幫助藍色顏料達到偏藍的最佳效果。

(二) 牛膽汁添加組分析

牛膽汁組的 B 值介於 -13 至 -14 之間，變化幅度最小，是三種添加劑中穩定性最佳者。

- 所有五個劑量下 B 值趨勢幾乎呈現水平，無明顯升降波動。
- 無論添加多寡，色彩表現均維持在一致的藍色區間，顯示其對蝶豆花色素的分散與穩定效果顯著。

(三) 阿拉伯膠添加組分析

阿拉伯膠組的 B 值變化範圍最大，約介於 -13 至 -17，顯示其對色彩表現影響最為強烈。

- 在第 3 平匙時，B 值下降至 -17，為全組最低點，顯示此條件下色彩最偏藍。

(四) 整體三總平均趨勢分析

從三總平均來看，各劑量下的 B 值皆為負數，確認蝶豆花具偏藍色特性：

- 第 3 平匙（三總平均 B 值 -14.87）為整體最偏表現，顏色飽和且穩定；
- 第 2 平匙（三總平均 -14.54）表現次佳；
- 第 5 平匙（-12.43）色彩偏淡。

進一步觀察各添加劑行為：

- 牛膽汁：變異最小，維持穩定藍色表現，適合用於追求長效穩定的應用；
- 蜂蜜：變動幅度小，色澤滑順柔和，具良好修飾與包覆性；
- 阿拉伯膠：色彩變化明顯，第 3 平匙時最偏藍色。

總結：控制添加劑濃度在 第 2~3 平匙範圍 為最佳，有助於達成偏藍色色彩。



圖 4-3 蝶豆花的藍 顏料製作

二、實驗二結果:

研究針對天然黃色色素—薑黃素進行色彩穩定性分析，依照實驗設計在固定薑黃色粉比例下（2 平匙），分別加入三種天然添加劑（蜂蜜、牛膽汁與阿拉伯膠），並設定五種劑量梯度（1~5 平匙），共完成 125 組顏料樣品。所有樣品皆以色差儀測定其在 CIE LAB 色彩空間中的 B 值，作為顏色偏黃程度與穩定性的量化依據。

	蜂蜜平均	牛膽汁平均	阿拉伯膠平均	三總平均
平匙 1	69.57	60.42	65.36	65.12
平匙 2	66.11	62.93	69.80	66.28
平匙 3	65.51	65.08	63.26	64.62
平匙 4	60.52	65.51	63.17	63.07
平匙 5	57.96	65.73	58.08	60.59

圖 4-4 薑黃的黃 B 值

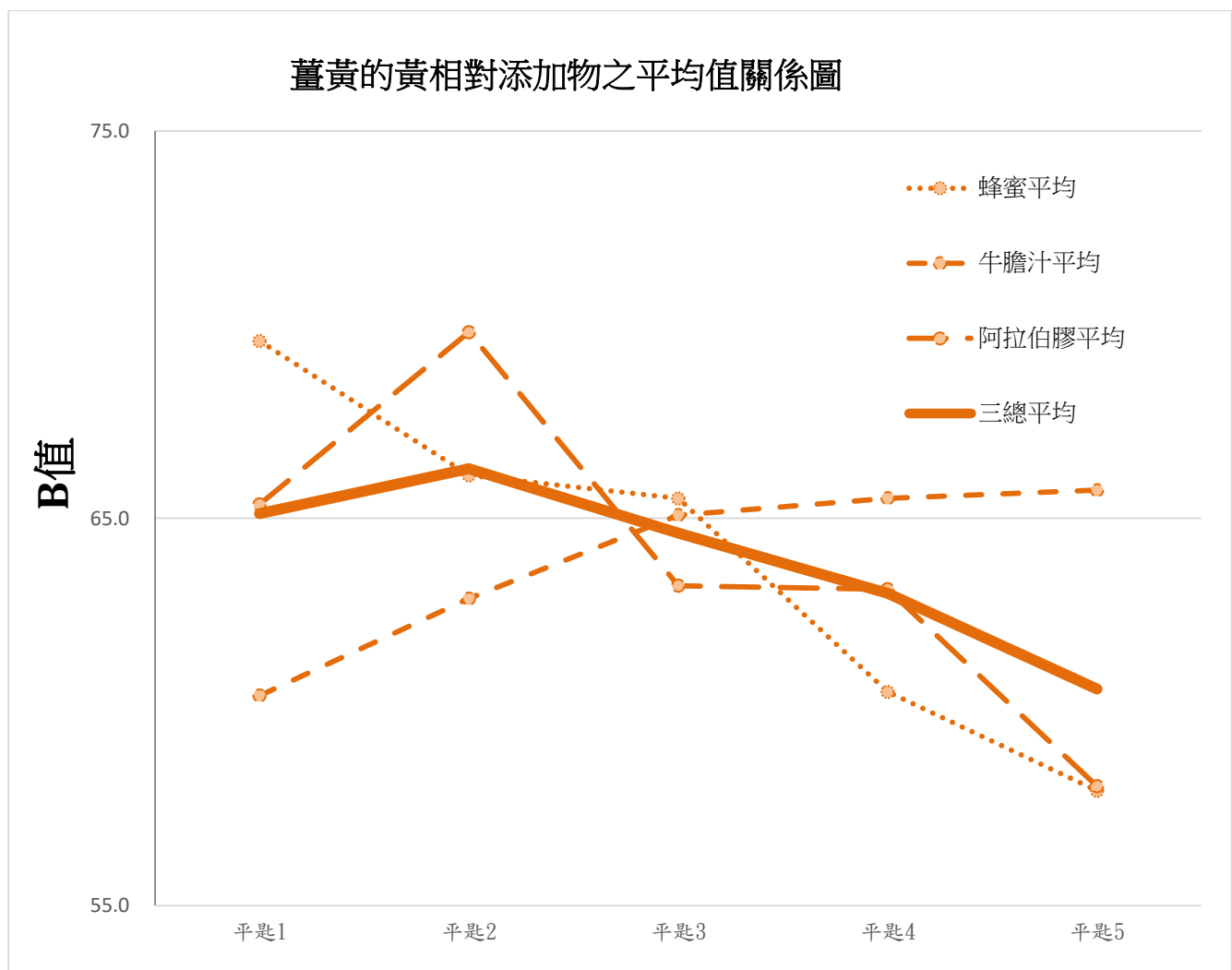


圖 4-5 薑黃（黃色）色彩實驗結果分析

（一）蜂蜜添加組分析

蜂蜜添加組之 B 值表現呈明顯下降趨勢，從第 1 平匙約 69.57 逐步下降至第 5 平匙之 57.96。此現象說明蜂蜜於低濃度條件下（第 1~2 平匙）最偏黃。但隨濃度增加，B 值也隨之降低。由此推論，蜂蜜於薑黃應用中應控制於低至中劑量範圍，以確保最佳偏黃效果。

（二）牛膽汁添加組分析

牛膽汁組 B 值從約 60.42（第 1 平匙）穩定上升至 65.73（第 5 平匙），呈現連續性與穩定性均佳的提升趨勢。整體而言，牛膽汁為三種添加劑中表現最穩定，在 3-5 平匙時是最偏黃，約落在 65.5，且色彩穩定度最高，介於 B 值 65.08-65.72。

(三) 阿拉伯膠添加組分析

阿拉伯膠的 B 值變化呈「先升後降」之典型趨勢，由 65.36（第 1 平匙）上升至高峰 69.80（第 2 平匙），其後逐步下降至 58.08（第 5 平匙）。2-3 平匙時顯示出良好的偏黃效果。



圖 4-6 薑黃的黃 顏料製作

(四) 整體三總平均趨勢分析

根據三種天然添加劑於不同劑量條件下的 B 值三總平均統整分析，發現整體 B 值皆為正值，代表色彩偏向黃色調，符合薑黃本身的天然色素特性。

- 其中以第 2 平匙三總平均 B 值最高，達 66.28，顯示此濃度下的黃色表現最為鮮明且穩定；
- 其次為第 1 平匙（65.12），同樣展現良好偏黃效果；
- 隨著添加劑濃度上升，第 4 平匙（63.07）與第 5 平匙（60.59）之 B 值逐漸下降，顯示過高劑量可能干擾色素分布或產生稀釋效應，造成偏黃程度減弱。

三、實驗三結果:

研究針對天然藍色及黃色色素混合後進行色彩穩定性分析，依照實驗設計在固定蝶豆花色粉及薑黃色粉各 1 平匙，分別加入三種天然添加劑（蜂蜜、牛膽汁與阿拉伯膠），並設定五

種劑量梯度（1~5 平匙），共完成 125 組顏料樣品。所有樣品皆以色差儀測定其在 CIE LAB 色彩空間中的 B 值，此數值可作為顏色偏藍或偏黃的判斷依據。

	蜂蜜平均	牛膽汁平均	阿拉伯膠平均	3 總平均
平匙 1	17.23	16.22	18.88	17.44
平匙 2	16.43	15.64	18.52	16.86
平匙 3	17.42	16.56	12.49	15.49
平匙 4	15.54	18.23	16.89	16.89
平匙 5	15.26	18.25	15.10	16.20

圖 4-7 蝶豆花的藍+薑黃的黃混和 B 值

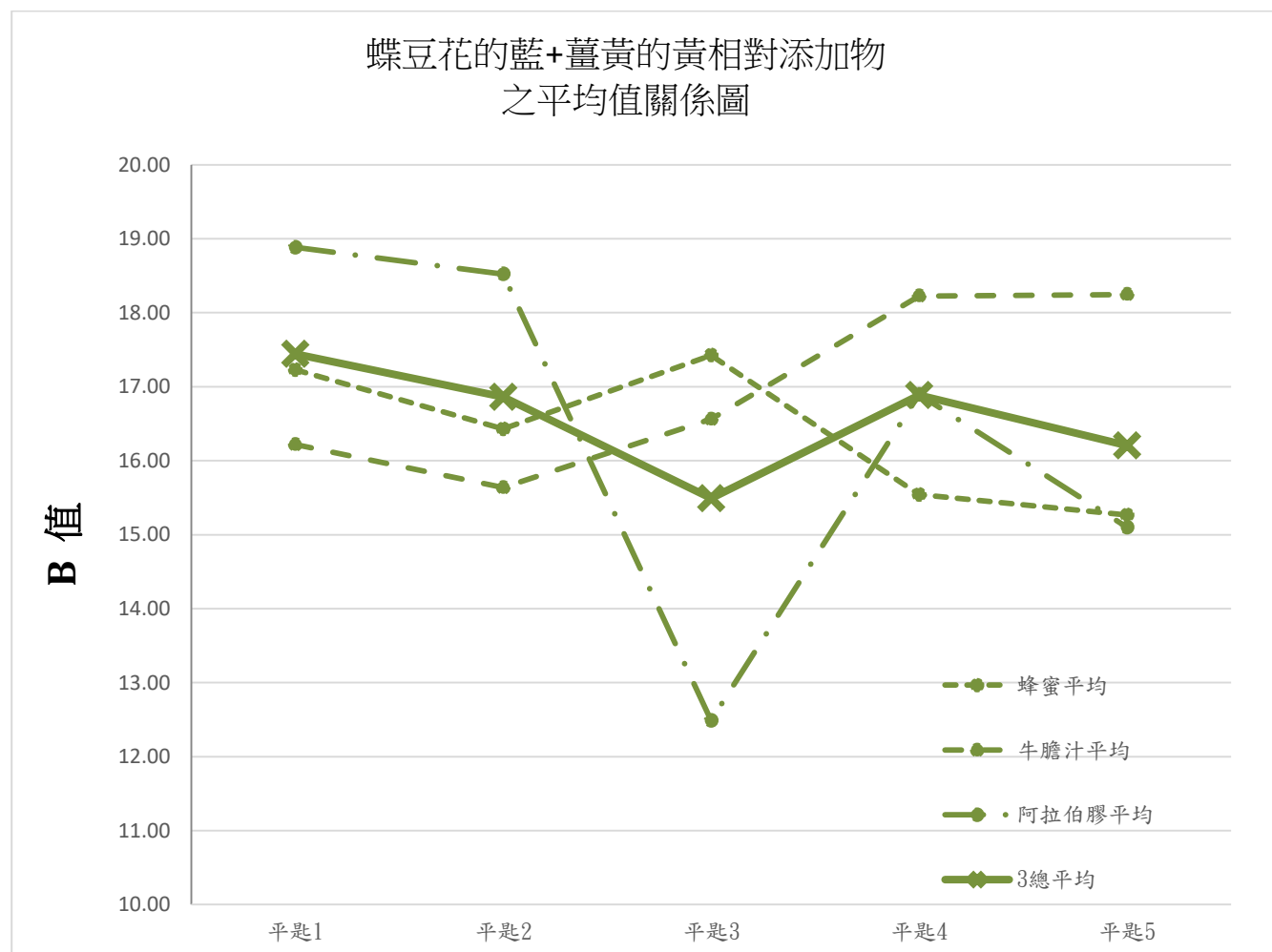


圖 4-8 蝶豆花的藍+薑黃的黃相對 蜂蜜、牛膽汁、阿拉伯膠之平均值關係圖如上

(一) 蜂蜜添加組分析

蜂蜜添加組 B 值由第 1 平匙的 17.23 持續下降至第 5 平匙的 15.26，整體趨勢為遞減：

- 所有劑量之 B 值均為正數，顯示混合色呈現偏黃色傾向；
- 隨濃度上升，偏黃程度略為下降，色彩傾向由偏黃逐步向中性移動。

(二) 牛膽汁添加組分析

牛膽汁組 B 值由第 1 平匙的 16.22 上升至第 5 平匙的 18.25，呈現穩定上升趨勢：

- 所有劑量的 B 值皆為正數，且數值逐漸增高；
- 混合色呈現明顯偏黃，且偏黃程度隨劑量提升而增加。

(三) 阿拉伯膠添加組分析

阿拉伯膠組 B 值由第 1 平匙的 18.88 下降至第 3 平匙的 12.49，後回升至第 5 平匙的 15.10，變化幅度最大：

- 雖然全部劑量之 B 值均為正數，但數值波動明顯；
- 第 1 與第 2 平匙呈現高度偏黃，而第 3 平匙顯示偏黃程度顯著下降，趨近中性。

(四) 整體三總平均趨勢分析

綜合三種添加劑於五種劑量下的三總平均分析可得：

- 第 1 平匙三總平均 B 值為 17.44，為所有劑量中最高，顯示混合色在此劑量下最偏黃；
- 第 2 平匙為 16.28，亦表現出明顯偏黃傾向；
- 第 3 平匙最低，為 15.49，偏黃程度減弱，接近中性；
- 第 5 平匙為 16.20，呈現略為回升的偏黃趨勢。



圖 4-9 蝶豆花的藍 顏料製作

伍、討論

三種天然添加劑在不同劑量下對色彩穩定性的影響，並以 CIE LAB 色彩空間中 B 值作為偏色方向與穩定性的量化依據。

一、單色系統分析

1. 蝶豆花藍色色素系統

蝶豆花具明顯的偏藍特性（B 值為負），而添加劑的種類與劑量對色彩穩定性有顯著影響。牛膽汁在各劑量下的 B 值變化最小，顯示其穩定分散效果極佳；蜂蜜則在中劑量（第 3 平匙）呈現最大偏藍表現，但整體波動溫和，具柔和修飾效果；阿拉伯膠雖在第 3 平匙達到最低 B 值（最偏藍），但整體波動幅度大，色彩穩定性較差。此顯示阿拉伯膠具有強烈改變色彩的潛力，但控制不當亦可能導致不穩定。

2. 薑黃黃色素系統

薑黃色素整體 B 值呈現正值（偏黃），蜂蜜在低劑量下最偏黃，但濃度增加後偏黃程度快速降低，推測其可能與溶劑性質或分散狀況相關。牛膽汁則呈穩定上升趨勢，第 3 至第 5 平匙達到最佳偏黃表現，顯示其在高劑量下能有效穩定並增強色彩表現。阿拉伯膠則表現出先升

後降的典型曲線，第 2 平匙偏黃效果最佳，但其後下降幅度明顯，顯示其作用易受濃度波動影響。

二、混色系統分析（藍+黃）

混色系統整體 B 值皆為正值，顯示偏黃為主。蜂蜜與牛膽汁表現出相對穩定的趨勢，但方向相反：蜂蜜添加量愈多偏黃程度愈低，顏色趨於中性；牛膽汁則隨劑量增加偏黃程度提升。阿拉伯膠變化幅度最大，第 3 平匙 B 值最低，顯示偏黃效果顯著下降。此結果與單色系統相似，說明阿拉伯膠在混色中同樣具備明顯但不穩定的調色影響力。

整體而言，各添加劑皆會隨劑量改變影響顏色表現，而不同色系之反應趨勢亦具一致性，顯示其作用機制可能與其物理特性密切相關。

陸、結論

1. 蝶豆花藍色色素在添加蜂蜜、牛膽汁與阿拉伯膠的五種劑量下皆呈現負 B 值，確認其穩定偏藍特性。
 - 第 3 平匙為整體最偏藍（B 值最低）。
 - 牛膽汁穩定性最佳，適合用於需長期保持色彩一致的產品。
 - 阿拉伯膠在中劑量下效果最強，但波動大。
 - 蜂蜜色澤柔和穩定，中劑量可達偏藍最佳值。
 - 建議：中等劑量（第 2~3 平匙）為最佳偏藍色表現，能兼顧穩定性與色彩度。
2. 薑黃黃色素表現整體為正 B 值，顯示穩定偏黃性。以第 2 平匙 B 值最高，為最佳顯色劑量。
 - 牛膽汁濃度越高偏黃程度越佳。
 - 蜂蜜應控制在低劑量，以免色彩變淡。
 - 阿拉伯膠偏黃效果易受劑量波動影響，2 - 3 平匙為最佳區間。
 - 建議：蜂蜜與阿拉伯膠宜控制於低至中等劑量（1~2 平匙）使用，以避免過量導致色彩偏中性。
3. 混色實驗（蝶豆花+薑黃）顯示：

- 所有樣品皆偏黃（正 B 值）。
- 第 1 平匙整體偏黃最明顯。
- 蜂蜜與阿拉伯膠呈下降後回升趨勢。
- 牛膽汁則偏黃效果隨濃度穩定上升。
- 建議: 混色應選擇適量阿拉伯膠提高偏黃的情形，牛膽汁則為穩定基底；蜂蜜可修飾混合液質地，應依應用需求調配。

綜合三組實驗結果，建議控制天然添加劑於第 2~3 平匙劑量區間，可達到穩定、飽和的色彩表現，提供天然色素應用上有效的參考依據。

研究建立了天然色素色彩變化的量化觀測模型，證實天然添加劑在控制顏料穩定性具有顯著效果，未來可作為天然染料、環保繪畫材料及食用著色劑開發的應用基礎。

實驗研究成功建構一套量化評估天然色素色彩穩定性的方法，並證實天然添加劑對天然顏料的調控作用具顯著差異。研究成果可作為以下領域之發展依據：

- 環保美術教育材料開發
- 天然染料與無毒顏料製程改善
- 食品與化妝品天然色素配方優化
- 永續材料研究與綠色產品創新

柒、參考文獻

【自製天然色粉】：

- https://youtu.be/Sp44_qMHhPM?si=A16f5JNlgNpngu68
- <https://youtu.be/FvYR5s6Ue-8?si=aOdvazihP1BtXB6z>
- https://youtu.be/8YXuY-_SWCw?si=y9O4eoSwKZDhUo69
- <https://www.damanwoo.com/node/93503>

【顏料】：

- https://youtu.be/3_yZ97P7s1A?si=bWgv5fpPJ2B_msBx
- https://youtu.be/ExY8l-_UK3o?si=ZMnNUNZnEuNcGVW0
- https://youtube.com/shorts/IGCBQuskcGs?si=CICdAWn9cJ_LvE11
- https://kids.moa.gov.tw/theme_data.php?theme=kids_learning&sub_theme=A01&id=184
- https://youtu.be/Sp44_qMHhPM?si=QG6Y4deChLER7klw

健康醫療網(色粉染色 天然色素)：<https://www.healthnews.com.tw/article/49881/>

果乾

https://shopee.tw/foodchannel1979#product_list

維基百科 阿拉伯膠

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%98%BF%E6%8B%89%E4%BC%AF%E8%86%A0>

維基百科 牛膽汁

<https://zh.wikipedia.org/w/index.php?search=%E7%89%9B%E8%86%BD%E6%B1%81&title=Special%3A%E6%90%9C%E7%B4%A2&ns0=1>

維基百科 蝶豆花

<https://zh.wikipedia.org/w/index.php?search=%E8%9D%B6%E8%B1%86%E8%8A%B1&title=Special%3A%E6%90%9C%E7%B4%A2&profile=advanced&fulltext=1&ns0=1>

善用次級水果價值 製作無毒水果蠟筆 <https://www.youtube.com/watch?v=i1NMvPx0Hfk>

CIELAB 色彩空間

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/CIELAB%E8%89%B2%E5%BD%A9%E7%A9%BA%E9%97%B4>

薑黃 薑黃素

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%96%91%E9%BB%83>

圖片來源：

圖 2-1~2-11、圖 3-1~3-4、圖 3-6、圖 3-8~3-55、圖 4-3、圖 4-6、圖 4-9 (作者自行拍攝)

圖 1-1 (擷取自 wzorniki.eu LAB 介紹圖)

【評語】 082907

1. 研究探討蝶豆花（青花素）與薑黃（薑黃素）兩種天然色素在不同天然添加劑與劑量下的色彩穩定性。期望本研究結果能為天然色素在食品、美術與教育等領域的應用提供更具科學依據的選材與調色參考，並推廣環保且低敏的自然染料使用。實驗全程採用色差儀測量 LAB 色彩數據，聚焦於 B 值（正值偏黃，負值偏藍）之變動，確保分析結果具備客觀性與可重現性。
2. 蝶豆花含有的是花青素(Anthocyanin)，文中有時寫花青素，有時寫青花素，兩者混用。但此為本文最重要的關鍵字之一，建議修訂。
3. 實驗設計不盡完善，蝶豆花與薑黃的色素屬於不同類型的化學分子，阿拉伯膠、牛膽汁及蜂蜜對色素分子的作用機制不同，此實驗變因太多，較不易有明確的結論。
4. 討論中亦只有敘述結果，建議可以增加描述實驗過程或結果差異的原因。

作品海報



「果」然出「色」



天然藍與黃的色彩碰撞——從植物到環保顏料的轉化之旅

摘要

研究探討蝶豆花（青花素）與薑黃（薑黃素）兩種天然色素在不同天然添加劑與劑量下的色彩穩定性。實驗分為三部分，分別針對藍色色素、黃色色素與藍黃混色進行測試，在固定色粉用量下，分別加入蜂蜜、牛膽汁與阿拉伯膠三種添加劑，設五種劑量梯度（1~5 平匙），共製備 375 組樣品。每組樣品皆以色差儀測定 CIE LAB 色彩空間中 B 值（藍－黃軸偏向），作為穩定性指標。結果顯示：蝶豆花色素偏藍性穩定，以第3平匙效果最佳，牛膽汁穩定性最高；薑黃偏黃穩定，第2平匙最鮮明，牛膽汁與阿拉伯膠中劑量表現佳；混色組整體偏黃，蜂蜜與牛膽汁穩定性良好。整體而言，第2至第3平匙為最佳添加範圍，可提升天然染料的穩定性與應用性。

研究動機

當前環境問題日益嚴重，減少化學污染、實踐永續理念已成為全球關注焦點。國小美術課常用的市售顏料多為化學合成，含有分散劑、甘油，甚至揮發性有機物與重金屬，對環境與學童健康皆有潛在風險。本研究嘗試以天然植物為原料，搭配食用級天然添加劑（如阿拉伯膠、牛膽汁與蜂蜜），製作安全、環保的天然色粉。成分皆為天然來源，即使誤食也無安全疑慮，對兒童與環境友善。我們期望開發出兼具色彩表現與安全性的植物顏料，提供教育、美術與文創等領域綠色無毒的替代方案，從日常實踐永續生活。

研究目的

- (一) 實驗分為三個階段進行：

 - **藍色階段**：蝶豆花為主體，測試其在不同天然添加劑與劑量條件下的 B 值表現與色彩穩定性。
 - **黃色階段**：薑黃為主體，進行相同設計條件之實驗，觀察其作為黃色色素的B 值表現與色彩穩定性。
 - **混色階段**：將蝶豆花與薑黃進行比例混合，並分析其色彩融合後之 B 值變化、色彩穩定性與偏色現象。
- (二) 添加物設計與測量方式：

研究目的如下：

 - 探討天然添加劑的比例，對蝶豆花與薑黃色素單獨及混合時，**色彩穩定性**之影響。
 - 透過分析B值，建立色素在單獨情況下，呈現**最偏藍色及最偏黃色**顏料的天然添加劑比例。
 - 透過分析B值，探討色素在混合時，色彩呈現偏藍色及黃色的情況。

文獻回顧

天然色素原料：

1. 蝶豆花

(*Clitoria ternatea*)

這種特性使蝶豆花成為天然藍色色素的代表。然而，花青素對熱、光與氧氣極為敏感，易產生色彩退化或褪色，因此需透過添加劑以提升其色素穩定性與實際應用價值。

2. 薑黃

(*Curcuma longa*)

薑黃素的色穩定性會受到光照、pH 值與添加物質等因素影響，因此在實際應用中需搭配添加劑進行保色與延展性處理。

3. 天然添加劑：

為提升蝶豆花與薑黃天然色素的穩定性，本研究引入三種天然來源的添加劑進行濃度梯度測試：

(1) 阿拉伯膠 (Arabic Gum)

- 延緩顏料乾燥，避免龜裂；幫助色料均勻附著在基材（如紙張）。
- 改善色澤光澤度與視覺飽和性。

(2) 牛膽汁 (Ox Gall)

- 提升色素在液體中的均勻分佈。
- 增強顏料鋪展性，避免局部沉澱。

(3) 蜂蜜 (Honey)

- 蜂蜜的功能包括：
- 增強色素在介質中的滑順度。
 - 提升顏料顯色亮度與透明感。



圖1.2.3由指導老師拍攝

4. 色彩分析方法：CIE LAB 色空間與色差儀應用

CIE LAB 色彩空間是國際通用的色彩數值標準，透過三維座標表示顏色屬性：

- B 值：黃－藍軸，正值代表偏黃，負值代表偏藍

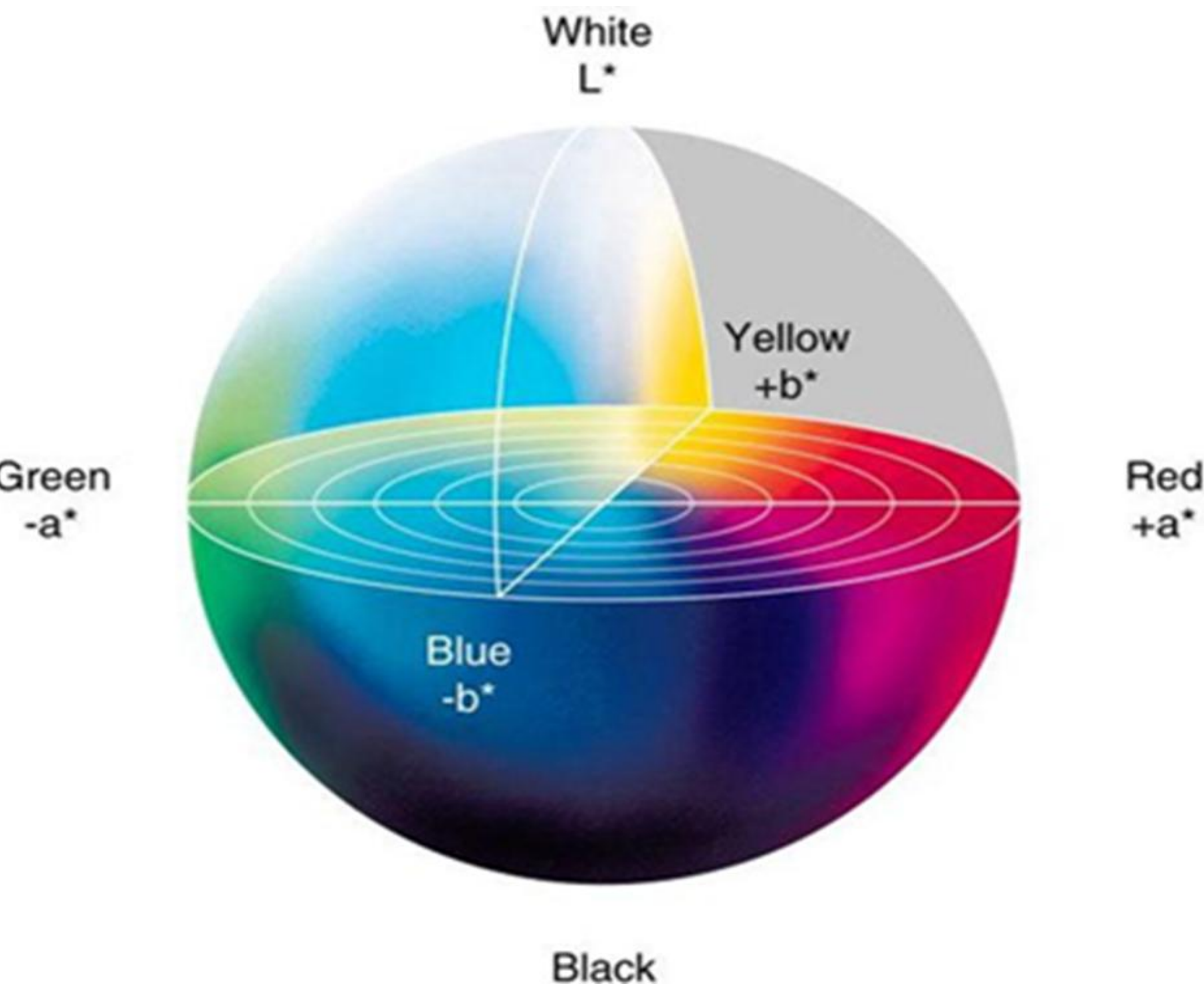


圖4. (擷取自wzorniki.eu LAB 介紹圖)

研究方法與過程

(一) 色粉製作

1. 天然色素原料：



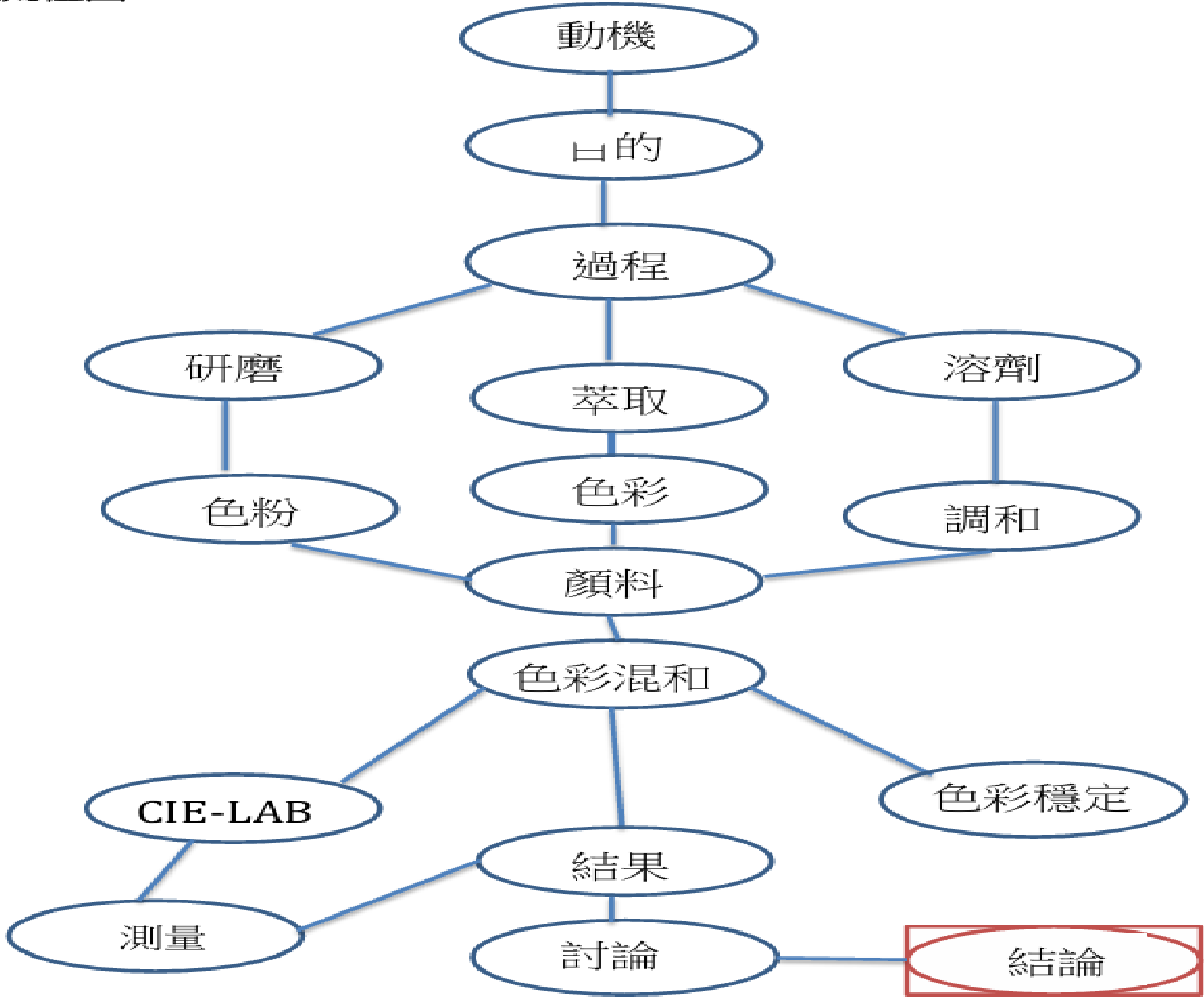
2. 製作顏料粉末



圖4.5.6由指導老師拍攝

天然顏料製作流程

實驗流程圖：



操作標準化

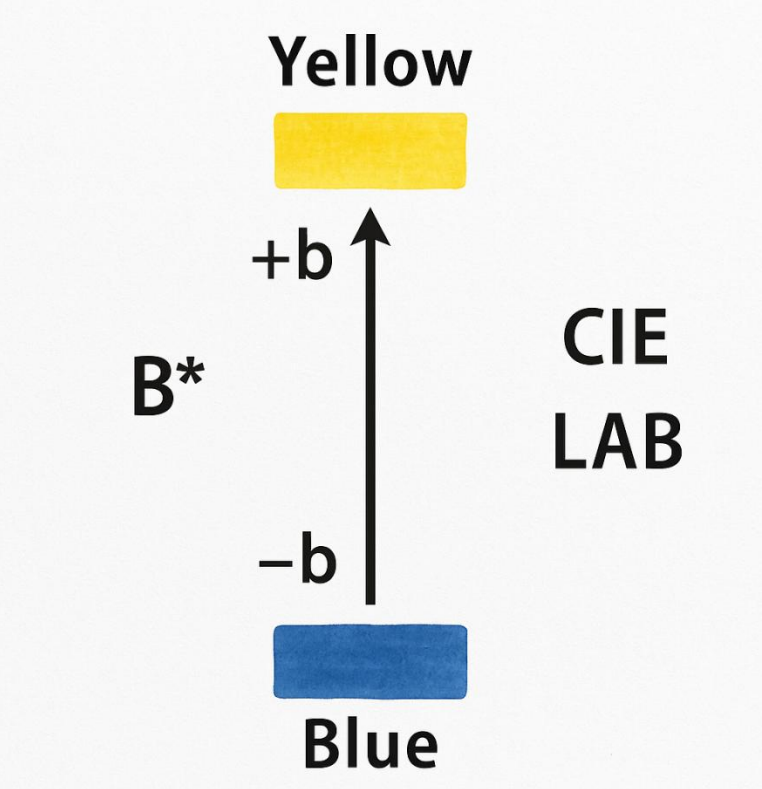
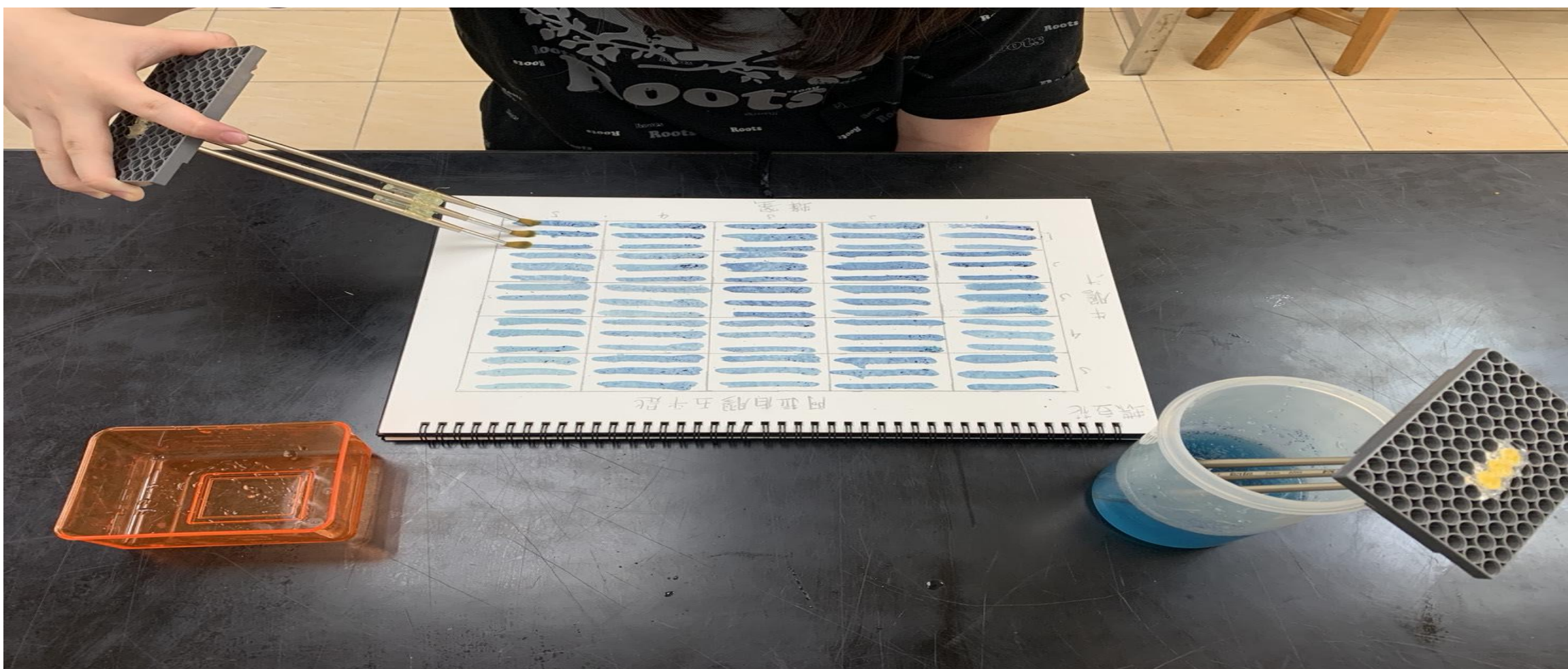
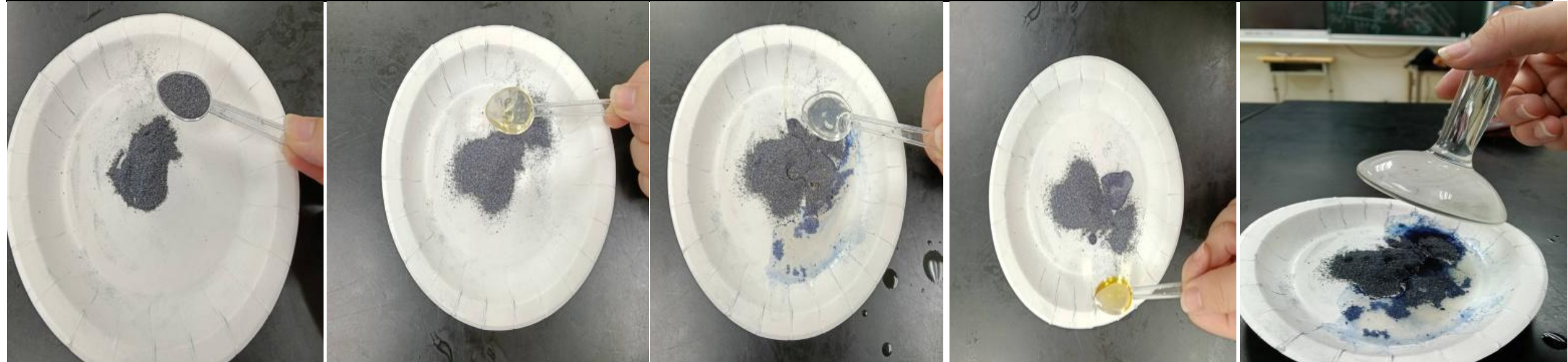


圖7. 8. 9由指導老師拍攝

圖10 由chap gpt 製作

實驗一

以蝶豆花為主體，測試其在不同天然添加劑與劑量條件下的 B 值表現與色彩穩定性。



加入粉末	加入阿拉伯膠	加入牛膽汁	加入蜂蜜	混合所有原料
------	--------	-------	------	--------

圖10. 11. 12. 13. 14由指導老師拍攝

	蜂蜜平均	牛膽汁平均	阿拉伯膠平均	三總平均
平匙1	-13.84	-13.27	-11.93	-13.01
平匙2	-14.03	-14.39	-15.20	-14.54
平匙3	-14.01	-14.21	-16.38	-14.87
平匙4	-13.61	-13.45	-13.73	-13.60
平匙5	-12.83	-13.38	-11.08	-12.43

(一) 蜂蜜添加組分析

蜂蜜組的 B 值範圍約為 -12 至 -15，整體變化曲線呈現溫和波動，代表其對藍色色彩的影響屬穩定。

- 在第1與第5平匙下，B 值穩定落在 -13 附近，顯示在低與高劑量條件下，蜂蜜可有效維持蝶豆花的藍色表現。第3平匙時，B 值下降至約 -15，為此組最偏藍的量。
- 整體而言，蜂蜜的表現穩定，但在特定的量（3平匙）能夠幫助藍色顏料達到偏藍的最佳效果。

(二) 牛膽汁添加組分析

牛膽汁組的 B 值介於 -13 至 -14 之間，變化幅度最小，是三種添加劑中穩定性最佳者。

- 所有五個劑量下 B 值趨勢幾乎呈現水平，無明顯升降波動。
- 無論添加多寡，色彩表現均維持在一致的藍色區間，顯示其對蝶豆花色素的分散與穩定效果顯著。

(三) 阿拉伯膠添加組分析

阿拉伯膠組的 B 值變化範圍最大，約介於 -13 至 -17，顯示其對色彩表現影響最為強烈。

- 在第3平匙時，B 值下降至 -17，為全組最低點，顯示此條件下色彩最偏藍。

(四) 整體三總平均趨勢分析

從三總平均來看，各劑量下的 B 值皆為負數，確認蝶豆花具偏藍色特性：

- 第3平匙（三總平均 B 值 -14.87）為整體最偏表現，顏色飽和且穩定；
- 第2平匙（三總平均 -14.54）表現次佳；
- 第5平匙（-12.43）色彩偏淡。

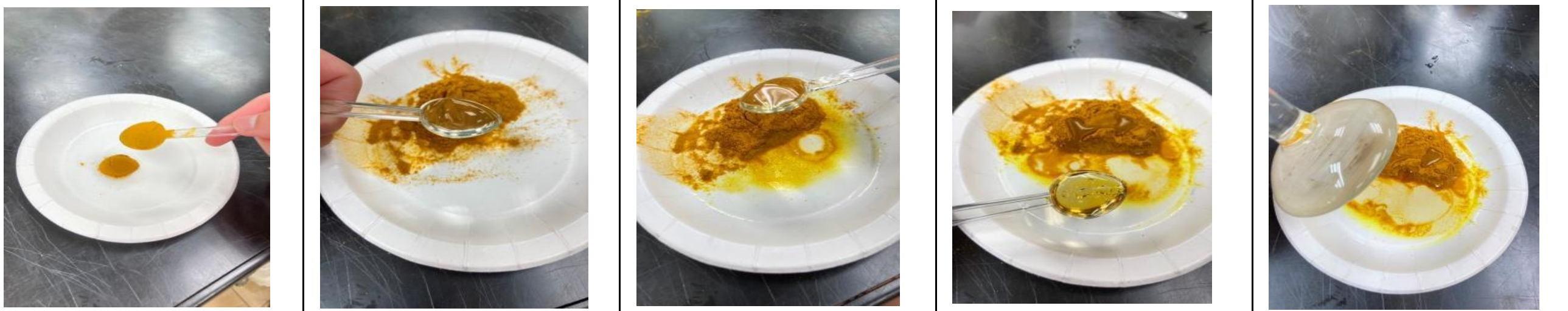
進一步觀察各添加劑行為：

- 牛膽汁：變異最小，維持穩定藍色表現，適合用於追求長效穩定的應用；
- 蜂蜜：變動幅度小，色澤滑順柔和，具良好修飾與包覆性；
- 阿拉伯膠：色彩變化明顯，第3平匙時最偏藍色。

總結：控制添加劑濃度在 第2~3平匙範圍 為最佳，有助於達成偏藍色彩。

以薑黃為主體，進行相同設計條件之實驗，觀察其作為黃色色素的B 值表現與色彩穩定性。薑黃的黃LAB(B值)實驗：

圖18. 19. 20. 21. 22由指導老師拍攝



加入粉末	加入阿拉伯膠	加入牛膽汁	加入蜂蜜	混合所有原料
------	--------	-------	------	--------

	蜂蜜平均	牛膽汁平均	阿拉伯膠平均	三總平均
平匙1	69.57	60.42	65.36	65.12
平匙2	66.11	62.93	69.80	66.28
平匙3	65.51	65.08	63.26	64.62
平匙4	60.52	65.51	63.17	63.07
平匙5	57.96	65.73	58.08	60.59



圖7. 8. 9由指導老師拍攝

圖10 由chap gpt 製作

實驗二

圖7. 8. 9由指導老師拍攝

圖10 由chap gpt 製作

圖15. 16. 17由指導老師拍攝

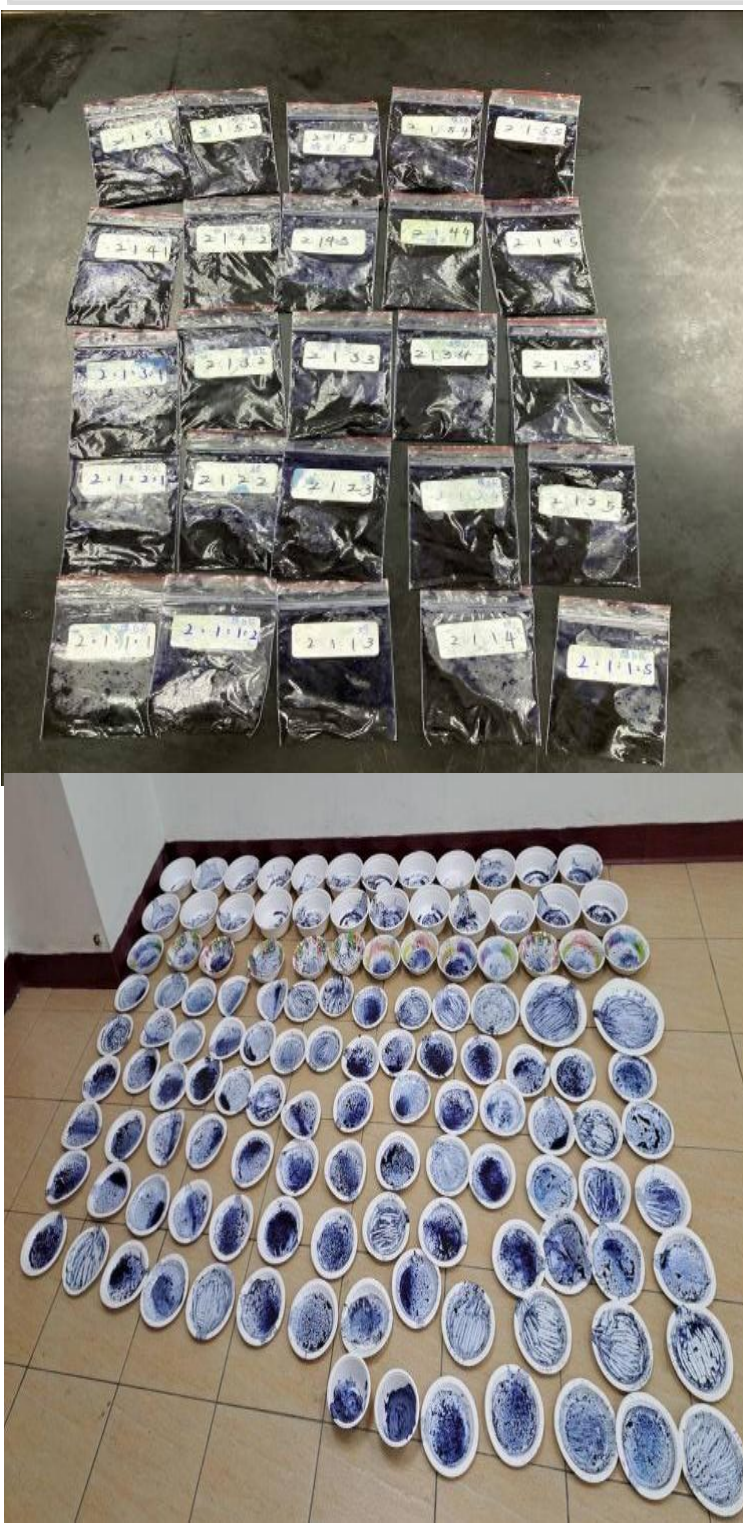
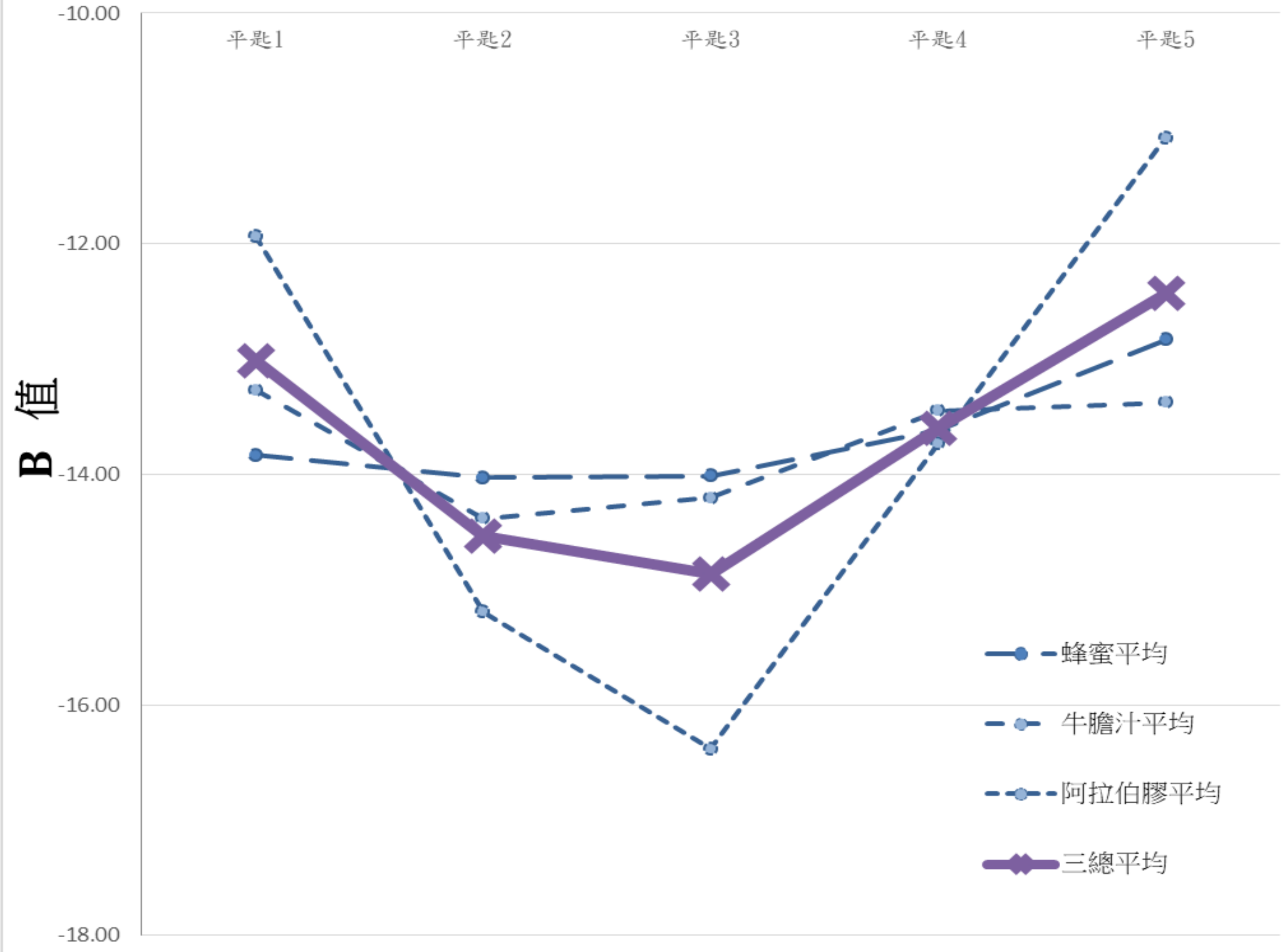
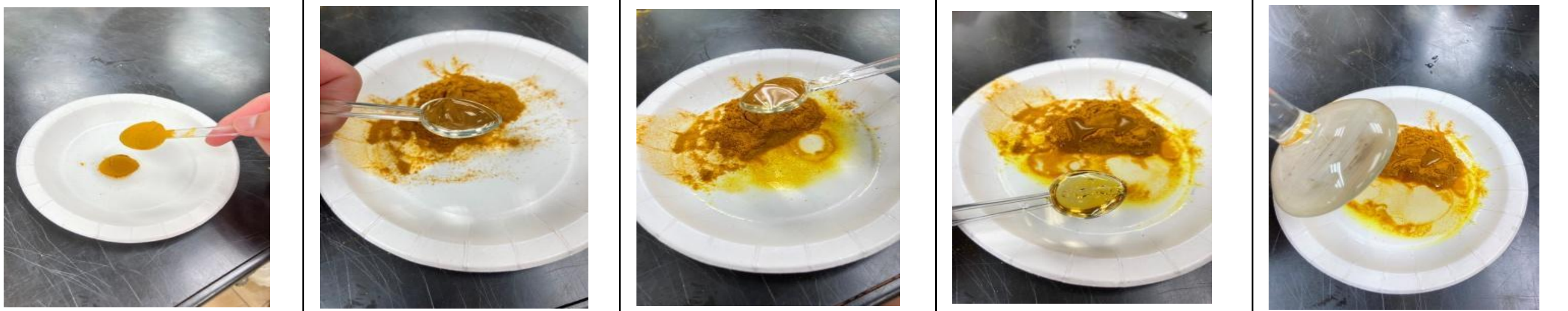


圖15. 16. 17由指導老師拍攝

實驗二

以薑黃為主體，進行相同設計條件之實驗，觀察其作為黃色色素的B 值表現與色彩穩定性。薑黃的黃LAB(B值)實驗：

圖18. 19. 20. 21. 22由指導老師拍攝



加入粉末	加入阿拉伯膠	加入牛膽汁	加入蜂蜜	混合所有原料
------	--------	-------	------	--------

	蜂蜜平均	牛膽汁平均	阿拉伯膠平均	三總平均
平匙1	69.57	60.42	65.36	65.12
平匙2	66.11	62.93	69.80	66.28
平匙3	65.51	65.08	63.26	64.62
平匙4	60.52	65.51	63.17	63.07
平匙5	57.96	65.73	58.08	60.59



薑黃的黃相對添加物之平均值關係圖

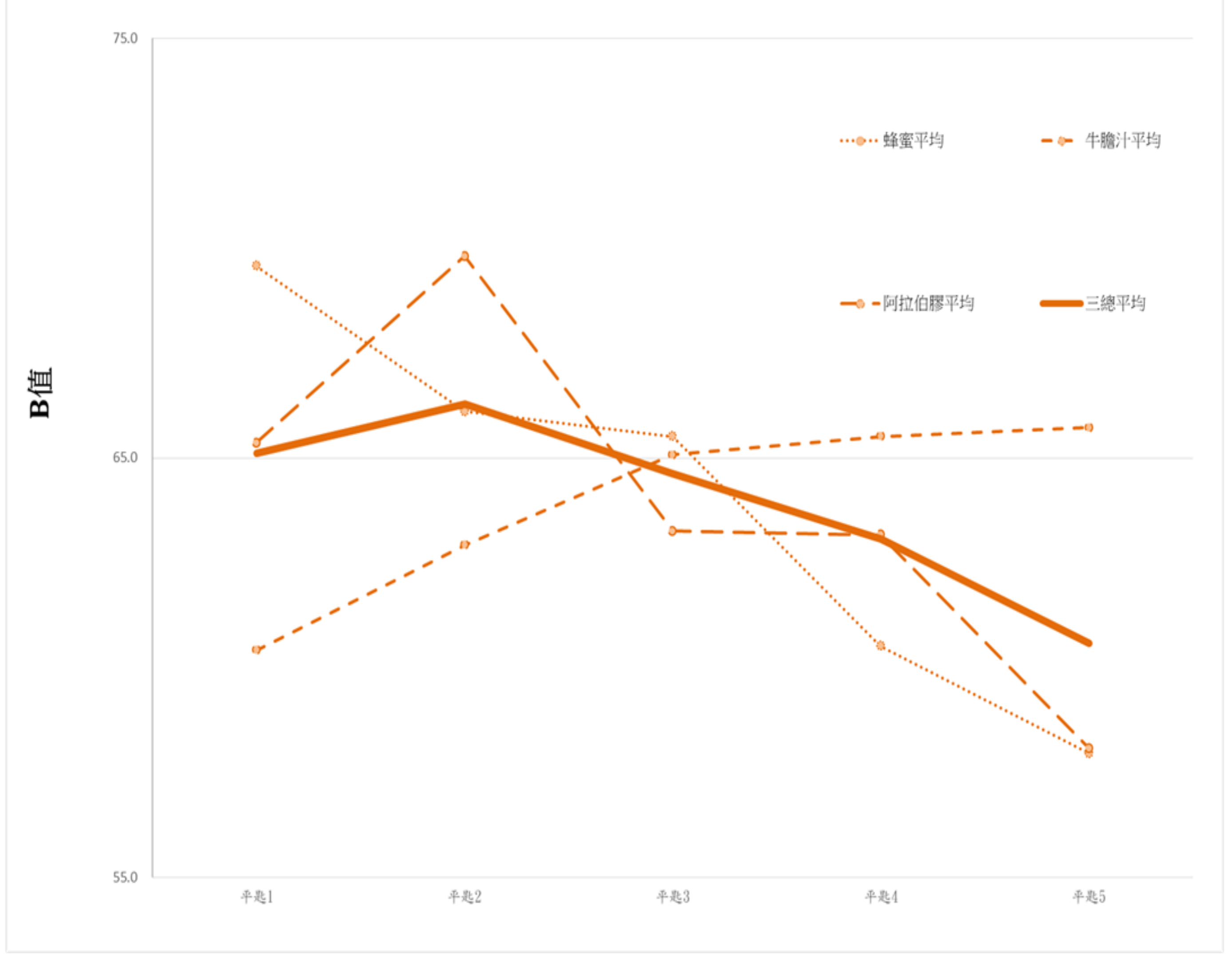


圖23. 24. 25由指導老師拍攝

（一）蜂蜜添加組分析

蜂蜜添加組之 B 值表現呈明顯下降趨勢，從第1平匙約 69.57 逐步下降至第5平匙之 57.96。此現象說明蜂蜜於低濃度條件下（第1～2平匙）最偏黃。但隨濃度增加， B 值也隨之降低。由此推論，蜂蜜於薑黃應用中應控制於低至中劑量範圍，以確保最佳偏黃效果。

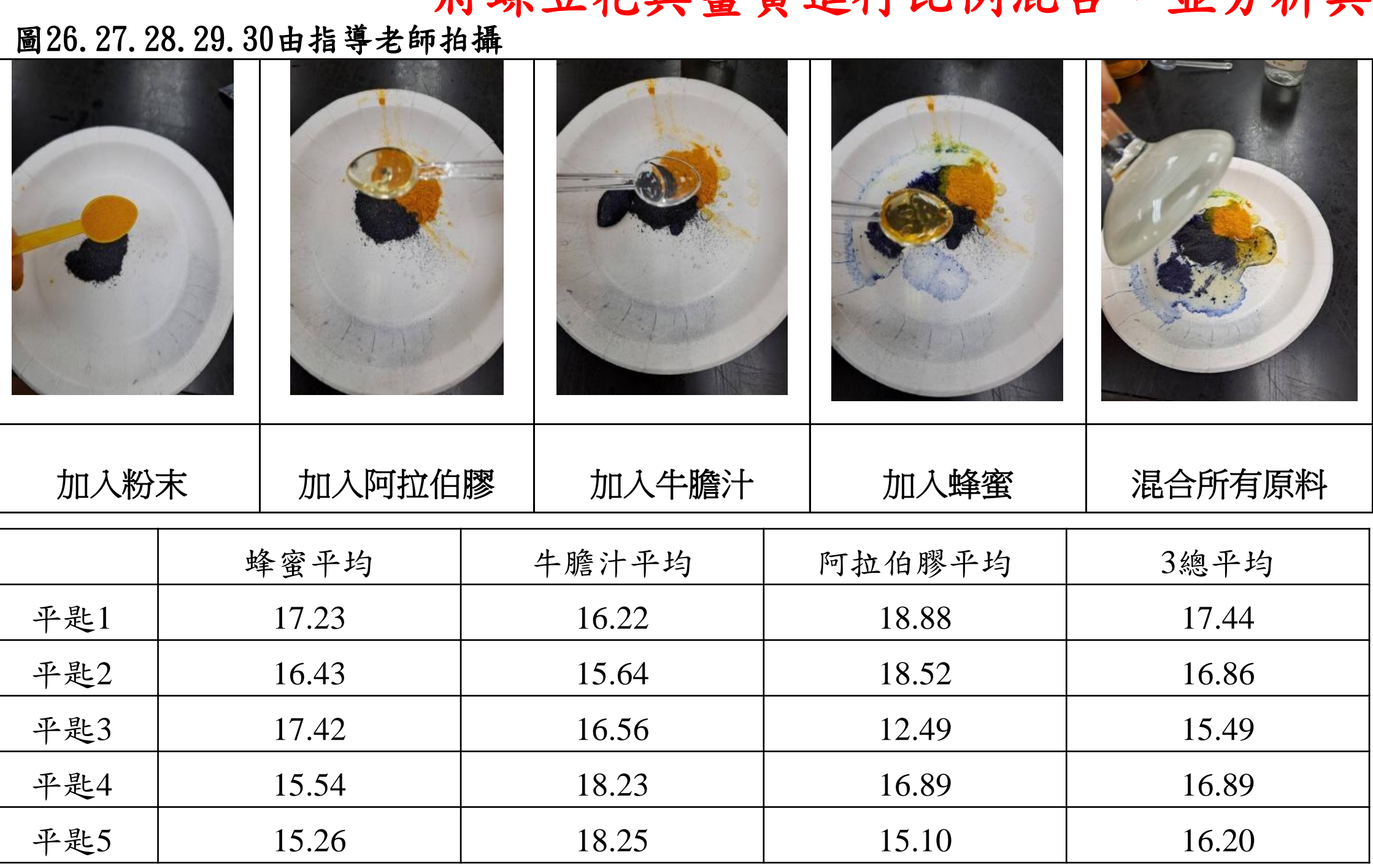
（二）牛膽汁添加組分析

牛膽汁組 B 值從約 60.42（第1平匙）穩定上升至 65.73（第5平匙），呈現連續性與穩定性均佳的提升趨勢。整體而言，牛膽汁為三種添加劑中表現最穩定，在3-5平匙時是最偏黃，約落在65.5，且色彩穩定度最高，介於B 值65.08-65.72。

（三）阿拉伯膠添加組分析

阿拉伯膠的 B 值變化呈「先升後降」之典型趨勢，由 65.36（第1平匙）上升至高峰 69.80（第2平匙），其後逐步下降至 58.08（第5平匙）。2-3平匙時顯示出良好的偏黃效果。

實驗三：將蝶豆花與薑黃進行比例混合，並分析其色彩融合後之 B 值變化、色彩穩定性與偏色現象：



（一）蜂蜜添加組分析

蜂蜜添加組 B 值由第1平匙的 17.23 持續下降至第5平匙的 15.26，整體趨勢為遞減：

- 所有劑量之 B 值均為正數，顯示混合色呈現偏黃色傾向；
- 隨濃度上升，偏黃程度略為下降，色彩傾向由偏黃逐步向中性移動。

（二）牛膽汁添加組分析

牛膽汁組 B 值由第1平匙的 16.22 上升至第5平匙的 18.25，呈現穩定上升趨勢：

- 所有劑量的 B 值皆為正數，且數值逐漸增高；
- 混合色呈現明顯偏黃，且偏黃程度隨劑量提升而增加。

（三）阿拉伯膠添加組分析

阿拉伯膠組 B 值由第1平匙的 18.88 下降至第3平匙的 12.49，後回升至第5平匙的 15.10，變化幅度最大：

- 雖然全部劑量之 B 值均為正數，但數值波動明顯；
- 第1與第2平匙呈現高度偏黃，而第3平匙顯示偏黃程度顯著下降，趨近中性。

（四）整體三總平均趨勢分析

綜合三種添加劑於五種劑量下的三總平均分析可得：

- 第1平匙三總平均 B 值為 17.44，為所有劑量中最高，顯示混合色在此劑量下最偏黃；
- 第2平匙為 16.28，亦表現出明顯偏黃傾向；
- 第3平匙最低，為 15.49，偏黃程度減弱，接近中性；

一、單色系統分析

1. 蝶豆花藍色素色素系統

蝶豆花具明顯偏藍特性（B 值為負），添加劑種類與劑量對 B 值表現有顯著影響。牛膽汁變化幅度最小，穩定性最佳；蜂蜜在中劑量時最偏藍，整體波動溫和，具修飾效果；阿拉伯膠雖可強化偏藍，但變化劇烈，穩定性較差，使用時需注意控制劑量。

2. 薑黃黃色素系統

薑黃色素整體 B 值為正（偏黃）。蜂蜜在低劑量最偏黃，高劑量則偏黃程度下降。牛膽汁 B 值隨劑量上升，高劑量下偏黃效果佳且穩定。阿拉伯膠則呈先升後降趨勢，第2平匙偏黃最明顯，但濃度增加易影響效果。

1. 蝶豆花藍色素色素在添加蜂蜜、牛膽汁與阿拉伯膠的五種劑量下皆呈現負 B 值，確認其穩定偏藍特性。

- 第3平匙為整體最偏藍（B 值最低）。
- 牛膽汁穩定性最佳，適合用於需長期保持色彩一致的產品。
- 阿拉伯膠在中劑量下效果最強，但波動大。
- 蜂蜜色澤柔和穩定，中劑量可達偏藍最佳值。
- 建議：中等劑量（第2～3平匙）為最佳偏藍色表現，能兼顧穩定性與色彩度。

2. 薑黃黃色素表現整體為正 B 值，顯示穩定偏黃性。以第2平匙 B 值最高，為最佳顯色劑量。

- 牛膽汁濃度越高偏黃程度越佳。
- 蜂蜜應控制在低劑量，以免色彩變淡。
- 阿拉伯膠偏黃效果易受劑量波動影響，2－3平匙為最佳區間。
- 建議：蜂蜜與阿拉伯膠宜控制於低至中等劑量（1～2平匙）使用，以避免過量導致色彩偏中性。

（四）整體三總平均趨勢分析

根據三種天然添加劑於不同劑量條件下的 B 值三總平均統整分析，發現整體 B 值皆為正值，代表色彩偏向黃色調，符合薑黃本身的天然色素特性。

- 其中以第2平匙三總平均 B 值最高，達 66.28，顯示此濃度下的黃色表現最為鮮明且穩定；
- 其次為第1平匙（65.12），同樣展現良好偏黃效果；
- 隨著添加劑濃度上升，第4平匙（63.07）與第5平匙（60.59）之 B 值逐漸下降，顯示過高劑量可能干擾色素分布或產生稀釋效應，造成偏黃程度減弱。

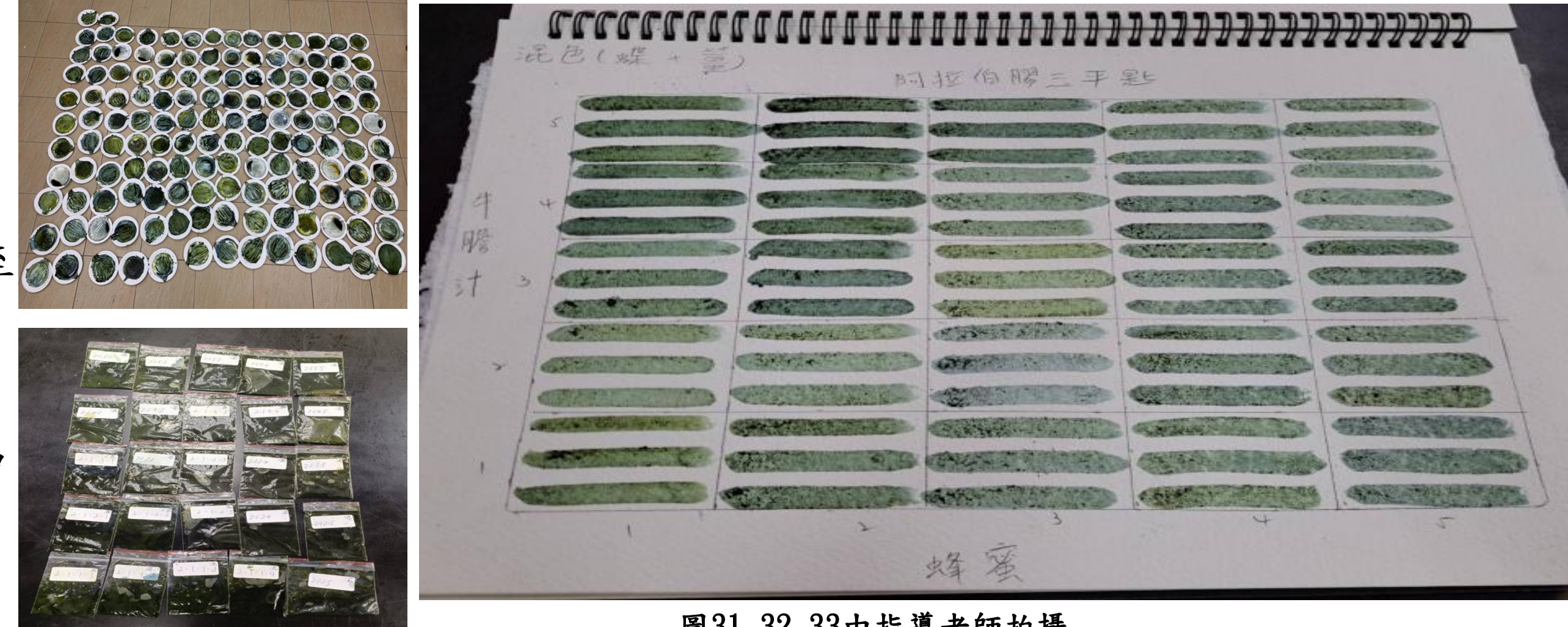
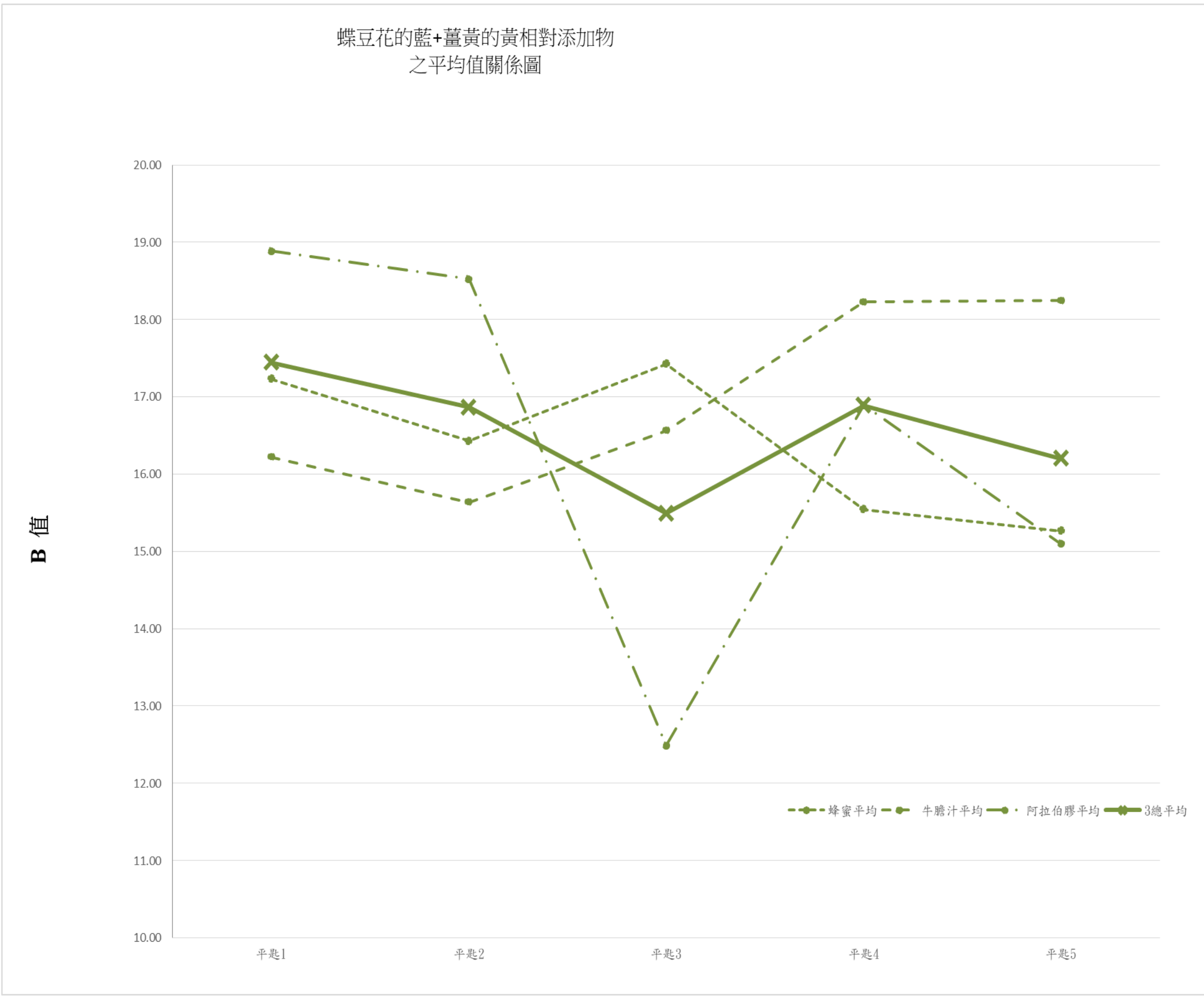


圖31. 32. 33由指導老師拍攝

綜合三種添加劑於五種劑量下的三總平均分析可得：

- 第1平匙三總平均 B 值為 17.44，為所有劑量中最高，顯示混合色在此劑量下最偏黃；
- 第2平匙為 16.28，亦表現出明顯偏黃傾向；
- 第3平匙最低，為 15.49，偏黃程度減弱，接近中性；

討論

二、混色系統分析（藍＋黃）

混色系統整體 B 值為正，偏黃為主。蜂蜜與牛膽汁趨勢穩定，但方向相反：蜂蜜愈多偏黃愈低，牛膽汁則偏黃愈高。阿拉伯膠變化最大，第3平匙偏黃明顯下降，顯示調色力強但不穩定。整體顯示，各添加劑隨劑量變化皆影響色彩，且在不同色系中表現趨勢一致，與其物理特性相關。

結論

3. 混色實驗（蝶豆花＋薑黃）顯示：

- 所有樣品皆偏黃（正 B 值）。
- 第1平匙整體偏黃最明顯。
- 蜂蜜與阿拉伯膠呈下降後回升趨勢。
- 牛膽汁則偏黃效果隨濃度穩定上升。
- 建議：混色應選擇適量阿拉伯膠提高偏黃的情形，牛膽汁則為穩定基底；蜂蜜可修飾混合液質地，應依應用需求調配。

綜合三組實驗結果，建議控制天然添加劑於第2～3平匙劑量區間，可達到穩定、飽和的色彩表現，提供天然色素應用上有效的參考依據。

研究建立了天然色素色彩變化的量化觀測模型，證實天然添加劑在控制顏料穩定性具有顯著效果，未來可作為天然染料、環保繪畫材料及食用著色劑開發的應用基礎。

實驗研究成功建構一套量化評估天然色素色彩穩定性的方法，並證實天然添加劑對天然顏料的調控作用具顯著差異。研究成果可作為以下領域之發展依據：

- 環保美術教育材料開
- 天然染料與無毒顏料製程改善
- 食品與化妝品天然色素配方優化