

第二十三屆旺宏科學獎

成果報告書

參賽編號：SA23-104

隊伍名稱：西裝暴徒

作品名稱：以烏柏葉片開發植物染科學體驗活動

參賽類別：化學

關鍵字：植物染、烏柏、鐵膽墨水

壹、研究題目：以烏柏葉片開發植物染科學體驗活動

貳、研究動機

秋冬之際觀察到上下學路上，近四公里筆直道路兩旁路樹轉紅，但葉形為菱形並非楓葉，經查詢發現此植物名為烏柏，可作為木材外各部位還有多種用途。我們對於葉片顏色隨季節變化，以及葉子可做為染料的說法很有興趣，卻沒有找到詳細文獻或使用記載，於是決定針對萃取液性質檢測，搭配植物染進行初步研究，希望能利用家鄉盛產植物探索染布工藝，開發具地方特色的科學體驗活動。

參、研究目的

- 一、取用隨季節變色的綠色、半黑半綠、紅色、紅色落葉四種烏柏葉片製成萃取液進行光合色素及光譜分析，並進行染布原理探討。
- 二、針對四種烏柏葉片的水萃取液搭配不同媒染劑進行植物染布實驗，尋找染布呈色效果最佳的配方。
- 三、分別對染布進行洗、曬，探討固色效果最佳的染布配方，並將結果與其他成分分析進行相關分析。
- 四、以符合呈色、固色效果的最佳配方進行染布實作，提供在地特色科學體驗活動推廣參考。

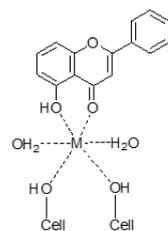
肆、研究過程

一、文獻探討

(一)植物染

植物染顧名思義，原料取自生活周邊取得的植物進行染布，又稱天然染，著名的藍染工藝即屬之。一般而言植物染需經過前置作業萃取出植物當中染料成分，接著將布料與染劑重複煮滾、浸泡才能染色，但由於色素和布料間沒有親和性，經過清洗還需以媒染劑定色，方能保持顏色持久。

根據所蒐集的植物染資料，常見的媒染劑包含草木灰、烏醋、石灰、氧化銅、氧化鐵、明礬，且通常含多種混搭配製，其中多數媒染劑中均含有明礬，除了能使布的顏色更加鮮艷外，也具備增加染料附著力的固色功效。以花青素做染劑時媒染劑的反應機制為例，當衣料纖維上的花青素，與媒染劑中的鋁離子產生配位共價作用形成金屬錯合物，就能使顏色附著提高，且此金屬錯合物吸收光線並反射時，也能使布料顏色顯得更加鮮艷。反應機制如圖 1。



M：媒染劑；Cell：衣服纖維

圖 1、媒染劑的功能為花青素與衣料纖維的媒介(圖來源：植物染缸論化學／劉曉倩)

媒染劑使用方式依照染料不同而有差異，大致可依照浸泡順序分類：

1. 同浴媒染法：染布在染液和媒染液混合的溶液同時進行染色和固色。
2. 預媒染色法：先將染布浸泡於媒染液，再浸入染液上色。
3. 後媒染色法：先將染布浸泡於染液，再浸入媒染液固色。

本研究參考客家藍染實作步驟以及前述植物染文獻，採用將染布與烏柏葉片萃取液(染劑)共煮方式染色，並採用後媒染色法進行固色，取不同素材製作媒染劑，並將染布風乾後施加不同措施，藉此觀察成品於不同保存方式固色差異。



圖 2、藍染步驟(圖來源：卓也藍染)

(二)色彩空間與轉換

現行色彩空間主要含有 HSL 與 HSV 兩種，原理都是將 RGB 色彩模型中的點，轉換為圓柱坐標系，或稱為色彩空間的方法。其中 HSL 即色相 (Hue)、彩度 (Saturation)、亮度 (Lightness)，HSV 又稱為 HSB 則為色相、彩度、明度 (Value 或 Brightness)。

一般色彩分析常採用的 RGB 值，取得該色彩之紅、綠、藍之不同強度組合，可利用以下公式將其換算出 HSL，其中 r、g、b 分別表示三色彩讀值，式中 max 為 (r, g, b) 中最大值，min 為 (r, g, b) 中最小值。

$$h = \begin{cases} 0^\circ & \text{if } \max = \min \\ 60^\circ \times \frac{g-b}{\max-\min} + 0^\circ, & \text{if } \max = r \text{ and } g \geq b \\ 60^\circ \times \frac{g-b}{\max-\min} + 360^\circ, & \text{if } \max = r \text{ and } g < b \\ 60^\circ \times \frac{b-r}{\max-\min} + 120^\circ, & \text{if } \max = g \\ 60^\circ \times \frac{r-g}{\max-\min} + 240^\circ, & \text{if } \max = b \end{cases}$$

$$s = \begin{cases} 0 & \text{if } l = 0 \text{ or } \max = \min \\ \frac{\max-\min}{\max+\min} = \frac{\max-\min}{2l}, & \text{if } 0 < l \leq \frac{1}{2} \\ \frac{\max-\min}{2-(\max+\min)} = \frac{\max-\min}{2-2l}, & \text{if } l > \frac{1}{2} \end{cases}$$

$$l = \frac{1}{2} (\max + \min)$$

圖 3、HSL 與 RGB 轉換公式(圖來源：微軟 Microsoft Learn)

$$h = \begin{cases} 0^\circ & \text{if } \max = \min \\ 60^\circ \times \frac{g-b}{\max-\min} + 0^\circ, & \text{if } \max = r \text{ and } g \geq b \\ 60^\circ \times \frac{g-b}{\max-\min} + 360^\circ, & \text{if } \max = r \text{ and } g < b \\ 60^\circ \times \frac{b-r}{\max-\min} + 120^\circ, & \text{if } \max = g \\ 60^\circ \times \frac{r-g}{\max-\min} + 240^\circ, & \text{if } \max = b \end{cases}$$

$$s = \begin{cases} 0, & \text{if } \max = 0 \\ \frac{\max-\min}{\max} = 1 - \frac{\min}{\max}, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$v = \max$$

圖 4、HSV 與 RGB 轉換公式(圖來源：微軟 Microsoft Learn)

在 HSL 和 HSV 中對色相(H)有相同定義，但在(S, L)及(S, V)的定義則不相同，根據 W3C(World Wide Web Consortium，全球資訊網協會)的 CSS3(Cascading Style Sheets，階層式樣式表)規定聲稱 HSL 的優點是對稱於亮與暗，意即在 HSL 數據中，當亮度≠0%時，彩度由 0%往 100%過程中，色彩會由等價的灰色變化到完全飽和色；而亮度則是從黑色(0%)經過選擇的色相(50%)到白色(100%)的完整範圍，色彩座標可參考下圖。

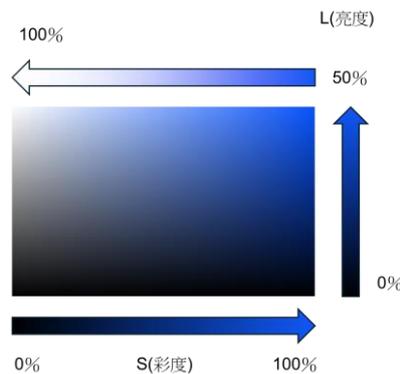


圖 5、HSL 色彩示意圖(圖來源：研究者製作)

在 HSV 中，彩度則一樣是從 0%往 100%過程，是從等價的灰色變化到完全飽和色，明度從黑色(0%)到選擇的色相(100%)，如下圖。

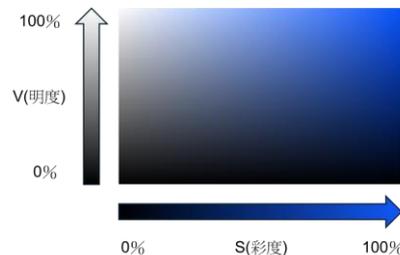


圖 6、HSV 色彩示意圖(圖來源：研究者製作)

前測實驗以 HSL 進行分析，然而為了能夠以平面座標系的概念更方便進行觀察，本研究將染布色彩分析數據由 HSL 改為 HSV 進行分析，並取 S 及 V 值作為色彩判讀依據。

二、萃取液樣品準備

- (一) 葉片樣品處理：烏桕在秋至冬時葉子會由綠葉轉變為黑在變紅色，為分析其差異，我們摘採四種顏色葉片，分別為 A 全綠色、B 半黑半綠色、C 紅色、D 紅色落葉葉片。摘採後擦拭清除灰塵，置於烘箱設定 70 度烘烤 4 小時，直至葉片完全乾燥、手捏即碎，完成乾燥葉片 A~D。
- (二) 葉片丙酮萃溶液：取乾燥葉片 A~D 各 2 克，浸泡於 20 毫升丙酮中，浸泡 30 分鐘後以濾紙過濾，得到丙酮萃 A~D，用來進行光合色素分析。
- (三) 葉片水萃溶液：取乾燥葉片 A~D 各 20 克，浸泡於 500 毫升蒸餾水中，再以加熱板燒滾 40 分鐘後，再靜置兩小時後用濾紙過濾，得到水萃液 A~D，用來進行植物染布實驗。



圖 7、四種葉片及水萃取液外觀(圖來源：研究者拍攝)

三、媒染劑配方與染布步驟

(一) 媒染劑

一般文獻提到植物染之媒染劑材料通常含有明礬、硫酸亞鐵、氯化鈣等物質，故前測實驗中以此混合設計配方 a，另外取用當地名產石蚶殘留之蚶殼取代氯化鈣，以及當地紅土(含鐵)取代硫酸亞鐵，製成媒染劑配方 b 及 c。根據前測實驗的結果，水萃溶液 A~D 搭配媒染劑 a 及 b 均可導致變色，但媒 c 則否，故此處捨棄媒 c 配方。根據前測實驗討論，我們認為硫酸亞鐵可能使染布呈色，而明礬與含鈣成分則可達固色功能，因此以重新設計硫酸亞鐵與蒸餾水為基底之媒染劑 d~f 配方，其中媒 f 為空白對照組，所有配方如下表：

表 1、實驗使用媒染劑標示名稱與成分配方

名稱	明礬	蒸餾水	含鐵成分	含鈣成分	備註
媒 a	50g	850g	硫酸亞鐵 25g	飽和氯化鈣 50g	前測(保留)
媒 b	50g	800g		蚶粉 40g+150g 25%醋 反應後澄清液 50 克	前測(保留)
媒 d	50g	800g		蚶粉 80g+150g 25%醋 反應後澄清液 50 克	
媒 e	50g	900g		無	對照組 1
媒 f	無	950g		無	對照組 2
媒 c	50g	850g	紅土 25g 50%醋酸 25g	氯化鈣 50g	前測(捨棄)

(二)染色步驟：以後媒染劑法進行染色，實作步驟如下。

1. 以棉質手帕作為染布，將其剪裁為4x4cm尺寸。
2. 取500ml烏柏水萃溶液A~D煮沸，放入待染布料後持續煮沸50分鐘，關火後靜置100分鐘放涼。自萃取液中取出布料擰乾後，分別泡入250ml上述媒染劑a~f，60分鐘後取出，以自來水清洗染布並擰乾，吊掛於陰涼處12小時自然風乾。
3. 每種染色方式共染180塊布料，完成後依序使用長尾夾在紙板上固定以便拍攝，共分為三組不同措施：
 - (1) 對照組：放置於陰涼桌面。
 - (2) 洗陰組：根據前測實驗觀察到顏色在第八天較穩定，故設計第八與十三天時進行清洗檢測耐洗程度。將少許洗衣精加入水中攪拌均勻後，分成二十份裝入塑膠杯中，分別將二十種布料放入塑膠杯中，以竹筷攪拌30秒後，放置於陰涼桌面陰乾。
 - (3) 曬組：每天白天時用衣架掛在陽台曬太陽。
4. 染布照片拍攝：每隔24小時將布料用長尾夾夾在瓦楞板上，放進自製攝影箱以Iphone13進行拍攝(圖8)，共持續15天。自製攝影箱畫面如圖9。

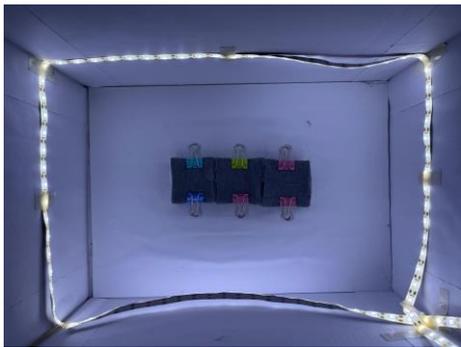


圖 8、進行拍攝的畫面



圖 9、自製攝影箱空箱

四、染布顏色分析方法

由於經染料共煮與媒染後布料染出顏色主要是黑色，且退色的過程中亮度的變化最能代表褪色程度，於是我們決定使用HSV中的彩度S及亮度V來進行布料變化比較。利用Photoshop進行色彩校正與數值讀取，每種布料共進行有3次讀取，分別取S及V的四捨五入平均數值紀錄(於附錄)進行分析，並使用使用JASP軟體(單機第0.19版)進行相關性分析。

針對染布於自製攝影箱中蒐集之染布照片，使用Photoshop進行色彩校正，分析步驟如下圖所示，分別為圖10-1、建立曲線圖層；圖10-2、使用白點工具使白色背景調整為最亮點；圖10-3、使用選取工具選取兩長尾夾之間的區域後使用平均濾鏡將目標區域(R, G, B)數值平均；圖10-4、使用滴管工具選取顏色並記錄(H, S, V)。

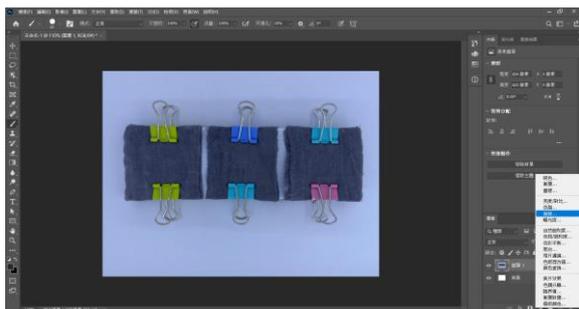


圖 10-1 建立曲線圖層



圖 10-2 使用白點工具

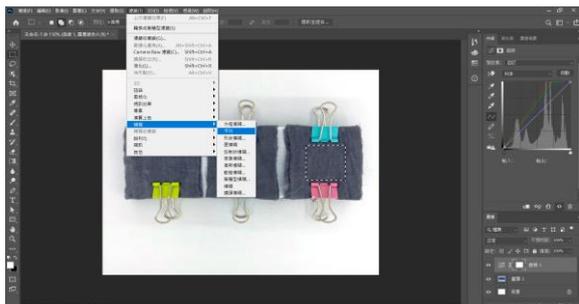


圖 10-3 使用選取工具



圖 10-4 使用滴管工具

圖 10、色彩分析步驟

五、光合色素分析

(一)光合色素色層分析

取長條濾紙作為固定相，並在 3 公分處標示起點線，展開液取丙酮：石油醚=1：9 配製而成，樣品部分以毛細管取丙酮萃取液 A-D 滴在濾紙上，每濾紙各點萃取液 20 次，每次均待萃取液乾燥方點下一滴。

將長條濾紙分別放入展開液中，以保鮮膜覆蓋上方隔絕，靜置 20 分鐘待四種植物色素明顯分離後完成色層分析，取出並標記各色素最高點位置，計算各色素 Rf 值。

(二)光合色素定量分析

以分光光度計(型號：UV-1280)搭配石英比色槽(2 面光，光徑 10mm，3.5ml)進行純丙酮萃取液各波長吸收度檢測，並設定測量波長：760nm-330nm；空白校正液：純丙酮。為確認丙酮萃取液在波長 664nm 時的吸光數值介於 0.1-1 之間，取用檢測樣品為丙酮萃取液原液稀釋 12 倍(丙酮萃取液 200uL 與丙酮 2200uL 混合)

依據臺中區農業改良場研究彙報 89:67-75 (2005)的方式，可以透過檢測萃取液於 664nm 與 647nm 吸光值(代號分別 A_{664} 及 A_{647})，並經由以下計算獲得葉綠素 a 及葉綠素 b 數據。

$$\text{葉綠素 a (C 葉 a)}(\text{mg/ml}) = (12.7A_{664} - 2.69A_{647})$$

$$\text{葉綠素 b (C 葉 b)}(\text{mg/ml}) = (22.9A_{647} - 4.68A_{664})$$

六、水萃溶液性質與成分分析

(一)pH 值檢測：以 pH 檢測器(HI-98103)進行水萃原液 pH 值檢測。

(二)水萃溶液色譜分析

以分光光度計(型號：UV-1280)搭配石英比色槽(2 面光，光徑 10mm，3.5ml)進行純水萃取液波長吸收度檢測，測量波長：800nm-190nm；空白校正液：蒸餾水，樣品為水萃取液稀釋 960 倍(水萃取液 2.5uL 與蒸餾水 2397.5uL 混合)置於石英比色槽進行量測。

重複步驟直至完成 A-D 四組數據，確認高峰數值介於 0~1.2 之間。

(三)總酚含量檢測

依據 Julkunen-Titto(1985)方法並依實況調整配方。檢測原理是以沒食子酸(Gallic acid，簡寫為 GA)為標準品，利用福林酚試劑(Folin-Ciocalteu's phenol reagent)與萃取液總多酚化合物反應生成藍色化合物，並利用分光光度計測定 735 nm 吸光值。

福林酚試劑比色法是檢測抗氧化總多酚含量最普遍的方法，以沒食子酸為標準，最終多酚類含量以 GA 當量濃度表示。過程中使用碳酸鈉調整酸鹼性，檢量線樣品添加福林酚後顏色依沒食子酸濃度的升高而越藍。添加後碳酸鈉溶液後樣品會產生少許沉澱，再經離心後取澄清溶液進行檢測

1. 檢量線製作：

(1) 沒食子酸標準品製備：1000 ug/mL 溶液：以 38%乙醇溶液溶解 0.05 克沒食子酸，並定量至 50 毫升；100 ug/mL

(2) 工作溶液：取 1000 ug/mL 標準溶液 5 毫升，以 38%乙醇溶液稀釋並定量至 50 毫升；以工作溶液與乙醇混合，依表配方配製出不同濃度標準溶液。

表 2、沒食子酸標準溶液配方

濃度	配方		總體積
	100 ug/mL 工作溶液	38%乙醇溶液	
20ug/ml	2 mL	8 mL	10 mL
30ug/ml	3 mL	7 mL	
40ug/ml	4 mL	6 mL	
50ug/ml	5 mL	5 mL	
60ug/ml	6 mL	4 mL	
100ug/ml	10 mL	0 mL	

(3) 標準品檢測配方：取 500uL 上述 20ug/ml 沒食子酸標準溶液，依序加入 250uL 福林酚試劑、1000uL 之 10%碳酸鈉(Na_2CO_3)溶液。將混合液於室溫下避光靜置 20 分鐘後，將標準溶液以 38%乙醇水溶液稀釋四倍(沒食子酸標

準溶液 1750uL 與 38%乙醇水溶液 5250uL 混合)。離心後以分光光度計測量 735 nm 吸光值。每個樣品重複三次實驗進行平均。改取 100ug/ml、60ug/ml、50ug/ml、40ug/ml、30ug/ml、20ug/ml、沒食子酸標準溶液，重複上述步驟檢測吸光值，每個濃度均進行三次取平均。

2. 水萃溶液 A~D 檢測：

將水萃溶液 A~D 以相同濃度乙醇溶液稀釋 20 倍，稀釋步驟為：以分度吸量管及安全吸球取 5mL 水萃 A~D 原液，置於 100mL 容量瓶，加乙醇溶液至刻度線，並以微量吸管取稀釋後萃取液 A 500uL，依序加入 250uL 福林酚試劑、1000uL 之 10%碳酸鈉(Na_2CO_3)溶液。將混合液於室溫下避光靜置 20 分鐘後，將標準溶液以 38%乙醇水溶液稀釋四倍，以分光光度計測量 735 nm 吸光值。每個樣品重複三次實驗進行平均。

改以水萃溶液 B、C、D 重複上述步驟檢測吸光值，每個濃度均進行三次取平均。將平均值代入檢量線，計算出萃取液中沒食子酸當量濃度 (mgGAE/g sample)。

(四)總類黃酮含量檢測

依據 Lamaison & Carnat(1990)提出的以氯化鋁測定類黃酮含量方法，並依實況調整配方。檢測原理氯化鋁可與類黃酮化合物(例如蘆丁、槲皮素)進行反應，使其於特定波長下具有吸光性。

以蘆丁(Rutin)為標準品，配置不同濃度檢量溶液，並加入 AlCl_3 溶液混合靜置後測定 430nm 的吸光值，繪製檢量線。水萃溶液部分則將蘆丁改為水萃溶液 A~D。由於樣品中含有少許沉澱，經離心後取澄清溶液方進行檢測，重複上述步驟三次取平均，並帶入檢量線，最終總類黃酮含量以蘆丁當量濃度表示。

1. 檢量線製作

(1) 蘆丁標準品製備：以 75%乙醇溶液溶解 0.1 克蘆丁，並定量至 100 毫升，製成 1000 ug/mL 溶液。仿照沒食子酸標準溶液製備步驟，以 75%乙醇溶液稀釋為 100 ug/mL 溶液 100 毫升，再參考上表稀釋，配置出 90、80、70、60、50、40、30、20、10 ug/mL 溶液之蘆丁標準溶液。

(2) 標準品檢測配方：取 2000uL 上述 10ug/ml 蘆丁標準溶液，加入 2000uL 的 2% $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 溶液，均勻混合後於室溫下靜置 10 分鐘，檢測 430 nm 吸光值，重複步驟進行三次實驗，並改取將其他濃度標準溶液，每種濃度均檢測三次取平均後，繪製檢量線。

2. 水萃溶液 A~D 檢測

將水萃溶液 A~D 以相同濃度乙醇溶液稀釋 10 倍，稀釋步驟為：以分度吸量管及安全吸球取 5mL 水萃 A~D 原液，置於 100mL 容量瓶，加乙醇溶液至刻度線，完成後取 A 萃取液 2000uL 與 2000uL 的 3% $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 溶液，均勻混合後於室溫下靜置 10 分鐘，檢測 430 nm 吸光值。每個樣品重複三次實驗進行平均。

改以水萃溶液 B、C、D 重複上述步驟檢測吸光值，每個濃度均進行三次取平均。將平均值代入檢量線，計算出萃取液中蘆丁當量濃度(mgRE/g sample)。

(五) DPPH 自由基清除能力

依據 Shimada Method(1992)方法，以 DPPH 自由基檢測萃取液抗氧化能力。原理是 DPPH 是穩定自由基，其乙醇溶液為紫色並在 517nm 有強吸光值，若 DPPH 與樣品混合反應將造成紫色退去呈現淡黃色，使吸光值下降，藉由原液與混合樣品溶液之吸光值下降程度計算樣品自由基清除率。

1. 實驗步驟

- (1) 製備 0.2 mM 之 DPPH 乙醇溶液：取 7.9 mg DPPH 以 95%酒精溶解後，定量至 100mL。
- (2) 取萃取液 A~D 各 2000uL 與 DPPH 乙醇溶液 2000uL 混合，室溫下避光靜置 30 分鐘。DPPH 原液亦避光靜置。
- (3) 以分光光度計測量樣品 A~D 混合液於 517nm 吸光值，以及 DPPH 原液(對照組)吸光值。每種萃取液進行三次實驗。

2. 自由基清除率計算

將每種萃取液三次吸光值取平均後，帶入計算清除率=(對照組的吸光值-樣品的吸光值) / 對照組的吸光值*100%

七、染布色彩與固色效果分析

(一)共分為對照組(陰乾存放組)、洗陰組、曬組。其中對照組放置於陰涼不照光桌面存放。

1. 洗陰組：在第八與十三天時，將少許洗衣精加入水中攪拌均勻後，分成二十份裝入塑膠杯中，分別將二十種布料放入塑膠杯中，以竹筷攪拌 30 秒後，放置於陰涼桌面陰乾。
2. 曝曬組：每天 7：30~18：00 時用衣架掛在陽台曬太陽，其餘時間放置於陰涼桌面收藏。

(二)固色效果分析取色

取色天數可參考下表 3，每組搭配每種媒染劑樣品均染 3 塊布，將各天 3 塊布取色結果平均並四捨五入至整數位後記錄。所有數據條列於附錄，並分別取用不同條件、天數、樣品編號之數據分別進行討論。

表 3、取色日總表

	1~7 天	8 天	9~12 天	10 天	13 天	14~15 天
對照組	取色	不取色	取色	取色	不取色	取色
洗陰組	取色	清洗陰乾	取色	取色	清洗陰乾	取色
曬組	取色	不取色	取色	取色	不取色	取色

伍、實驗結果

一、光合色素分析

(一)色層分析高度與 Rf 值

色素的層析主要是利用之間吸引力的不同進而分離的方法，影響實驗結果最主要的因素是光合色素分子量之大小有關，分子量由大到小為葉綠素 b>葉綠素 a>葉黃素>胡蘿蔔素。



圖 11、長條濾紙層析



圖 12、萃取液層析結果

表 4、光合色素層析高度(cm)

爬升高度	沖提液	胡蘿蔔素	葉黃素	葉綠素 a	葉綠素 b
A	9.2	9.2	5.7	3.6	1.9
B	10	10	6.6	4.3	2.7
C	9.6	9.6	7.1	4.4	3.0
D	10	10	7.6	不明顯	3.6

表 5、光合色素層析高度與 Rf 值

Rf 值	胡蘿蔔素	葉黃素	葉綠素 a	葉綠素 b
A	1	0.62	0.39	0.20
B	1	0.66	0.43	0.27
C	1	0.74	0.45	0.31
D	1	0.76	X	0.36

由層析結果得知，葉綠素 a 在丙酮萃取液 D 中的色素呈現相較其他三者更不明顯。

(二)光合色素吸收圖譜分析

丙酮萃取液 A 吸收圖譜中主要含有兩區峰值，主要分布在 430nm 以及 660nm 附近，其中 430nm 屬紫外光範圍，吸收度約為後者兩倍；丙酮萃 B 中主要含有兩區峰值，主要分布在 430nm 以及 660nm 附近，波長 400nm 後與丙酮萃溶液 A 的圖形接近，吸光值約為 A 的一半。丙酮萃 C 與 A、B 有相

同位置的兩個峰值，但在 430nm 的吸光值較 A、B 低；丙酮萃 D 吸收中沒有與前三者有 430nm 的吸光峰值，在 660nm 的吸光值也比前三者低，峰值在 450nm 中出現。

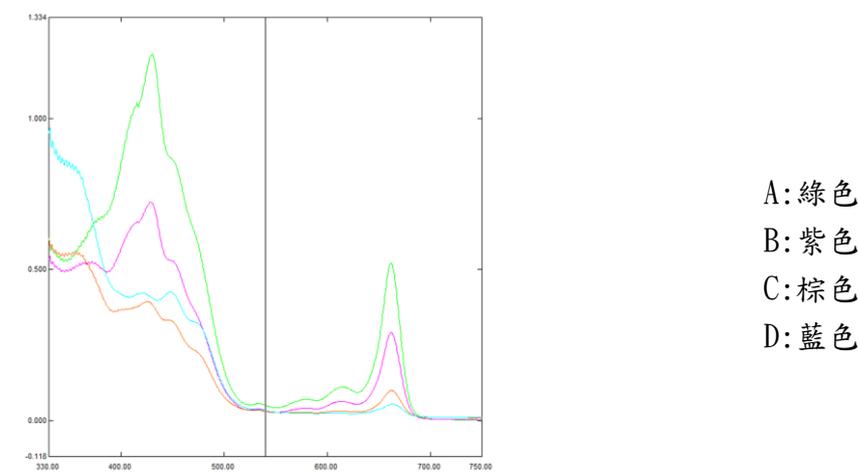


圖 13、四種丙酮萃溶液在 760nm-330nm 對光的吸收度

參考四種丙酮萃液在 760nm-330nm 吸收度合併圖譜：吸光值峰值大致在 430nm~450nm 與 660nm，A 與 B 大致有一樣的圖形，B 的吸光值大致為 A 的一半，C 與 D 的吸光值皆低於 A 與 B 且吸光值相近，430nm~450nm 處峰值 C 落在與 A、B 同波長位置，D 的峰值在 450nm。

將吸光值數據帶入上述公式所計算出葉綠素 a、b 含量結果如表 6。

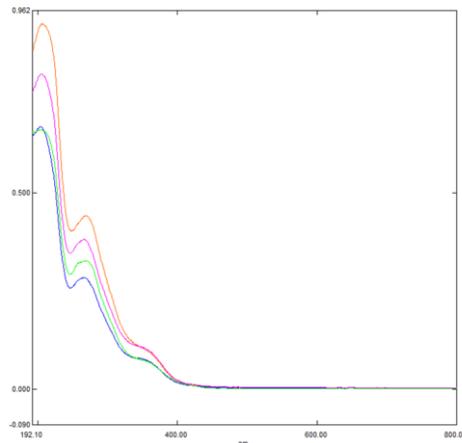
表 6、吸光值整理與葉綠素 a、b 計算結果

溶液種類/數值	A ⁶⁴⁷	A ⁶⁶⁴	C _{葉 a}	C _{葉 b}
A	0.209	0.502	5.813	2.437
B	0.120	0.283	3.271	1.424
C	0.049	0.980	1.113	0.663
D	0.035	0.055	0.640	0.544

二、水萃溶液性質與成分分析

(一)水萃溶液吸收圖譜分析

水萃取液 A 吸收圖譜中主要含有兩區峰值，主要分布在 200nm 以及 260nm 附近，兩者均屬紫外光範圍，吸收度約為後者兩倍。水萃取液 B 吸收圖譜中主要含有兩區峰值，主要分布在 200nm 以及 260nm 附近，其中 200nm 的吸收度和 A 差不多，但 260nm 的吸收度較 A 低。水萃取液 C 吸收圖譜中主要含有兩區峰值，主要分布在 200nm 以及 260nm 附近，兩者的吸收度都較 A、B 高。水萃溶液 D 在 850nm-190nm 對光的吸收度與其峰值：水萃取液 D 吸收圖譜中主要含有兩區峰值，主要分布在 200nm 以及 260nm 附近，兩者的吸收度在 A、B、C、D 中都是最高的。



A: 綠色
B: 藍色
C: 紫色
D: 棕色

圖 14、四種水荳溶液在 850nm-190nm 吸收度

根據光譜分析結果與文獻資料發現此吸收度可能受到花青素影響，因此進行水荳溶液 pH 值檢測。

(二)pH 值：檢測結果如下表，四種水荳取溶液均偏酸性，整體而言 D 之酸性最強，pH 達 4.2，而 B 最弱。pH 值 B>A>C>D。

表 7、各水荳溶液 pH 值(測量室溫：22 度 C)

	A	B	C	D
pH	4.6	4.8	4.5	4.2
pH	4.6	4.8	4.5	4.2
pH	4.6	4.8	4.5	4.2
平均	4.6	4.8	4.5	4.2

表 8、水荳溶液 A~D 吸收峰值

水荳溶液 A		水荳溶液 B		水荳溶液 C		水荳溶液 D	
波長(nm)	Abs.	波長(nm)	Abs.	波長(nm)	Abs.	波長(nm)	Abs.
267.50	0.327	267.50	0.284	265.50	0.382	269.00	0.442
246.50	0.292	246.50	0.258	247.00	0.346	248.50	0.402
203.00	0.660	202.50	0.667	204.00	0.801	208.00	0.929

(三)總酚含量

檢測標準品所得吸光值如下表 9，取其平均後，以濃度為橫軸，吸光值為縱軸作圖，完成沒食子酸標準品檢量線，結果如圖 15 所示。

表 9、各濃度 GA 標準液吸光值數據

濃度	20	30	40	50	60	100
吸光值 1	0.21	0.276	0.345	0.423	0.501	0.856

吸光值 2	0.21	0.276	0.345	0.423	0.501	0.855
吸光值 3	0.21	0.275	0.346	0.423	0.500	0.855
平均	0.21	0.276	0.345	0.423	0.501	0.855

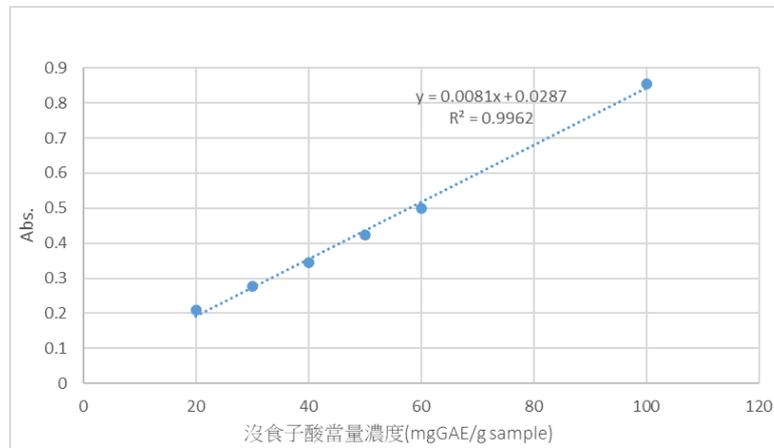


圖 15、以 excel 繪製之沒食子酸檢量線

上圖中 y 為吸光值(abs)，x 為總酚含量，以沒食子酸相當濃度 GA ug/mL 表示。根據標準品濃度與吸光值，得趨勢線/檢量線方程式為 $y(\text{abs})=0.008x(\text{GA ug/mL}) + 0.0288$ ，其中 $R^2=0.996$ ，數值大於 0.995 符合檢量線標準。

表 10、A~D 吸光值與 GA 相當量

	A	B	C	D
吸光值 1	0.469	0.332	0.405	0.586
吸光值 2	0.469	0.333	0.405	0.586
吸光值 3	0.469	0.333	0.405	0.587
平均	0.469	0.333	0.405	0.586
GA 當量濃度	54.358	37.527	46.457	68.844

結果顯示 D 的吸光值最高，GA 相當量也為最高，四者 GA 當量依序為 $D>A>C>B$ ，表示隨著葉片由綠轉黑再轉紅的過程，總酚含量先下降後上升，待葉片轉紅為落葉時總酚含量最高。對比前測實驗中關於染色原理推測，總酚含量越高者顏色應越黑，但 L 值為 $A>B>C>D$ ，表示顏色由黑至淺為 $D>C>B>A$ ，與酚類總含量趨勢中僅 B、C、D 吻合，表示總酚類含量確實影響深色程度，卻非唯一變化因素。相較於其他三種葉片，葉片 A 為全綠葉片，所蒐集之水草溶液外觀顏色也明顯較淺，應與光合色素成分有部分關聯。

(四)總類黃酮含量檢測

檢測標準品所得吸光值如下表 11，取其平均後，以濃度為橫軸，吸光值為縱軸作圖，完成蘆丁標準品檢量線，結果如圖 16 所示。

表 11、各濃度蘆丁標準液吸光值數據

濃度	10	30	50	70	90	100
吸光值 1	0.150	0.382	0.643	0.948	1.174	1.282
吸光值 2	0.150	0.383	0.644	0.944	1.171	1.283
吸光值 3	0.150	0.383	0.644	0.941	1.170	1.282
平均	0.150	0.383	0.644	0.944	1.172	1.282

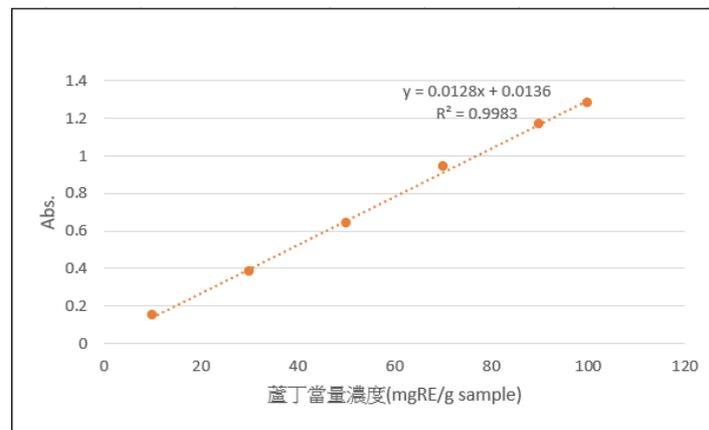


圖 16、以 excel 繪製之蘆丁檢量線

上圖中 y 為吸光值(abs)，x 為類黃酮含量，以蘆丁相當濃度 RE ug/mL 表示。根據標準品濃度與吸光值，得趨勢線/檢量線方程式為 $y(\text{abs})=0.0128x(\text{RE ug/mL})+0.0136$ ，其中 $R^2=0.998$ ，數值大於 0.995 符合檢量線標準。

表 12、A~D 吸光值與 RE 相當量

	A	B	C	D
吸光值 1	0.338	0.380	0.502	0.545
吸光值 2	0.338	0.380	0.501	0.546
吸光值 3	0.339	0.380	0.502	0.546
平均	0.338	0.380	0.502	0.546
RE 當量濃度	25.370	28.625	38.130	41.568

結果顯示 D 的吸光值最高，RE 相當量也為最高，四者 RE 當量依序為 $D>C>B>A$ ，表示隨著葉子由綠轉黑片紅的過程類黃酮含量逐漸增加。

(五) DPPH 自由基清除能力

各水萃溶液之自由基清除率最高為 B，依序為 B>C>A>D。吸光值數據與自由基清除率結果如下表 13、14。

表 13、原液與各萃取液之吸光數據

	原液 (前)	A	B	C	D	原液 (後)
吸光值 1	2.047	0.280	0.217	0.275	0.399	2.033
吸光值 2	2.046	0.278	0.217	0.275	0.401	2.021
吸光值 3	2.045	0.278	0.217	0.275	0.396	2.019
平均	2.046	0.279	0.217	0.275	0.399	2.024

表 14、各水萃溶液之自由基清除率

	A	B	C	D
清除率(%)	86.3%	89.3%	86.5%	80.3%

三、染布色彩與固色效果分析

使用水萃溶液 A~D 搭配媒染劑 a~f，共計 20 種染布方式，每種染布分別進行對照、洗陰、曬三種措施，每種措施共染 3 塊布料，並依上述方法拍照取其彩度(S)及明度(V)15 天。每塊布料以上述分析方法取得彩度與明度數值後，將三數值平均並四捨五入至整數位，所有數據條列於附錄。

以下將針對所討論部分，取局部數據進行更進一步處理，每項研究取用之數據與處理方式將分項說明。

(一) 染布最終呈色色彩數據與分析

為了分析最終顏色的深淺，作為染布呈色效果分析，我們取用對照組最末兩天(第 14、15 天)之 S 及 V 值，計算平均製成表 15，並以 S 為橫軸、V 為縱軸作圖 17，該 S、V 值的顏色對照另以表 16 呈現。

表 15、Aa~Df 末兩天 S 及 V 之平均值

	Aa	Ab	Ad	Ae	Af	Ba	Bb	Bd	Be	Bf
S	29.5	26.5	27.5	29.5	27	24	32	17	21.5	24
V	42.5	40.5	40.5	42.5	44	46	41.5	44	45	44.5
	Ca	Cb	Cd	Ce	Cf	Da	Db	Dd	De	Df
S	25	29	29.5	27.5	29.5	36	33	36	36.5	40.5
V	40.5	39.5	40	41	40.5	40	38	37.5	37.5	37

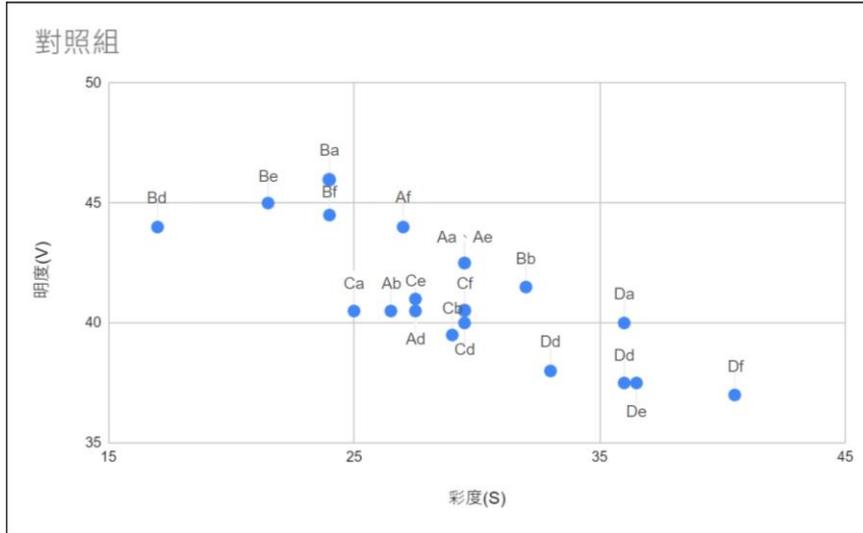


圖 17、Aa~Df 末兩天 S、V 值座標圖

表 16、各樣品 S、V 值呈現顏色

Aa	Ab	Ad	Ae	Af	Ba	Bb	Bd	Be	Bf
Ca	Cb	Cd	Ce	Cf	Da	Db	Dd	De	Df

因為這張圖表是以彩度(S)作為 X 軸，以明度(V)作為 Y 軸，又因為彩度越大且明度越小時，顏色會越深，故越靠近圖表右下角越佳。由圖上可以看出整體而言萃取液 D 顏色其他三者深，B 的顏色跨度最大，C 略優於 A。

染布顏色前五佳均為萃取液 D，其中 Df 最佳，依序為 Df>De>Dd>Da>Dd。

(二) 染布顏色變化數值與趨勢

為了分析染布變色原理，取出原始數據染色效果最好的媒染劑 f，搭配各水草溶液並取對照組布料 Af~Df 之數值探討，以變化較明顯之 V 值與時間(第 1~15 天)呈現。

數據如表 17，另以時間為橫軸，V 為縱軸作圖 18。

表 17、Af~Df 第 1~15 天 V 值

v	Af	Bf	Cf	Df
day1	43	45	39	35
day2	42	44	38	34
day3	44	42	39	41
day4	50	45	43	42

day5	43	44	40	36
day6	45	45	40	38
day7	43	44	42	36
day9	42	41	37	36
day10	45	45	42	39
day11	44	44	41	39
day12	44	45	40	36
day14	44	44	41	37
day15	44	45	40	37

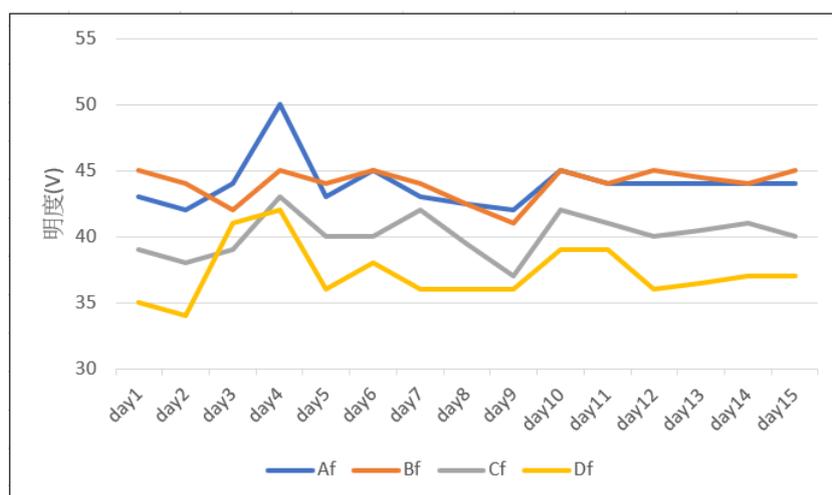


圖 18、Af~Df 之明度(V)隨時間變化圖

由圖可以看的出來布料在明度變化上的趨勢不顯著，但在第三天至第四天之間皆有上升的趨勢尤 A、D 顯著，而在第四天至第九天之間有下降趨勢 B、C 較為明顯，後期明度 A、B 趨勢相近且大於 C，而 C 大於 D。

(三)固色效果分析

由先前對照組在末兩天的色彩分析趨勢圖得知，以 D 萃取液為染劑布料皆為最佳，故此處僅取用 D 萃取液的颜色變化，探討五種媒染劑對於抗洗及抗曬的能力，延續結果進而探討萃取液抗洗及抗曬的能力。

我們將抗洗與耐曬定義為 S 與 V 變化值較小，為了同時比較 S 及 V，我們將 $|\Delta S|$ 為橫軸、 $|\Delta V|$ 為縱軸繪製平面座標，並計算該點與原點的距離（以距離平方表示），定義最小者分別為抗洗、耐曬最好。

1. 抗洗能力

延續色彩分析呈現結果最佳為水萃溶液 D，故此處以 D 搭配不同媒染劑洗陰組中，第一次洗及第二次洗前後之 S 及 V 數據進行討論，與各媒染劑洗陰組(Da 洗~Df 洗)的 S 及 V 第 7 天及第 9 天(第一次洗)的差值量值和第 12 天及第 14 天(第二次洗)的數值，並計算差值量值。數據如表 18、19。

表 18、萃取液 D 搭配五種媒染劑第七天及第九天彩度及明度變化量量值

S1	Da 洗	Db 洗	Dd 洗	De 洗	Df 洗
Day7	31	32	28	21	33
Day9	31	28	26	26	33
$\Delta S1$	0	4	2	5	0
V1	Da	Db	Dd	De	Df
Day7	36	36	38	36	37
Day9	36	35	37	36	36
$\Delta V1$	0	1	1	0	1

表 19、萃取液 D 搭配五種媒染劑第十二天及第十四天彩度及明度變化量量值

S2	Da 洗	Db 洗	Dd 洗	De 洗	Df 洗
Day12	33	36	26	29	40
Day14	34	37	29	27	40
$\Delta S2$	1	1	3	2	0
V2	Da	Db	Dd	De	Df
Day12	40	36	38	38	36
Day14	40	35	36	38	37
$\Delta V2$	0	1	2	0	1

為探討兩次數據兩差值量值的整體變化量，我們將兩次數據的 ΔS 及 ΔV 相加，並以 $|\Delta S|$ 、 $|\Delta V|$ 總和分別為橫縱軸繪製平面座標，計算與原點距離越小者抗洗程度越好。數據呈現如表 20、圖 20。

表 20、萃取液 D 搭配五種媒染劑彩度及明度各變化量總和座標

	Da 洗	Db 洗	Dd 洗	De 洗	Df 洗
$ \Delta S1 + \Delta S2 $	1	5	5	7	0
$ \Delta V1 + \Delta V2 $	0	2	3	0	2
$(\Delta S1 + \Delta S2 , \Delta V1 + \Delta V2)$	(1, 0)	(5, 2)	(5, 3)	(7, 0)	(0, 2)

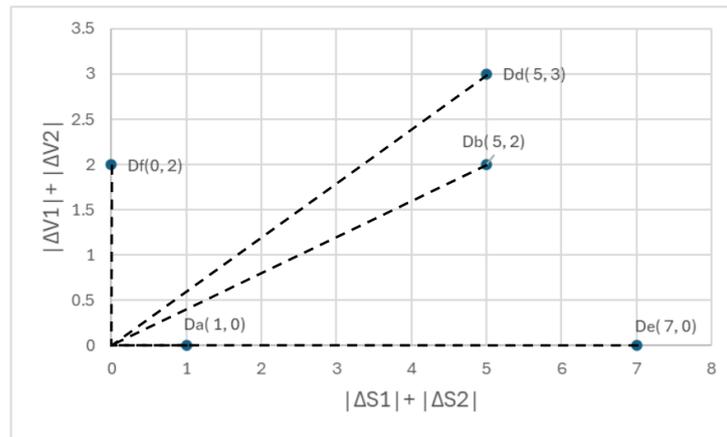


圖 19、萃取液 D 搭配五種媒染劑彩度及明度總變化量座標圖

表 21、萃取液 D 搭配五種媒染劑彩度及明度各變化量總和平方和

	Da 洗	Db 洗	Dd 洗	De 洗	Df 洗
$(\Delta S1 + \Delta S2)^2 + (\Delta V1 + \Delta V2)^2$	1	29	34	49	4

座標越靠近原點代表變化量越接近 0，即固色能力越佳，由圖可知，Da 最接近原點，顯示經過洗滌後，各媒染劑在和萃取液 D 的組合中，媒染劑 a 的固色能力最佳，其次為 Df，五者抗洗能力依序為 $Da > Df > Db > Dd > De$ ，其中前兩者又優於後三者。延續此結果便可探討各種萃取液的固色能力。

表 22、四種萃取液搭配媒染劑 a 第七天及第九天彩度及明度變化量量值

S1	Aa 洗	Ba 洗	Ca 洗	Da 洗
Day7	22	14	23	31
Day9	23	10	20	31
$ \Delta S1 $	1	4	3	0
V1	Aa 洗	Ba 洗	Ca 洗	Da 洗
Day7	43	46	41	36
Day9	39	44	40	36
$ \Delta V1 $	4	2	1	0

表 23、四種萃取液搭配媒染劑 a 第十二天及第十四天彩度及明度變化量量值

S2	Aa 洗	Ba 洗	Ca 洗	Da 洗
Day12	27	12	20	33
Day14	29	23	28	34

$ \Delta S2 $	2	11	8	1
V2	Aa 洗	Ba 洗	Ca 洗	Da 洗
Day12	42	43	42	40
Day14	43	46	40	40
$ \Delta V2 $	1	3	2	0

同樣將兩次數據的 ΔS 及 ΔV 相加並以平面座標系的概念觀察。

表 24、四種萃取液搭配媒染劑 a 彩度及明度各變化量總和座標

	Aa 洗	Ba 洗	Ca 洗	Da 洗
$ \Delta S1 + \Delta S2 $	3	15	11	1
$ \Delta V1 + \Delta V2 $	5	5	3	0
$(\Delta S1 + \Delta S2 , \Delta V1 + \Delta V2)$	(3, 5)	(15, 5)	(11, 3)	(1, 0)

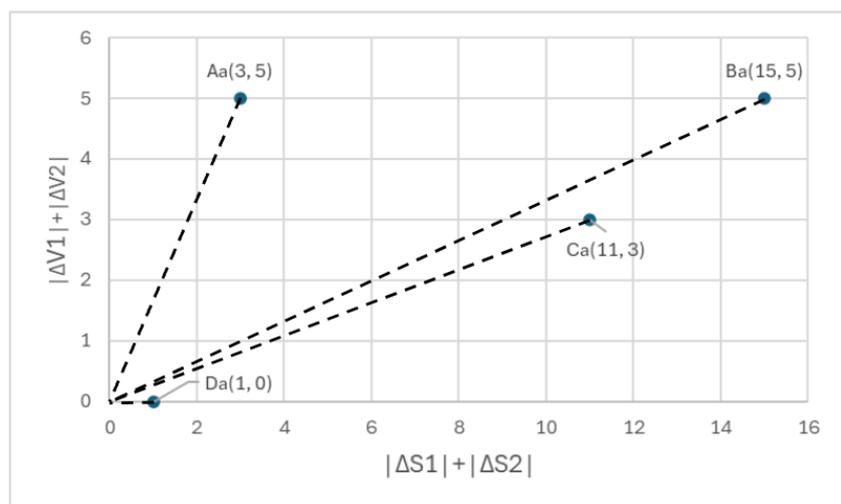


圖 20、四種萃取液搭配媒染劑 a 彩度及明度總變化量座標圖
(圖來源:研究者製作)

表 25、四種萃取液搭配媒染劑 a 彩度及明度各變化量總和平方和
(表來源:研究者製作)

	Aa 洗	Ba 洗	Ca 洗	Da 洗
$(\Delta S1 + \Delta S2)^2+(\Delta V1 + \Delta V2)^2$	34	250	130	1

由上圖及上表可知，和媒染劑 a 搭配的四種萃取液抗曬能力依序為 D>A>C>B。

2. 耐曬能力

延續色彩分析呈現結果最佳為水草溶液 D，故此處以 D 搭配不同媒染劑，分析抗曬程度。針對布料抗曬部分，則取用首尾兩天進行分析，故取

用 D 與各媒染劑組合曬組的 S 及 V，第一天第十五天的數值，並計算差值量值。數據呈現如表 26、27。為探討兩差值量值的整體變化量，以平面座標系的概念觀察。

表 26、萃取液 D 搭配五種媒染劑彩度及明度總變化量

S	Da 曬	Db 曬	Dd 曬	De 曬	Df 曬
Day1	34	40	32	35	38
Day15	28	28	35	33	33
$ \Delta S $	6	12	3	2	5
V	Da	Db	Dd	De	Df
Day1	37	32	35	34	36
Day15	40	38	37	38	38
$ \Delta V $	3	6	2	4	2

表 27、萃取液 D 搭配五種媒染劑彩度及明度變化量座標

	Da 曬	Db 曬	Dd 曬	De 曬	Df 曬
$(\Delta S , \Delta V)$	(6, 3)	(12, 6)	(3, 2)	(2, 4)	(5, 2)

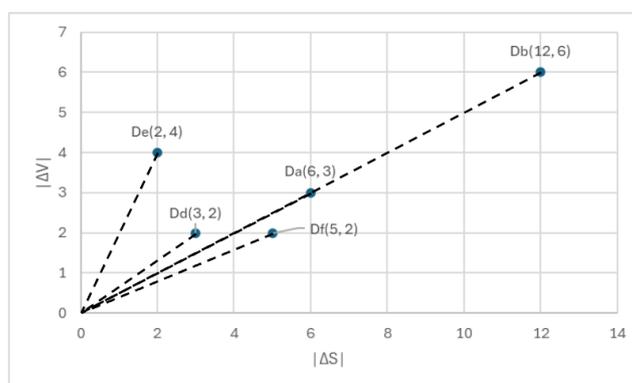


圖 21、萃取液 D 搭配五種媒染劑彩度及明度總變化量座標圖

表 28、萃取液 D 搭配五種媒染劑彩度及明度變化量平方和

	Da 曬	Db 曬	Dd 曬	De 曬	Df 曬
$ \Delta S ^2 + \Delta V ^2$	45	180	13	20	29

座標越靠近原點代表變化量越接近 0，即固色能力越佳，由圖可知，Dd 最接近原點，顯示經過曝曬後，各媒染劑在和萃取液 D 的組合中，媒染劑 d 的固色能力最佳。五者抗曬能力依序 $Dd > De > Df > Da > Db$ ，其中前四者又較 Db 為佳。延續此結果便可探討各種萃取液的固色能力。

表 29、四種萃取液搭配媒染劑 d 的彩度及明度總變化量

S	Ad 曬	Bd 曬	Cd 曬	Dd 曬
Day1	22	26	29	32
Day15	29	17	19	35
$ \Delta S $	7	9	10	3
V	Ad	Bd	Cd	Dd
Day1	41	41	35	35
Day15	44	46	42	37
$ \Delta V $	3	5	7	2

表 30、四種萃取液搭配媒染劑 d 彩度及明度總變化量座標

	Ad 曬	Bd 曬	Cd 曬	Dd 曬
$(\Delta S , \Delta V)$	(7, 3)	(9, 5)	(10, 7)	(3, 2)

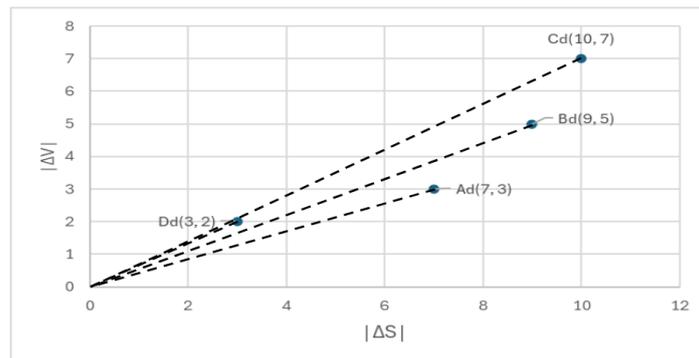


圖 22、四種萃取液搭配媒染劑 d 彩度及明度總變化量座標圖

表 31、四種萃取液搭配媒染劑 d 彩度及明度數值平方和

	Ad 曬	Bd 曬	Cd 曬	Dd 曬
$ \Delta S ^2 + \Delta V ^2$	58	106	149	13

由上圖及上表可知，和媒染劑 d 搭配的四種萃取液抗曬能力依序為 D>A>B>C。

陸、結果討論與應用

(一) 染布呈色原理

前測實驗中能使染布變色的僅有媒染劑 a、b，兩者均含有硫酸亞鐵成分，且實驗過程中觀察到染布浸泡萃取液和媒染劑後呈色變為黑色，初步推測可能發生類似鐵膽墨水之反應。配製鐵膽墨水的傳統方法一般是往鞣酸或沒食子酸溶液中加入一定量的硫酸亞鐵，除硫酸亞鐵以外的其他鐵鹽溶液也可以使用。

透過混合鞣酸以及沒食子酸與鐵鹽可分別得到鞣酸亞鐵及沒食子酸亞鐵的水溶液，因其良好的溶解性，可以滲透進紙張表面，令字跡難以擦除，故而做為墨水使用。此外上述兩種化合物若暴露在空氣中，可氧化為深色不溶於水的鞣酸鐵與沒食子酸鐵，使顏色更深，也就是說鐵膽墨水逐漸變深的現象是二價鐵離子(Fe²⁺)被空氣中的氧氣氧化為三價鐵離子(Fe³⁺)的過程。

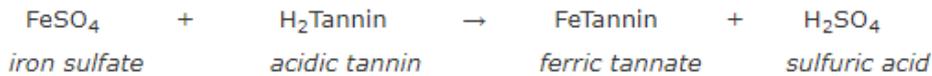


圖 22、硫酸亞鐵+單寧酸→單寧亞鐵+硫酸

鐵膽墨水主要顏色來源為鐵離子與多酚化合物的螯合，在多酚化合物中酚環上的羥基會提供金屬離子螯合的位置。天然物中常見的多酚類物質結構如圖，進行螯合後產生的沒食子酸鹽化合物基本結構如圖。

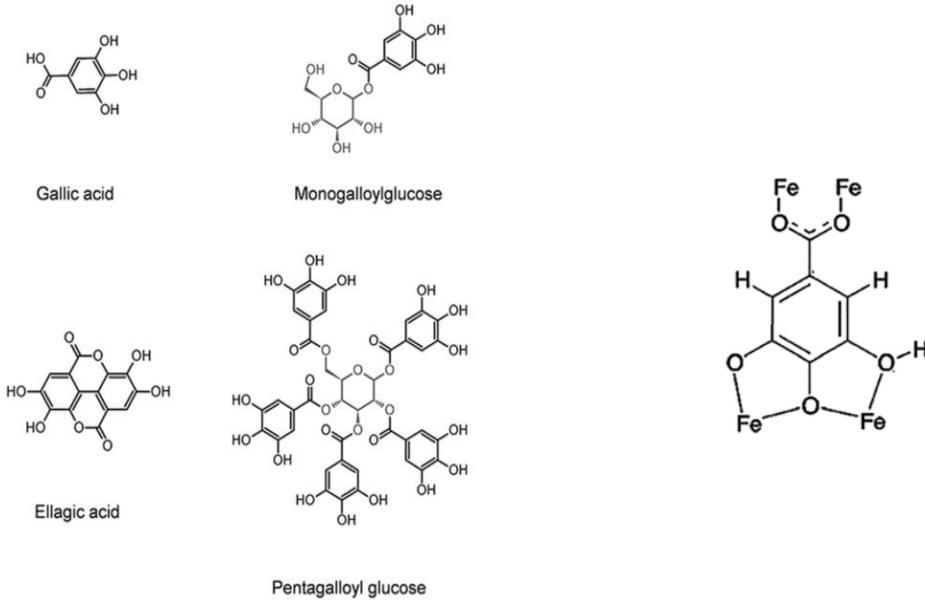


圖 23、沒食子酸、單沒食子醯葡萄糖、鞣花酸、五沒食子醯葡萄糖(酚類)結構。

圖 24、Fe³⁺-沒食子酸鹽化合物基本單元

鐵膽墨水能發生氧化進而使顏色更深的主要原因是以 Fe²⁺，Fe³⁺ 做為多酚配體時，Fe³⁺ 相對更為穩定，於是 Fe²⁺ 的酚鹽也會在氧氣下迅速氧化。以兒茶酚為例，產生 Fe²⁺ 配體後，會逐步形成以 Fe³⁺ 為配體之結構，如圖 12 所示。

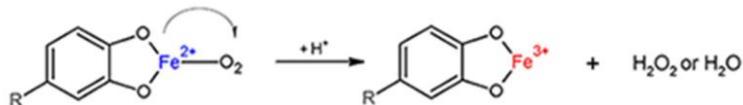


圖 25、兒茶酚 Fe²⁺→Fe³⁺

根據總酚含量結果，D的吸光值最高，GA相當量也為最高，四者依序為D>A>C>B，表示隨著葉片由綠轉黑再轉紅的過程，總酚含量先下降後上升，待葉片轉紅為落葉時總酚含量最高。對比染色原理推測，總酚含量越高者顏色應越黑，但L值為A>B>C>D，表示顏色由黑至淺為D>C>B>A，與酚類總含量趨勢中僅B、C、D吻合，表示總酚類含量確實影響深色程度，卻非唯一變化因素。

針對萃取液A的染色效果不佳，我們認為相較於其他三種葉片，葉片A為全綠葉片，所蒐集之水萃溶液外觀顏色也明顯較淺，當中含有的葉綠素可能影響染色效果，因為葉綠素具有與金屬離子螯合的能力，隨著其轉換成NCCs的過程中會產生脫鎂葉綠素，將導致了脫鎂葉綠素與正二價金屬螯合的機會，相關機制參考圖。

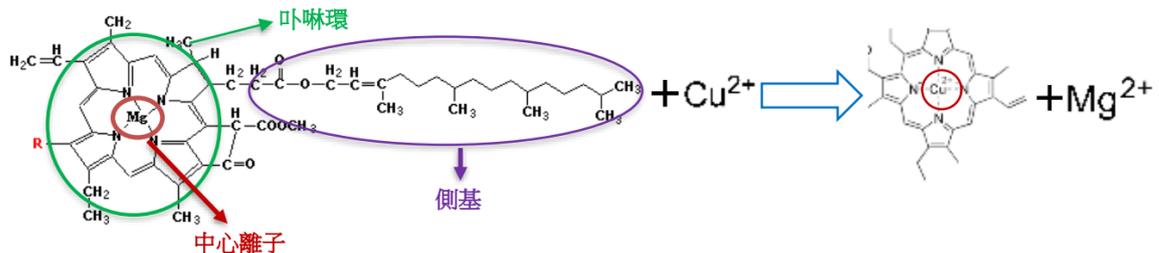


圖 26、脫鎂葉綠素與二價金屬螯合(銅)(圖來源:中華民國第 62 屆中小學科學展覽會-「葉」「銅」學來殺菌)

一般植物葉片隨季節發生葉綠素與其他成分增減，可能導致顏色變化。根據(Matile, 2000)和(文啟祥、曲芳華, 2014)的研究，證明了葉子變色的原因主要是因為葉綠素的降解和花青素的產生造成。葉綠素的降解為葉綠素在脫鎂後經過氧化打開質子環後變成紅色的 red chlorophyll catabolite(RCC)，再與(RCCR)反應過後形成 primary fluorescent chlorophyll catabolite(pFCC)後降解成 NCCs。在秋天時，植物輸送養分的效率變低，葡萄糖的濃度隨之提高，被轉換成澱粉處存後轉換成花青素儲存在酸性液泡內呈現紅色。

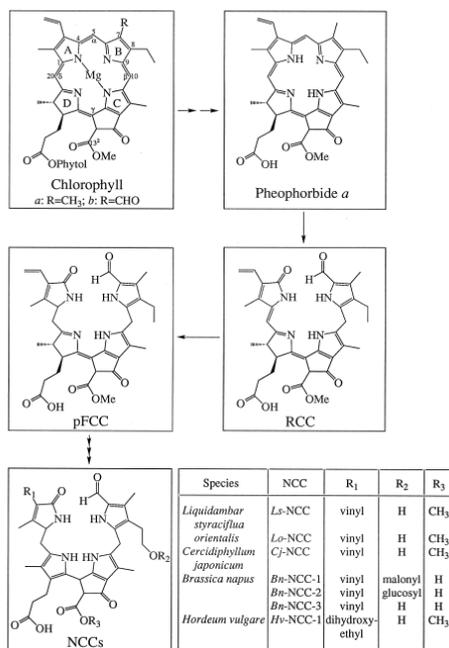


圖 27、葉綠素轉換為 NCCs 結構改變

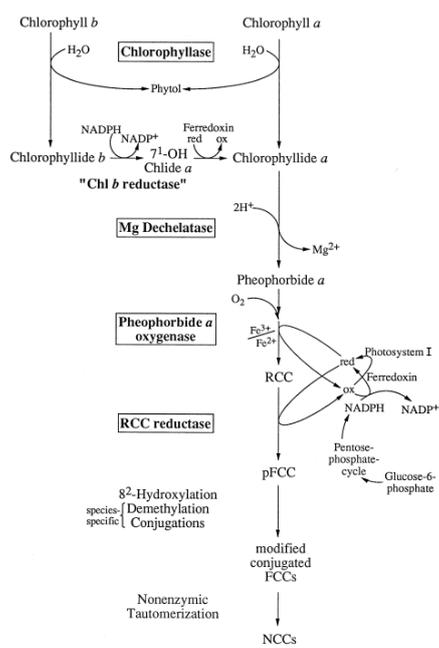


圖 28、葉綠素轉換為 NCCs 流程圖

在丙酮萃取液 A 中不管是葉綠素 a、葉綠素 b 上含量都大於其他萃取液，

本實驗中顏色變化所使用媒染劑成分含有硫酸亞鐵，當中亞鐵離子可能被脫鎂葉綠素結合，減少反應機會，反而使萃取液 A 於染布表現與總酚含量不符。整體而言染布顏色呈現黑色可能與鐵膽墨水有關，總酚類與亞鐵離子為主要反應物，前測實驗中經 L 值分析，黑色程度為 D>C>B>A，其中 B~D 趨勢與總酚類含量相同，表示總酚含量與染布結果大致吻合。A 的部分可能受到葉綠素影響，減少亞鐵離子與酚類反應量，而根據葉綠素 a 及葉綠素 b 檢測結果，A 中含量均最高，且趨勢均為 A>B>C>D，恰與黑色程度相反，顯示葉綠素可能對染布呈色帶來不利因素。

(二)呈色、固色與成分間相關性

為了討論前述水草溶液成分與染布呈色 S 及 V 的影響，我們取用水草溶液總酚含量(Polyphenol)、總類黃酮含量(Flavonoids)、DPPH 自由基清除率(DPPH)數據，與 Af~Df 每日 S、V 值進行相關性分析，並分別將對照組、洗陰組、曬組相關性分析結果以下表呈現。

根據黃婉璇(2018)研究說明，相關係數皮爾森 r 值低於 0.3 為低相關，介於 0.3 到 0.7 之間為中等相關，高於 0.7 則是高度相關，當 r 越接近 1 表示相關性越高。以此標準可得曬組 S 值與 DPPH 高度相關，V 值則與總類黃酮含量及 DPPH 高度相關，總類黃酮相關性較高(表 32)；洗陰組部分 S 值與總酚含量及 DPPH 高度相關，DPPH 相關性較高，V 值則與三種成分皆呈現高度相關，其中以總類黃酮相關性最高(表 33)；對照組部分 S 值與三種成分皆呈現高度相關，其中以 DPPH 相關性最高，V 值部分則與總類黃酮及 DPPH 呈現高度相關，總類黃酮相關性較高(表 33)。整體而言三組的 S 值與 DPPH 相關性最大，V 值則與總類黃酮相關性最大。

表 32、四種萃取液搭配媒染劑 f 曬組 S、V 值化學成分相關性分析結果

皮爾森 相關 ▼

變數		Flavonoids	DPPH	Polyphenol	S	V
1. Flavonoids	皮爾森r	—				
	p值	—				
2. DPPH	皮爾森r	-0.709	—			
	p值	< .001	—			
3. Polyphenol	皮爾森r	0.529	-0.971	—		
	p值	< .001	< .001	—		
4. S	皮爾森r	0.661	-0.764	0.698	—	
	p值	< .001	< .001	< .001	—	
5. V	皮爾森r	-0.836	0.752	-0.639	-0.704	—
	p值	< .001	< .001	< .001	< .001	—

表 33、四種萃取液搭配媒染劑 f 洗陰組 S、V 值化學成分相關性分析結果
皮爾森 相關 ▼

變數		Flavonoids	DPPH	Polyphenol	S	V
1. Flavonoids	皮爾森r	—				
	p值	—				
2. DPPH	皮爾森r	-0.709	—			
	p值	< .001	—			
3. Polyphenol	皮爾森r	0.529	-0.971	—		
	p值	< .001	< .001	—		
4. S	皮爾森r	0.616	-0.757	0.707	—	
	p值	< .001	< .001	< .001	—	
5. V	皮爾森r	-0.824	0.808	-0.707	-0.728	—
	p值	< .001	< .001	< .001	< .001	—

表 34、四種萃取液搭配媒染劑對照組 S、V 值化學成分相關性分析結果
皮爾森 相關 ▼

變數		Flavonoids	DPPH	Polyphenol	S	V
1. Flavonoids	皮爾森r	—				
	p值	—				
2. DPPH	皮爾森r	-0.709	—			
	p值	< .001	—			
3. Polyphenol	皮爾森r	0.529	-0.971	—		
	p值	< .001	< .001	—		
4. S	皮爾森r	0.760	-0.832	0.748	—	
	p值	< .001	< .001	< .001	—	
5. V	皮爾森r	-0.821	0.723	-0.605	-0.686	—
	p值	< .001	< .001	< .001	< .001	—

S 值方面，對照組與三種成分皆有高度相關，但經過洗陰降低了總類黃酮相關程度，曬則同時降低總類黃酮與總酚，我們認為可能受到酚黃現象的影響，酚黃現象主要為酚類受到 UV 照射後使酚類變黃，而類黃酮的抗氧化功能會使酚黃現象效率降低，此兩種現象的交互作用使酚類與類黃酮的相關程度同時降低，V 值方面對照組與總類黃酮及 DPPH 高度相關，經過曬增加相關程度(r 值提高)，洗陰後則與總酚含量亦呈現高度相關，推測有可能受到 DPPH 的影響在曬的過程中布料退色主因為受到 UV 的照射使氧氣變成臭氧，而臭氧會氧化布料中的顏色分子，而 DPPH 的作用下會使氧氣轉變成臭氧的效率降低使 DPPH 相關性提升。

(三)在地特色染布實作步驟開發成果

根據上述研究結果，我們發現以烏柏葉片進行植物染實作時，不論呈色狀況或耐洗曬程度，均以落葉 D 效果最佳，且呈色部分前三名依序為 Df>De>Dd，抗洗部分前三名依序為 Da>Df>Db，耐曬部分前三名依序為 Dd>De>Df。整體而言以落葉 D 水萃溶液搭配媒染劑 f 進行染布實作成果最佳，故以此配方進行染布實作。

1. 水萃溶液：以乾燥紅色落葉:水，以重量比 1:20 混合，水量依布料而定，以布料能被水沒過最佳。
2. 媒染劑:硫酸亞鐵(無水):水重量=1:38，水量如上。
3. 染布實作步驟：
 - (1) 將欲染製布料以橡皮筋網綁(參考圖 29-1)製作不同造型。
 - (2) 將葉子與水混合，放入布料共同加熱，期間不須攪拌以免布料受損，加熱時間為煮滾後計時 50 分鐘並關火靜置 100 分鐘。此時布料顏色與萃取液類似，成品如圖 29-2。
 - (3) 自萃取液中取出布料擰乾後，泡入媒染劑(總量與萃取液相同佳)60 分鐘後取出，此時布料呈現深色，成品如圖 29-3。
 - (4) 將染好布料以自來水稍作清洗後移除橡皮筋，再將染布徹底清洗並擰乾，吊掛於陰涼處 12 小時自然風乾。完成作品如圖 29-4。



圖 29-1 橡皮筋網綁



圖 29-2 與水萃液共煮後取出



圖 29-3 浸泡媒染劑並取出

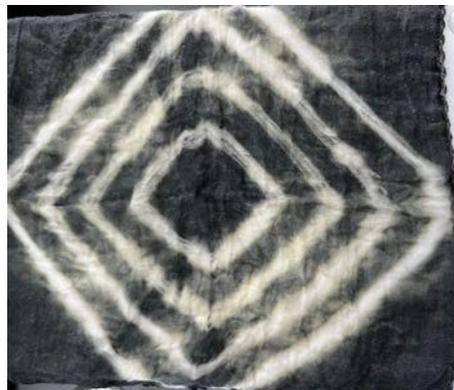


圖 29-4 晾乾成品

圖 29、以 Df 配方進行染布體驗實作

柒、結論

- (一)葉片 A~D 丙酮萃取液圖譜分析、光合色素分析結果：葉片由綠(A)轉黑(B)、黑變紅(C)、落葉(D)的過程中葉綠素含量逐漸變低。葉綠素 a 與葉綠素 b 濃度均以 A 最高，且四者含量依序為 A>B>C>D。其中又以 B 轉化為 C 之降幅最大。
- (二)葉片 A~D 水溶液性質與成分檢測：
1. pH 值為 B>A>C>D。
 2. 酚類含量上趨勢為 D>C>B>A。
 3. 總類黃酮含量上趨勢為 D>C>B>A。
 4. DPPH 上自由基清除率為 B>C>A>D。
- 整體而言在葉子轉變的過程中酚類、類黃酮含量有逐漸提升的趨勢。而在 DPPH 與 pH 值上皆為 B 最高 D 最低。
- (三)針對布料染布呈色效果分析，取用未施加其他措施之對照組數據，水草液 A~D 搭配不同媒染劑進行染布 S、V 值分析，結果以 Df 的 S 最大、V 最小，顯示 Df 顏色最深，其餘依序為 De>Dd>Da>Db。即使用落葉 D 水草溶液進行染布實驗顯色優於水草溶液 A~C。
- (四)取用 Af~Df 分析染布樣品隨時間數值變化，布料 V 值上總體並沒有太大的變化趨勢，但在第三天至第四天上 A 與 D 有較明顯的上升(顏色變淺)，在第四天至第九天 B 與 C 有較明顯下降(顏色變深)的趨勢。
- (五)針對洗陰組取用水草液 A~D 搭配不同媒染劑，第一次與第二次清洗前後蒐集之 S 及 V 值進行分析，並以座標呈現整體變化量作為染布抗洗固色程度分析，結果以 Da 表現最佳，前五依序為 Da>Df>Db>Dd>De。
- (六)針對曬組耐曬方面取用水草液 A~D 搭配不同媒染劑，持續曝曬並取首、尾兩天蒐集之 S 及 V 值進行分析，並以座標呈現整體變化量作為染布耐曬固色能力分析，結果以 Dd 表現最佳，前五依序為 Dd>De>Df>Da>Db。
- (七)相關性分析方面，V 值與總類黃酮顯著相關，且相關性較 DPPH 高，而 S 與 V 之間亦顯著相關。不同萃取液配媒染劑 f 的曬組之彩度變化上與自由基清除率最為相關，相關度為依序為對照組>曬組>洗陰組，在明度變化上與類黃酮含量最相關，相關度依序為曬組>洗陰組>對照組，酚類含量上彩度相關度依序為對照組>洗陰組>曬組，彩度上為洗陰組>曬組>對照組。
- (八)整體而言不論呈色、抗洗、耐曬方面，均以落葉水草溶液 D 成效最佳，其中 Df 呈色最佳且均有一定抗洗曬能力，為本次染布研究最佳配方，可作為後續在地特色實作活動參考。

捌、參考資料

- Amanda(2014, June, 27). Pigments, pH, and Beautiful Food Colors
- Díaz Hidalgo, R. J., Córdoba, R., Nabais, P., Silva, V., Melo, M. J., Pina, F., ... & Freitas, V. (2018). New insights into iron-gall inks through the use of historically accurate reconstructions. *Heritage Science*, 6, 1-15.
- Feild, T. S., Lee, D. W., & Holbrook, N. M. (2001). Why leaves turn red in autumn. The role of anthocyanins in senescing leaves of red-osier dogwood. *Plant physiology*, 127(2), 566-574.

- Iron Gall Ink/Marieflemy-<https://reurl.cc/z1D5Ey>
- Liu, Y., Fearn, T., & Strlič, M. (2022). Photodegradation of iron gall ink affected by oxygen, humidity and visible radiation. *Dyes and Pigments*, 198, 109947.
- Matile, P. (2000). Biochemistry of Indian summer: physiology of autumnal leaf coloration. *Experimental gerontology*, 35(2), 145-158.
- Melo, M. J., Otero, V., Nabais, P., Teixeira, N., Pina, F., Casanova, C., ... & Sequeira, S. O. (2022). Iron-gall inks: a review of their degradation mechanisms and conservation treatments. *Heritage Science*, 10(1), 145.
- Moser, S., Müller, T., Oberhuber, M., & Kräutler, B. (2009). Chlorophyll catabolites - chemical and structural footprints of a fascinating biological phenomenon. *European journal of organic chemistry*, 2009(1), 21-31.
- (N. d.). 卓也藍染體驗文化. <https://www.joye.com.tw/activity/>
- Dyelicioushouse. (2022, November 8). 什麼是媒染劑？常見的媒染劑有哪些？石灰、明礬、鐵、銅也能染色？. 藍小屋染色工坊. <https://www.dyelicious.hk/%E4%B8%BB%E9%A0%81>
- 小學科展-「葉」「銅」學來殺菌
- 文起祥, & 曲芳華. (2014). 植物秋季葉變色. 國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林研究報告, 28(2), 139-146.
- 草木染與媒染劑. (2022, April 18). 每日頭條. <https://kknews.cc/zh-tw/news/raaj8vx.html>
- 高中職科展-爭妍豆力-蝶豆花抗氧化能力探討及應用
- 張致盛, & 張林仁. (2005). 溶劑萃取果樹葉片葉綠素之研究. 臺中區農業改良場研究彙報, 89, 67-75.
- 莊溪. (n. d.). 烏桕. 認識植物網站. <https://reurl.cc/j3L9YL>
- 維基百科: <https://zh.wikipedia.org/>
- 劉曉倩. (2018). 植物染缸論化學. 台灣化學教育, 24.
- 蔡尚恬, & 蔡振章. (2004). 天然色素的顏色化學. 科學發展, 9月(381期).
- 鄭如伶, & 余絜恆. (2018). 中藥植物染液應用於棉纖維染色性之研究. 紡織綜合研究期刊, 28(4), 1-9.
- 顧文君, 馬復京, 游漢明, & 朱紀實. (2015). 烏桕種子油化學成分之研究. 林產工業, 34(3), 143-150.

玖、附錄

一、水萃溶液 A~D 對照組照片色彩分析原始數據：三塊布彩度(S)平均數值(四捨五入至整數位)

天數	Aax	Abx	Adx	Aex	Afx	Bax	Bbx	Bdx	Bex	Bfx
一	24	27	25	26	22	21	30	14	21	29
二	25	25	27	26	23	19	28	16	20	21
三	28	20	24	23	21	20	36	18	28	25
四	26	23	24	29	21	15	31	24	20	21
五	24	26	22	25	22	18	28	14	21	23
六	24	22	23	21	19	19	25	17	21	19
七	21	26	26	23	23	18	26	16	23	19
九	28	24	22	26	24	15	27	14	22	16
十	27	25	25	28	25	20	30	18	23	22
十一	27	27	23	30	23	19	30	17	24	22
十二	26	21	22	26	23	19	30	11	21	16
十四	30	28	27	31	26	25	32	15	26	23
十五	29	25	28	28	28	23	32	19	17	25

天數	Cax	Cbx	Cdx	Cex	Cfx	Dax	Dbx	Ddx	Dex	Dfx
一	20	28	21	29	26	31	31	35	36	37
二	21	27	26	23	24	38	30	44	44	36
三	20	36	34	35	26	31	27	31	32	31
四	21	25	23	25	24	34	27	33	35	34
五	22	25	24	25	25	29	27	35	32	36
六	23	28	27	25	26	30	33	31	32	33
七	23	26	24	26	31	30	30	29	31	34
九	17	19	21	19	20	22	20	25	29	30
十	22	31	27	26	31	32	32	36	36	37
十一	22	28	28	24	31	33	31	36	36	37
十二	20	22	23	21	24	34	28	31	34	36
十四	23	27	29	27	30	37	31	33	36	39
十五	27	31	30	28	29	35	35	39	37	42

二、水萃溶液 A~D 曬組照片色彩分析原始數據：三塊布彩度(S)平均數值(四捨五入至整數位)

天數	Aa 曬	Ab 曬	Ad 曬	Ae 曬	Af 曬	Ba 曬	Bb 曬	Bd 曬	Be 曬	Bf 曬
一	19	28	22	26	20	19	31	26	19	21
二	16	24	26	40	21	17	25	21	17	21
三	20	24	23	24	21	17	20	18	14	20

四	15	46	25	22	19	14	21	20	14	17
五	16	19	17	17	18	14	23	19	14	18
六	14	21	17	15	17	13	20	14	13	15
七	9	15	15	13	17	7	15	10	7	9
九	21	20	22	22	20	10	21	13	10	17
十	10	15	15	13	14	10	18	13	9	12
十一	8	16	15	13	15	8	20	11	9	11
十二	13	14	17	15	13	12	16	13	10	11
十四	10	14	16	14	14	10	13	16	10	10
十五	19	21	29	19	19	13	23	17	10	12

天數	Ca 曬	Cb 曬	Cd 曬	Ce 曬	Cf 曬	Da 曬	Db 曬	Dd 曬	De 曬	Df 曬
一	26	28	29	27	25	34	40	32	35	38
二	22	22	24	24	26	27	29	26	31	64
三	19	19	17	19	20	24	30	26	27	30
四	18	23	18	22	23	26	38	32	30	30
五	20	27	21	24	24	27	29	28	25	31
六	19	24	20	23	22	26	39	28	29	28
七	13	13	13	13	14	12	20	18	21	24
九	15	20	18	24	19	26	28	29	26	33
十	14	20	12	20	21	25	28	24	26	34
十一	14	19	14	18	19	25	28	24	24	32
十二	15	16	15	21	18	26	29	24	29	27
十四	14	21	16	20	23	23	26	30	27	30
十五	16	23	19	22	19	28	28	35	33	33

三、水草溶液 A~D 洗陰組照片色彩分析原始數據：三塊布彩度(S)平均數值(四捨五入至整數位)

天數	Aa 洗	Ab 洗	Ad 洗	Ae 洗	Af 洗	Ba 洗	Bb 洗	Bd 洗	Be 洗	Bf 洗
一	26	28	27	26	30	20	25	21	16	22

二	23	34	25	23	22	17	24	17	16	20
三	25	21	36	24	25	22	28	19	20	32
四	28	27	29	30	30	15	31	21	14	23
五	24	26	24	24	24	17	25	19	17	22
六	21	25	25	22	25	17	26	21	15	19
七	22	25	28	21	22	14	25	19	17	19
九	23	34	23	28	26	10	28	15	14	20
十	26	29	29	28	27	17	30	21	14	24
十一	26	27	31	29	27	17	28	14	15	26
十二	27	25	25	21	21	12	29	13	14	18
十四	29	33	33	28	28	23	28	22	16	24
十五	28	34	31	29	30	20	29	21	18	26

天數	Ca 洗	Cb 洗	Cd 洗	Ce 洗	Cf 洗	Da 洗	Db 洗	Dd 洗	De 洗	Df 洗
一	23	26	28	27	28	36	34	36	35	38
二	22	24	25	25	27	33	35	33	32	35
三	34	22	25	35	23	32	35	36	34	25
四	24	25	22	25	26	37	33	34	33	32
五	22	29	23	24	25	30	31	31	33	35
六	25	28	25	26	28	31	33	31	31	29
七	23	25	26	27	27	31	32	28	33	33
九	20	20	19	22	24	31	28	26	33	33
十	25	30	23	26	30	33	34	31	36	49
十一	2	32	27	24	31	33	33	32	36	51
十二	20	21	22	24	27	33	36	26	35	40
十四	28	32	27	25	32	34	37	29	37	40

十五	30	31	29	28	31	34	37	31	37	41
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

四、水萃溶液 A~D 對照組照片色彩分析原始數據：三塊布名度(V)平均數值(四捨五入至整數位)

天數	Aax	Abx	Adx	Aex	Afx	Bax	Bbx	Bdx	Bex	Bfx
一	42	38	39	41	43	44	39	42	44	45
二	42	40	39	38	42	44	39	44	44	44
三	43	42	40	42	44	38	42	38	40	42
四	45	45	45	46	50	51	44	45	51	45
五	42	40	42	42	43	44	40	44	44	44
六	43	42	42	44	45	45	41	45	45	45
七	44	40	41	43	43	46	40	45	45	44
九	41	38	40	40	42	42	40	41	42	41
十	44	42	42	44	45	46	42	45	47	45
十一	44	42	41	42	44	45	42	45	46	44
十二	42	41	42	43	44	46	42	45	48	45
十四	42	40	40	42	44	46	41	44	45	44
十五	43	41	41	43	44	46	42	44	45	45

天數	Cax	Cbx	Cdx	Cex	Cfx	Dax	Dbx	Ddx	Dex	Dfx
一	39	37	38	38	39	36	36	35	36	35
二	38	38	38	39	38	38	36	38	38	34
三	39	38	39	40	39	38	38	39	39	41
四	42	42	43	42	43	42	42	41	41	42
五	40	40	41	40	40	41	38	37	37	36
六	42	41	40	42	40	40	38	38	38	38
七	40	41	40	42	42	38	37	38	39	36

九	38	37	36	36	37	37	35	35	36	36
十	42	39	41	42	42	40	40	40	38	39
十一	42	39	41	42	41	40	40	40	38	39
十二	41	40	41	40	40	40	38	36	38	36
十四	41	39	40	40	41	39	38	37	37	37
十五	40	40	40	42	40	41	38	38	38	37

五、水萃溶液 A~D 曬組照片色彩分析原始數據：三塊布名度(V)平均數值(四捨五入至整數位)

天數	Aa 曬	Ab 曬	Ad 曬	Ae 曬	Af 曬	Ba 曬	Bb 曬	Bd 曬	Be 曬	Bf 曬
一	41	39	41	41	43	42	39	41	45	44
二	47	42	42	44	44	44	41	44	44	44
三	48	45	45	44	47	47	45	44	45	46
四	44	41	42	43	42	44	42	43	45	44
五	48	42	42	43	44	46	42	44	47	46
六	47	42	42	45	44	47	43	44	45	45
七	44	40	40	44	41	43	38	41	42	42
九	48	45	44	45	45	45	42	45	46	46
十	48	45	44	45	46	48	42	46	45	47
十一	48	45	43	45	45	47	42	45	45	47
十二	55	52	47	53	50	50	47	50	49	49
十四	45	44	42	44	44	47	42	46	48	44
十五	47	45	44	46	46	46	43	46	47	46

天數	Ca 曬	Cb 曬	Cd 曬	Ce 曬	Cf 曬	Da 曬	Db 曬	Dd 曬	De 曬	Df 曬
一	42	36	35	40	40	37	32	35	34	36
二	42	39	40	41	39	40	39	36	39	36

三	45	41	42	41	41	42	38	39	40	37
四	44	39	41	40	40	39	39	37	40	38
五	44	40	45	41	41	42	39	40	39	38
六	43	39	40	40	39	39	37	38	38	38
七	39	36	35	37	39	35	33	35	35	35
九	44	40	41	42	40	39	37	40	39	38
十	44	40	43	41	41	39	37	38	38	38
十一	43	38	42	40	40	39	36	37	38	38
十二	49	43	47	45	45	45	42	43	43	42
十四	45	37	40	39	38	37	36	35	37	35
十五	44	38	42	40	41	40	38	37	38	38

六、水萃溶液 A~D 洗陰組照片色彩分析原始數據：三塊布名度(V)平均數值(四捨五入至整數位)

天數	Aa 洗	Ab 洗	Ad 洗	Ae 洗	Af 洗	Ba 洗	Bb 洗	Bd 洗	Be 洗	Bf 洗
一	41	40	38	41	42	46	41	41	45	43
二	43	42	39	40	43	44	41	40	45	42
三	36	41	43	42	40	40	38	37	41	45
四	44	46	44	45	46	50	46	44	53	47
五	41	42	40	43	43	44	42	43	46	43
六	43	42	41	43	45	45	42	43	46	44
七	43	42	41	44	44	46	41	42	47	45
九	39	39	40	41	41	44	40	41	43	41
十	42	42	41	42	43	45	41	42	47	44
十一	42	41	41	43	42	44	41	42	46	44
十二	42	41	41	42	42	43	42	42	47	44
十四	43	41	42	43	44	46	43	45	47	45

十五	43	41	42	42	44	46	43	43	46	44
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

天數	Ca 洗	Cb 洗	Cd 洗	Ce 洗	Cf 洗	Da 洗	Db 洗	Dd 洗	De 洗	Df 洗
一	40	37	41	40	38	36	35	35	34	34
二	40	37	40	39	39	36	35	37	35	34
三	40	40	40	39	41	36	35	37	37	37
四	44	40	44	45	42	41	40	40	40	41
五	41	38	42	40	40	39	38	37	38	37
六	42	39	43	41	41	40	38	37	39	38
七	41	40	42	40	40	36	36	38	36	37
九	40	37	39	39	37	36	35	37	36	36
十	40	36	41	41	40	38	36	38	38	33
十一	40	37	41	40	39	38	36	38	38	33
十二	42	37	40	38	40	40	36	38	38	36
十四	40	38	40	42	40	40	35	36	38	37
十五	40	36	42	40	39	38	37	36	37	36