

# 2022 年【全國科學探究競賽-這樣教我就懂】

## 高中(職)組 成果報告表單

題目名稱：「光」陰「人」染 - 金屬媒染劑與染布曝曬的關係

### 一、摘要：

在客家扎染工作坊中，我們觀察到關於染布曝曬前後的顏色變化。這激起我們的好奇心，決定設計實驗，探討染布褪色問題的改善方式。在經過資料查詢後，最終選定紅茶作為染布的「染色劑」，同時，我們也在染布過程中添加媒染劑作為「固色劑」。首先探討不同媒染劑對色素的影響。接著將染布放置於陽光下進行曝曬，觀察製作出的化學染布是否與客家傳統的扎染布相同，會在曝曬下掉色，更經由 CIE  $L^*a^*b^*$ 2000 色差公式找出最不容易因曝曬而掉色的媒染劑。經實驗後得知，添加媒染劑能夠有效提高染色劑的固色程度，並且以醋酸鋁作為媒染劑時，能夠達到最高的固色程度，經曝曬後的色差值較其他媒染劑小，為最能改善染布褪色問題的媒染劑。

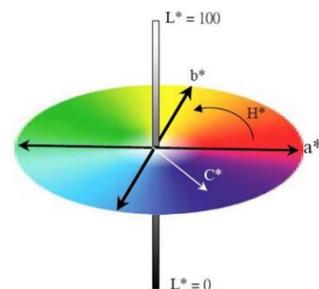
### 二、探究題目與動機

中華民族的歷史長河經久不衰，而客家文化又是不可或缺的精華之一。新竹，一座經歷客家文化洗禮的城市，身為新竹人的我們自小就能近距離了解客家的傳統文化。其中，扎染尤其吸引眼球。純白的布料上，藍色的顏料猶如一朵朵春天的花般綻放，美不勝收。然而，在欣賞傳統客家文化的同時，我們發現，在工作坊內剛完工的染布顏色似乎較曝曬在陽光下幾日後的染布深。此一現象激起了我們的好奇心，並著手進行調查，發現曝曬後染布顏色變淺的原因是因為陽光的照射。當色素分子吸收光能，分子中的電子會躍遷至激發態，使其發色體系遭到破壞而導致色素分解或褪色。過程中也產生疑惑：有什麼方法能夠改善染布退色的問題呢？於是我們設計實驗，探討染布褪色問題的改善方式。

### 三、探究目的與假設

經過文獻探討，我們發現「媒染劑」常作為染布的固色劑使用。其原理為色素分子中含有能與金屬離子螯合的基團，其與金屬鹽媒染劑中的金屬離子形成配位共價鍵，產生螯合物而沉澱，並產生螯合物本身的顏色。而金屬離子本身也能固定於纖維分子上，使色素分子能更牢固地附著於纖維分子上，增加染色之牢固程度。(盧禹丞等，2020) 其中，發現「金屬離子」可能是媒染劑中的關鍵物質，因此我們假設金屬離子的不同會對染布褪色程度造成影響，並以此探討。

為了以客觀角度探討染布顏色的差異，我們使用 CIE  $L^*a^*b^*$  色彩空間，並以 CIE  $L^*a^*b^*$ 2000 色差公式，來分析染布褪色的顏色變化。此色彩空間為世界各國正式採納、作為國際通用的測色標準，且其色差計算與人眼之評估相近，因此做為實驗中分析色差的標準。



其中「L\*」代表感知的亮度，在 L\*=0 時表黑色而 L\*=100 表白色，「a\*」和「b\*」代表人類視覺的四種主要顏色，a\*負值時表綠色而正值時表品紅；b\*負值表藍色而正值時表黃。另外，CIE L\*a\*b\* 2000 計算了三個係數 SL、SC 和 SH，分別代表了在亮度 ΔL\*、飽和度 ΔC\* 和色調 ΔH\* 方向上的差異程度。

計算過程中，先利用 RGB 值藉由矩陣計算出 X、Y、Z(三色刺激值)的值：

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = M * \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

再用 X、Y、Z 值透過公式計算出 L\*、a\*、b\* 的值：

$$\begin{cases} L^* = 116f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - 16 \\ a^* = 500\left[f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right)\right] \\ b^* = 200\left[f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_n}\right)\right] \end{cases} \quad \text{其中: } f(t) = \begin{cases} t^{1/3} & (t > \left(\frac{6}{29}\right)^3) \\ \frac{1}{3}\left(\frac{29}{6}\right)^2 t + \frac{16}{116} & (\text{其它}) \end{cases}$$

另外，任何兩個顏色的相對感知差可計算為：

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{K_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*_{ab}}{K_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H^*_{ab}}{K_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C^*}{K_C S_C}\right) + \left(\frac{\Delta H^*_{ab}}{K_H S_H}\right)}$$

根據上述公式，我們測量染布之 RGB 值，並將其與白色對比（代指染布原色），計算出色差值，並假設此為染布染色程度之依據。

根據以上推論，實驗目的如下：

- 探討不同金屬媒染劑對色素的影響
- 比較不同媒染劑對曝曬造成的固色差異
- 利用 CIE L\*a\*b\* 2000 色差計算公式分析染布顏色差異及相對感知差

#### 四、探究方法與驗證步驟

##### 第一階段：討論媒染劑對紅茶染液的影響

在探討媒染劑的影響之前，我們先萃取紅茶染液。詢問過學校師長後，我們將 12 包紅茶茶包放入一個大燒杯中，再加入 600 毫升的蒸餾水，製作全部需要的染液，保持染液條件的一致性。接著將紅茶溶液煮至沸騰後，再以小火煮 20 分鐘，讓紅茶色素充分溶解。至於媒染劑，我們固定使用醋酸鹽類，並改變鹽類中的金屬離子（銅、鋅、鎂、鉛、鋁）。各個媒染劑都先取 0.2g，加入 5 毫升的蒸餾水，配成媒染劑溶液。20 分鐘過後，將紅茶溶液分成 6 杯，各 60 毫升，再分別加入媒染劑溶液，對照組沒有媒染劑，則加入 5 毫升的蒸餾水。此階段我們觀察不同金屬螯合物對色素分子的影響，作為染布顏色的依據之一。

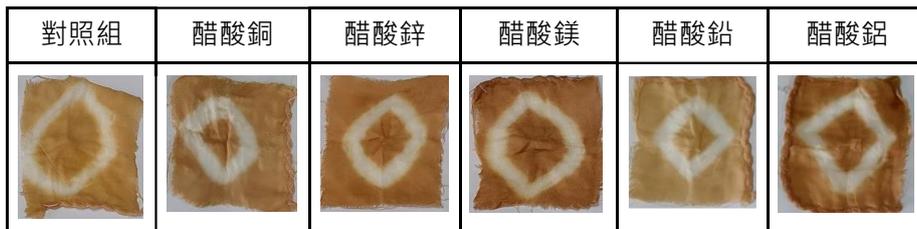
表一、媒染劑對紅茶染液之影響



### 第二階段：加入不同媒染劑對紅茶染布顏色的影響

為了去除可能影響實驗結果的因素，綁布的部分我們統一以最單純的方式，準備 6 塊布後用橡皮筋將布綁成類似晴天娃娃的形狀後，分別將它們放入第一階段配製的 6 種染液中，以加熱板加熱（溫度以能讓溶液保持冒小泡的狀態為原則），過程中每隔 5 分鐘就用玻璃棒攪拌，使其染色均勻。20 分鐘後取出，用清水清洗掉表面的色素，再將染布陰乾。此階段我們探討不同染液對未曝曬的染布的影響。

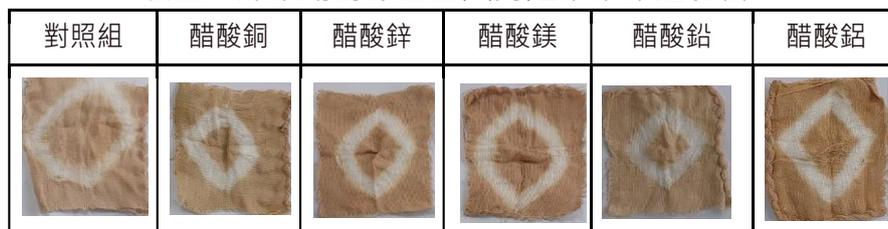
表二、媒染劑對未曝曬前的紅茶染布之影響



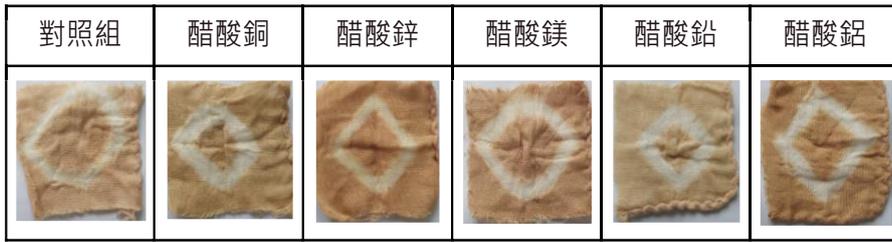
### 第三階段：曝曬天數對染布顏色變化的影響

回歸實驗目的，為了了解曝曬對染布顏色的影響，我們將第二階段得到的染布放在陽光底下曝曬。為了真實還原眼睛所見的顏色，我們選擇使用 CIEL\*A\*B\* 的色差模型分析顏色，於曝曬第零天、第三天、第六天以 Just Color Picker 擷取顏色，設定其範圍為 7x7 像素，並在染布上隨機取樣五個點測量各染布的 RGB 值，再將五組數據平均，以  $\Delta E_{2000}$  的計算方式為標準算出染布在曝曬前與曝曬後的顏色差異。

表三、媒染劑對曝曬三天的紅茶染布之影響



表四、媒染劑對曝曬六天的紅茶染布之影響



#### 第四階段：實驗結果分析

##### 1. 討論媒染劑對紅茶染液之影響：

如表一所示，可以發現加入不同媒染劑的染液，其顏色產生變化。其中，以醋酸鉛染液之顏色最淺，而醋酸銅與醋酸鎂染液顏色最深。此外，五杯加入媒染劑的染液皆有沉澱之現象。上述觀察皆證明金屬離子與色素分子螯合，因此沉澱，且轉為螯合物之顏色。

##### 2. 加入不同媒染劑對紅茶染布顏色的影響：

如表二所示，不同紅茶染液之染色效果以醋酸鋁與醋酸鎂顏色最深，分別帶有深棕色與紅棕色，而染色效果最淺的則為對照組與醋酸鉛，醋酸鉛的顏色甚至比對照組更淺。染布顏色變化的原因應與螯合物顏色有一定的關聯性，此現象由加入媒染劑之紅茶染液顏色也可觀察到：醋酸鎂染液之顏色最深，導致其染布顏色深，醋酸鉛染液之顏色最淺，導致其染布顏色淺。至於醋酸銅染液顏色深而染布顏色淺，可能原因為銅離子不易附著於纖維上，導致其上色率差，相反地，鋁離子可能易附著於纖維上，因此上色率佳。

##### 3. 曝曬天數對染布顏色變化的影響：

將紅茶染布曝曬於陽光下後，如表三、表四所示，發現染布顏色皆有變淺之跡象，不過曝曬 3 天與 6 天之顏色差異小，6 天的只有再稍微淺一點，以肉眼無法比較其差異。以客觀方式測量不同染布的 RGB 值，並作比較分析，可得下列數據：

表五、曝曬 0 日時染布之 RGB 平均值比較表

媒染劑種類	對照組	醋酸銅	醋酸鋅	醋酸鎂	醋酸鉛	醋酸鋁
R值平均	170.4	156.6	161.8	149.0	177.8	133.0
G值平均	118.6	106.8	95.8	85.2	137.2	77.4
B值平均	54.2	56.4	42.0	38.6	77.0	29.2

表六、曝曬 3 日時染布之 RGB 平均值比較表

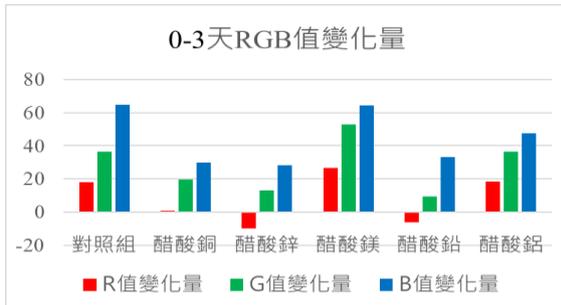
媒染劑種類	對照組	醋酸銅	醋酸鋅	醋酸鎂	醋酸鉛	醋酸鋁
R值平均	188.2	157.2	151.8	175.8	171.6	151.4
G值平均	155.2	126.4	109.0	138.0	146.6	114.0
B值平均	119.0	86.2	70.2	103.2	110.2	76.8

表七、曝曬 6 天時染布之 RGB 平均值比較表

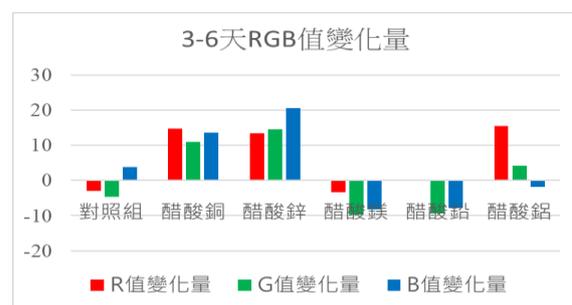
媒染劑種類	對照組	醋酸銅	醋酸鋅	醋酸鎂	醋酸鉛	醋酸鋁
R值平均	185.2	172.0	165.2	172.4	171.4	166.8
G值平均	150.6	137.4	123.6	128.2	137.2	118.2
B值平均	122.8	99.8	90.8	95.0	102.4	75.0

因為單純的 RGB 數據無法明顯看出差異，因此接著我們將各天的 RGB 值相減，做變化量分析，並繪製成圖表，以便觀察。

圖一、0 天與 3 天之染布 RGB 值變化量



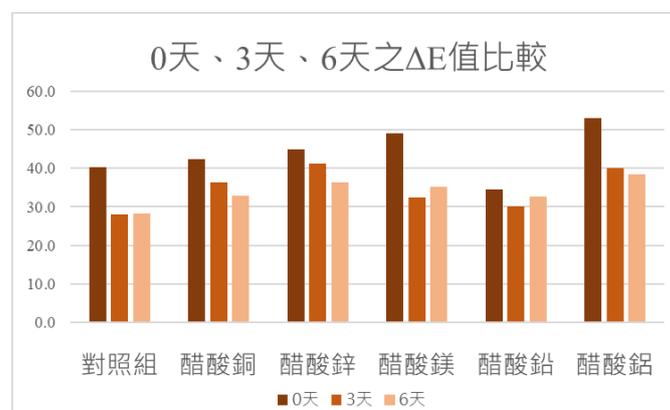
圖二、3 天與 6 天之染布 RGB 值變化量



如圖一所示，染布之 RGB 值在 0 天與 3 天具有明顯變化，其中以對照組與醋酸鎂具有最大的變化，其 RGB 值皆明顯上升。由於 RGB 模型為加色模型，表示其 RGB 值越大，越接近白色，意即染布顏色越淡。因此在 0 天與 3 天之間，對照組與醋酸鎂之固色程度最差。又如圖二所示，染布之 RGB 值在 3 天與 6 天變化較小，其變化量直皆在 20 以內，其中又以醋酸銅與醋酸鋅變化量稍大，褪色較多，其他數值皆在正負十以內，可能因為實驗誤差而浮動，因此不列入討論。

最後將三個曝曬時間的染布 RGB 值與白色做比較，得出最精準的顏色差異量值。

圖三、0 天、3 天、6 天之染布 RGB 平均值與白色之色差值 $\Delta E$  比較



如圖三所示，所有染布的 $\Delta E$  值均在第 0 天較大，其中又以醋酸鎂與醋酸鋁之值最大，表示其顏色與白色相差最遠，意即顏色最深，而醋酸鉛之值最小，顏色最淺。在 0 天與 3 天，大部分染布之 $\Delta E$  值變化量大，表示其在前幾天的掉色程度較高，與 RGB 比較值分析之結果相同。而在 3 天與 6 天，染布色差變化較小，掉色較不嚴重。其中又以對照組與醋酸鋁之色差變化較小，推測是醋酸鋁原本顏色深，變化量小表示其固色程度好，而對照組原本顏色就淺，所以掉色之差異較小。不過數據中有些反而在最後小幅度上升，推測是因為其顏色原本就相似，而因為誤差而導致。而在第 6 天的數據中，以醋酸鋁之 $\Delta E$  值最高而對照組之 $\Delta E$  值最低，表示最終醋酸鋁顏色最深而對照組顏色最淺，這也表示所有媒染劑皆能有效固色，其中又以醋酸鋁之效果最好。

## 五、結論與生活應用

藉由此實驗，我們運用客觀的數據分析方式：CIEL\*a\*b\* 2000 色差計算公式，分析實驗數據。可以藉由實驗數據發現，添加媒染劑能夠有效提高固色程度，讓染布上的紅茶色素清晰呈現。並且，不同的媒染劑具有不同的固色程度，其中又以醋酸鋁作為媒染劑時，在布料上的呈色最深，醋酸鋁在經過長時間的曝曬後，色差的變化量小、不易因陽光照射而褪色，因而推論為此實驗中效果最好的媒染劑。

透過此實驗的顯著結果、結果分析及簡便的操作流程，亦可以運用在未來的布料染色工程，讓傳統的客家文化結合現代化學，研究出傳統扎染布能不易因受到曝曬而褪色的方式。

## 參考資料

- 一、 Luo, M. Ronnier, Guihua Cui, and Bryan Rigg. "The development of the CIE 2000 colour-difference formula: CIEDE2000." Color Research & Application: Endorsed by Inter-Society Color Council, The Colour Group (Great Britain), Canadian Society for Color, Color Science Association of Japan, Dutch Society for the Study of Color, The Swedish Colour Centre Foundation, Colour Society of Australia, Centre Français de la Couleur 26.5 (2001): 340-350.
- 二、 ColorMine.Org (無日期). CIE2000 Calculator.  
<http://colormine.org/delta-e-calculator/cie2000>
- 三、 盧禹丞、郭文貴、林尚明、林鑫宏、張曉瑩 (2020)。不同媒染劑用於梔子著色棉織物色外觀影響之研究。華岡紡織期刊，27 (6)，365-370。