

新北市土城區廣福國小第 12 屆資優班獨立研究

青出於「染」

天然染料的陽光大考驗，誰最先褪色？



研究者：謝佳蓓

指導老師：呂佩樺老師

摘要

本研究以天然染料為主題，探討其在自然日光照射下之褪色情形及影響因素。研究動機源於參與藍染體驗後，對天然染料之環保特性與其耐用性產生興趣，進而思考其於日常生活用品中的應用可行性。

本實驗選用薑黃粉、純木藍粉與紅麴粉三種天然染料，分別代表黃、藍、紅三種基本色系，並以棉布為染色材料。研究設計包含三項變因：(一)助染劑（豆漿）之使用與否、(二)不同媒染劑種類（鹽水、白醋、明礬）、(三)媒染時間長短（15 分鐘與 180 分鐘）。透過比較染布於日光曝曬前後之色差變化，分析各變因對染料耐光性的影響。

研究結果顯示，不同色系染料對助染劑與媒染劑之反應具有差異。薑黃染料在使用明礬時具有較佳之耐光性，且媒染時間影響不明顯；純木藍染料展現最強之本質耐光性，結合豆漿與白醋/鹽水之處理可達到全實驗組最低色差，具備極佳穩定性；紅麴染料耐光性最弱，但對助染劑具有極強依賴性；實驗證明使用豆漿助染能大幅緩解其光氧化褪色情形，且配合鹽水媒染 180 分鐘之長浸泡處理，固色效果最為顯著。

綜合而言，天然染料之耐光性可透過適當選擇助染劑與媒染條件加以提升，但是不同色系需採取不同的處理方式，黃色重媒染、藍色重豆漿、紅色則需豆漿與長時媒染並行。本研究結果可作為天然染料應用於布料及生活用品之參考，修正了傳統染色中對助染劑作用的單一認知，更為天然染料在環保產業中的標準化應用提供了科學依據。

第壹章、緒論

一、研究動機

今年我們全家有機會到三峽體驗藍染活動，讓我對「天然染料」產生了濃厚的興趣。我也發現，一般常用的化學染料對環境有很大的傷害。不但會浪費很多水資源，還可能污染海洋動物和植物的生命。

我心想：如果我們把天然染料用在窗簾、包包或衣服上，會不會很快就褪色了呢？如果真的會，那有沒有什麼方法可以延長它褪色的時間？

另外我也發現染料是天然的還是化學的，可能會影響產品在陽光下的使用壽命。這也是我決定做天然染料相關研究的主要原因。因為天然染料比較容易褪色，而化學染料不但比較便宜，也比較不容易褪色，所以現在市面上的產品大多都用化學染料做成。

二、研究目的與問題

1. 探討天然植物染料在自然日光照射下的褪色情形（耐光性）。
2. 比較紅、黃、藍三種基本色系天然染料，在相同條件下的褪色速度與程度差異。
3. 分析助染劑之有無，對於提升染料著色力與減緩日光褪色的影響
4. 探討不同媒染劑種類對天然染料顯色效果及耐光性的影響差異。
5. 評估媒染時間的長短，是否會影響染布的色彩飽和度與延緩褪色速度。

第貳章、文獻探討

一、名詞定義

1. 天然染料

天然染料是從植物、動物或礦物中提取的顏色材料，用來染布或做畫。像是用花、葉子、樹皮或水果煮出的汁液，就能染出美麗的顏色。它對環境比較友善，不會像化學染料那樣容易造成污染。

2. 助染劑

各種染料依其性質，以不同的藥劑來幫助染色的進行，且增進染色的效果，助染劑的功用主要是幫助染液的色素附著於纖維之上的物質，主要是含蛋白質的物質。

3. 媒染劑

媒染劑是一種讓衣服顏色更牢固的藥劑。布料染色後，如果沒有加媒染劑，顏色可能會被水洗掉或曬太陽時變淡。加入媒染劑後，顏色就能緊緊黏在布上，不容易掉色。這樣衣服洗很多次、曬太陽也能保持漂亮的顏色，看起來像新的一樣。主要是含金屬離子（如鋁、鐵、銅）的物質。

4. 色差值

色差值是用來比較兩個顏色差多少的數字。數字越小，代表顏色越像；數字越大，代表顏色差越多。

$$\Delta E = \sqrt{(L_2 - L_1)^2 + (a_2 - a_1)^2 + (b_2 - b_1)^2}$$

最常用的色彩表示方式，包含三個軸：

L：亮度（0 = 黑、100 = 白）

a：綠紅軸（負值偏綠，正值偏紅）

b：藍黃軸（負值偏藍，正值偏黃）

二、相關研究

編號	作者(年代)	題目	我的發現
1	初小組化學第一名 徐元良 謝相賢	影響報紙變黃、 色紙褪色變因的 探討	陽光照射的時間愈長, 紙褪色的 現象就愈明顯。
2	中華民國第 51 屆中 小學科學展覽會 車珮慈 楊傑安 王怡琰 鍾華郁 賈富涵 郭子琳	在地ㄟ色水—染 出「蕨」色	染前先浸在綠豆和高筋麵粉的助 染劑中可加深色澤。取腎蕨 13.04%染液在中溫左右染 5 分 鐘, 染出的色澤最翠綠。色澤會 因加溫時間越久, 顏色由綠色偏 黃色。若以小蘇打粉作為媒染劑 時, 色澤偏棕褐色, 有利於色素溶 出; 以檸檬汁、水作為媒染劑時, 偏橄欖色, 利於染布著色。
3	中華民國第 57 屆中 小學科學展覽會 陳品毓 郭加恩 李穀玲 袁予恩 鄭裘諳 謝馨儀	咖啡渣・染・變 身 show ~探討咖啡渣之 染色變因與再利 用	實驗透過咖啡渣與染材的染色過 程, 了解冷熱染對染色的效果, 並 透過浸泡助染劑及媒染劑, 觀察 發色、固色及色相的變化。本研 究希望透過實驗過程, 了解其染 色的變因及控制色彩的層次性, 以便應用在染色的成品中。

4	屏東縣第 63 屆中小學科學展覽會	當我們染在一起~探討增加植物染材染色效果的因素~	我發現薑黃和福木先泡過豆漿(助染劑)後再進行染色的效果比較好,助染劑的蛋白質含量越高(無糖豆漿),對於染布的效果越好,越能幫助改變顏色,讓顏色較深、較亮。
5	第 43 屆國小組化學科 莊孟麟 江玉芬 梅婷	給點顏色就開起染坊來了一植物染色劑的相關問題研究	他們的研究主要是探討如何利用已經被當成廢物丟棄的洋蔥皮膜、福木枝葉、及枯乾的檳榔子來製作植物染,用這三種染材,改變染液的濃度、布料的種類、染液的溫度、媒染劑的種類等等,便可以染出許多種的顏色出來,而染出來的染布在經過事後幾次的清洗,也不會有很嚴重的褪色情況!
6	臺南市 107 年度國小學生獨立研究競賽作品	小心別被水果染色了	先固色後染色,先染色後固色、邊固色邊染色,再拿同一種水果染出的四種布,三種以不同順序加入固色劑下去染的布,和一種不加任何固色劑的布,進行顏色比較。
7	臺灣化學教育期刊第 24 期 2018 年 3 月 劉曉倩	駐「顏」有術 染布裡的化學秘密	在她這篇文章中她先泡助染劑,再泡媒染劑,最後才染布。

三、天然染料簡介

天然染料（植物染）是一種環保且歷史悠久的染色方法。以下是關於天然染料的簡要重點說明：

綠色工藝與來源

天然染料是中國的傳統技藝。它取材自大自然中植物的各個部位（如根、莖、葉、花、果實等），並且使用後色素能分解而回歸於自然，因此符合環保的綠色工藝概念。

顏色特點與限制

- 顏色傾向：大多數植物染成的顏色通常以棕色、褐色或淡黃居多。
- 稀有色系：紅色、黃色、藍色等顏色較少，其中紫色染料被認為是最珍貴的染料。
- 耐用性挑戰：植物性的染料通常較不具備耐光性與耐水性，容易因陽光照射（紫外線）而褪色，或因洗滌而掉色。

固色與變色的關鍵幫手

為了克服天然染料耐用性的不足，染色過程中需要添加特定藥劑：

- 媒染劑：主要作用是作為媒介，增強染料與纖維的結合，達到發色、變色或固色的效果。
- 助染劑：通常是含有蛋白質的物質，功能是幫助染液的色素附著於纖維之上，進而加深染色的色澤。

四、天然染料的褪色問題

天然染料在陽光照射下的褪色現象：多項研究證實，不論天然染料或化學染料在面對陽光時，確實存在光分解的風險。

A. 褪色的主導因子：過去的科展研究中可以發現，導致報紙變黃、色紙褪色的主要變因是紫外線（UV）和紫外線燈。相反地，不論是高溫的紅外線（溫度可達攝氏 95 度）還是可見色光（紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫）都不容易引起紙張或染料的變色現象。

B. 物理防護機制：過去的研究中可以發現，紫外線不容易穿透玻璃片。因此，若在被曝曬的物品上覆蓋玻璃，可以有效地減少變色現象的發生，這證實了 UV 光在褪色機制中的核心地位。

C. 耐光性的不足：植物性的染料普遍被認為較不具備耐光性與耐水性。過去的研究觀察發現，植物染的成品在連續陽光照射 1 個月後，褪色會變得非常顯著。

D. 處理建議：為了確保顏色牢固力，進行染色時，植物染成品必須陰乾，切勿日曬。雖然大多數染料會褪色，但少數染材如水彩顏料卻表現出極佳的耐光性。此外，在蕨類染色的研究中觀察到，染布的褪色效果多數僅為同色系間的變化，這提示我們不同色素的化學結構差異可能主導了其耐光特性。

比較紅色、黃色與藍色三種基本天然染料的褪色速度差異。

雖然現有文獻證實了天然染材的顏色以棕色、褐色或淡黃居多，且我們知道紫色染料被認為是最珍貴的稀有色，但缺乏直接控制變因的實驗數據來比較固定光照條件下，紅、黃、藍三種基礎天然染料的量化褪色速度。

高風險色素：文獻中強烈指出，某些水果染料的染色效果和持久度極差。例如，蝶豆花水（藍紫色系）和火龍果（紅色系）在添加媒染劑後，洗滌一次後顏色幾乎就會掉光，這暗示它們的耐水性與耐光性可

能都極低。

黃色色素的轉化：針對薑黃（黃色系）的研究發現，若染色時間過長（超過 30 分鐘），顏色會逐漸變深、亮度變暗。推測這是因為地下莖中心偏紅的色素漸多被溶出，導致色相發生變化。

五、分析不同種類和濃度的媒染劑對褪色速度的影響

我們將媒染劑和助染劑視為關鍵的固色介質(固色劑)。它的功用是發色、變色或固色，以增強植物染料的耐光性與耐水性。

固色劑種類對色澤及固色的影響：

固色劑種類	主要功能與效果	專業觀察（對色澤的影響）
醋酸鐵（鐵釘水）	強效變色劑	使福木染布呈深灰色，咖啡渣染布變鐵灰色，薑黃呈現紅褐色。
鹼性溶劑（如石灰水、草木灰、小蘇打粉）	引起變色；有利於色素溶出	使腎蕨染布色澤偏向棕褐色，月桃葉顏色最鮮豔；對咖啡渣染布具固色效果。
明礬水（飽和明礬水）	發色；增強鮮豔度	使洋蔥皮染布顏色最明亮，薑黃顏色亮黃、很美麗，福木顏色鮮豔好看。

中性/酸性溶劑 (如檸檬汁、醋)	主要作用在 固色	使腎蕨染布呈橄欖色；福木在糯米醋中顏色最亮。
---------------------	-------------	------------------------

固色劑(媒染劑/助染劑)濃度對色深的影響：濃度會直接影響染布的明度(L 值)。L 值越低，代表亮度越低，顏色越深。

助染劑濃度控制：奶粉助染劑的實驗顯示，濃度愈高，L 值愈低，代表顏色較深，吃色效果愈好。

變色劑濃度控制：對於醋酸鐵這類變色媒染劑，濃度愈高，L 數據就愈低，明度愈低，鐵灰的色相則愈深。這讓我們可以透過濃度精確控制變色後的深淺層次。

蛋白質含量的臨界值：助染劑中蛋白質含量越高，洋蔥和薑黃的染色有越深的趨勢。值得注意的是，以腎蕨染材為例，助染劑中蛋白質含量約 23 公克左右時，能染出最深的色澤，這暗示了存在一個最佳蛋白質含量臨界值，而非越高越好。

2. 評估染料處理於固色劑中的時間長短，是否會影響其耐光性。

目前的文獻主要著重於處理順序和總染色時間對耐洗度和色澤深淺的影響，但缺乏直接證據證明「固色劑浸泡的時間長短」會影響其後續的耐光性（褪色速度）。

順序對持久度（耐洗度）的影響：針對水果染料的研究發現，「先染色 → 後固色」最不明顯（固色效果最佳）。相反地，「先固色 → 後染色」掉色情形最嚴重。

順序對色澤的影響：針對薑黃的研究則顯示，媒染劑順序的影響不大。但「媒染 → 染色 → 媒染」會讓顏色略微偏紅，上色效果稍微

較好。

重複染色的高效性：在相同的總染色時間內（例如 60 分鐘），若選擇重複染兩次（每次 30 分鐘），染出的布料亮度最高、顏色最鮮豔，這提供了一個高效上色且提升視覺效果的方法。

六、研究的重要性與應用方向

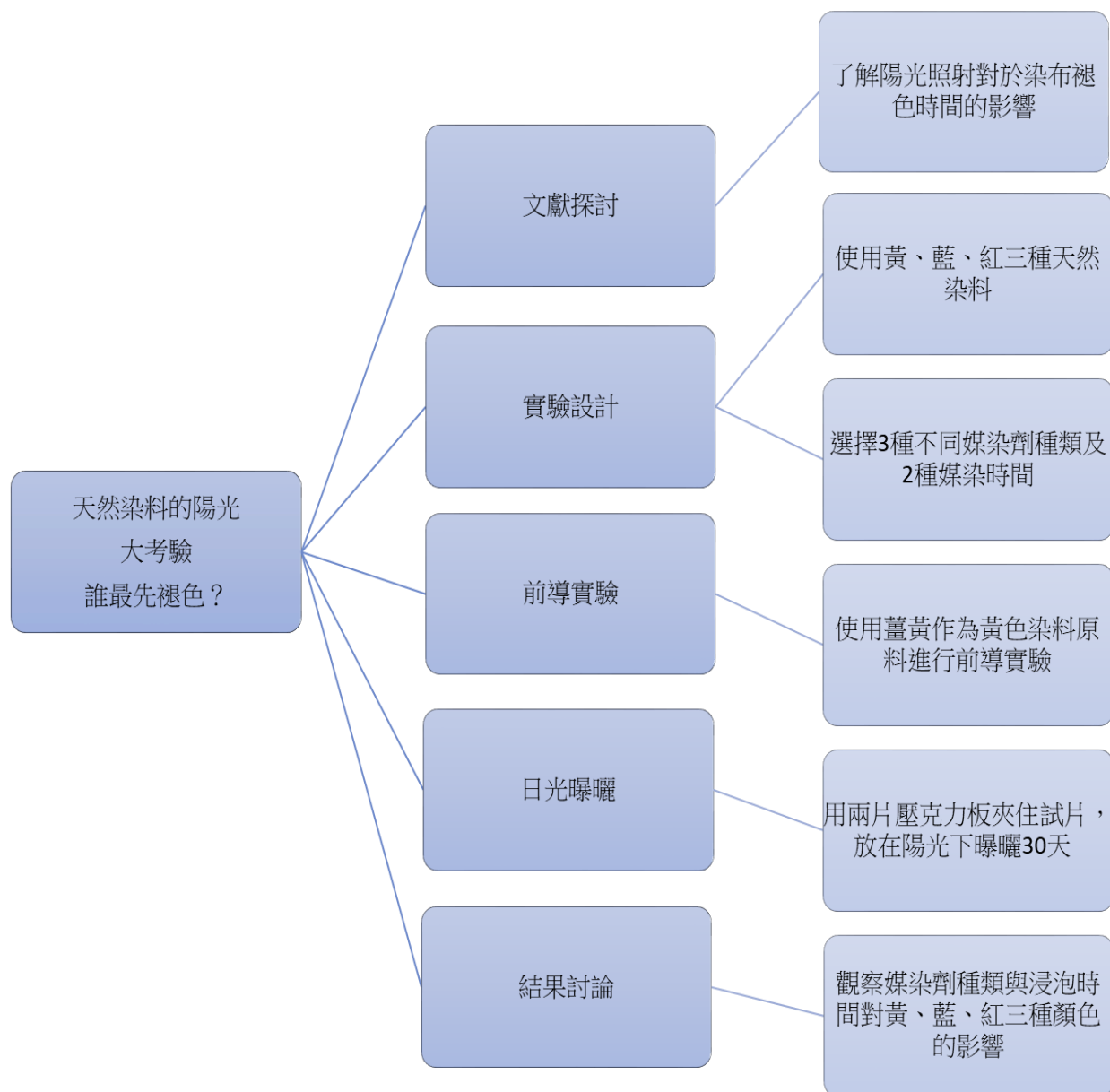
對環境友善產品的貢獻

為天然染料提供更有效的應用方法

可推廣於布料、手作產品、教學活動等領域

第參章、研究方法與設計

一、研究架構圖



二、研究工具

以下是我實驗時，會用到的材料。

1. 棉布 	2. 溫度計 	3. 不鏽鋼鍋 	4. 燒杯 
5. 攪拌棒 	6. 大剪刀 	7. 飲用水 	8. 電子秤 
9. 豆漿 	10. 染料(紅麴粉) 	11. 染料(薑黃粉) 	12. 染料(純木蘭粉) 
13. 白醋 	14. 食鹽 	15. 明礬 	16. 壓克力板 

比色

使用 Colorpicker 軟體，再到線上色彩轉換網站進行 Lab 數值的轉換



<https://www.qtccolor.com/secaiku/tool/convert?m=lab>

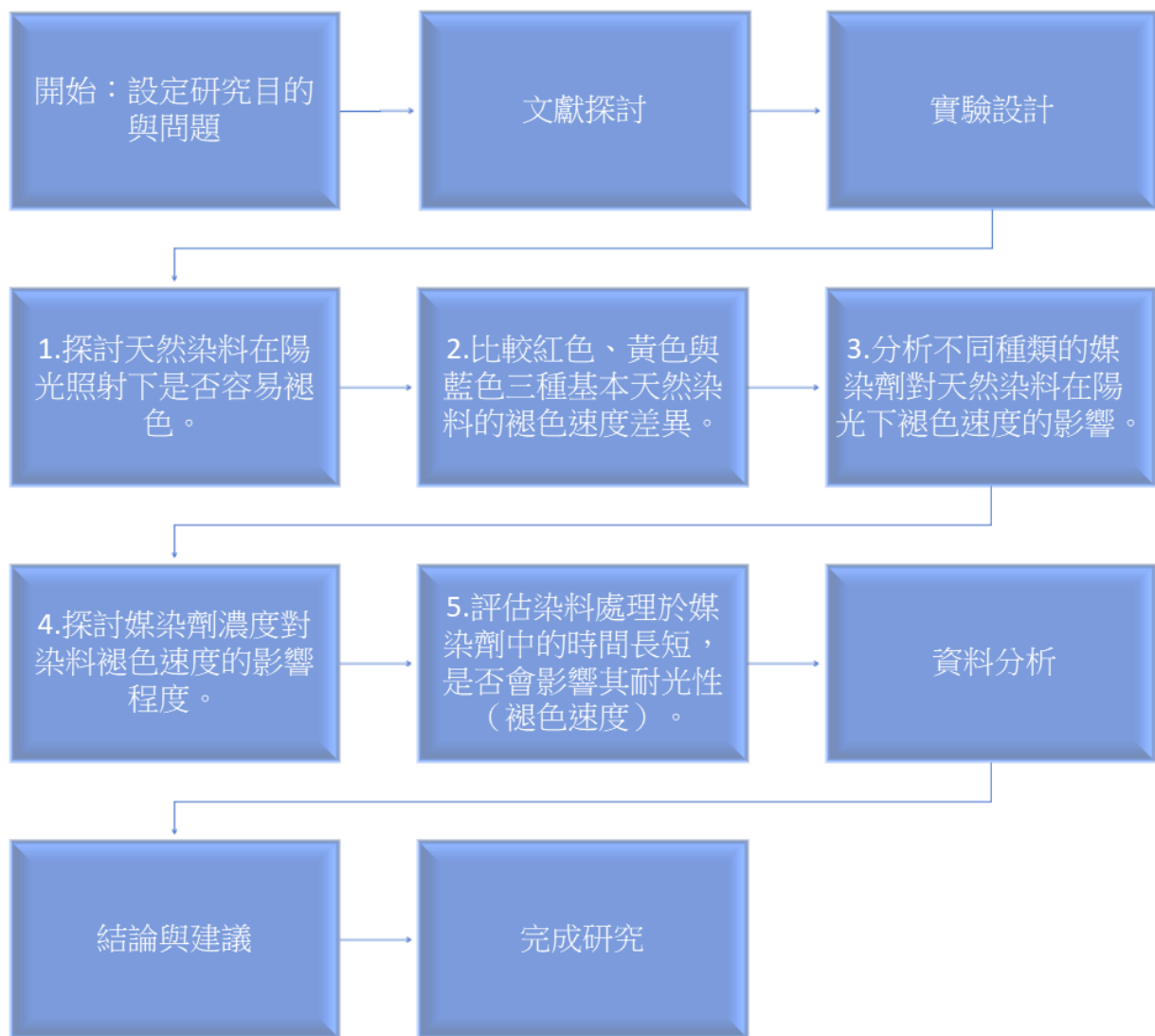


為了公平，我打算不只計算色差，我還會計算**褪色率**：褪色率是指「失去的顏色佔原始染上顏色的比例」。這樣一來，可以更公平的比較不同染料顏色的固色能力。

本研究除了參考褪色率外，為避免起始色深（分母）過小導致的數據偏差，還會以色差改變量($\Delta E_{\text{變化}} = \Delta E_{\text{曝曬後}} - \Delta E_{\text{曝曬前}}$)作為評估耐光性的主要指標。此數值代表染布在陽光照射後，色彩偏離原始布料的『淨增加量』，數值愈大，代表耐光性愈差。

三、研究設計與流程

(一)研究流程圖



(二)研究設計

前導實驗步驟：

使用薑黃作為黃色染料原料進行前導實驗，我的前導實驗設計，為泡了助染劑後再泡媒染劑的實驗。

第一步：用水把布沖濕，擰乾。



第二步：用豆漿泡 30 分鐘，過程中用手把布壓入水中。另一片布沒有泡助染劑。



第三步：讓三片布自然乾燥約 1 小時



第四步：取 60 克的薑黃粉加入 700 克的水，配成 8%水溶液，在室溫下攪拌均勻。



第五步：取所有染布泡入薑黃水溶液中，過程中用手把布壓入水中，不要讓布接觸空氣。4 分鐘後，將布取出，把水擰乾，攤開讓布接觸空氣，使其氧化，4 分鐘後，重複泡水步驟，總共 2 次。將布自然乾燥 3 天。



第六步：將布平均裁成九份，並將試片放入不同的媒染劑(圖片中從右到左分別為白醋、明礬、鹽水)中浸泡 15 分鐘，清洗、擰乾，自然晾乾一天後，放在陰暗處七天。



前導實驗初步結果：

結果圖片	結果發現
	我用 Colorpicker 軟體進行顏色比對，亮度與黃色程度比較如下：鹽水 > 白醋 > 明礬。
小結：實驗結果顯示，僅需改變媒染劑種類，就能讓薑黃染布產生明顯的顏色變化。然而，前導實驗僅浸泡 15 分鐘，讓我好奇若延長媒染時間，是否能達到更佳的顯色或定色效果？同時，為了驗證前導實驗中使用的「豆漿」是否為必要關鍵步驟，後續實驗將加入**「有無泡豆漿(助染劑)」**的變因，透過比較有無蛋白質助染的差異，來驗證其對日曬褪色的影響。	

實驗一、助染劑（豆漿）有無對染色及日光褪色的影響

想法：因前導實驗中均有使用豆漿助染，為了解其必要性與效果差異，因此設計此實驗比較「有泡豆漿」與「沒泡豆漿」差異。

操縱變因	染色前是否使用豆漿浸泡 30 分鐘（編號開頭 0 為無浸泡，1、2 為有浸泡）
控制變因	染料種類、媒染劑的種類、媒染劑浸泡時間（皆控制在 15 分鐘比較）、乾燥環境。
應變變因	染色後的色差值、經日光曝曬後的褪色程度。

實驗說明：針對三種顏色的染料，每種顏色皆設立【無助染劑組】與【有助染劑組】。將布料乾燥後，分別進行色彩分析，並於自然光下曝曬後比較其色差變化，以探討豆漿助染對著色力與固色力的影響。

實驗二、不同媒染劑種類對染色及日光褪色的影響

想法：根據前導實驗結果，不同媒染劑（鹽水、白醋、明礬）呈現出的明度與黃色程度有顯著差異（鹽水 > 白醋 > 明礬）。為驗證此現象是否適用於其他植物染料，並比較其定色效果，故進行此實驗。

操縱變因	媒染劑種類（鹽水、白醋、明礬）
控制變因	染料種類、助染劑有無（皆固定）、媒染劑浸泡時間（皆控制在 15 分鐘比較）。

應變變因	染色後的色調變化、經日光曝曬後的褪色程度
------	----------------------

實驗說明：將染布依據媒染劑種類分為【鹽水組】（編號尾數 4, 5）、【白醋組】（編號尾數 6, 7）與【明礬組】（編號尾數 8, 9）。在相同時間條件下，比較不同的媒染劑對布料顯色及日光褪色的影響。

實驗三、媒染劑浸泡時間長短對染色及日光褪色的影響

想法：文獻指出媒染劑的時間可能會影響染色效果。前導實驗僅測試 15 分鐘，為探討延長反應時間是否能提升色彩飽和度或耐光程度，故新增「長時間浸泡」作為變數。

操縱變因	媒染劑浸泡時間（15 分鐘 vs. 180 分鐘）
控制變因	染料種類、助染劑有無、媒染劑種類（固定同一種媒染劑進行時間長短比較）。
應變變因	染色後的色彩飽和度、經日光曝曬後的褪色程度。

實驗說明：針對三種媒染劑，分別設定短時間（15 分鐘，編號尾數 4, 6, 8）與長時間（180 分鐘，編號尾數 5, 7, 9）兩組參數。綜合比較時間長短對於染色深度以及日曬後褪色情形的影響，以找出最佳化的媒染時間。

研究限制：

在媒染流程方面，本研究目前僅採取「後媒染法」進行測試。在化學原理上，後媒染主要作用於纖維表層的色素固定，對於染料分子的深層結合力可能與「前媒染」或「同浴媒染」有所差異。

特別是針對本研究中表現突出的「豆漿助染」組，若改變媒染順序，可能會影響蛋白質與金屬離子搶佔纖維位點的競爭關係。因此，本研究之結論適用於後媒染工法之參考，關於其他媒染順序之固色差異，仍有待後續實驗深入探討。

第肆章、研究內容與過程

一、研究過程：

			
泡助染劑	染黃色的布	再染藍色的布	然後染紅色的布
			
泡媒染劑 (上圖為白醋)	拍照測 L a b	拿去頂樓曬 1 個月 (四周 28 天)	曬完拍照測 L a b

本研究之戶外曝曬階段落於 12 月至 2 月，地點位於新北市土城地區。經查閱氣象觀測紀錄，該地區冬季平均每月日照總時數約 80-90 小時，平均紫外線指數 (UVI) 落在 3 至 5 之間 (屬於中低強度)。此環境參數作為本實驗量化耐光性之基準背景。

二、實驗結果：

1. 黃色染料(薑黃粉)：

本階段實驗聚焦於薑黃粉（黃色染料）的固色穩定性。薑黃素雖色澤鮮艷，但已知其耐光性較弱。我們透過「有無助染劑（豆漿）」以及「三種媒染劑（鹽水、白醋、明礬）」的交叉測試，觀察布料在經歷 28 天戶外強光曝曬後的色差變化(ΔE)。

重點觀察指標為：

起始色差：代表媒染劑對原始染色的顯色影響。

照光後色差：數值越小，代表耐光性越好、固色效果越佳。

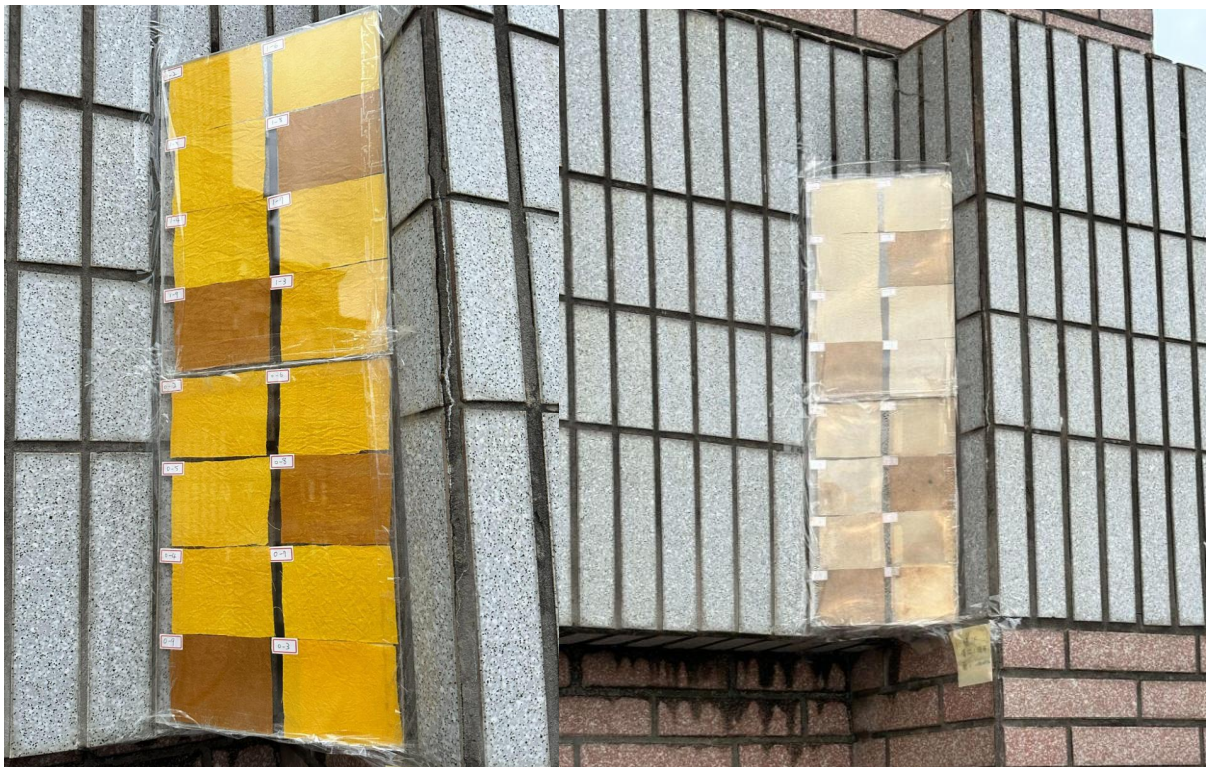
$$\text{褪色率(\%)} = \frac{\text{照光後色差} - \text{起始色差}}{\text{起始色差}} \times 100\%$$

無豆漿	起始色差	照光後色差	褪色率	色差改變量
無媒染無照光	0	4.5	-	4.5
無媒染有照光	12.2	57.3	369.7%	45.1
鹽水 15min	9.8	48.7	396.9%	38.9
鹽水 180min	8.0	53.7	571.3%	45.7
白醋 15min	13.7	53.8	292.7%	40.1
白醋 180min	12.1	50.3	315.7%	37.8
明礬 15min	15.3	31.5	105.9%	16.2
明礬 180min	17.9	28.1	57%	10.2

有豆漿	起始色差	照光後色差	褪色率	色差改變量
無媒染無照光	0	6.6	-	6.6
無媒染有照光	2.9	49.2	1596.6%	46.3
鹽水 15min	4.3	52.6	1123.3%	48.3
鹽水 180min	3.7	46.9	1167.6%	43.2
白醋 15min	6.2	44.3	614.5%	38.1
白醋 180min	6.2	40.1	546.8%	33.9
明礬 15min	28.2	30.7	8.9%	2.5
明礬 180min	26.4	37.5	42.0%	11.1

根據上述數據，針對薑黃染料的特性得出以下四點結果：

- A. 明礬是薑黃的最佳「化學防護罩」** 在所有變因中，明礬組的照光後色差最低（28.1~37.5），褪色率由無媒染時的 369.7% 降至最低 8.9%（有豆漿組）。這證實明礬中的鋁離子能與薑黃素產生「絡合作用」，有效抵抗紫外線破壞。
- B. 豆漿（助染劑）具備顯色效益但防護有限** 加入豆漿能顯著提升起始上色的深度（如明礬組起始色差由 15.3 升至 28.2），說明蛋白質有助於染料附著。然而在長期曝曬下，豆漿對薑黃的防褪色貢獻不如對其他色系顯著。
- C. 媒染浸泡時間的經濟效益評估** 比較 15 分鐘與 180 分鐘數據，其色差表現幾乎無異。顯示薑黃與媒染劑的反應極快，15 分鐘短時媒染即具備經濟效益。
- D. 鹽水與白醋之固色效果有限** 實驗顯示，此二者之照光後色差（40~53.8）與無媒染組相近，對薑黃的防護力薄弱。



左圖為照光前

右圖為照光後

2. 藍色染料(純木藍粉):

本階段實驗聚焦於純木藍粉（藍色染料）的固色穩定性。木藍（靛藍）在傳統染工藝中以耐洗、耐曬著稱。本研究透過「有無助染劑（豆漿）」與「三種媒染劑（鹽水、白醋、明礬）」的交叉測試，觀察布料在經歷 28 天戶外強光曝曬後的色差變化（ ΔE ）。

重點觀察指標說明：

起始色差：數值代表媒染劑對原始藍色顯色深淺或色調的影響。

照光後色差：數值越小，代表耐光性越強。藍色組整體數值遠低於黃色組，顯示其先天穩定性較高。

無豆漿	起始色差	照光後色差	褪色率	色差改變量
無媒染無照光	0	3.7	-	3.7
無媒染有照光	6.6	13.0	97.0%	6.4
鹽水 15min	10.4	11.7	12.5%	1.3
鹽水 180min	9.2	10.4	13.0%	1.2
白醋 15min	10.9	15.7	44.0%	4.8
白醋 180min	14.4	14.9	3.5%	0.5
明礬 15min	12.7	15.1	18.9%	2.4
明礬 180min	17.5	13.6	-22.3%	-3.9

有豆漿	起始色差	照光後色差	褪色率	色差改變量
無媒染無照光	0	0.8	-	0.8
無媒染有照光	4.4	10.8	145.5%	6.4
鹽水 15min	4.5	9.0	100%	4.5
鹽水 180min	4.5	7.6	68.9%	3.1
白醋 15min	5.1	5.9	15.7%	0.8
白醋 180min	3.3	9.9	200%	6.6
明礬 15min	6.9	14.2	105.8%	7.3
明礬 180min	3.3	8.4	154.5%	4.9

根據上述數據，針對藍色染料特性得出以下四點結果：

A. 木藍具備優異的穩定性 木藍組的色差變化量在所有組別中均為最低，且無論有無添加媒染劑，其數值波動最小，可以證實木藍染料具備優異的穩定性。

B. 豆漿住染效果顯著 在藍色實驗中，豆漿與色素結合形成的保護膜極為穩定。「有豆漿+白醋 15min」組達到了全實驗最低的照光後色差（5.9），褪色率僅 15.7%。

C. 鹽水與白醋為最佳媒染配方 相對於黃色依賴明礬，藍色在鹽水與白醋環境下表現更佳。其中鹽水組色差穩定維持在 7.6~11.7 之間，能有效保持色調純度。

D. 明礬產生極度穩定現象 在「無豆漿+明礬 180min」中出現褪色率負值（-22.3%），顯示在媒染下，藍色布料幾乎無褪色，數據變動趨向於原本

色。



左圖為照光前

右圖為照光後

3. 紅色染料(紅麴粉):

本階段實驗聚焦於紅麴粉（紅色染料）的固色穩定性。紅麴色素屬於天然發酵色素，已知其化學結構在強光下極易產生氧化褪色。本研究透過「有無助染劑（豆漿）」與「三種媒染劑（鹽水、白醋、明礬）」的交叉測試，觀察布料在經歷 28 天戶外強光曝曬後的色差變化（ ΔE ）。

重點觀察指標說明：

起始色差：數值代表媒染劑與助染劑對紅麴原始顯色度的影響。

照光後色差：數值越小，代表耐光性越佳。本組數據變動幅度較大，顯示紅麴受環境變因影響顯著。

無豆漿	起始色差	照光後色差	褪色率	色差變化量
無媒染無照光	0	2.0	-	2.0
無媒染有照光	9.5	42.3	345.3%	32.8
鹽水 15min	6.4	44.6	596.9%	38.2
鹽水 180min	2.4	45.3	1787.5%	42.9
白醋 15min	7.9	40.4	411.4%	32.5
白醋 180min	4.1	43.6	963.4%	39.5
明礬 15min	3.6	44.5	1136.1%	40.9
明礬 180min	5.8	32.9	467.2%	27.1

有豆漿	起始色差	照光後色差	褪色率	色差變化量
無媒染無照光	0	1.8	-	1.8
無媒染有照光	6.4	27.2	325.0%	20.8
鹽水 15min	16.2	18.2	12.3%	2.0
鹽水 180min	15.2	18.8	23.7%	3.6
白醋 15min	8.1	24.5	202.5%	16.4
白醋 180min	16.0	16.5	3.1%	0.5
明礬 15min	7.1	25.4	257.7%	18.3
明礬 180min	3.2	20.0	525.0%	16.8

根據上述數據，針對紅色染料的特性得出以下四點結果：

- A. **豆漿是紅麴固色的關鍵核心** 雖然紅麴組的褪色率百分比驚人，但觀察色差變化量，其實際增加的數值與薑黃組落差並不如百分比顯示的那樣巨大。這說明紅麴的耐光性確實最弱，但數據上的極端百分比主要是因為其『曝曬前』的顏色與原布極為接近（分母極小）所致。
- B. **鹽水與白醋在「有豆漿條件」下表現優異** 當豆漿存在時，配合白醋或鹽水媒染，色差可壓低至 16.5~18.8 之間，耐光性大幅扭轉。
- C. **明礬對紅麴的固色效益較不穩定** 明礬雖在黃色表現優異，但對紅麴的保護力居中。在有豆漿加持下，其表現仍遜於白醋與鹽水。
- D. **浸泡時間對紅色的重要性提升** 與黃、藍不同，紅麴在長浸泡（180 分鐘）下表現明顯優於短浸泡。例如白醋組在 180 分鐘處理後，色差由 24.5 進一步降至 16.5，建議紅麴媒染需採取長時工序。



左圖為照光前

右圖為照光後

【小結】 綜合三種染料的實驗結果可以發現，不同顏色的染料對於「助染劑」與「媒染條件」的反應有明顯差異。這顯示天然染料的固色效果，必須根據染料本身的特性來調整，無法用同一套方法套用在所有顏色上。整體而言，只要選擇正確的媒染劑與處理方式，就能有效提升天然染料的耐光性。為了找出每一種染料的最佳固色效果，本研究將實驗數據總結為下方的「最佳防護配方指南」：

染料種類	最佳固色策略	核心媒染劑	建議媒染時間	固色原理關鍵
黃色（薑黃）	強力金屬絡合	明礬	15 分鐘	金屬離子保護
藍色（木藍）	蛋白與酸鹽協同	鹽水 / 白醋	15 分鐘	色素本質穩定
紅色（紅麴）	絕對依賴蛋白	鹽水 / 白醋	180 分鐘	蛋白質屏蔽效應

三、綜合討論

● 為什麼在冬天曬布？（環境變因分析）

本次實驗是在 12 月到 2 月進行的，地點在新北市土城。雖然這段時間太陽不像夏天那麼烈（平均紫外線指數大約只有 3 到 5），但我發現黃色（薑黃）和紅色（紅麴）在沒有保護的情況下，曬了 28 天後色差居然還是高達 40 以上。這說明這兩種顏色對光線真的非常敏感，即使是冬天的陽光也能讓它們嚴重褪色。

● 豆漿到底有沒有用？（蛋白質的專一性保護）

我發現豆漿這個「助染劑」對不同顏色有完全不同的保護效果：

❖ 對紅色（紅麴）與藍色（木藍）是「超強防護罩」：

紅麴本來是這三個顏色中最容易褪色的。但在加入豆漿後，紅麴的褪色率從原本嚇人的 1787.5% 掉到只剩下 3.1%。這就像是豆漿蛋白幫紅麴撐了一把「物理遮陽傘」，擋住了紫外線的攻擊。而藍色則是因為豆漿蛋白像膠水一樣，把染料顆粒牢牢黏在布上，讓它變得很穩定。

❖ 對黃色（薑黃）卻可能有「副作用」：

很奇怪的是，薑黃加了豆漿後，雖然剛染完顏色很深，但曬完太陽後效果卻不好。我查了文獻發現，薑黃素本身具有感光性且在鹼性環境（豆漿微偏鹼）下較不穩定，因此推測是此原因導致它褪色變快。因此可以知道，不是所有顏色加豆漿都會變好。

● 媒染劑要選哪一種？要泡多久？

從數據來看，我整理出最好的固色方法：

❖ 媒染劑的選擇：黃色一定要加明礬才有用；紅色和藍色則是加鹽水或白醋表現比較穩定。

❖ 泡的時間：黃色和藍色反應很快，泡 15 分鐘效果就跟 180 分鐘一樣好了，這樣可以節省很多時間。但紅色（紅麴）比較特別，它需要泡到 180 分鐘，讓染料和豆漿蛋白結合得更穩，耐曬效果才會更好。

第五章、結論與建議

一、結論

1. **黃色染料（薑黃粉）：**依賴明礬，與時間無關 黃色染料在加入「助染劑（豆漿）」後，雖然起始上色較深，但曬過太陽後的褪色程度依然很大，說明豆漿對薑黃的「防光保護」有限。然而，當使用「明礬」作為媒染劑時，固色效果顯著提升。實驗數據顯示，明礬浸泡 15 分鐘與 180 分鐘的效果幾乎相同，因此在實務操作上，黃色媒染僅需 15 分鐘即可達成最佳固色效果。
2. **藍色染料（純木藍粉）：**本質穩定，豆漿加成 木藍本身的耐光性為三色中最強。實驗發現，「豆漿加白醋」或「豆漿加鹽水」是極佳的防褪色組合，顯示蛋白質（豆漿）能有效鎖住靛藍分子。在媒染時間方面，同樣僅需浸泡 15 分鐘就能達到穩定的固色效果，是既省時又高效的配方。
3. **紅色染料（紅麴粉）：**蛋白質救命，需長時浸泡 紅色是實驗中最易褪色的染料，但「豆漿」對其固色具有救命般的幫助。在有豆漿的條件下，紅麴的褪色率大幅下降；其中配合「鹽水」或「白醋」媒染表現最為突出。此外，紅色是唯一受時間影響較大的色系，浸泡 180 分鐘的效果明顯優於 15 分鐘，顯示紅麴需要較長的時間讓離子與蛋白質複合體深度結合。
4. **各色系最佳固色建議總結：**
 - 黃色： 優先選用「明礬」，有無豆漿影響較小。
 - 藍色： 推薦「豆漿 + 白醋/鹽水」，固色效果極致穩定。
 - 紅色： 務必加「豆漿」，並搭配長時浸泡（180min）。

二、建議

1. **環境變因：** 本研究數據採集於冬季（12-2 月），受限於季節，未能觀察染料在夏季強光環境下的極限。建議未來可進行跨季節的耐候性對比。
2. **工法優化：** 實驗證實豆漿在「防褪色」上有顯著貢獻，打破了過去認為豆漿僅能增加上色的觀念。針對紅麴類易褪色染料，應強制導入蛋白質預處理與長時媒染工序。
3. **流程變因：** 本研究僅探討「後媒染法」，未來可研究不同媒染順序（如前媒染）對薑黃等色素穩定性的影響。

4. **數據評估指標之修正：**在分析過程中發現，僅使用「百分比（褪色率）」容易受起始色差值的微小變動而產生放大效應（如紅麴組）。本研究建議未來應改以「色差絕對變化量」作為耐光性評估的主要指標。此外，後續研究若能先統一各組的起始色深至同一基準後再進行曝曬測試，將能排除吸附總量的干擾，獲得更精準的對比數據。

第陸章、參考資料

一、研究資料

- [1]影響報紙變黃、色紙褪色變因的探討。徐元良、謝相賢（1981）。

- [2]在地ㄟ色水—染出「蕨」色。車珮慈、楊傑安、王怡璇、鍾華郁、賈富涵、郭子琳(2013)。

- [3]咖啡渣・染・變身 show~探討咖啡渣之染色變因與再利用。陳品毓、郭加恩李穀玲、袁予恩、鄭裘諳、謝馨儀(2017)。

- [4]當我們染在一起 ~探討增加植物染材染色效果的因素~(2023)。

- [5]給點顏色就開起染坊來了—植物染色劑的相關問題研究。莊孟麟、江玉芬、梅婷(2003)。

- [6]小心別被水果染色了。臺南市 107 年度國小學生獨立研究競賽作品（2018）。

- [7]駐「顏」有術，染布裡的化學秘密。劉曉倩(2018)。