

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生活與應用科學(二)科

第三名

032923

青出於藍-靛藍的快速建藍及創意藍染

學校名稱：臺南市立復興國民中學

作者： 國二 周育丞 國二 董益亨	指導老師： 周建良 黃吉楠
-------------------------	---------------------

關鍵詞：藍染、快速建藍、保險粉

摘要

藍染活動令人驚奇，但如何染的好？光評肉眼沒有客觀標準。本研究用 ImageJ 軟體進行顏色分析，利用量測染布色相值 **H**、飽和度值 **S**，能有效分析染色效果。並藉此找出快速建藍最佳比例配方：以 0.4 g 染布為例，將 1.1 g 泥藍溶解在 pH=13 的 10 mL 鹼性溶液中，加入 0.7 g 保險粉建藍所得染液，其染後顏色與傳統染液相比，飽和度**提升 120%** (34%→75%)，且時間效率**增為 3 倍**(30 分鐘→10 分鐘)。

我們設計「**夾鏈袋藍染法**」**不須大量染液**，也**不怕髒汙**，染布效率高且效果好，達到**減量減廢的環保趨勢**。更研發「**藍染筆**」，能在紙上體驗藍染有趣變色現象。我們更將實驗結果**應用在氧化還原課程**中，讓同學**一節課**就染出漂亮的藍染作品，具體結合文化和科學，更在傳統中注入一股環保潮流新契機。

壹、 研究動機

同學小時候在農村長大，常跟阿公阿嬤去當地文物館體驗藍染活動，發現染布在染缸中是墨綠色，但是拿出晾乾後竟變為藍色！而染布成品即使水洗後，也不會立刻褪色，非常有趣。和學校老師討論後，才知道這是氧化還原現象，也是藍染的科學奧秘之處，更是成語「青出於藍」的典故由來。我們在探訪染坊過程發現，要如何才能「**染得好**」、「**染得快**」、「**染得更環保**」，需透過**實驗設計才能找到答案**。藉由研究藍染，不僅可以了解地方傳統文化，也能將實驗結果**應用在氧化還原課程**中，更讓傳統技藝注入環保潮流的新創意。

貳、 研究目的

- 一、 找出判別染布顏色的有效科學分析法，取代肉眼比色的觀察。
- 二、 以快速建藍法找出泥狀藍靛染料合適的建藍條件，並與傳統染液染布成果做比較。
- 三、 找出合適的實驗室藍染流程，讓藍染活動更有效率且染色效果好。
- 四、 設計創新的藍染法及文創物品，並能符合環保節能趨勢，實際將實驗結果結合自然科學課程，讓藍染文化更容易推廣也更具有創意。

參、 研究設備及器材

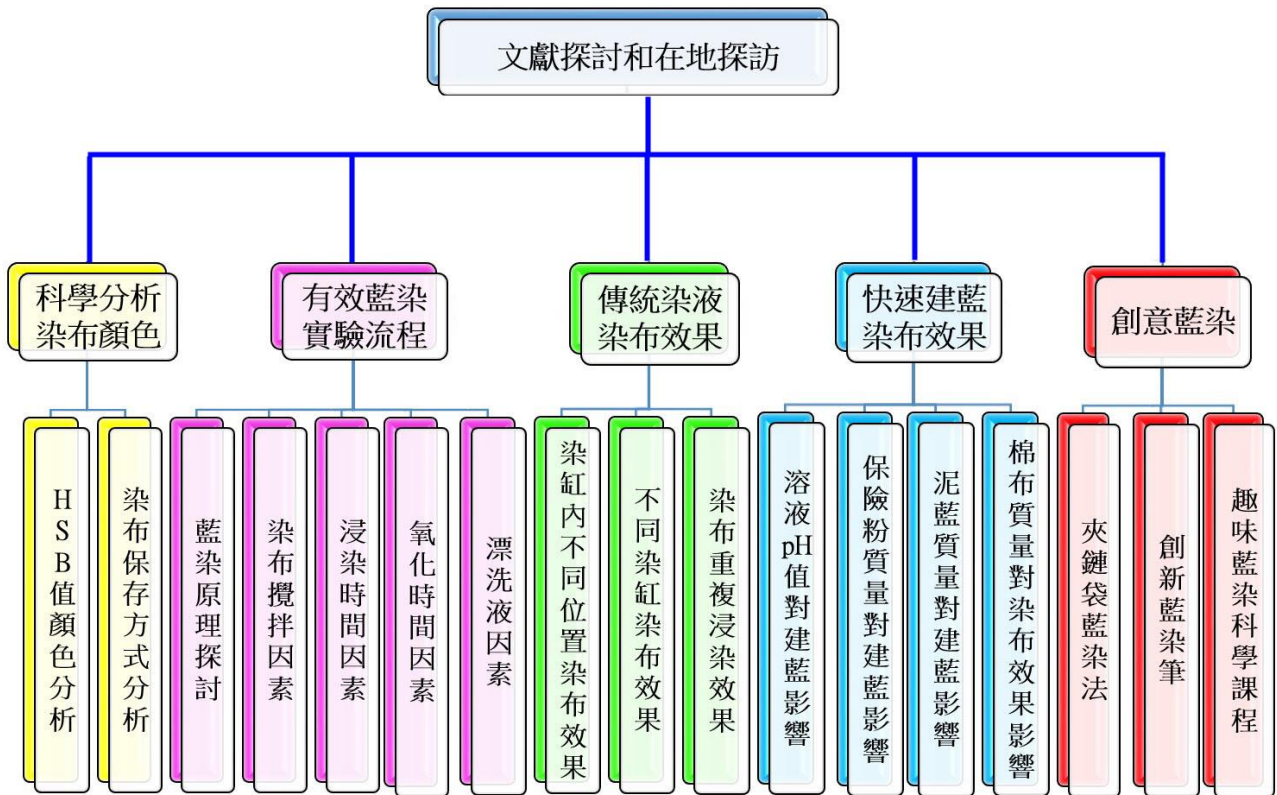
- 一、實驗器材：電子天平(300 g*0.01 g)、pH 計、pH 0~14 試紙、試管(10 mL、15 mL、30 mL)、試管塞、試管架、鑷子、刮勺、滴管、燒杯(100 mL、250 mL、500 mL)、錐形瓶(125 mL、250 mL、500 mL)、瓶塞、量筒(10 mL、50 mL)、吸量管(10 mL、20 mL)、玻棒、溫度計、洗滌瓶、酒精燈、碼表、衣夾、夾鏈袋(4 號 8.5 cm*12 cm、7 號 14 cm*20 cm)、精練去漿化棉布、棉線、小型攝影棚(20 cm*20 cm*20 cm)、照相攝影機、筆電、掃描列印機、USB 顯微鏡、可吸墨式毛筆、一般影印紙、圖畫紙、宣紙、果肉皮乾燥機、果汁攪拌機。
- 二、實驗材料：泥狀藍靛染料、傳統建藍的藍染液、氫氧化鈉、低亞硫酸鈉(保險粉)、醋酸、蒸餾水、柳丁皮、椪柑皮、香蕉皮、維他命 C 錠劑。
- 三、實驗器材及藥品如下：

				
電子天平	pH 計、 pH0~14 試紙	試管、試管塞、 試管架	鑷子、刮勺、滴管、 燒杯、錐形瓶、量筒	玻棒、溫度計、 吸量管
				
洗滌瓶、衣夾	酒精燈、碼表	小型攝影棚	照相攝影機	筆記型電腦
				
USB 顯微鏡	掃描列印機	果肉皮乾燥機	夾鏈袋	可吸墨式毛筆
				
氫氧化鈉、醋酸 低亞硫酸鈉 (保險粉)	傳統染液、 泥狀藍靛染料、 精練棉布、棉線	傳統染缸	乾燥後柳丁皮粉 、椪柑皮粉 、香蕉皮粉	維他命 C 錠劑

【圖 3-1】實驗器材設備及藥品說明圖

肆、 研究過程與方法

一、 研究流程圖如下：



【圖 4-1】研究流程圖



【圖 4-2】環保創意藍染構思圖

二、文獻探討

(一)台灣藍染技藝：(修改自台灣藍 草木情，馬芬妹，民 96)

1. 藍染三部曲，「製靛」→「建藍」→「藍染」簡述如下：

- (1) **製靛**：將成熟藍草葉片中水溶性原靛素(Indican)，浸水溶出再藉石灰攪拌使其氧化成為**非水溶性藍靛素**，即為**靛藍(Indigo)**。而石灰中鈣離子與藍靛素結合，沉於底層為**泥狀藍靛染料**，簡稱「**泥藍**」，也是本實驗所採**原始染料**。
- (2) **建藍**：泥藍無法直接染色，需「**還原**」成**水溶性靛白(Indigo white)**才能染色，其過程稱為「**建藍**」。是藍染工藝最重要的一環。
- (3) **藍染**：當植物纖維與水溶性靛白吸附，再取出接觸空氣就會「**氧化**」。使得原為暗綠色之染液，氧化為藍色靛藍，而此時靛藍已定於纖維素中不易脫離。

2. 建藍方法：

- (1) 「**傳統建藍法**」：用麥芽糖、葡萄糖、米酒當「**營養劑**」在強鹼性「**木灰水溶液**」中醱酵，讓醱酵菌將靛藍還原成靛白，須耗時 1~2 週。
- (2) 「**快速建藍法**」：用鹼性「**氫氧化鈉水溶液**」，及還原劑「**低亞硫酸鈉 Na₂S₂O₄(保險粉)**」，短時間可還原靛藍，具省時高效性。**本實驗採此快速法**。

(二)在地探訪分析如下表：

【表 4-1】實地探訪傳統藍染分析表

藍染工法	傳統藍染	發現問題
建藍方法	使用大染缸，每缸需泥藍 10 公斤、木灰水 100 公升、麥芽糖 1 斤、葡萄糖 1 斤、米酒 0.5 公升	耗用材料多、建藍時間長且需大量人力進行維護與管理。
藍染流程	先浸入染缸搓揉染布約 3~5 分鐘，再將染布取出氧化 5~10 分鐘。並重複此步驟，至少 3~5 次。最後再用清水漂洗，並在陰涼處晾乾成品。	浸入染缸容易髒污，須戴手套。而重複浸染可加深染布顏色，但較為耗時且費力，又不易用肉眼確認染布顏色深淺變化。
場地使用	大染缸常在有庭院的染坊進行，而每缸每次可供 1~5 人同時使用。	受限染缸與場地，參與人數有限，且須輪流操作，較為耗時。

(三)歷屆科展藍染作品分析：如【表 4-2】，染液大多以「光譜儀」分析已還原的「靛白」濃度，但較為缺乏實際染布成品探討；而染布顏色僅憑肉眼比色判斷不客觀，目前並無有效分析的科學方法。因此希望找出簡單快速又不須昂貴儀器的染布顏色分析法，來了解染液還原狀況及染布效果。並藉控制變因法，探討各因素對染布效果影響。從而找出快速建藍較佳比例配方，及實驗室有效率藍染流程。得以改善傳統藍染在建藍耗材及藍染流程的限制與不便，讓藍染更能推廣於自然課程兼具科學及創新。

【表 4-2】歷屆全國科展作品分析表

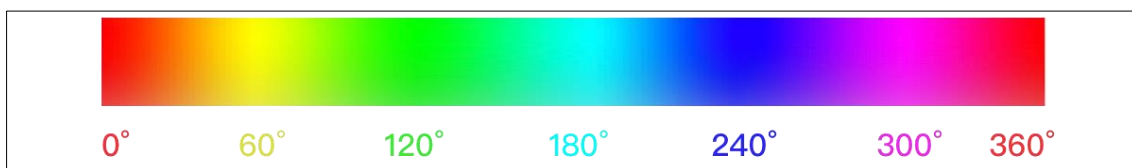
屆別/ 組科別	作品名稱	結果討論	優缺分析
46 屆 高中 化學	奈米分子篩與本土植物染，讓藍染復活	1.鉑黑分子篩催化(2~5 分)、化學法 NaBH_4 (15 分)、傳統(5~7 天)可還原靛藍。 2.低矽鉑黑還原速率快而純鉑黑則無反應。	1.用光譜儀測靛藍、靛白特定波長及濃度、時間速率； 但沒有探討還原劑、pH 值、溫度、染布關係。 2.低矽鉑黑昂貴且製作耗時。
47 屆 高職 農業 生物	偷窺阿嬤的染缸	1.植物纖維棉布染色好。 2.染色次數多顏色深；但單次染色時間影響不大。 3.氧化時間 10 分鐘較佳。 4.染布減少陽光不易褪色。	1.染布實作樣本雖多，但是缺乏科學性顏色判斷，僅用肉眼做比色。 2.實驗沒有完整變因控制。 3.使用保險粉建藍但沒成功。
49 屆 高中 化學	藍染的化學世界	1.傳統建藍法在溶液 pH=13、溫度 30 °C 較佳。 2.保險粉建藍法在 pH=13、溫度 40 °C ~ 50 °C 較佳。 3.保險粉青黛鹼液電池，最大電壓為 1.9 V。	1.利用光譜儀分析染液建藍時的 pH 值、溫度等變因，但沒有實際進行藍染的成品。 2.保險粉建藍比例與染布效果關係並不清楚。 3.靛藍與靛白筆僅理論描述，並沒有實際成品。

(四)HSB 值染布顏色分析法：

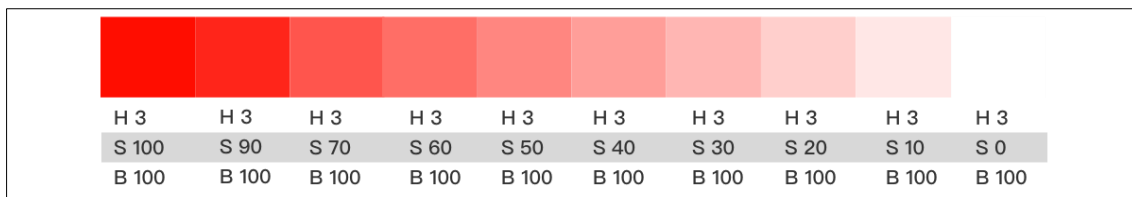
本研究採用 **ImageJ 自由軟體**來進行染布顏色分析，而 **ImageJ** 是一套功能強大的免費軟體，常在科展或實驗中被用來進行**影像分析**。我們先將染布掃描成圖檔，再用 **ImageJ** 軟體找出每塊染布上同樣區塊面積的 **RGB** 平均值，再利用線上顏色代碼轉換工具 (https://www.ginifab.com.tw/tools/colors/rgb_to_hsv_hsl.html)轉換成 **HSB** 值來分析染布顏色。

HSB 值簡述如下：(以下圖片皆源自 <https://www.kubonews.com/201803077831.html>)

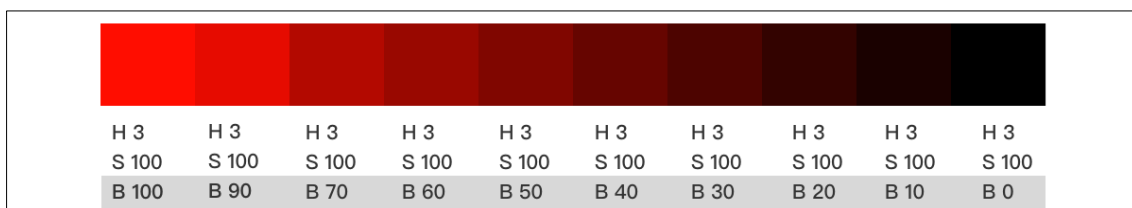
1. **色相(Hue)**：是指色彩的種類。其數值為 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ ，每個角度代表一種顏色。基本參照為 0° 或 360° 為紅色、 120° 為綠色、 240° 為藍色等。



2. **飽和度(Saturation)**：是指色彩中單色的含量。其數值為 $0\% \sim 100\%$ ，數值越高則單色越鮮豔，反之越低則越淡白。白色其 S 值為 0% 、B 值為 100% 、H 值可為任意值。



3. **明度(Brightness)**：是指色彩明亮程度。其數值為 $0\% \sim 100\%$ ，數值越高則色彩越亮，反之越低則越暗。黑色其 B 值為 0% 、H 值可為任意值。



◎結論：發現**色相值 H** 接近傳統染液染布參考值的較佳，可顯示棉布**是否染上色**；

飽和度值 S 越高代表**染色效果較好**，如此就能找出藍染如何才是「**染得好**」！

因此本實驗主要以**色相值 H**、**飽和度值 S** 作為**染布顏色分析**依據。

伍、 研究結果

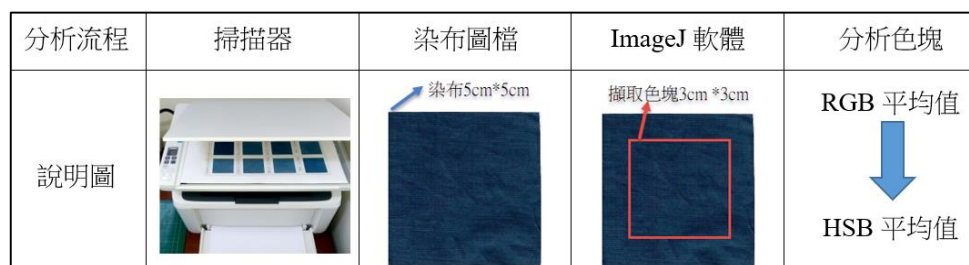
一、找出染布顏色的有效科學分析法

【實驗 1-1】：HSB 值分析對染布顏色判別效果

(一)實驗目的：了解 RGB 及 HSB 值在不同染布的判別效果，找出適合染布的有效分析法。

(二)實驗步驟：

1. 以傳統染液重複浸染 1~5 次的染布來進行分析實驗。
2. 將染布以掃描器在 300 dpi 解析度下掃描成圖檔，再以 ImageJ 分析每塊染布上同樣區塊面積的 RGB 平均值，再轉換成 HSB 值後進行分析比較。分析流程如【圖 5-1-1】。








【圖 5-1-1】染布掃描分析 HSB 值說明圖

(三)結果：

1. 探訪藍染工作坊老師說明，同一染布可透過**重複浸染**，達到較鮮艷**飽和的藍色**，肉眼雖可看出差異，但卻無法數據化，如【表 5-1-1】。而各種顏色可透過三原色 RGB 值混合呈現(各值為 0 ~ 255)，但無法直觀表現出染布變化情形。但 HSB 值卻可明顯判別出染布**色相值 H 接近**(202°~217°)，而**飽和度值 S 卻呈明顯變化**(45%~86%)，符合染坊老師**染得深、染得好**說法，證明**HS 值可有效分析染布顏色差異**。






【表 5-1-1】以不同分析法對染布判別比較表

染布分析	浸染 1 次*	浸染 2 次	浸染 3 次	浸染 4 次	浸染 5 次
肉眼判別					
RGB 值	73, 110, 132	44, 85, 110	23, 60, 90	12, 39, 71	9, 29, 62
HSB 值	202°, 45%, 52%	203°, 60%, 43%	207°, 74%, 35%	213°, 83%, 28%	217°, 86%, 24%

*以傳統染液重複浸染實驗的染布作為不同分析法判別參考，詳見【實驗 3-3】。

2. 接著以不同顏色棉布，用相同掃描方式和分析方法找出其 HSB 值，並與藍染的染布比較。結果發現如【表 5-1-2】，即使飽和度值 S 相近，但可由色相值 H，明確區分出藍染的染布與其他不同顏色色布的差異。

【表 5-1-2】HSB 值分析對不同色布判別比較表

素色布 掃描 分析					
HSB 值	8°, 43%, 95%	47°, 58%, 98%	176°, 43%, 53%	202°, 45%, 52%*	269°, 23%, 49%

*以傳統藍染染液浸染 1 次實驗的染布作為與其他色布比較。

【實驗 1-2】：適合保存染布的簡易方法

(一)實驗目的：以塑膠透明資料袋保存染布對染布褪色影響。

(二)實驗步驟：以傳統染液及快速建藍染液所藍染出不同深淺顏色的染布，保存於塑膠材質的透明資料袋內，並在晾乾後的 1、7、14、21、28 天，分析其染布顏色 HS 值。

(三)結果：以傳統染液及快速建藍染液，所染出不同色相值或飽和度值的染布，使用塑膠材質透明資料袋保存。如【表 5-1-3】結果發現經其色相值 H 與飽和度值 S，幾乎沒有變化，長時間保存都不易褪色，顯然此法適合染布保存。因此我們以資料袋保存染布成品，作為成果展示冊。而後續實驗也都以晾乾 1 天後的掃描圖檔，來進行染布的顏色分析，以達到實驗分析一致性。

【表 5-1-3】透明資料袋長期保存染布分析表

染布 HS 值	傳統染液			快速建藍染液		
	浸染 1 次 ^{*a} (較淺)	浸染 2 次	浸染 3 次 (較深)	染 1 塊布 ^{*b} (較深)	染 2 塊布	染 3 塊布 (較淺)
第 1 天	202°, 45%	203°, 60%	207°, 74%	204°, 62%	203°, 54%	203°, 41%
第 7 天	201°, 45%	202°, 58%	206°, 74%	203°, 61%	202°, 53%	201°, 39%
第 14 天	202°, 45%	203°, 60%	208°, 74%	204°, 62%	203°, 54%	202°, 41%
第 21 天	202°, 45%	203°, 60%	207°, 74%	204°, 62%	203°, 54%	202°, 41%
第 28 天	202°, 45%	203°, 60%	208°, 74%	204°, 62%	203°, 54%	202°, 41%

*a 傳統染液重複浸染詳見【實驗 3-3】

*b 快速建藍染液的不同染布質量詳見【實驗 4-4】。

二、找出實驗室中有效率的藍染流程

【實驗 2-1】：藍染原理探討

(一)實驗目的：探討泥藍(未經還原)、傳統染液及快速建藍染液的染布效果及染色原理。







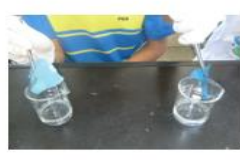

(二)實驗步驟：

1. 以泥藍水溶液(尚未建藍還原)、傳統染液及快速建藍染液為操作變因各 10 mL，在相同材質大小精練棉布及藍染流程下，進行染布結果分析。
2. 快速建藍染液實驗比例及藍染流程如【表 5-2-1】，傳統與實驗藍染比較如【圖 5-2-1】。

【表 5-2-1】快速建藍染液實驗比例及實驗室藍染流程步驟表

材料	泥藍 (泥狀藍靛染料)	氫氧化鈉水溶液 10 mL	保險粉 (低亞硫酸鈉)	精練棉布 (去漿化)
數值	0.7 g	pH = 13	0.7 g	0.4 g(5 cm*5 cm)

藍染流程	步驟一	步驟二	步驟三	步驟四	步驟五
說明	棉布泡水滴 乾保持潮濕	浸染 連續攪拌 3 分鐘	染後氧化 5 分鐘	室溫 30 mL 清水漂洗 1 分鐘	自然陰乾為 成品

藍染流程	浸染	氧化	漂洗	晾乾
傳統藍染				
實驗藍染				





【圖 5-2-1】傳統藍染與本實驗藍染流程比較圖

(三)結果：

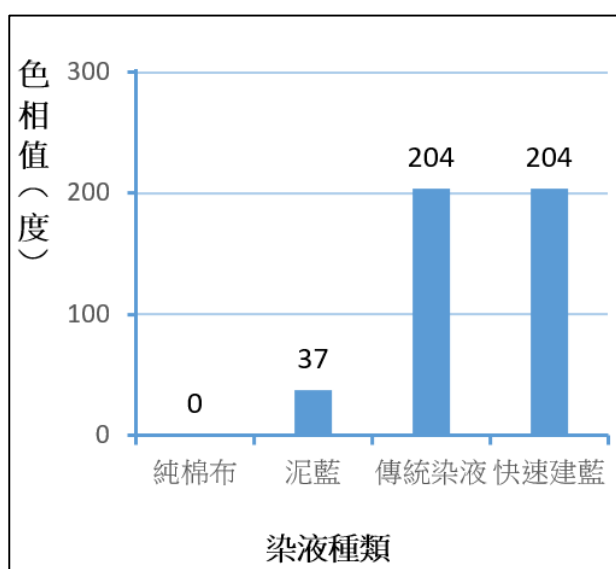
1. 如【表 5-2-2】泥藍無法直接染色在棉布，而傳統和快速建藍染液的染布都有染色，且色相值 H 都是 204°，但快速建藍飽和度值 S 較大，顯見染色效果較好。如

【圖 5-2-2、5-2-3】HS 值分析染布顏色是有效科學方法。後續實驗以此法做染布分析。

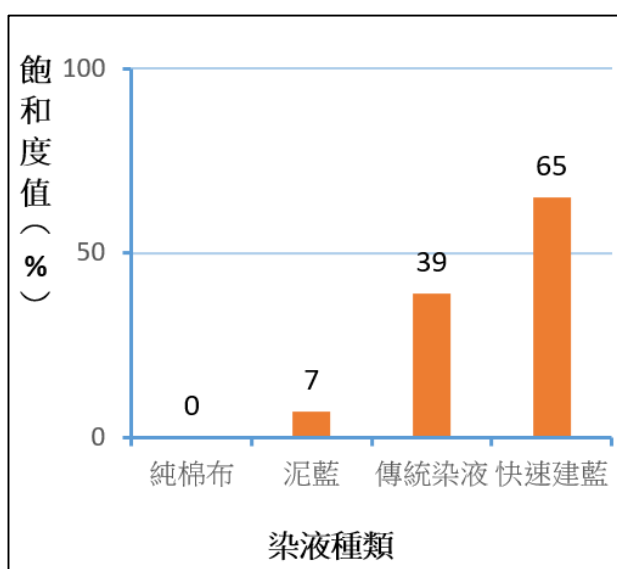
【表 5-2-2】建藍前後的染液對染布效果分析表

染液	純棉布*	泥藍水溶液	傳統染液	快速建藍染液
染布成品				
染布 HS 值	0°, 0%	37°, 7%	204°, 39%	204°, 65%

* 純棉布為背景值，供其他染布做對照用。

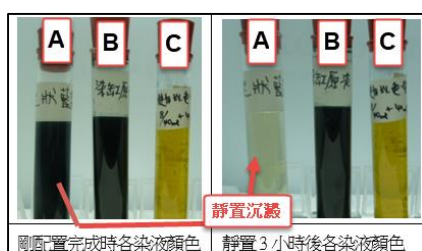


【圖 5-2-2】建藍前後染液對染布效果色相值 H 分析圖

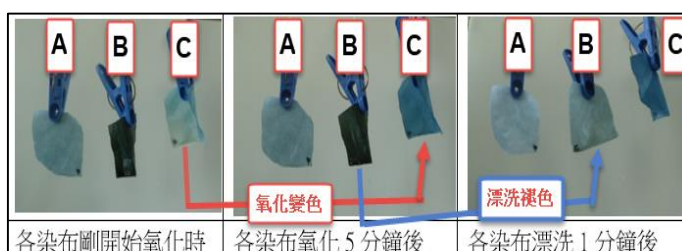


【圖 5-2-3】建藍前後染液對染布效果飽和度值 S 分析圖

2. 如【圖 5-2-4、5-2-5】，泥藍為藍色無法溶於水，靜置後會沉澱，不具染色力；傳統染液為墨綠色，染後氧化過程難以觀察變色，且漂洗後易褪色；而快速建藍染液為黃綠色，染後氧化從黃綠變為藍色，容易觀察變化，且漂洗後定色良好。



【圖 5-2-4】染液靜置後的顏色變化說明圖：A 泥藍水溶液、B 傳統染液 C 快速建藍染液。



【圖 5-2-5】染布氧化前後、漂洗前後的顏色變化說明圖：A 泥藍水溶液染布、B 傳統染液染布、C 快速建藍染液染布。



【實驗 2-2】：浸染攪拌對染布效果影響

(一)實驗目的：了解棉布浸染時有無攪拌，對染布效果的影響。

(二)實驗步驟：以【表 5-2-1】調配快速建藍染液各 10 mL，但僅改變藍染流程步驟二連續攪拌，改為有和沒有攪拌作為操作變因，來進行染布分析。而攪拌或漂洗時則在 100 mL 燒杯內每秒攪拌一圈為原則。

(三)結果：如【表 5-2-3】，浸染有攪拌，飽和度值 S 較大染色效果較好。

【表 5-2-3】 浸染攪拌對染布效果分析表

操作變因	浸染沒攪拌	浸染有攪拌
染布成品		
染布 HS 值	201°,21%	202°,35%




【實驗 2-3】：浸染時間對染布效果影響

(一)實驗目的：了解棉布浸染時間長短，對染布效果的影響。

(二)實驗步驟：以【表 5-2-1】調配快速建藍染液各 10 mL，但僅改變步驟二連續攪拌 3 分鐘，改為 1、3、5 分鐘作為操作變因，進行染布結果分析。

(三)結果：如【表 5-2-4】，浸染 5 分鐘 S 值較大效果較好，但與染 3 分鐘差異不大。若以時間效率考量下，以 3 分鐘浸染效率較佳。

【表 5-2-4】 浸染時間對染布效果分析表

操作變因	染 1 分鐘	染 3 分鐘	染 5 分鐘
染布成品			
染布 HS 值	201°,29%	202°,36%	201°,37%




【實驗 2-4】：氧化時間對染布效果影響

(一)實驗目的：了解棉布浸染後氧化時間長短，對染布效果的影響。

(二)實驗步驟：以【表 5-2-1】調配快速建藍染液各 10 mL，但僅改變步驟三氧化時間 5 分鐘，改為 5、10、15 分鐘作為操作變因，進行染布結果分析。

(三)結果：如【表 5-2-5】，氧化 10 分鐘 S 值較大效果較好，而 5、15 分鐘則差異不大。但若以時間效率考量下，則氧化 5 分鐘效率較佳。







【表 5-2-5】 氧化時間對染布效果分析表

操作變因	氧化 5 分鐘	氧化 10 分鐘	氧化 15 分鐘
染布成品			
染布 HS 值	204°,40%	203°,45%	203°,39%

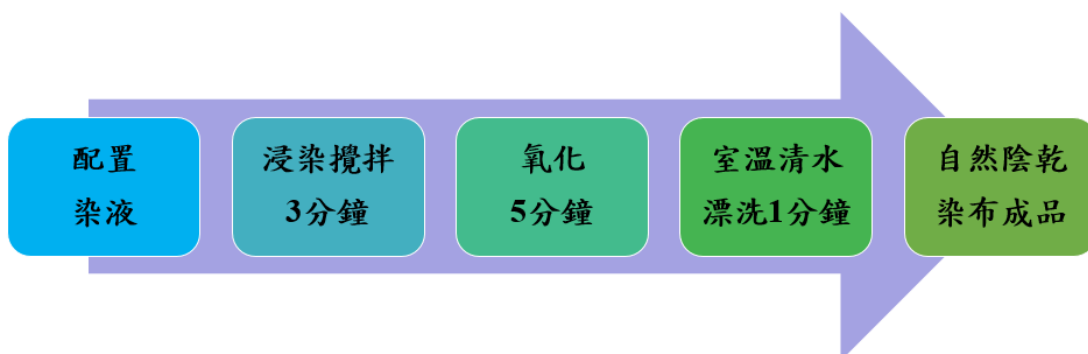
【實驗 2-5】：漂洗液成分及溫度對染布效果影響

- (一)實驗目的：了解棉布氧化完成後進行漂洗時，漂洗液成分及溫度，對染布效果的影響。
- (二)實驗步驟：以【表 5-2-1】調配快速建藍染液各 10 mL，但僅改變步驟四室溫清水漂洗，改為清水與 pH=3 醋酸水溶液，而溫度改為室溫 25 °C、50 °C、70 °C作為操作變因進行分析。而攪拌或漂洗時以 100 mL 燒杯每秒攪拌一圈為原則。
- (三)結果：文獻提及染布氧化後在**高溫醋酸**漂洗對染布定色較好，但結果如【表 5-2-6】，以**清水漂洗**對染布定色，比醋酸好。而溫度則以**50 °C**時，染布定色效果較佳，但也相對耗能。考量節能以**25 °C室溫清水漂洗較佳**。

【表 5-2-6】 漂洗液成分及溫度對染布效果分析表

溫度	25 °C	50 °C	70 °C
染布成品			
清水漂洗染布 HS 值	205°, 42%	205°, 48%	205°, 46%
染布成品			
醋酸漂洗染布 HS 值	204°, 42%	206°, 45%	205°, 40%

◎綜合上述【實驗 2-2】~【實驗 2-5】結果，在考量染布效果與環保及時效性，本研究後續採用的實驗室藍染流程及步驟，仍以【表 5-2-1】為基準來進行染布程序如【圖 5-2-6】。



【圖 5-2-6】 實驗室 10 分鐘內高效率藍染流程說明圖

三、傳統染液對染布效果研究

【實驗 3-1】：染缸內不同位置染液對染布效果影響

(一)實驗目的：了解染缸內不同位置的染液其染布效果差異，藉此找出染缸最佳染液區。










(二)實驗步驟：利用探訪藍染工作坊並實作，取傳統龍眼木灰水醱酵建藍完成的染缸裡，表面泡沫、表面染液及裡層染液(距表面深度約 30 cm)三處，且每處三個不同位置(中央及距離中央左右側各 20 cm 處)，各取 10 mL 染液進行棉布浸染。浸染依【表 5-2-1】藍染流程進行染布分析。**傳統染液實驗皆在染坊進行實作**，實驗過程採樣如【圖 5-3-1】。



【圖 5-3-1】傳統染缸染液取樣說明圖

(三)結果：如【表 5-3-1】傳統染缸不管表面泡沫、表面染液及裡層染液**都具有染色力**。但以**裡層染液 S 值較大效果較好**，表面泡沫則較差。後續有關**傳統染液的取樣**，都以**裡層染液**來進行藍染實驗。





【表 5-3-1】染缸內不同位置染液對染布效果分析表

染布 HS 值	左側	中央	右側	平均
染布 成品				201°,21%
表面泡沫	201°,21%	203°,26%	198°,16%	
染布 成品				198°,23%
表面染液	200°,29%	197°,19%	197°,20%	
染布 成品				201°,33%
裡層染液	201°,35%	202°,33%	201°,32%	

【實驗 3-2】：不同染缸對染布效果影響

- (一)實驗目的：了解不同染缸染液的染布效果差異，建立傳統染液染布效果比較基準值。
- (二)實驗步驟：利用藍染工作坊內已完成醱酵建藍的 4 個不同染缸，依【表 5-2-1】藍染流程步驟，取每個染缸正中央處 30 公分深的裡層染液進行藍染，進行染布結果分析。
- (三)結果：
1. 探訪藍染工作坊時發現，不同染缸在醱酵建藍過程中，受到營養液(麥芽糖、葡萄糖、米酒等)、溫度、醱酵時間、使用情形及人為照養的各種因素影響，使得染色效果不穩定，無法維持染色一致性。如【表 5-3-2】發現，傳統染液染布の色相值 H 在 200°~205°之間差異並不大；但其飽和度值 S 則在 26%~43%之間有明顯差距。
 2. 我們以傳統染液染布效果的飽和度平均值 S 為 34%，作為後續快速建藍染液染布的比較基準值。

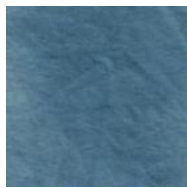




【表 5-3-2】不同染缸對染布效果分析表

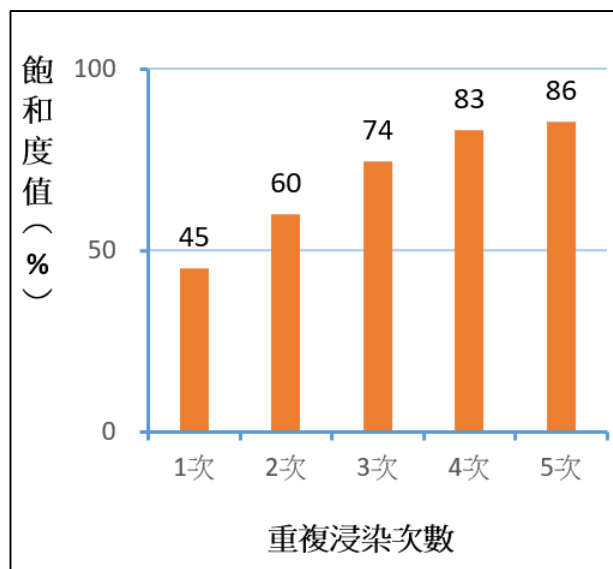
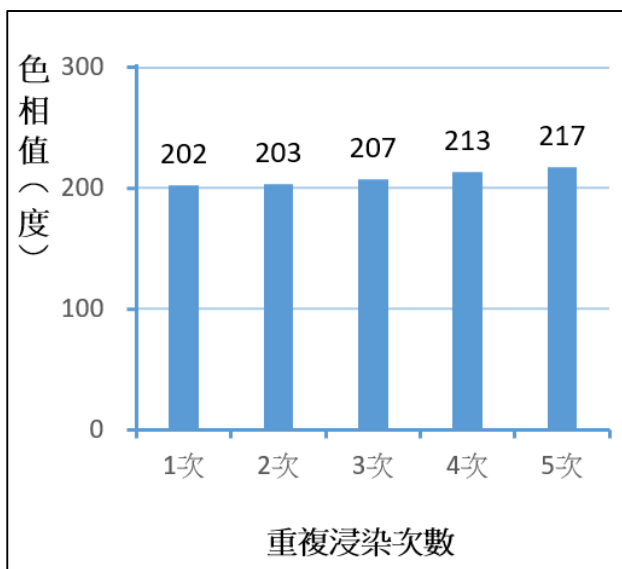
染缸	染缸 A	染缸 B	染缸 C	染缸 D	平均
染布成品					202°, 34%
染布 HS 值	205°, 43%	201°, 35%	200°, 26%	201°, 33%	

【實驗 3-3】：同一染布重複浸染對染布效果影響

- (一)實驗目的：了解同一染布重複浸染時對染布效果差異。
- (二)實驗步驟：取已完成醱酵建藍的同一染缸裡層染液，依【表 5-2-1】藍染流程進行藍染，唯在步驟三染布氧化後，再對同一染布重複步驟二及三，重複依序為 1~4 次作為操作變因，分析完成後的染布效果。
- (三)結果：如【圖 5-3-2、5-3-3】、【表 5-3-3、5-3-4】，同一染布重複浸染次數增加，染布顏色飽和度值 S 會提升，而色相值 H 也會略增。我們選擇傳統染液效果最好染缸做實驗，雖重複浸染 5 次所得飽和度值 S 高達 86%，但卻須耗時 1 小時，時間效率不佳。傳統藍染利用此法增加染布飽和度，也可從顯微鏡下觀察到染布纖維染色漸次飽和的效果。

【表 5-3-3】同一染布重複浸染對染布效果分析表

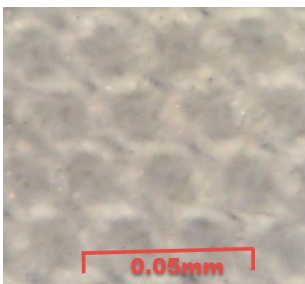
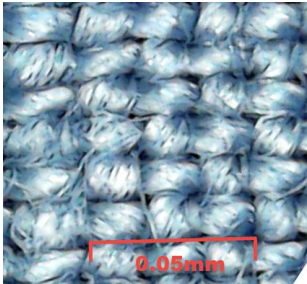
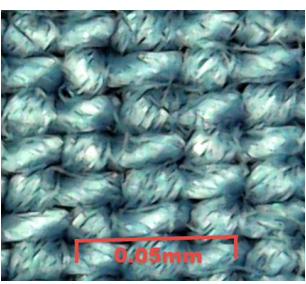
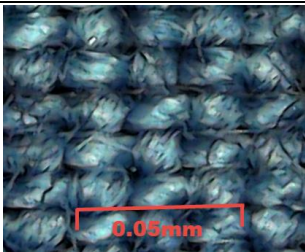
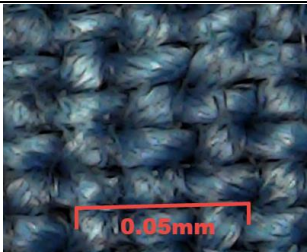
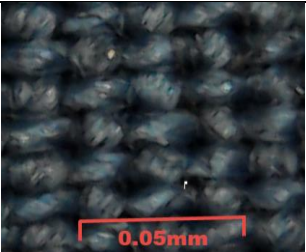
重複浸染	浸染 1 次	浸染 2 次	浸染 3 次	浸染 4 次	浸染 5 次
染布成品					
染布 HS 值	202°, 45%	203°, 60%	207°, 74%	213°, 83%	217°, 86%



【圖 5-3-2】同一染布重複浸染色相值 H 分析圖

【圖 5-3-3】同一染布重複浸染飽和度值 S 分析圖

【表 5-3-4】以顯微鏡觀察同一染布重複浸染時對染布效果分析表(*純白棉布作背景對照)

重複浸染	純白棉布*	浸染 1 次	浸染 2 次
顯微鏡下染布結構			
染布 HS 值	0°, 0%	202°, 45%	203°, 60%
重複浸染	浸染 3 次	浸染 4 次	浸染 5 次
顯微鏡下染布結構			
染布 HS 值	207°, 74%	213°, 83%	217°, 86%

四、找出快速建藍的最佳比例配方









【實驗 4-1】：泥藍質量對快速建藍影響

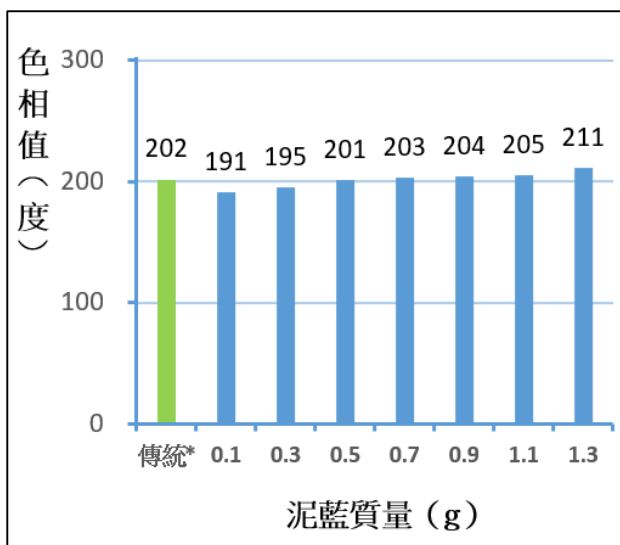
(一)實驗目的：探討以不同泥藍質量進行快速建藍時，其所得染液的染布效果。

(二)實驗步驟：以【表 5-2-1】調配快速建藍染液各 10 mL，但改變泥藍質量為 0.1 g、0.3 g、0.5 g、0.7 g、0.9 g、1.1 g、1.3 g 作為操作變因，並依【表 5-2-1】藍染流程進行染布分析。

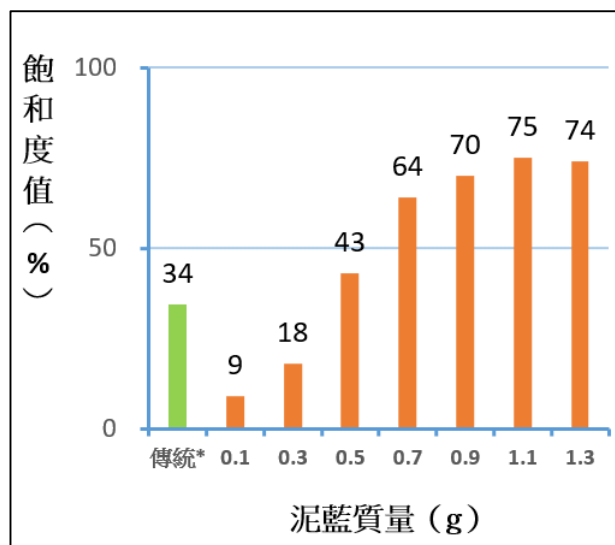
(三)結果：如【圖 5-4-1、5-4-2】、【表 5-4-1】，泥藍比例在 0.5 g / 10 mL 以上的染液，染布效果均比傳統染液好。而泥藍濃度較大的，其染液的染布飽和度也都較高。但以 1.1 g 比例其 S 值最佳為 75%，而 1.1 g 及 1.3 g 比例其 S 值已相近。

【表 5-4-1】泥藍質量對快速建藍時染布效果分析表

泥藍質量	傳統平均	0.1g	0.3g	0.5g	0.7g	0.9g	1.1g	1.3g
染布成品								
HS 值	202°, 34%	191°, 9%	195°, 18%	201°, 43%	203°, 64%	204°, 70%	205°, 75%	211°, 74%



【圖 5-4-1】泥藍質量對快速建藍染布色相值 H 分析圖 (*傳統染液染布比較基準 H 值)



【圖 5-4-2】泥藍質量對快速建藍染布飽和度值 S 分析圖 (*傳統染液染布比較基準 S 值)



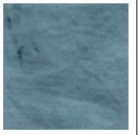





【實驗 4-2】：溶液 pH 值對快速建藍影響

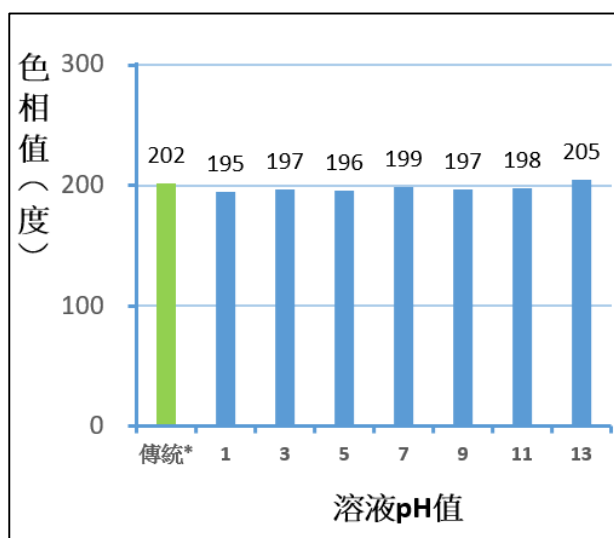
(一)實驗目的：探討以不同 pH 值水溶液進行快速建藍時，其所得染液的染布效果。

(二)實驗步驟：以【表 5-2-1】調配快速建藍染液各 10 mL，但改變水溶液 pH 值為 pH=1、3、5 的鹽酸水溶液、pH=7 蒸餾水、pH=9、11、13 的氫氧化鈉水溶液作為操作變因，並依【表 5-2-1】藍染流程，進行染布結果分析。

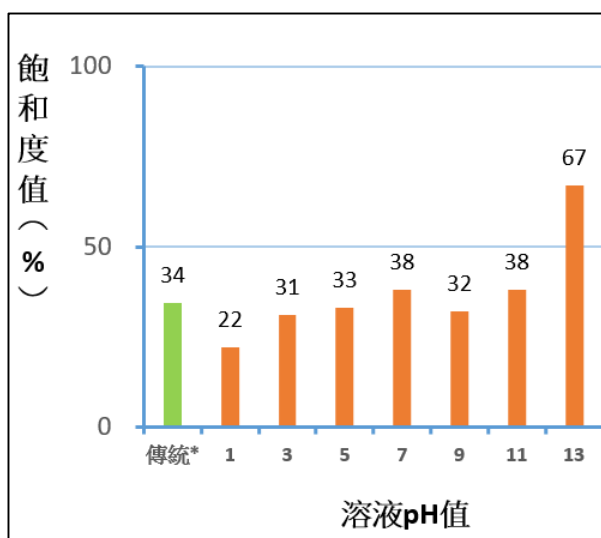
(三)結果：如【圖 5-4-3、5-4-4】、【表 5-4-2】，不同 pH 值溶液快速建藍時，所得染液都具染色力，其中以 pH=13 的染布飽和度值 S 較高、效果較好，而 pH=3 ~ 11 則與傳統染液平均值相近，而以 pH=1 溶液建藍所得染布效果最差。而傳統染液 pH 值=12 ~ 13。

【表 5-4-2】 溶液 pH 值對快速建藍時染布效果分析表

溶液 pH 值	傳統平均	pH=1	pH=3	pH=5	pH=7	pH=9	pH=11	pH=13
染布成品								
HS 值	202°, 34%	195°, 22%	197°, 31%	196°, 33%	199°, 38%	197°, 32%	198°, 38%	205°, 67%



【圖 5-4-3】 溶液 pH 值對快速建藍染布色相值 H 分析圖 (*傳統染液染布比較基準 H 值)



【圖 5-4-4】 溶液 pH 值對快速建藍染布飽和度值 S 分析圖 (*傳統染液染布比較基準 S 值)







【實驗 4-3】：保險粉質量對快速建藍影響

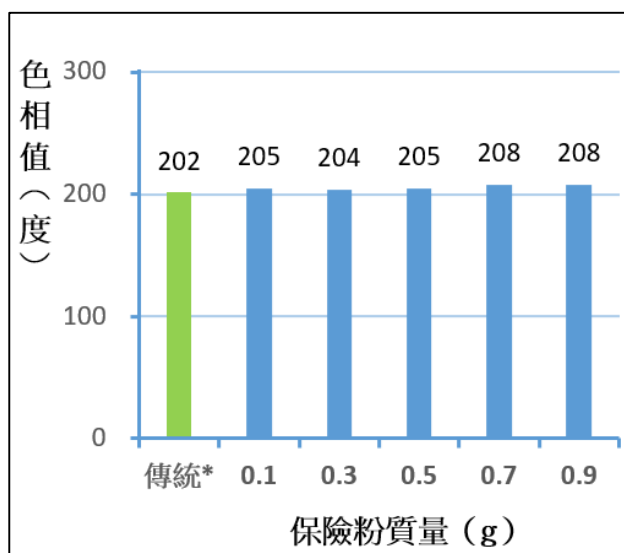
(一)實驗目的：探討以不同保險粉質量進行快速建藍時，其所得染液的染布效果。

(二)實驗步驟：以【表 5-2-1】調配快速建藍染液各 10 mL，但改變保險粉質量為 0.1 g、0.3 g、0.5 g、0.7 g、0.9 g 作為操作變因，並依【表 5-2-1】藍染流程，進行染布結果分析。

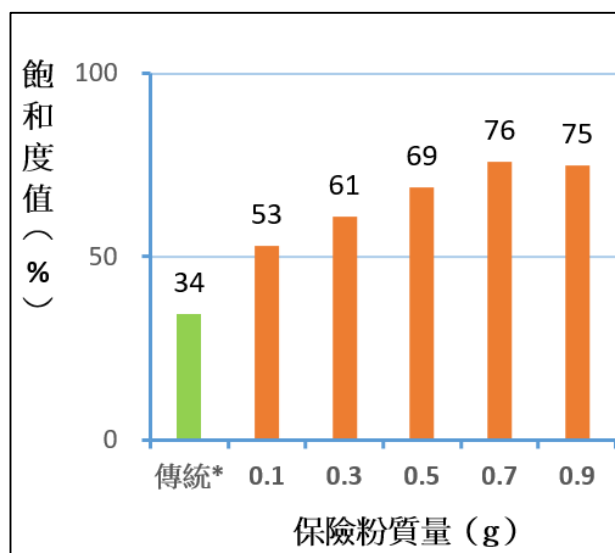
(三)結果：如【圖 5-4-5、5-4-6】、【表 5-4-3】，保險粉比例 0.1 g / 10 mL 以上染液，染布效果均比傳統染液好。而保險粉濃度較大，其染液的染布飽和度值也較高。但以 0.7 g 比例其 S 值較佳為 76%，而 0.7 g 及 0.9 g 比例其 S 值已相近。

【表 5-4-3】保險粉質量對快速建藍時染布效果分析表

保險粉質量	傳統平均	0.1g	0.3g	0.5g	0.7g	0.9g
染布成品						
HS 值	202°, 34%	205°, 53%	204°, 61%	205°, 69%	208°, 76%	208°, 75%



【圖 5-4-5】保險粉質量對快速建藍染布色相值 H 分析圖 (*傳統染液染布比較基準 H 值)



【圖 5-4-6】保險粉質量對快速建藍染布飽和度值 S 分析圖 (*傳統染液染布比較基準 S 值)







【實驗 4-4】：棉布質量對染布效果影響

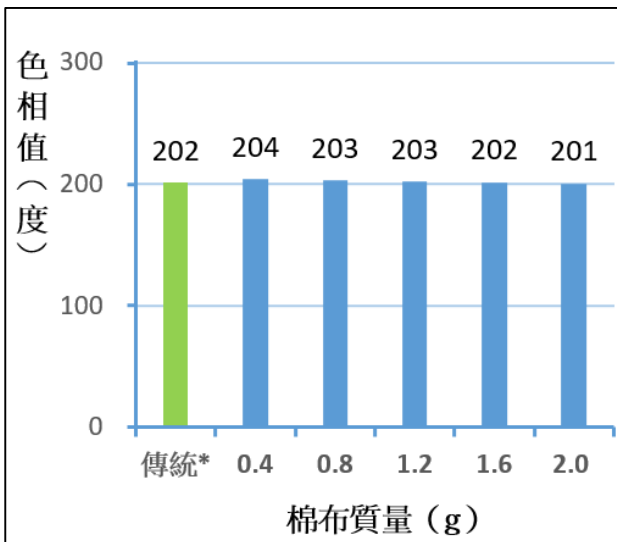
(一)實驗目的：探討以不同棉布質量進行藍染時，其所得染布效果。

(二)實驗步驟：以【表 5-2-1】調配快速建藍染液各 10 mL，但改變棉布質量為 1 塊、2 塊、3 塊、4 塊、5 塊棉布作為操作變因，並依【表 5-2-1】藍染流程，進行染布分析。而棉布 2~5 塊染布結果，以其平均的 HS 值作為分析數據。

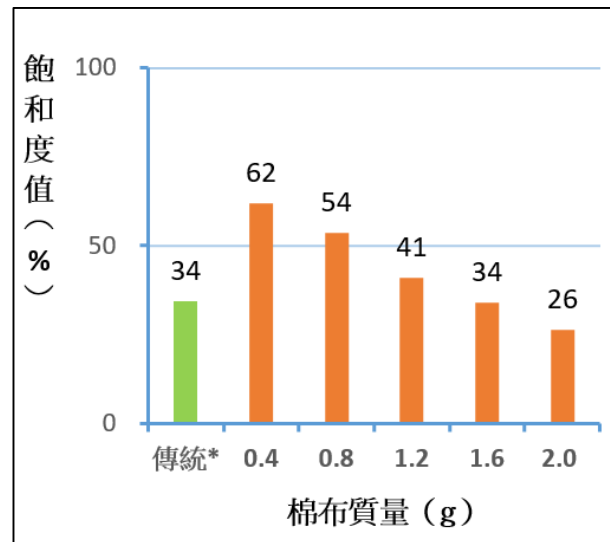
(三)結果：如【圖 5-4-7、5-4-8】、【表 5-4-4】，在 10 mL 染液中，以 1.6 g 內的棉布染色時，其效果均比傳統染液好。而棉布質量較少其飽和度值 S 也較高，以 0.4 g 最佳為 62%。

【表 5-4-4】不同棉布質量對染布效果分析表

棉布質量	傳統平均	1 塊布 0.4g	2 塊布 0.8g	3 塊布 1.2g	4 塊布 1.6g	5 塊布 2.0g
染布成品						
HS 值	202°, 34%	204°, 62%	203°, 54%	203°, 41%	202°, 34%	201°, 26%








【圖 5-4-7】棉布質量對染布色相值 H 分析圖 (*傳統染液染布比較基準 H 值)



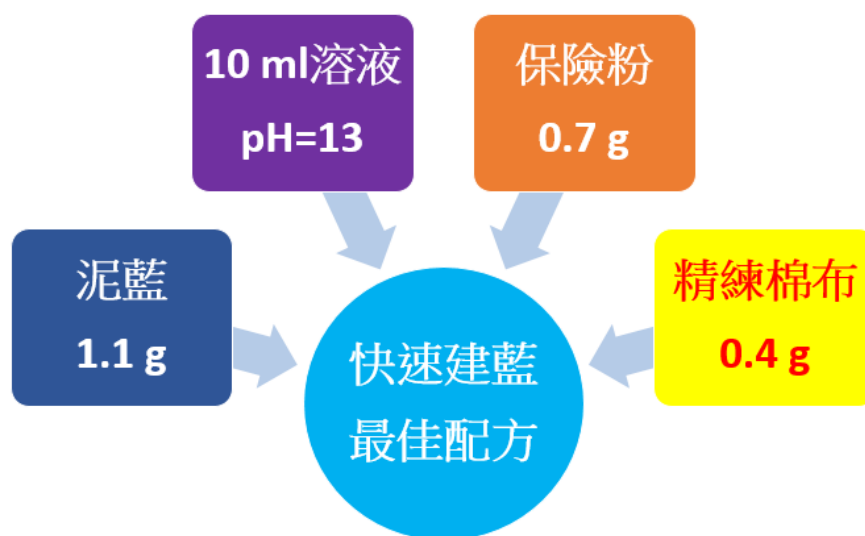
【圖 5-4-8】棉布質量對染布飽和度值 S 分析圖 (*傳統染液染布比較基準 S 值)

◎綜合上述【實驗 4-1】~【實驗 4-4】結果，將快速建藍各材料最佳比例，以 0.1 g~0.4 g 棉布進行藍染驗證，並用夾鏈袋法來進行藍染做比較。如【表 5-4-5】發現本研究快速建藍最佳比例配方為：1.1 g 泥藍溶解在 pH=13 的 10 mL 氫氧化鈉水溶液中，以 0.7 g 保險粉在室溫下建藍後染液，用 0.4 g 精練棉布進行藍染，可得飽和度 S 值為 75 %。而由【實驗 3-3】得知，傳統染液的染布 S 值要達到 74 %需重複浸染 3 次！本實驗最佳染液染後顏色，與傳統染液相比，飽和度提升 120 % (34 %→75 %)，且時間效率增為 3 倍(30 分鐘→10 分鐘)，效果顯著良好。而以夾鏈袋藍染時其 S 值也高達 72%，雖略低於在燒杯內藍染，但確實染色效果良好，且操作便利不髒汙。本實驗快速建藍最佳比例配方示意圖，如【圖 5-4-9】所示。

【表 5-4-5】以 0.1 g~0.4 g 棉布在最佳建藍比例染液對染布效果分析表

快速建藍最佳比例：1.1g 泥藍 / pH=13 的 10 ml 溶液 / 0.7g 保險粉					
棉布 質量	傳統 平均	1/4 塊布 0.1g	1/2 塊布 0.2g	1 塊布 0.4g	1 塊布 0.4g (夾鏈袋*)
染布 成品					
HS 值	202°, 34%	207°, 73%	204°, 73%	205°, 75%	206°, 72%

*夾鏈袋藍染法詳見【實驗 5-1】。



【圖 5-4-9】本實驗最佳建藍比例配方示意圖

五、節能便利的創意藍染法研究

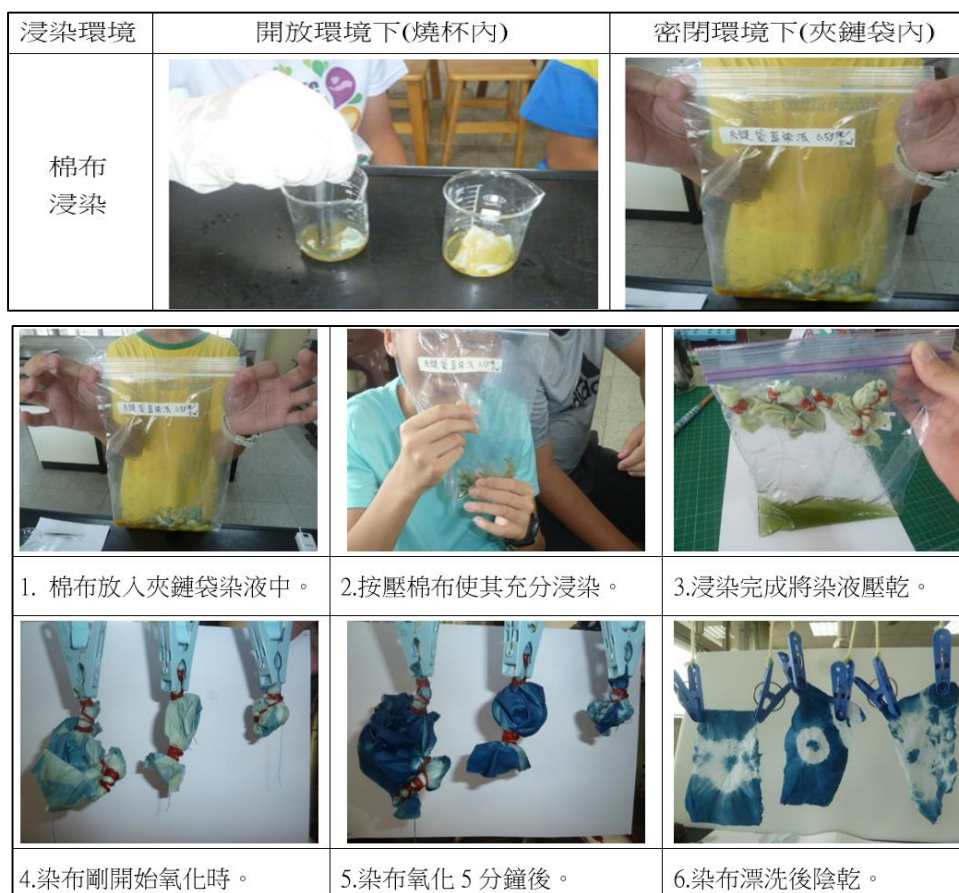
【實驗 5-1】：夾鏈袋藍染法的可行性探討

(一)實驗目的：

1. 探討開放與密閉環境(夾鏈袋)下浸染的染布效果差異。
2. 探討同一染液可以使用的次數與其染布效果關係。

(二)實驗步驟：

1. 以【表 5-2-1】調配快速建藍染液各 10 mL，但棉布浸染時以「夾鏈袋」取代盛裝染液的燒杯，作為密閉與開放的浸染環境比較，以此作為操作變因。並依【表 5-2-1】藍染流程，唯使用夾鏈袋時以「按壓」染布方式取代攪拌，進行染布分析。而按壓染布取代攪拌方式時，每一秒按壓一次為原則。夾鏈袋藍染法流程如【圖 5-5-1】。
2. 再以同一 10 mL 染液，每次使用一塊布浸染，進行連續染布，觀察每次染布效果，直到染布沒有明顯上色為止，進行染布結果分析。



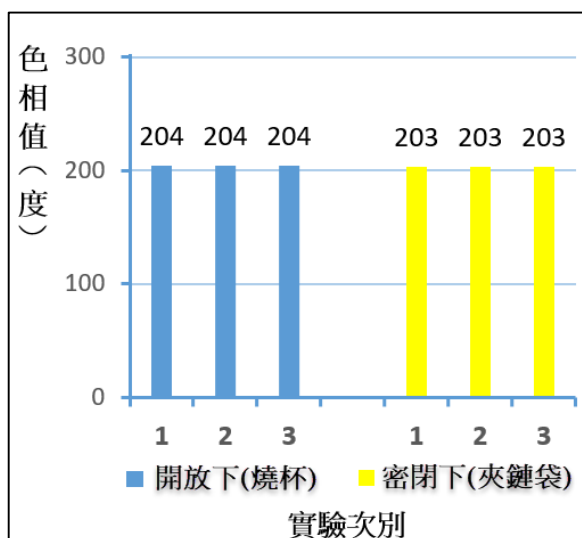
【圖 5-5-1】浸染環境比較及「夾鏈袋藍染法」實驗流程說明圖

(三)結果：

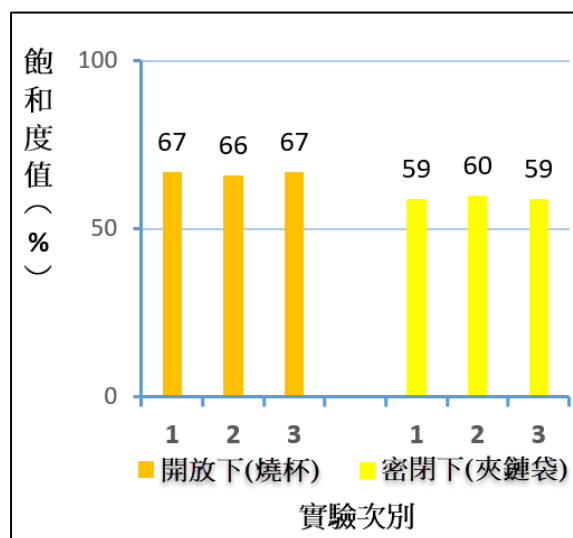
1. 如【圖 5-5-2、5-5-3】、【表 5-5-1】，在開放及密閉下環境藍染時，重複實驗的精確度都很高，其 S 值標準差僅為 0.58%。而夾鏈袋藍染時，其 S 值略低於在燒杯內藍染。
2. 如【表 5-5-2】在開放環境燒杯內藍染，發現同一染液，可連續使用 3 次，且所得染布 S 值，都比傳統染液好。「夾鏈袋藍染法」，在密閉環境下藍染，同一染液，竟然可連續使用 7 次，所得染布 S 值，都比傳統染液好。不僅染色效果良好，更能有效充分使用染液。使用夾鏈袋藍染，不僅便利且節能效果好，具實用推廣性可行性。

【表 5-5-1】開放及密閉環境藍染時重複性實驗對其染布效果分析表

實驗次別	第一次	第二次	第三次	平均	標準差
開放下 (燒杯內)	204°, 67%	204°, 66%	204°, 67%	204°, 67%	0°, 0.58%
密閉下 (夾鏈袋)	203°, 59%	203°, 60%	203°, 59%	203°, 59%	0°, 0.58%



【圖 5-5-2】開放及密閉環境藍染時重複性實驗其染布色相值 H 分析圖



【圖 5-5-3】開放及密閉環境藍染時重複性實驗其染布飽和度值 S 分析圖

【表 5-5-2】同一染液在開放及密閉環境藍染時，染液可使用次數其染布效果分析表





使用次數	使用 1 次	使用 2 次	使用 3 次	使用 4 次	使用 5 次	使用 6 次	使用 7 次
開放下 (燒杯)	204°, 67%	202°, 56%	200°, 33%	飽和度值已低於傳統比較基準值			
密閉下 (夾鏈袋)	203°, 59%	203°, 55%	203°, 51%	204°, 53%	203°, 43%	202°, 43%	200°, 37%

【實驗 5-2】：藍染筆的可行性探討

(一)實驗目的：探討以染液填裝在毛筆類文具中，進行書畫在紙上的效果。

(二)實驗步驟：

1. 以【表 5-2-1】調配快速建藍染液，再將染液填裝在可吸墨式毛筆，並進行書畫在普通影印紙、圖畫紙及宣紙上，觀察其染液顏色變化。藍染筆操作流程如【圖 5-5-4】。
2. 將利用「創新藍染筆」畫好的紙張，浸入水中後再拿出晾乾，分析紙上藍染圖案顏色變化情形。分析時以木藍(小菁)圖 3 片葉上相同區塊面積顏色 **HS 平均值**做比對。

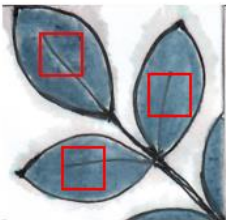





藍染流程	一、製備染液	二、裝填染液	三、直接繪畫	四、氧化成品
藍染筆				

【圖 5-5-4】藍染筆製作及操作流程說明圖

(三)結果：

1. 如【表 5-5-3】藍染筆在普通影印紙、圖畫紙及宣紙上繪畫使用時，都可染色在紙上，以**圖畫紙效果最佳**。而浸入水中後再晾乾，其 HS 值差異不大都**沒有褪色**情形。

【表 5-5-3】藍染筆繪製在不同紙上浸水前後 HS 值變化表(***紅框**表示顏色取樣處)

材質	普通影印紙(0.20g)	圖畫紙(0.27g)	宣紙(0.12g)
成品 5cm* 5cm			
HS 值	202°,34%	204°,39%	199°,27%
浸水 晾乾			
HS 值	203°,36%	204°,38%	202°,27%

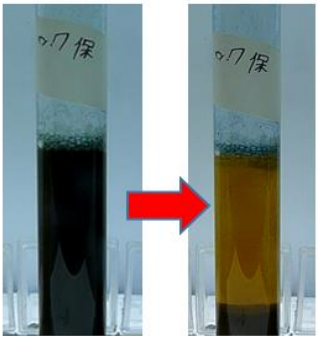
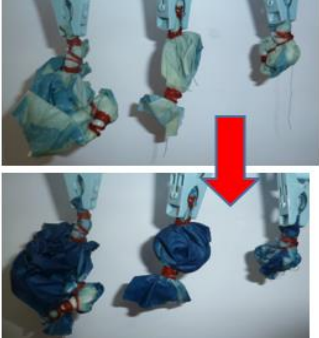





【實驗 5-3】：趣味藍染科學創意課程

(一)實驗目的：利用快速建藍進行藍染結合科學創意課程。

(二)實驗步驟：

1. 以【表 5-2-1】調配快速建藍染液，觀察泥藍還原成具染色力靛白的顏色變化過程。
2. 再以【表 5-2-1】藍染流程配合「夾鏈袋藍染法」，進行個人棉布綁染創意藍染。並觀察棉布上靛白氧化成靛藍的顏色變化過程。
3. 再將染液填裝在可吸墨式毛筆，書畫在圖畫紙上，觀察染液氧化時顏色變化情形。
4. 將成品製作成生活用品，如書籤、書畫卡、杯墊、方巾、文創筆，活化藍染課程。

(三)結果：如【圖 5-5-5】，我們以夾鏈袋藍染法，**實際應用在藍染的氧化還原課程**活動中，讓同學及老師在**一節課程中**，就能體驗有趣的藍染科學，且能染出具**獨特性的**漂亮藍染布巾，並後續製作實用的**藍染文創品**。

靛藍有趣氧化還原			
說明	靛藍還原成黃綠色靛白	染布氧化成靛藍色	藍染筆畫立即氧化藍色
趣味科學活動			
說明	夾鏈袋藍染法方便操作快速有效率		夾鏈袋藍染法場地不受限參與性高
創意藍染活化運用			
說明	藍染筆創意書畫卡		藍染布巾、特色書籤、文創筆

【圖 5-5-5】趣味藍染創意課程說明圖

陸、 討論

一、 利用 HS 值找出染布顏色的有效分析法：

- (一)藍染顏色不容易用肉眼或 RGB 值分辨深淺。而本實驗以色相值 H 及飽和度值 S，分析傳統和快速建藍染液的染布顏色。發現藍染的 H 值在 $195^{\circ} \sim 217^{\circ}$ ，可藉此判別是否有染色。而傳統染液的染布 S 平均值為 34%，可作染布效果比較基準值，判別出快速建藍染液的染布深淺好壞。
- (二)以塑膠材質透明資料袋能有效保存染布不褪色，且後續檢驗半年前染布成品，發現 HS 值仍差異不大($\Delta H \leq 1^{\circ}$ 、 $\Delta S \leq 1\%$)，顯見長時間保存效果良好。
- (三)另以掃描器設定的 200 dpi、300 dpi 及 600 dpi 三種方式進行解析度檢驗，發現其 H 值差異不大($\Delta H \leq 2^{\circ}$)，而 S 值則因解析度增加而微幅略減($\Delta S \leq 10\%$)，所以採用中位數為 300 dpi 來進行掃描較客觀且一致性。

二、 找出有效率的實驗室藍染流程：

- (一)藍染四大步驟為浸染→氧化→漂洗→陰乾。傳統藍染為求作品飽和高顏色深，利用重複浸染方式達到此目標。使得浸染染缸時間及氧化時間多次且耗時。
- (二)考量時間效率及環保，在染布效果 S 值差異不大下($\Delta S \leq 5\%$)，採攪拌浸染 3 分鐘→氧化 5 分鐘→室溫清水漂洗 1 分鐘→陰乾成品。一次藍染可在 10 分鐘內完成。

三、 了解傳統染液的染布效果：

- (一)傳統染缸以裡層染液效果最佳，表面及泡沫較差，但仍都具有染色力。主要仍在於表面染液易受氧化為靛藍，不易染色在棉布上。
- (二)傳統染缸因醱酵、使用、維護、管理變因較多，所以傳統染布效果不穩定。以裡層染液分析時，其染布 H 值在 $200^{\circ} \sim 205^{\circ}$ ，而 S 值則在 26%~43% 差異較大。經實地訪查染坊老師得知，剛醱酵建藍染缸表面泡沫若成亮藍紫色，染布效果最佳。
- (三)傳統藍染透過同一染布的重複浸染步驟，達到藍染顏色更加飽和。從顯微鏡下可明顯觀察到纖維染色有漸次飽和的情形。由浸染 1 次到 5 次，色相值 H 可由 202° 提升到 217° ，飽和度值 S 的也由 45% 提升到 86%，但耗時效率不佳，也易耗染料。

四、找出快速建藍的最佳比例配方：

- (一)本實驗所用泥藍，都是在地探訪的藍染坊用於傳統建藍染缸相同的染料，而天然山藍製靛而成的泥藍水分含量不一，但為與傳統染液做比較，所以不討論泥藍材質差異。為求實驗嚴謹性，**同一實驗所用泥藍皆從同罐取出**，以減少誤差。再者希望建藍時以**室溫下**進行較為**節能**，所以建藍時溫度不做討論，但都在實驗室內進行，溫度較一致。另藍染使用的染布材質也會影響染色效果，因此都採**相同精練去漿化的同材質棉布**，而不探討染布材質對染色影響。而去漿化棉布較易吸附染液為藍染用布。
- (二)過去強調靛藍建藍時需在鹼性中進行，但本實驗卻發現**酸性及中性溶液**也可還原出靛白，甚至染色效果與傳統染液相近。而以 **pH=13** 溶液建藍時，染布效果**最好**。
- (三)以實驗 4-1、4-3、4-4 的 0.7g 泥藍在 pH=13 溶液以 0.7g 保險粉建藍染液，其染布 H 平均值為 204°、標準差為 1°；S 平均值為 64%、標準差為 2.5%。可見同樣比例配方染液，不同時間進行的藍染，其染布**再現性高**。實驗 5-1 以相同比例配方染液在**燒杯中**，其染布 H 平均值為 204°、標準差為 0°；S 平均值為 67%、標準差為 0.58%。在**夾鏈袋**中其染布 H 平均值為 203°、標準差為 0°；S 平均值為 59%、標準差為 0.58%。顯見相同染液配方、藍染流程下，**夾鏈袋藍染法**重複性高，**操作精確度好**。

五、找出節能便利的創意藍染：

- (一)**以同一 10 mL 染液**，於開放下藍染可連續使用 3 次，而在**夾鏈袋**中卻可連續使用 7 次，其染布都達到傳統染布水準。證明夾鏈袋藍染法不僅在**操作上便利不髒汙**，又能充分使用染液達到**節能**效果，具有**實用推廣性**。
- (二)後續夾鏈袋法改以較**低保險粉量(0.3 g)**建藍，其染液竟可連續使用 5 次，且染布比傳統好。顯然夾鏈袋法可用較低量保險粉，達到良好染色效果**更為環保**。
- (三)以可吸墨式毛筆裝填已還原染液，可將**染液暫時隔絕空氣**，不會立刻氧化失效。而繪製在紙上，以圖畫紙染色效果好，且成品**遇水也不會褪色暈染**。
- (四)另外我們以**天然果皮乾燥粉**或**維他命 C 粉**取代保險粉建藍時，發現染液**不具**染色力。可能乾燥過程抗氧化成分損耗多造成濃度太低，而無法有效還原靛藍。

柒、 結論

- 一、 利用分析染布色相值 **H**，來判斷棉布是否染上色；而飽和度值 **S**，則可分析染布顏色飽和優劣。HS 顏色分析法能取代以肉眼比色或 RGB 值判斷，是有效的染布顏色科學分析法。
- 二、 泥藍無法直接染色在棉布上，需先透過建藍。而本實驗快速建藍可發現靛藍還原成黃綠色靛白，且藍染時可觀察染布氧化成藍色現象。體驗藍染文化與科學課程結合。
- 三、 泥藍在不同 pH 值水溶液中，以保險粉快速建藍，其染液都具染色力，結果顛覆過去建藍過程須在鹼性溶液中進行，但仍以 pH = 13 效果最佳。
- 四、 本實驗找出快速建藍最佳比例配方：以 0.4 g 精練染布為例，將 1.1 g 泥藍溶解在 10 mL pH=13 的鹼性溶液中，加入 0.7 g 保險粉建藍所得染液，進行藍染流程為：攪拌浸染 3 分鐘→氧化 5 分鐘→室溫清水漂洗 1 分鐘→即可自然陰乾成品。其染後顏色與傳統染液相比，飽和度提升 120% (34%→75%)，且時間效率增為 3 倍(30 分鐘→10 分鐘)。
- 五、 本實驗創新「夾鏈袋藍染法」，操作過程有別於傳統須大量染液，或怕操作髒汙等情形，不但便利快速，又能減少廢液，增加可使用次數，符合節能減廢的環保趨勢。
- 六、 以可吸墨式毛筆裝填已還原染液成「藍染筆」，具有攜帶方便容易操作，且可立即觀察到藍染氧化現象。而氧化成靛藍的畫紙，遇水具有不會褪色或暈染的特性。
- 七、 以 30 人活動為例，將傳統藍染與實際應用夾鏈袋藍染法的課程做比較，如下表所示：

以 30 人活動，染布 A4 大小達到相同飽和度為例		
比較項目	傳統藍染	夾鏈袋藍染 
所需染液	每缸 100 L × 2 缸	每袋 0.15 L × 30 袋
建藍材料	泥藍 20 kg、木灰水 200 L、麥芽糖 2 斤、葡萄糖 2 斤、米酒 1L	泥藍 0.5 kg、清水 4.5 L、氫氧化鈉 18 g、保險粉 300 g 
建藍成本	每缸 10000 元 × 2 缸	每袋 20 元 × 30 袋 
建藍時間	5~7 天	1 小時 
環境影響	天然發酵易有臭味滋生微生物	少量化學藥品汙染性低 
場地限制	場地受限，每缸每次限 5 人	不受限場地、時間及人數 
染布限制	不受限大小及染技法 	適用小物綁染
染色效果	單次飽和度 34 %	單次飽和度 72 % 
染布效率	3 次重複浸染，每人需 30 分鐘	每人只需 10 分鐘 
氧化變色	氧化顏色變化不易觀察	氧化顏色變化明顯 

捌、參考資料及其他

一、參考資料：

- (一) 王琪羿、高貫洲(2017年11月)。當藝術遇見化學：藍染魔法與化學神功的融合交會。台灣化學教育，第22期。
- (二) 馬芬妹(民96)。台灣藍 草木情：植物藍染色技藝手冊。南投縣：國立台灣工藝研究所。
- (三) 鄧允中、周鈺翔(2006)。奈米分子篩與本土植物染，讓藍染復活。中華民國第46屆中小學科學展覽會高中組化學科。
- (四) 陳熾貞、張瑞祥、吳佳憲、鄭雅文(2007)。偷窺阿嬤的染缸。中華民國第47屆中小學科學展覽會高職組農業及生物科技科。
- (五) 蔡詠潔、陳祐嘉、梁安柔、黃昱瑄(2009)。藍染的化學世界。中華民國第49屆中小學科學展覽會高中組化學科。
- (六) 郭重吉等人(民108)。國中自然與生活科技課本第三冊。第4章，光與色的世界。南一書局。
- (七) 郭重吉等人(民109)。國中自然與生活科技課本第四冊。第2章，氧化還原。南一書局。
- (八) 國立臺灣工藝研究發展中心(2020)。工藝基因庫，藍染。取自
https://www.ntcri.gov.tw/dnatypelist_196_12.html
- (九) 宜蘭縣立蘭陽博物館(2015)。宜蘭藍染特展。取自
<https://www.lym.gov.tw/ch/index.html>
- (十) 李惠丸(2018)。HSB 色彩模型在設計上的運用【酷播亮新聞】。取自
<https://www.kubonews.com/201803077831.html>

二、附錄：「藍染的氧化還原體驗課程」活動學習單及剪影。

青出於藍 藍染體驗學習單 年級：1，組別：3，姓名： 編號：丙5
丙4
丙6

藍染三步驟
1. 製液
2. 建藍
3. 藍染

洗滌流程
1. 棉布綁束
2. 棉布浸水
3. 放入染液夾
4. 取出染液夾
5. 漂洗3-4
6. 清水漂洗
7. 取出染液夾
8. 成品加工美化
9. 個人化藍染
文創品。

二、藍染體驗心得觀察：
1. 泥狀(藍液)的顏色是藍色；而建藍後可染色液(靑白)的顏色是綠色。此過程就是氧化。
2. 剛浸染完成的染布顏色是藍色；而接觸空氣5分鐘後的染布顏色是藍色。此過程就是氧化。
3. 浸染體驗為3回，比較其他組別成果，發現你們的染布顏色是較淡的藍色。
4. 比較與同組或其他組別，染布上圖案差異為每個人皆不同，各有特色。
5. 你要將自己這個獨特藍染布再加工美化為什麼生活文創品：藍染布、手帕...

三、體驗課程心得感想：
1. 對於傳統藍染工藝文化了解是否有趣？有沒有想到文物館進一步體驗？
是 好愛
2. 關於傳統與科學的結合，有沒有其他創新的想法可實現？
可能可以用傳統藍染布，再以科學的技術加工成飾品
3. 學長介紹及引導的優質建議與鼓勵：
你們講得很好，很詳細，所以很好理解，謝謝你們！你們的報告十分精采，也很詳細，祝你們繼續進步!!

以上資料修改自：宜蘭縣立蘭陽博物館(<https://www.lym.gov.tw/ch/index.html>)

圖 1：同學書寫藍染氧化還原課程回饋單

青出於藍 藍染體驗學習單 年級：1，組別：Z，姓名： 編號：Z1
Z2
Z3

藍染三步驟
1. 製液
2. 建藍
3. 藍染

洗滌流程
1. 棉布綁束
2. 棉布浸水
3. 放入染液夾
4. 取出染液夾
5. 漂洗3-4
6. 清水漂洗
7. 取出染液夾
8. 成品加工美化
9. 個人化藍染
文創品。

二、藍染體驗心得觀察：
1. 泥狀(藍液)的顏色是藍色；而建藍後可染色液(靑白)的顏色是綠色。此過程就是還原。
2. 剛浸染完成的染布顏色是藍色；而接觸空氣5分鐘後的染布顏色是藍色。此過程就是氧化。
3. 浸染體驗為2回，比較其他組別成果，發現你們的染布顏色較深一些。
4. 比較與同組或其他組別，染布上圖案差異為較深一些。
5. 你要將自己這個獨特藍染布再加工美化為什麼生活文創品：加工成飾品

三、體驗課程心得感想：
1. 對於傳統藍染工藝文化了解是否有趣？有沒有想到文物館進一步體驗？
非很有趣 一定要去
2. 關於傳統與科學的結合，有沒有其他創新的想法可實現？
有
3. 學長介紹及引導的優質建議與鼓勵：
白風很穩, 講話分明. 加油!!

以上資料修改自：宜蘭縣立蘭陽博物館(<https://www.lym.gov.tw/ch/index.html>)

圖 2：同學書寫藍染氧化還原課程回饋單



圖 3：利用簡報及相關成品介紹藍染課程*



圖 4：活動後同學自製藍染方巾成果展示*

*以上影像皆經變色模糊處理，以維個資及相關規範。

【評語】 032923

1. 主題為靛藍的快速建藍與創意藍染，設備簡易，結合文化和科學，主題有趣適切。
2. 以簡易軟體 ImageJ 測量藍染之色相與飽和度，實驗設計優良，找出快速建藍之配方。
3. 能與過去科展與競賽作品有清楚的比較分析，設計的「夾鏈袋藍染法」與「藍染筆」有創意。
4. 若能加強實驗次數，減少實驗偏差，會更好。

壹、研究動機

藍染活動令人驚奇，染布晾乾時顏色變化，是**藍染科學奧秘之處**，更是「青出於藍」典故由來。我們想研究如何「染得好」、「染得快」、「染得又環保」，並以藍染實作結合**氧化還原**課程，從中體驗藍染文化，並在傳統中注入一股科創新契機。

貳、研究目的

- 一、找出判別染布顏色的有效科學分析法
- 二、以快速建藍法找出靛藍合適建藍條件
- 三、找出有效率的實驗室藍染流程
- 四、設計創新藍染法及文創物品

參、研究設備及器材

實驗	建藍	藍染	晾乾	掃描	分析
器材藥品					
說明	主要材料為泥狀藍靛染料、氫氧化鈉、保險粉	利用快速建藍染液在燒杯內進行藍染	實驗室內自然陰乾	染布成品掃描成圖檔	利用ImageJ軟體分析染布顏色

圖3-1 研究器材及藥品說明圖

肆、研究過程與方法

一、研究流程圖

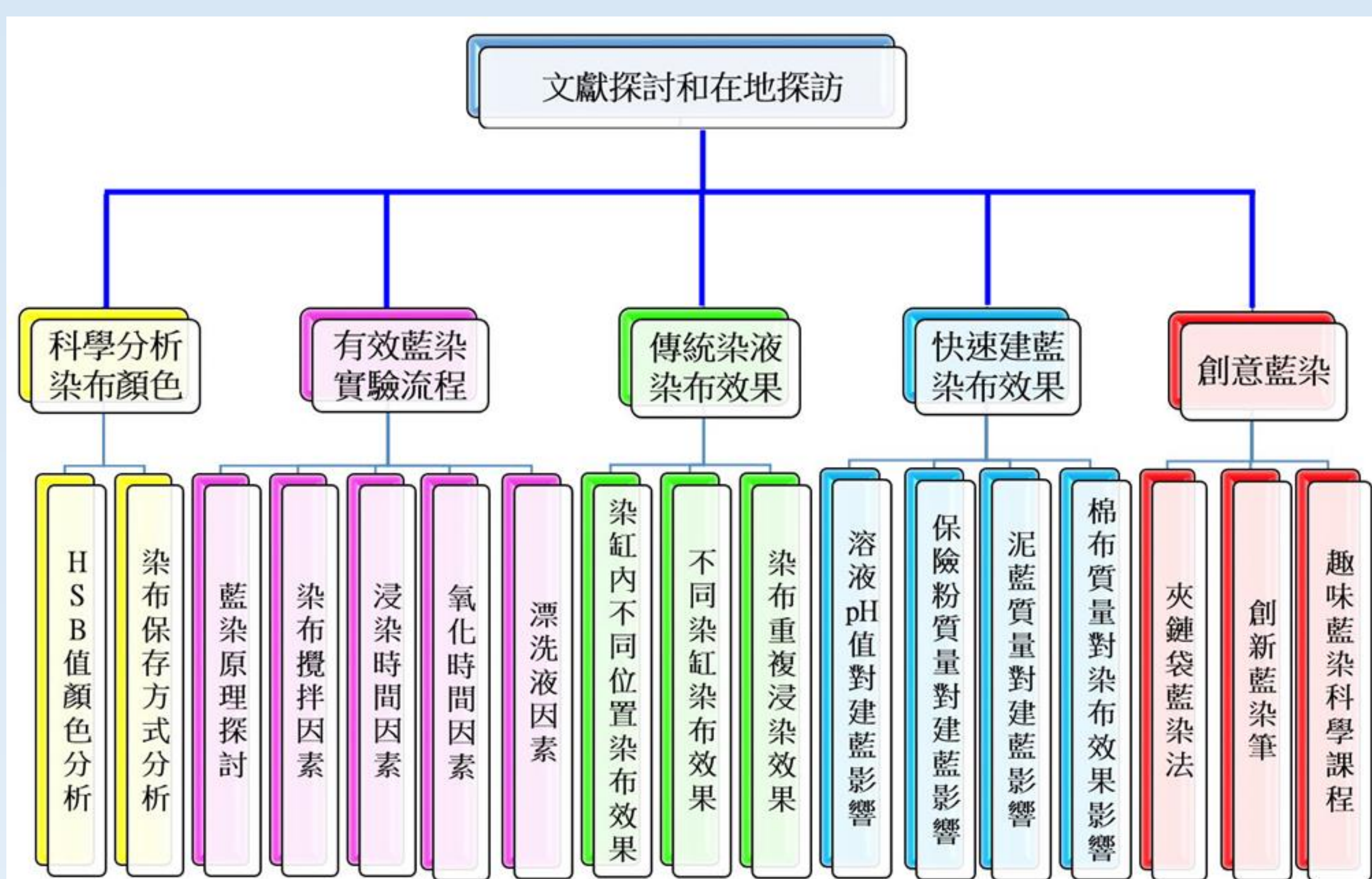


圖4-1 研究流程圖

二、HSB色彩模型

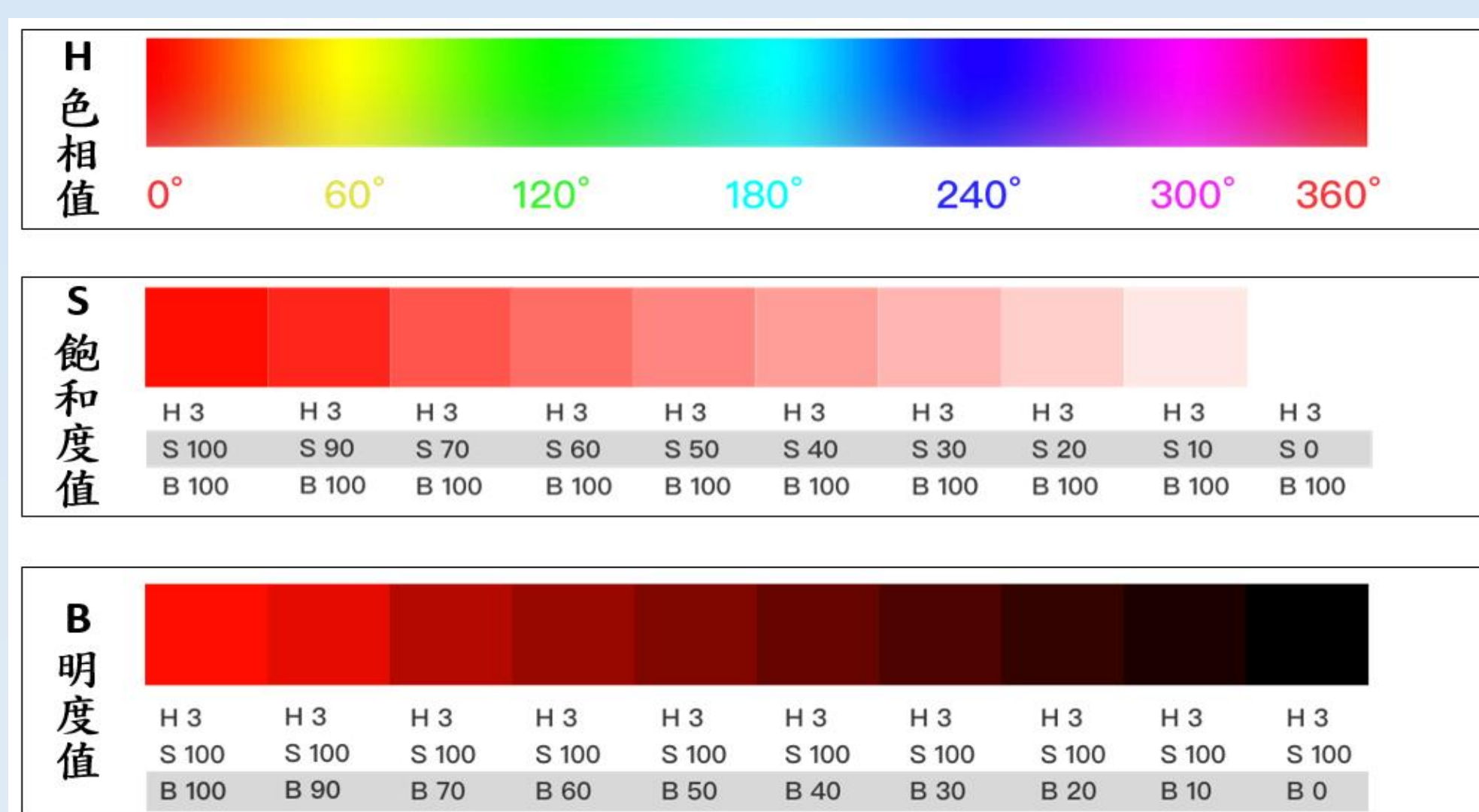
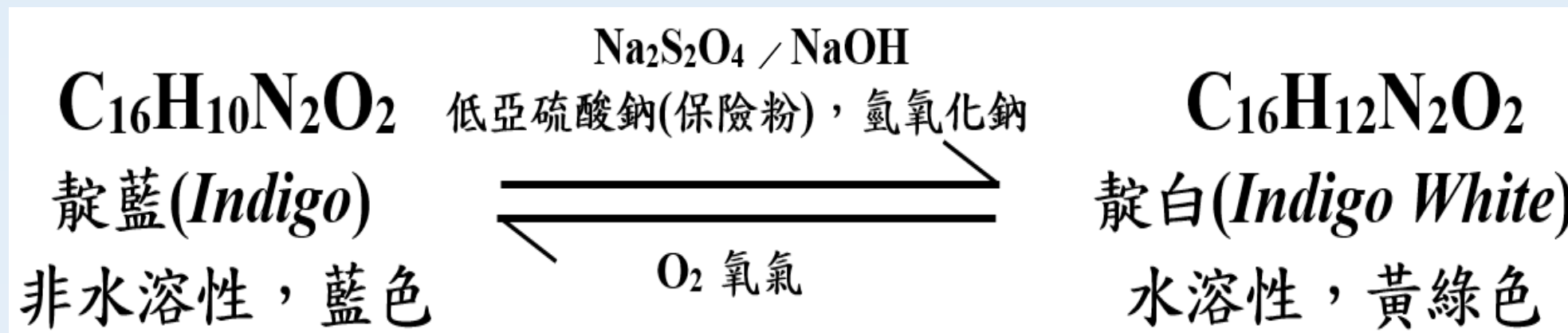


圖4-2 HSB色彩模型示意圖

三、靛藍的還原及氧化作用



說明	靛藍還原成靛白	染布氧化成藍色
靛藍氧化還原顏色變化		

圖4-3 靛藍還原及氧化作用說明圖

◎本實驗建藍比例及藍染流程皆採表4-1所示，再藉由控制變因法，探討各因素對染布效果影響。

表4-1 快速建藍染液實驗比例及藍染流程步驟表

材料	泥藍 (泥狀藍靛染料)	氫氧化鈉溶液 10 ml	保險粉 (低亞硫酸鈉)	精練棉布	
數值	0.7 g	pH=13	0.7 g	0.4 g (5 cm * 5 cm)	
藍染	步驟一	步驟二	步驟三	步驟四	步驟五
說明	棉布浸濕	浸染攪拌 3分鐘	染後氧化 5分鐘	室溫清水漂洗1分鐘	自然陰乾
流程	浸染	氧化	漂洗	晾乾	
傳統藍染					
實驗藍染					

伍、研究結果

一、找出染布顏色的有效科學分析法

【實驗1-1】HSB值分析對染布判別影響

表5-1 以不同分析法對藍染染布判別比

分析法	浸染1次	浸染2次	浸染3次	浸染4次	浸染5次
肉眼					
RGB	73, 110, 132	44, 85, 110	23, 60, 90	12, 39, 71	9, 29, 62
HSB	202°, 45%, 52%	203°, 60%, 43%	207°, 74%, 35%	213°, 83%, 28%	217°, 86%, 24%

表5-2 以HSB值分析法對不同色布判別比較表

素色布分析					
HSB	8°, 43%, 95%	47°, 58%, 98%	176°, 43%, 53%	202°, 45%, 52%	269°, 23%, 49%

【實驗1-2】適合保存染布的簡易方法

表5-3 透明資料袋長時間保存染布分析表




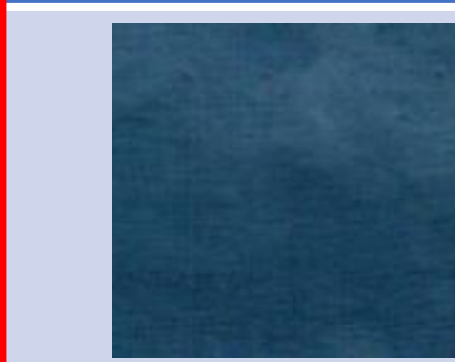
以傳統染液染布進行長期保存分析				
染布 HS 值	浸染 1 次 (較淺)	浸染 2 次	浸染 3 次 (較深)	
第 1 天	202°, 45%	203°, 60%	207°, 74%	
第 7 天	201°, 45%	202°, 58%	206°, 74%	
第 14 天	202°, 45%	203°, 60%	208°, 74%	
第 21 天	202°, 45%	203°, 60%	207°, 74%	
第 28 天	202°, 45%	203°, 60%	208°, 74%	

◎結果：HSB值可直觀判別藍染顏色，其H值在202°~217°，S值越高染色越飽和，而塑膠透明資料袋適合保存染布不褪色。

二、找出有效率的藍染流程

【實驗2-1】建藍前後對染布效果影響

表5-4 建藍前後的染液對染布效果分析表

染液	純棉布	泥藍水溶液	傳統染液	快速建藍染液
染布成品				
HS值	0°, 0%	37°, 7%	204°, 39%	204°, 65%

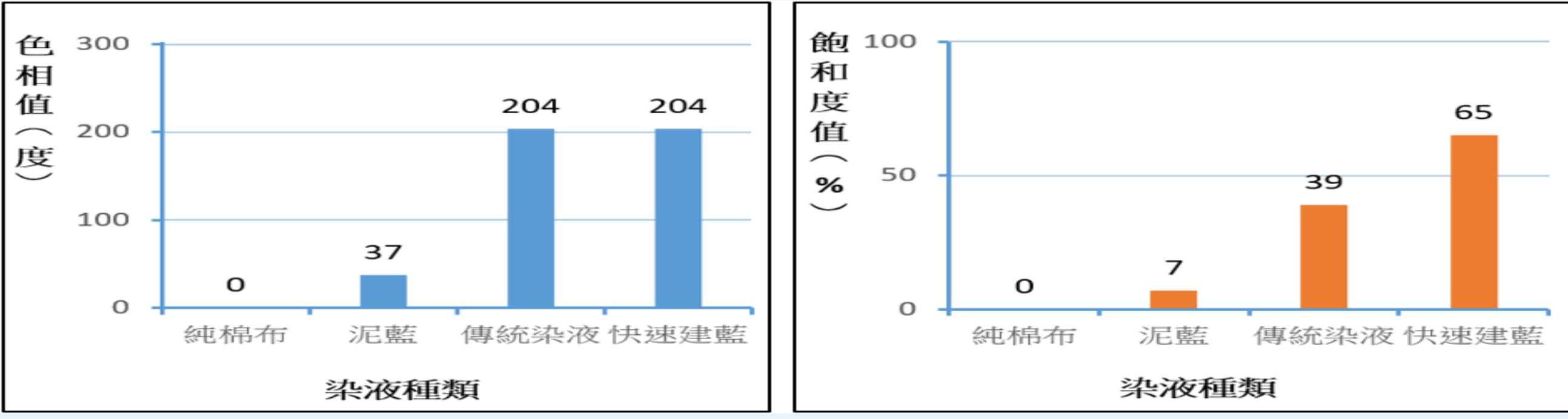


圖5-1 建藍前後的染液對染布效果分析圖

【實驗2-2】浸染攪拌對染布效果影響

表5-5 浸染攪拌對染布效果分析表

操作變因	浸染沒攪拌	浸染有攪拌
HS值	201°, 21%	202°, 35%

【實驗2-3】浸染時間對染布效果影響

表5-6 浸染時間對染布效果分析表

操作變因	浸染1分鐘	浸染3分鐘	浸染5分鐘
HS值	201°, 29%	202°, 36%	201°, 37%

【實驗2-4】氧化時間對染布效果影響

表5-7 氧化時間對染布效果分析表

操作變因	氧化5分鐘	氧化10分鐘	氧化15分鐘
HS值	204°, 40%	204°, 45%	203°, 39%

【實驗2-5】漂洗液成分及溫度對染布效果影響

表5-8 漂洗液成分及溫度對染布效果分析表

溫度	25°C	50°C	70°C
清水漂洗	205°, 42%	205°, 48%	205°, 46%
醋酸漂洗	204°, 42%	206°, 45%	205°, 40%

◎結果：HS值有效分析藍染顏色及飽和度差異，而藍染以有攪拌浸染5分鐘、氧化10分鐘、50°C清水漂洗1分鐘，所得染布飽和度較佳，但較費時也耗能。

三、傳統染液對染布效果研究

【實驗3-1】染缸內不同位置染液對染布效果影響

表5-9 染缸內不同位置染液對染布效果分析表

染缸位置	表面泡沫	表面染液	裡層染液
HS值	201°, 21%	198°, 23%	201°, 33%


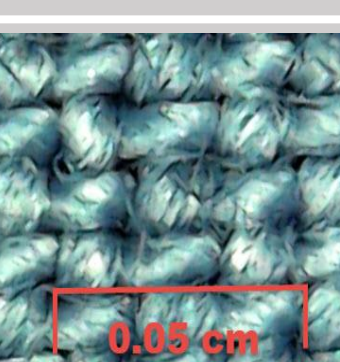
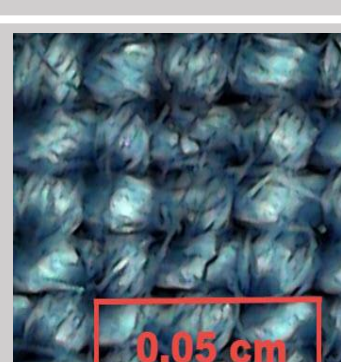
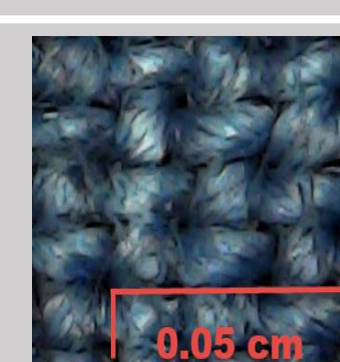
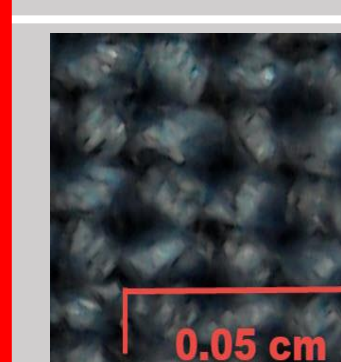
【實驗3-2】不同染缸對染布效果影響

表5-10 不同染缸對染布分析表

染缸	染缸A	染缸B	染缸C	染缸D	平均值
HS值	205°, 43%	201°, 35%	200°, 26%	201°, 33%	202°, 34%

【實驗3-3】同一染布重複浸染對染布效果影響

表5-11 同一染布重複浸染對染布效果分析表

染布	浸染1次	浸染2次	浸染3次	浸染4次	浸染5次
需時	10分鐘	20分鐘	30分鐘	40分鐘	50分鐘
HS值	202°, 45%	203°, 60%	207°, 74%	213°, 83%	217°, 86%
顯微鏡下觀察					

◎結果：傳統染布平均H值202°, S值34%可作為實驗染布比較基準值；重複浸染可提升S值但費時。再從顯微鏡下觀察也可發現纖維染色的效果。

四、找出快速建藍的最佳比例配方

【實驗4-1】泥藍質量對快速建藍的影響

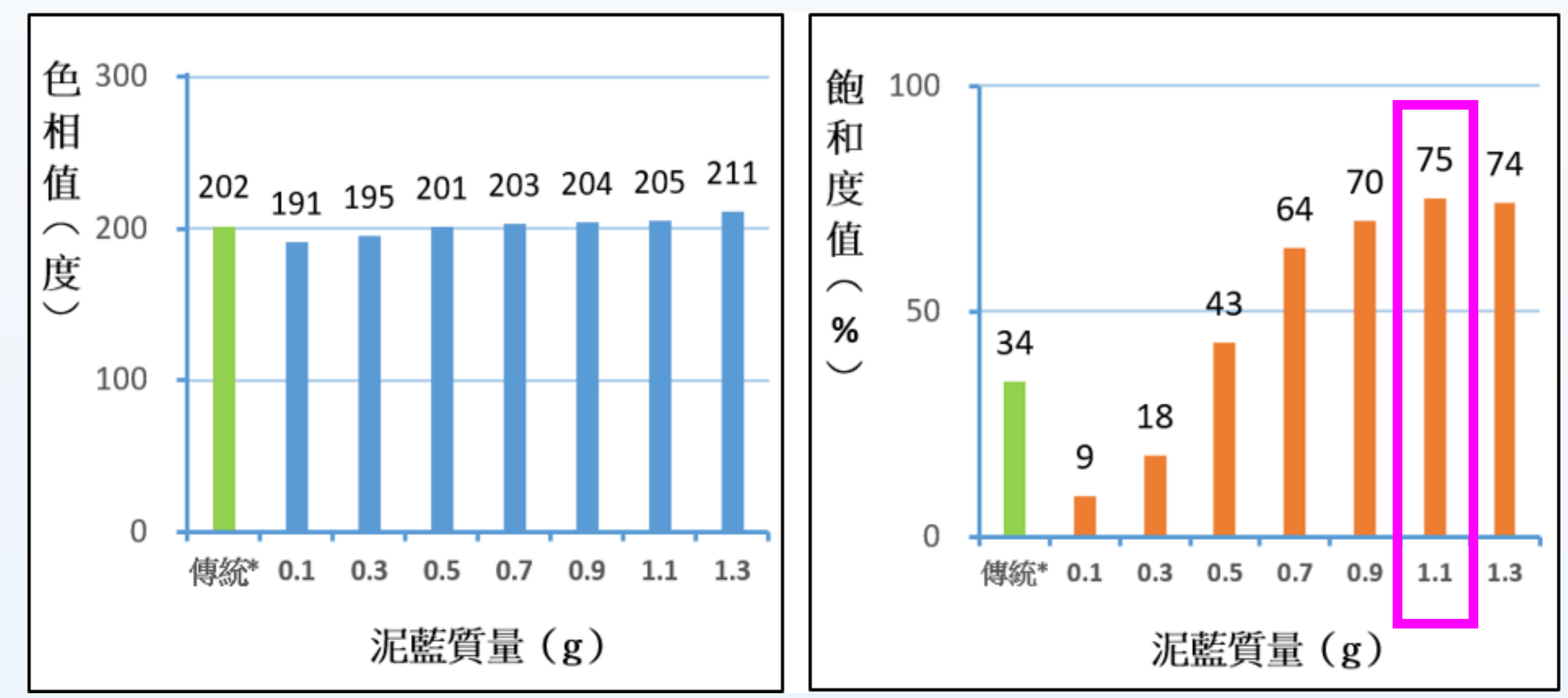


圖5-2 泥藍質量對快速建藍時染布效果分析圖 (*傳統染液染布比較基準H及S值)

【實驗4-2】溶液pH值對快速建藍的影響

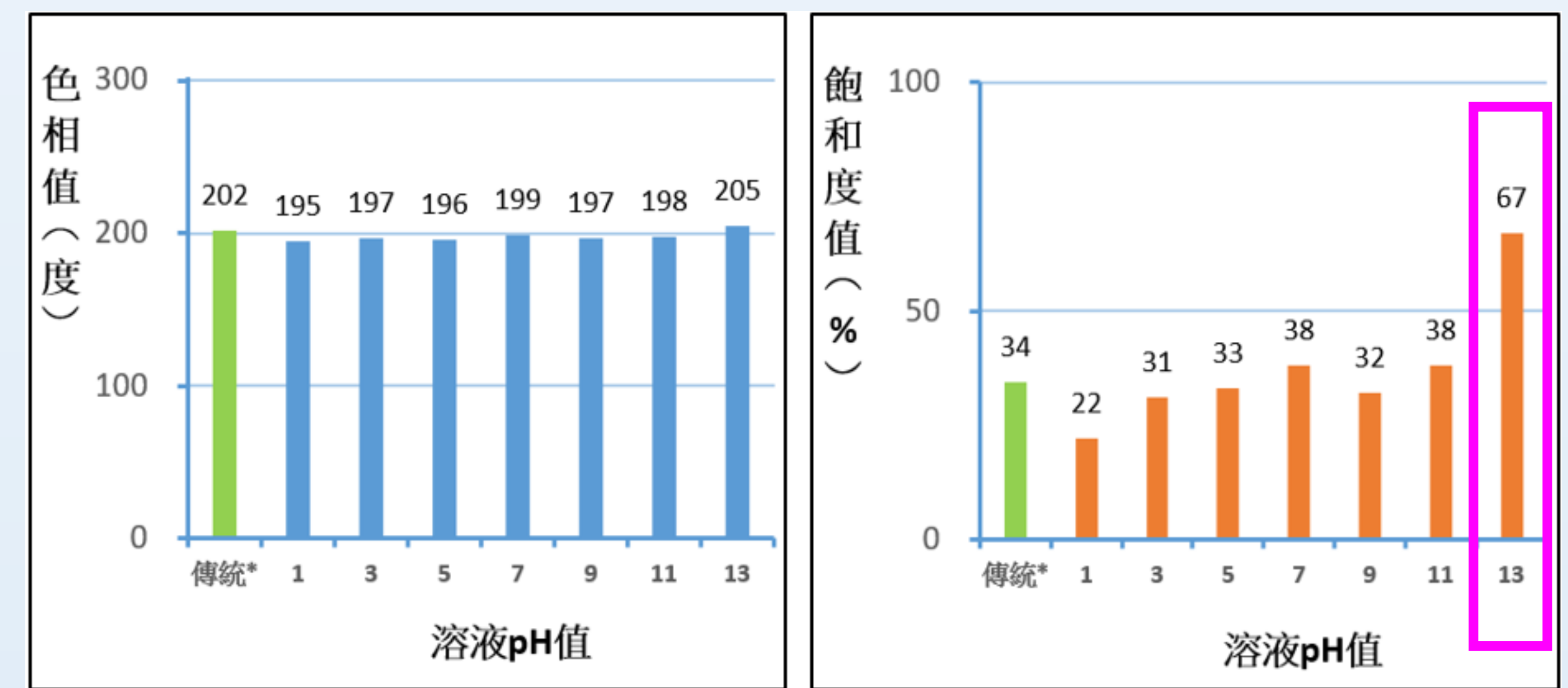


圖5-3 溶液pH值對快速建藍時染布效果分析圖

【實驗4-3】保險粉質量對快速建藍的影響

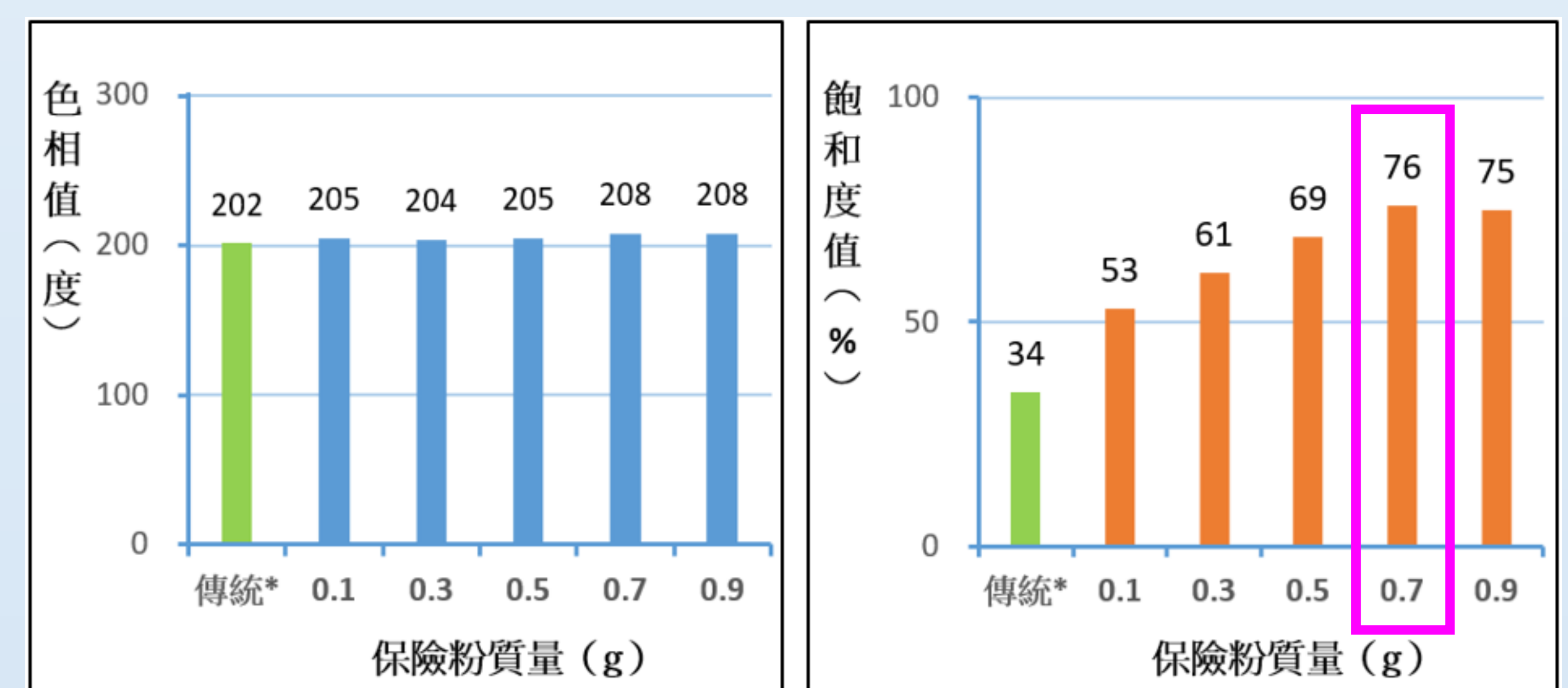


圖5-4 保險粉質量對快速建藍時染布效果分析圖

【實驗4-4】棉布質量對染布效果影響

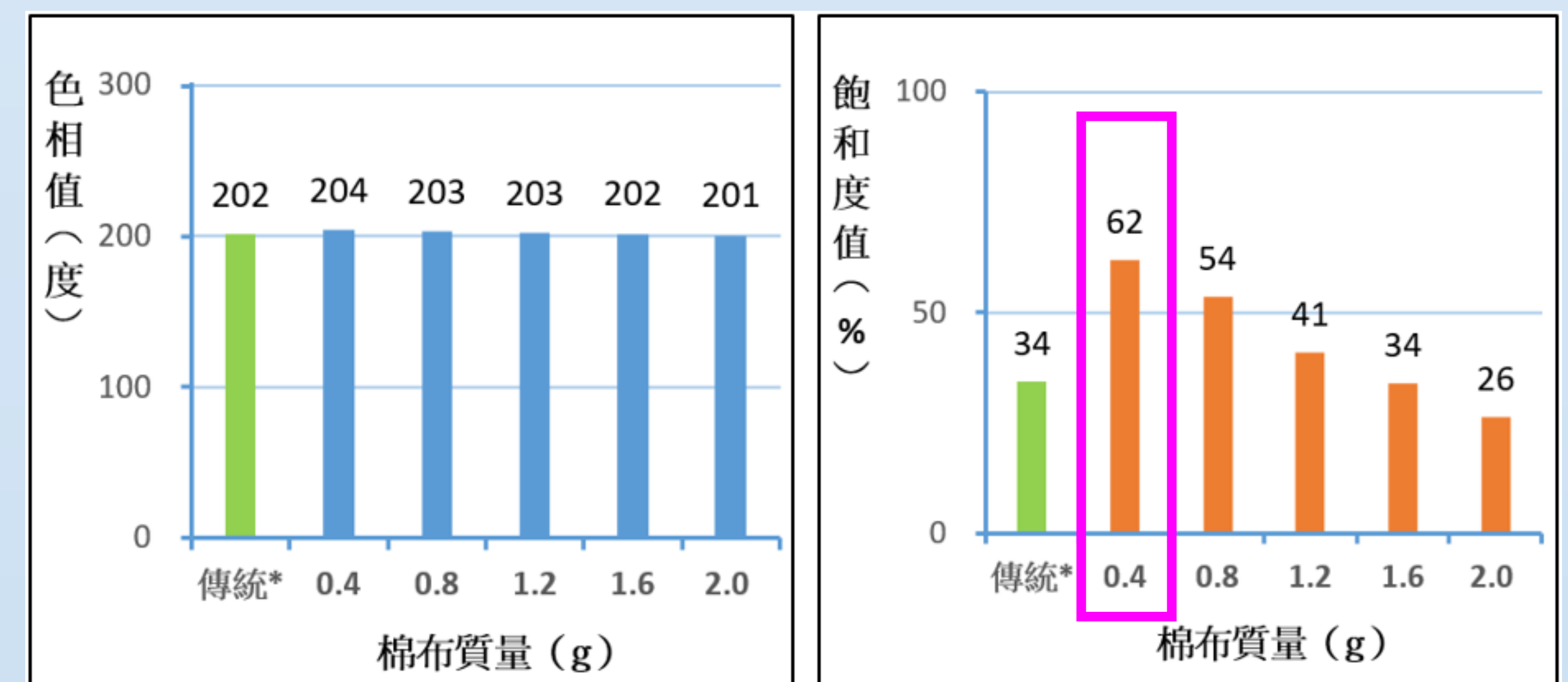


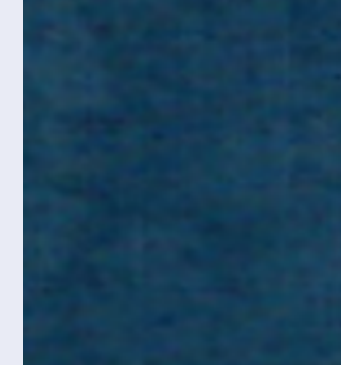
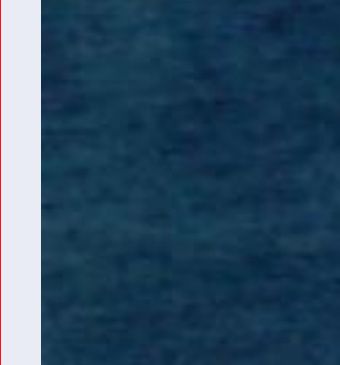



圖5-5 棉布質量對染布效果分析圖

◎結果：快速建藍最佳比例配方為 1.1 g 泥藍溶解在 pH=13 的 10 ml 溶液中，加入 0.7 g 保險粉建藍。

表5-12 不同質量棉布在最佳比例染液對染布效果分析表

快速建藍最佳比例：1.1 g 泥藍/pH=13 溶液 10 ml/0.7 g 保險粉					
棉布	傳統平均	1/4塊布 0.1 g	1/2塊布 0.2 g	1塊布 0.4 g	1塊布 0.4 g (夾鏈袋)
染布成品					
HS值	202°, 34%	207°, 73%	204°, 73%	205°, 75%	206°, 72%

◎結果：以 0.4g 棉布在最佳比例染液藍染，S 值高達 75% 與傳統染布平均 34% 相比，飽和度提升 120%；由實驗 3-3 得知傳統染布 S 值要達到 74% 需重複浸染 3 次費時 30 分鐘！而我們僅需 10 分鐘，時間效率增為 3 倍。而使用夾鏈袋法效果也良好。

五、節能便利的創意藍染研究

【實驗5-1】夾鏈袋藍染法對染布效果影響

說明	棉布放入裝染液的夾鏈袋	按壓棉布充分浸染	浸染完成取出氧化
夾鏈袋藍染			

圖5-6 夾鏈袋藍染法操作簡易說明圖

表5-13 在開放及密閉下藍染對染布效果分析表

實驗次別	第1次	第2次	第3次	平均值	標準差
開放下(燒杯內)	204°, 67%	204°, 66%	204°, 67%	204°, 67%	0°, 0.58%
密閉下(夾鏈袋)	203°, 59%	203°, 60%	203°, 59%	203°, 59%	0°, 0.58%

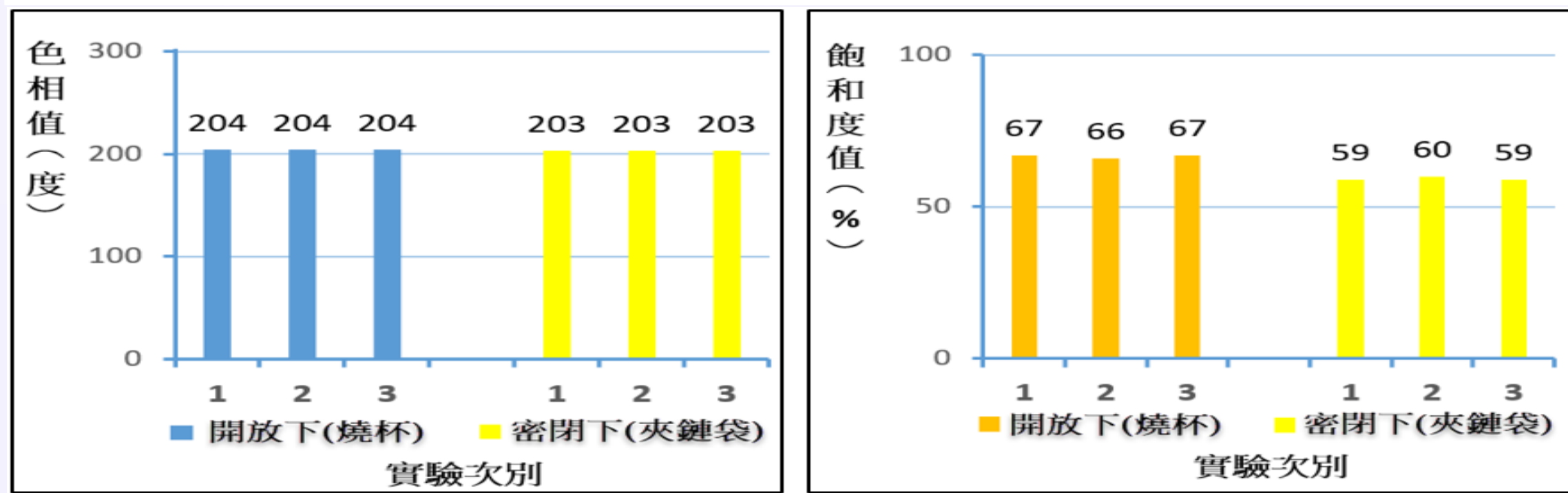


圖5-7 在開放及密閉下藍染對染布效果分析圖

表5-14 同一染液在開放及夾鏈袋使用次數染布分析表

使用次數	使用1次	使用2次	使用3次	使用4次	使用5次	使用6次	使用7次
開放下	204°, 67%	202°, 56%	200°, 33%	飽和度已低於傳統平均			
夾鏈袋	203°, 59%	203°, 55%	203°, 51%	204°, 53%	203°, 43%	202°, 43%	200°, 37%

【實驗5-2】藍染筆可行性探討

說明	製備染液	裝填染液	直接繪畫	氧化成品
藍染筆				

圖5-8 藍染筆操作簡易說明圖

表5-15 藍染畫在不同紙質上浸水前後分析表

材質	一般影印紙	圖畫紙	宣紙
浸水前	202°, 34%	204°, 39%	199°, 27%
浸水後	203°, 36%	204°, 38%	202°, 27%

【實驗5-3】趣味藍染課程

說明	創新夾鏈袋藍染	創意藍染畫卡書籤
節能便利		
創意藍染		

圖5-9 趣味藍染創意課程說明圖

◎結果：夾鏈袋藍染效果好可充分使用染液，藍染筆染色紙上氧化明顯，且不怕遇水褪色。可結合氧化還原課程活化傳統藍染文化。

陸、討論

- 藍染顏色不易用肉眼分辨深淺，而我們找到染布的HS顏色分析法，發現藍染色相值H在195°~217°，而傳統染液的飽和度值S為34%，但快速建藍S值可高達75%。
- 藍染流程分析可知，在染布飽和度差異不大($\Delta S \leq 5\%$)下，可考量時間效率及環保性，以攪拌浸染3分鐘、氧化5分鐘、室溫清水漂洗1分鐘，可控制在10分鐘內完成藍染。
- 過去文獻提到泥藍必須以強鹼性溶液才能建藍，但本研究發現在酸性及中性溶液中，都可以用保險粉快速建藍，而且染液效果都和傳統相近。為求環保節能，我們採相同條件進行實驗，而不討論天然泥藍與溫度對建藍影響，和棉布材質對藍染的影響。
- 夾鏈袋法改以較低保險粉量(0.3 g)建藍染液，在同一10 ml中竟可使用5次，染色效果都比傳統好，顯見更環保。而藍染筆裝填染液後可暫時隔絕空氣不會立刻氧化失效，以圖畫紙染色效果較好。另用天然果皮乾燥粉或維他命C錠粉取代保險粉建藍時，發現染液不具染色力。推測可能乾燥過程抗氧化成分耗損多，而無法有效還原靛藍。

柒、結論

- 本實驗利用分析染布色相H值，來判斷棉布是否染上色；而飽和度S值，則可分析染布顏色飽和優劣性。取代以肉眼比色或RGB值來判斷，是有效的染布顏色科學分析法。
- 本實驗獨創「夾鏈袋藍染法」，不但操作便利不髒污，又能減量減廢更環保。有別於傳統染缸群聚操作，夾鏈袋能獨自使用，更能維持良好社交距離進行藍染體驗。
- 「藍染筆」具有方便攜帶容易操作，更能觀察藍染時染布變色的有趣現象。而藍染畫更具有遇水不會褪色特性。可充分體驗藍染文化與科學課程結合。
- 泥藍在不同pH值水溶液中，以保險粉快速建藍，其染液都具染色力，結果顛覆過去建藍過程須在鹼性溶液中進行，但仍以pH=13的溶液建藍時染色效果最佳。
- 本實驗找出快速建藍最佳比例及10分鐘高效藍染流程，並與傳統藍染比較如下：

材料	泥藍	10 ml溶液	保險粉	精練棉布
數值	1.1 g	pH=13	0.7 g	0.4 g

藍染	步驟一	步驟二	步驟三
說明	棉布浸濕	浸染攪拌3分鐘	染後氧化5分鐘
藍染	步驟四	步驟五	
說明	室溫清水漂洗1分鐘	染布自然陰乾	

以30人活動，染布A4大小達到相同飽和度為例		
比較項目	傳統藍染	夾鏈袋藍染
所需染液	每缸100 L × 2缸	每袋0.15 L × 30袋
建藍材料	泥藍20 kg、木灰水200 L、麥芽糖2斤、葡萄糖2斤、米酒1L	泥藍0.5 kg、清水4.5 L、氫氧化鈉18 g、保險粉300 g
建藍成本	每缸10000元 × 2缸	每袋20元 × 30袋
建藍時間	5~7天	1小時
環境影響	天然醱酵易有臭味滋生微生物	少量化學藥品污染性低
場地限制	場地受限，每缸每次限5人	不受限場地、時間及人數
染布限制	不受限大小及染技法	適用小物綁染
染色效果	單次飽和度34%	單次飽和度72%
染布效率	3次重複浸染，每人需30分鐘	每人只需10分鐘
氧化變色	氧化顏色變化不易觀察	氧化顏色變化明顯

捌、參考資料

- 馬芬妹(民96)。台灣藍草木情：植物藍染色技藝手冊。南投縣：國立台灣工藝研究所。
- 陳熾貞等(2007)。偷窺阿嬤的染缸。第47屆中小學科展高職組農業及生物科技科。
- 蔡詠潔等(2009)。藍染的化學世界。第49屆中小學科展高中組化學科。