

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

高中組 化學科

探究精神獎

050208

燈下藍~自製燈箱的藍曬研究

學校名稱：高雄市立中正高級中學

作者：  高二 黃佩愉  高二 王楷翔  高二 張嘉詠	指導老師：  金葉葦  田亞玲
---	-----------------------------

關鍵詞：燈下藍、自製燈箱、色差儀

# 燈下藍~自製燈箱的藍曬研究

## 摘要

本研究在利用實驗法了解影響藍曬圖效果的因素。為使光源穩定且可操縱光源強度，故自製藍曬燈箱進行實驗；為客觀表述藍曬圖的品質，以色差儀測量，發現 $\Delta E$ 值與藍曬圖品質有很好的相關性。

我們用 6 瓶裝紅酒木箱、7 組 T5 UVA 黑燈管、壓克力板隔開燈管與曬布、黑色橡膠墊阻隔箱子內外光線進出。得到自製燈箱曝曬 15 分鐘效果良好，並以此進行實驗。發現布料質量密度大、經緯密度大、單股平紋織法、厚度小有利於藍曬圖品質，而與吸水性、彈性等較無關；感光液在第二天、燈管亮數多時，藍曬圖效果較佳；定色劑以食醋效果最好；並發現藍曬圖不適合印在要常清洗的衣物。研究過程中意外發現感光液在第 30 小時左右吸光度最大，表示溶液中檸檬酸根的濃度達到最高。

## 壹、前言

### 一、研究動機

高一時我們在多元選修課學了藍印術，覺得非常有趣，希望能了解藍曬的原理，因此我們首先決定參加 2022 年 10 月 15 日全國小論文競賽(獲得甲等)，做了有關藍曬的主題，讓自己能從研究中更了解藍曬的原理與意義；並且得到日曬在 6 分鐘以上已無太大差異、同種不同色布以粉色和白色效果最好、感光液塗刷次數不是越多次越好的結論。這些研究變因實在不足以解決我們心中有關藍曬的各種疑惑，便決定再利用科展的機會更深入了解藍曬的化學原理，且希望做出更好的藍曬圖。這次科展我們也應用了多元選修課程中學到的自製橘皮環保清潔劑和手工皂，來探討藍曬圖的耐洗度。

去年 12 月參加跨校小論文競賽口頭報告過程中，評審質疑我們的藍曬圖僅有質性探討沒有客觀的數據表達，因此我們閱讀了很多文獻，確實只有一篇嘗試將藍曬圖的效果以數據呈現，但該作者自述其「實驗最終無法達成起始期望」，因此我們下定決心要使用數據分析，期能客觀呈現藍曬結果。

一般的藍曬會於日光充足時進行顯影，效果很好，但陰天或光線昏暗時，藍曬時間須拉長且失敗機會大，夜晚則無法進行藍曬。可見以日照為光源，無法控制照射強度及光源的穩定性。於是我們採用紫外光燈管作為固定的光源，製作出紫外光燈箱，使藍曬可以在光源強度維持定值的狀況下操作。

利用肉眼觀察藍曬圖呈色的深淺是不可靠的，因為若碰到顏色相近時則很難準確比較呈色差異，於是我們這次使用色差儀來檢測藍曬圖，分析由 L 值(亮度)、a 值(正紅/負

綠)、b 值(正黃/負藍)所組合成的  $\Delta E$  值，客觀比較出藍曬的結果。

## 二、研究目的

- (一)找出自製燈箱曝曬的最佳時間。
- (二)比較不同布料的藍曬圖。
- (三)感光液存放時間的感光效果之比較。
- (四)比較曝曬光源強度不同的藍曬圖。
- (五)比較自製燈箱與日曬的藍曬圖。
- (六)不同定色劑及不同定色劑濃度的藍曬圖之差異。
- (七)藍曬圖的耐洗程度之探討。

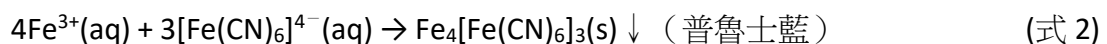
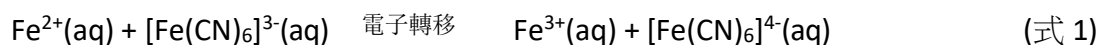
## 三、文獻回顧

### (一) 藍曬的歷史起源與發展：

藍曬是 1842 年英國的約翰赫歇爾爵士發明，當時鹽紙印相工藝才剛開始萌芽，赫歇爾爵士主要是用藍曬來做手稿的複印，其後植物學家在探索陸地發現新品種植物時，為複製記錄這些新物種的模樣開始應用此技術，在 1843 年十月由安娜·阿特金斯 (Anna Atkins) 出版的《英國海藻攝影：藍晒印象》被認為是第一本以攝影圖像當作整本書的主體來呈現的書籍(凡思若藝<sup>[1]</sup>，2019)。20 世紀藍曬扮演著不可或缺的角色，它變成了一項複製工程圖的技術，由於複製的成品是藍色的故又被稱作藍圖。但是隨著銀鹽印相技術的發展，氰版藍曬逐漸被冷落。直至 21 世紀，跟隨古典攝影運動再度興起，藍曬重新成為視覺藝術，回到眾人的眼中(藝享影像工作室<sup>[2]</sup>，2021 年)。近年因國內新課綱的推動，藍曬技術結合實作與理論更成為多元選修或探究實作課程的新寵兒。例如大甲高中化學宅急便闖關活動的一項關卡「人像藍印術」(陳孟男<sup>[3]</sup>，2014)、北一女的「微量藍印術」課程(周芳妃等<sup>[4]</sup>，2016)等。

### (二) 藍曬的化學原理：

高中化學課本中，普魯士藍扮演著學習錯合物單元的重要角色，它也是一種檢驗鐵離子或亞鐵離子產生沉澱反應的產物。其中赤血鹽檢驗亞鐵離子的反應式為：



赤血鹽中的六氰鐵錯離子需先經過電子轉移成六氰亞鐵錯離子，再與溶液中的鐵離子結合成普魯士藍(高中選修化學IV<sup>[5]</sup>，2022)。

本研究中所用的檸檬酸鐵銨 $(\text{NH}_4)_3[\text{Fe}(\text{C}_6\text{H}_4\text{O}_7)_2]$ 是一種光感應錯合物，其三價鐵離



〈藍色狂想曲-藍晒變色探究〉則提出感光液中檸檬酸鐵銨比例較高，變色較快；且紙張選擇日本水彩紙 300 磅由於紋路均勻，且吸水性佳效果較好(此與參考資料 10 的布料結論不同)；而在光源的選擇中，發現太陽光是最佳，其次為紫外線光源；鹽酸、醋酸、氫氧化鈉和雙氧水比較得到最佳沖洗液是中性的雙氧水溶液(此也與參考資料 10 的結論不同)(蔡涵芸等<sup>[11]</sup>，2021)。

〈你說的“藍”是什麼“藍” —藍晒感光液呈色探討— (RGB)〉發現不同比例、不同曝光時間感光液會影響上色效果；使用色差儀將藍曬的結果量化分析成 R、G、B，並以 B 值進行討論，但作者認為物質呈色是 RGB 的交互作用，因此以 B 值進行藍曬圖的差異比較，無法達成起始期望；感光液中檸檬酸鐵銨溶液比例愈高、曝光時間愈短，普魯士藍(B 值)愈高；且濃度不同對沉澱量有影響(屏東縣第 60 屆科展<sup>[12]</sup>，2020)。

〈氫氫紙巾 悠悠我心〉是 2020 年全國科學探究競賽有關藍曬的作品，作者實驗以 365、302、254nm 波長紫外光進行藍曬成像，結果提出：以長波長 365nm 的紫外光燈效果最好。(黃鼎翔等<sup>[13]</sup>，2020)

#### (四)藍曬燈箱的設計：

網路上可以查到一些藍曬燈箱的設計與販售，但是都沒有可以調整亮度的設計。參考簡易藍曬燈箱設計(黃東榕<sup>[14]</sup>，2020)，作者採用 T8 紫外線 UVA 黑燈管、壓克力板、木板來製作壁掛式簡易燈箱，這是我們設計的燈箱最原始參考依據，但壁掛式不利於實驗進行，且燈管是否一定需要 T8 型號？翰軒文化販售的一款 4 開紫外光無蓋燈箱(長 72cm\*寬 50cm\*高 25cm)未說明燈管型號，但有說明紫光燈管波長為 300nm-400nm，波峰值為 365nm(翰軒文化<sup>[15]</sup>，2021)；第 19 屆旺宏科學獎成果報告書中得知，紫外線為使藍印術發生的唯一光源(曾俊迪<sup>[8]</sup>，2020)，作者使用 200~400nm 光源進行實驗；第 61 屆全國科展「藍色狂想曲-藍晒變色探究」中，作者發現將陽光透過各色玻璃紙產生藍曬圖效果不同，結論為陽光透過藍色玻璃紙時，產生的藍曬圖最好(蔡涵芸等<sup>[11]</sup>，2021)，我們知道藍色玻璃紙主要通過的光線為藍光，因此表示能量大於等於藍光的光源比較能夠做出品質較佳的藍曬圖。

由各種資料得知，藍曬需要近紫外光 UVA 較能得到品質佳的藍曬圖，因此波長 365nm 的紫外線燈管為不可或缺的材料。T5 和 T8 燈管最主要差異在燈管直徑，T8 直徑剛好是 1 英寸(25.4mm)，T5 是 5/8 英寸(16mm)，理論上，越細的燈管效率越高，也就是說相同瓦數發光越多(百科知識<sup>[16]</sup>)，因環保因素 T5 燈管逐漸在取代 T8 燈管；黑色玻璃燈管本身會阻擋大部分可見光，最後只有柔和的長波 UVA 光和部分

藍色和紫色可見光從燈管中發射出來(txtdoc2000<sup>[17]</sup>，2006)，因此光的波長範圍較小較單純。於是我們採用標示波長 365nm 的 T5 紫外線黑燈管來製作我們專屬的藍曬燈箱。

### (五)色差儀數據的意義：

藍曬的研究中，鮮少有將藍曬結果以定量數據做比較。文獻中僅有一篇科展作品欲以 RGB 辨別藍曬圖的效果，然而作者發現無法找出最佳分析方式，只好就B 值與色差進行討論分析，以致實驗最終無法達成起始期望(屏東縣第 60 屆科展<sup>[12]</sup>，2020)。根據色彩的數據意義， $\Delta E$  可用來表示出「顯示色彩」與「輸入的原始色彩」之間的差距，則差值越低代表顯示色彩與標準原始圖案色彩的差距越小(ViewSonic<sup>[18]</sup>，2020)。由下式 4<sup>[19]</sup>可知， $\Delta E$  為 L、a、b 三值運算所得，L、a、b 是表示色彩的三個值，L 值表示的是亮度，a 值表示紅綠色度，正值表示紅色，則負值表示綠色，b 值表示黃藍色度，正值表示黃色，則負值表示藍色。本研究用色差儀的  $\Delta E$  和 L、a、b 值來說明藍曬的上色效果，參考式樣為白色，因此實驗測得的 L 值越大表示圖案顏色越白越淺，越小則反之； $\Delta E$  值越大則顯示圖案越明顯清晰。

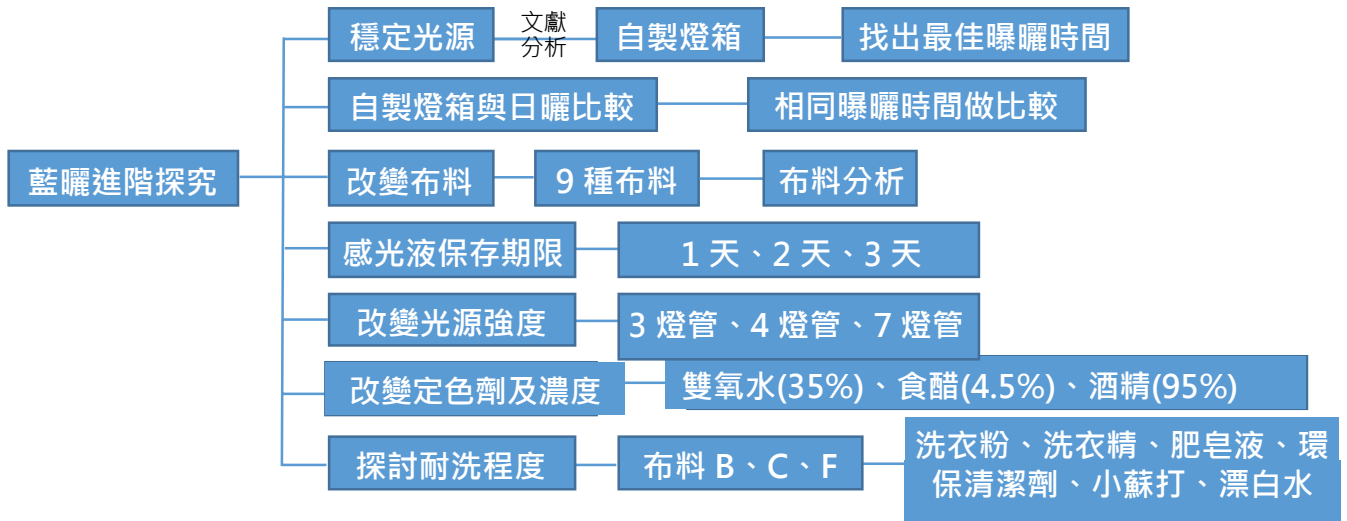
$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2} \quad (\text{式 4}) \quad [19]$$

## 貳、研究設備及器材

設備器材	
	
導線、紫外燈管(F6T5/BL)、布料(9種)、吹風機、延長線、定時器、強力膠、橡膠墊、木箱、壓克力板、色差儀、便攜式紫外線輻射計(KF90)、分光光度計	
藥品	
	
檸檬酸鐵銨、鐵氰化鉀、雙氧水(35%)、食醋(4.5%)、酒精(95%)、洗衣粉、洗衣精、漂白水、自製肥皂液、自製橘皮環保清潔劑	

## 參、研究過程或方法

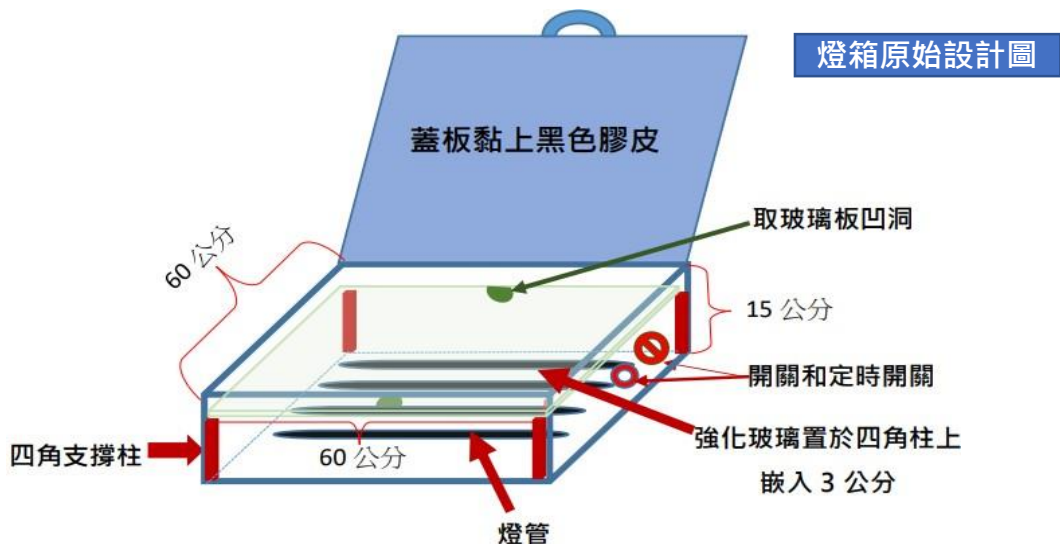
### 一、研究架構圖：



### 二、研究步驟：

#### (一) 製作藍曬燈箱:(照片)

- 1.取得 6 瓶裝紅酒木箱，購置 7 套 T-5 紫外線黑燈管及燈座(附導線及開關)
- 2.測量燈管之間的距離，利用螺絲釘來固定 7 個燈座，裝上燈管
- 3.木箱一側左右各鑽一孔，以利拉出導線接至延長線，利用延長線開關控制燈管亮數。



- 備註：一、因為測試發現紫外線無法穿透強化玻璃，因此後來改用壓克力板。  
二、四腳支撐柱改成兩側支撐條更方便拿取壓克力板並且更穩定。  
三、外裝開關及定時開關增加成本太多，且燈管本已配置開關故決定不另加裝定時及切換開關。



(二)製作負片：在校園拍照後，利用手機功能將照片改為負片存檔，再用影印機將負片印在投影片上，製得藍曬所需要的圖案。

(三)感光液的配製：赤血鹽 5g/50 毫升水、檸檬酸鐵銨 11g/44 毫升水

- 1.以 1：10 的方式配置出鐵氰化鉀水溶液
- 2.以 1：4 的方式配置出檸檬酸鐵銨水溶液
- 3.將兩種水溶以 1：1 的方式混和出感光液

(四)塗布的方式：利用量筒量取 10 毫升感光液置入廣口容器中，將刷子沾取感光液並且刷取布料達至飽和

(五)將布料乾燥的方式：將布料放在木板上，再用吹風機以冷風吹乾

(六)曬後洗布的方式：

- 1.先配置 2%的雙氧水水溶液作為定色劑，並且再裝四盆一公升的蒸餾水
- 2.將曬好的布料放置定色劑水溶液中三分鐘後取出
- 3.最後將布料放入四盆水中清洗各一分鐘後，再用電風扇吹乾

(七)測量藍曬圖的 L 值(亮度)、a 值(正紅/負綠)、b 值(正黃/負藍)和  $\Delta E$  值：晾乾的藍曬圖以色差儀測量樹幹處得到所需數值。

(八)各研究目的的操作步驟：

- 1.找出自製燈箱曝曬的最佳時間：
  - (1)將有感光液的布料分別標記 15、20 和 25 分鐘
  - (2)將標記好的布料與負片放置燈箱中曝曬指定時間後，定色、水洗、吹乾、測色差。
- 2.比較不同棉布的藍曬圖：
  - (1)將 9 種布料分別標示 ABCDEFGHI
  - (2)將塗刷感光液的布料與負片置於燈箱曝曬 15 分鐘後，定色、水洗、吹乾、測色差。
- 3.感光液存放時間的感光效果之比較：

















- (1)另配置 2 杯 200 毫升感光液，放置於陰暗處各 1 天及 2 天後，分別進行藍曬。
  - (2)將 ABCF 四種布料塗滿感光液，再置於燈箱曝曬 15 分鐘後，定色、水洗、吹乾、測色差。
- 4.比較曝曬光源強度不同的藍晒圖：
- (1)將 ABCF 四種布料塗滿感光液
  - (2)分別使用 3 根、4 根、7 根紫外線燈進行曝曬 15 分鐘後，定色、水洗、吹乾、測色差。
- 5.比較自製燈箱與日曬的藍晒圖：
- (1)將九種布塗滿感光液，並標示日曬及箱曬
  - (2)將布分別放置燈箱中利用 7 根燈管和放置太陽底下(利用光度計檢測陽光的光強度)各曝曬 15 分鐘後，定色、水洗、吹乾、測色差。
- 6.不同定色劑的藍曬圖之差異：
- (1)將布塗滿感光液後，標記雙氧水、酒精和食醋。
  - (2)將布放置燈箱中利用 7 根燈管曬 15 分鐘後，先以裝 2 公升水加入 20 毫升的定色液浸泡 1 分鐘，之後再放入四盆水中浸泡，並清洗各一分鐘後、用吹風機吹乾、測色差。
  - (3)改變定色劑的量為 40、60 毫升重覆以上步驟。
- 7.藍晒圖的耐洗程度之探討：
- (1)將布塗滿感光液後，標記清潔劑的名稱，分別為小蘇打粉、洗衣粉、洗衣精、100%漂白水、環保清潔劑和自製液態皂。
  - (2)將布放置燈箱中利用 7 根燈管曬 15 分鐘後，雙氧水定色、水洗、吹乾、測色差。
  - (3)將測完的布放置有清潔劑的水缸裡面，利用攪拌器的轉速 1 攪拌 2 分鐘後，再放入有自來水的水缸中，利用攪拌器的轉速 1 攪拌 2 分鐘為清洗一次，每塊布共清洗三次。之後再吹乾，利用色差儀測量數值，觀察前後變化。

## 肆、研究結果

### 一、找出自製燈箱曝曬的最佳時間：

**表 1**

找出自製燈箱曝曬的最佳時間 (數值均為三重複平均值)

布料編號	時間	圖例	L 值 亮度	a 值 正紅/負綠	b 值 正黃/負藍	$\Delta E$
A	15min		51.40	-7.91	-17.69	43.58
	20 min		50.69	-9.11	-20.65	46.10
	25 min		50.69	-9.11	-20.65	46.10
B	15min		55.27	-6.36	-19.2	40.52
	20 min		46.95	-6.55	-21.18	49.11
	25 min		35.52	-5.66	-24.85	60.54
C	15min		32.56	-4.64	-24.3	62.89
	20 min		68.57	-8.92	-9.39	25.62
	25 min		67.65	-8.89	-9.38	26.05
D	15min		45.31	-10.35	-18.14	49.81
	20 min		65.57	-7.32	-6.43	26.95
	25 min		49.07	-9.56	-14.82	45.16
E	15min		47.74	-9.54	-16.68	46.93
	20 min		32.93	-6.18	-21.81	61.84

續











	25 min		48.89	-7.49	-14.25	44.66
F	15min		54.13	-8.65	-17.80	41.34
	20 min		51.44	-4.52	-17.15	42.79
	25 min		59.49	-4.89	-12.87	33.88
	15min		64.87	-6.90	-10.73	28.66
H	20 min		59.91	-5.53	-13.71	34.55
	25 min		37.95	-9.53	-25.22	58.99
	15min		54.38	-4.86	-13.90	39.05
I	20 min		76.95	-3.22	-2.44	14.39
	25 min		59.31	-6.05	-13.13	34.36

圖 1  
不同布料箱曬平均  $L$  值

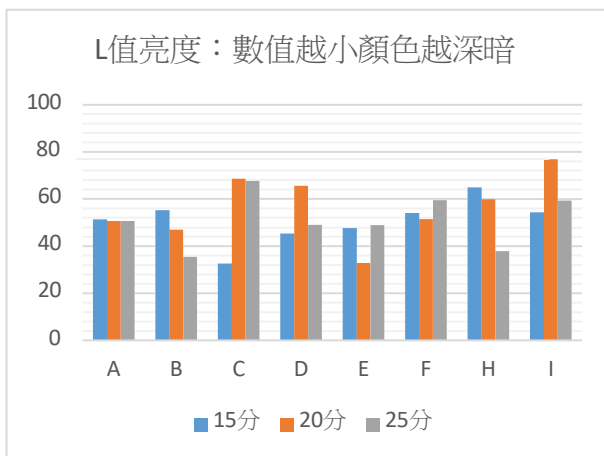
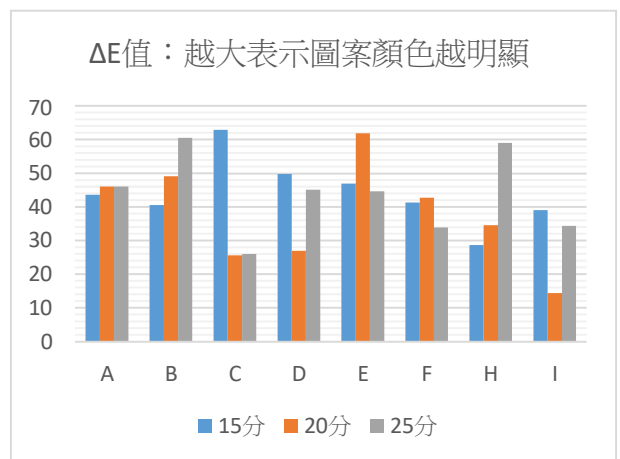


圖 2  
不同布料箱曬平均  $\Delta E$  值



說明：從表 1 和圖 1、圖 2 的  $L$  值和  $\Delta E$  值比較可知，20 分鐘各種布料的藍曬圖亮度多

數較高，表示圖案顏色較淺明顯度最差；15 和 25 分鐘圖案顏色深度(L 值)和明顯度( $\Delta E$  值)差不多，基於燈箱溫度的穩定性與節能概念，本研究決定以 15 分鐘進行以下實驗。

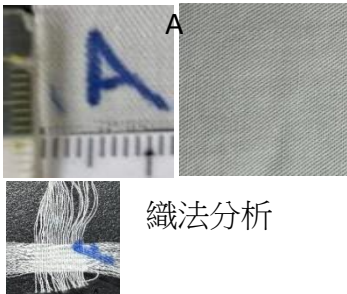
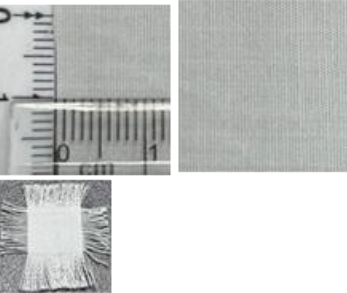
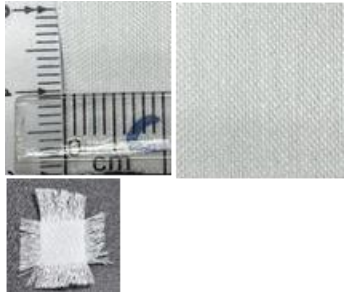
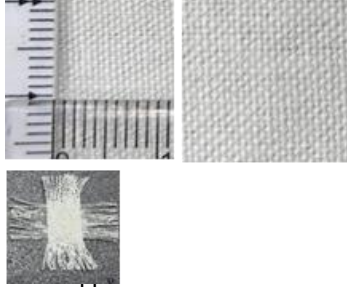
小結：我們設計的燈箱在曝曬 15 分鐘即可得到品質很好的藍曬圖。

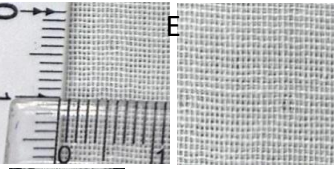
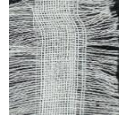
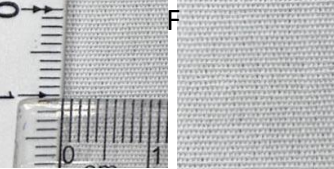

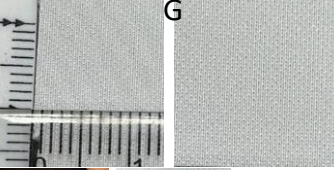

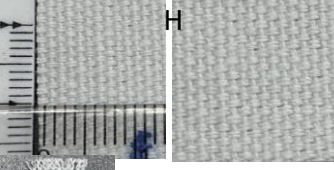

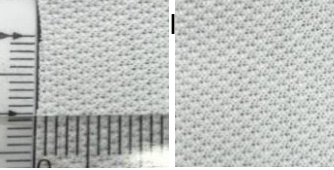
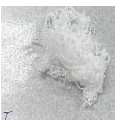
## 二、比較不同布料的藍曬圖：

### (一)布料分析<sup>[20][21]</sup>

表 2

布料分析

布料編號	布料的描述	照片	燃燒結果
A	布料性質：細緻、平紋織 吸水性：需用壓力才能滲透 彈性：彈性差（長）伸長 0.2 公分（寬）伸長 0.3 公分 平均厚度：0.1 cm 經緯密度(1in <sup>2</sup> )：63*56 密度(M/V)：0.11 g/cm <sup>3</sup>	 <p>織法分析</p>	燃燒結果：燃燒時火焰沒有很強烈，燒紙味，燒完的灰燼是灰色，最後少量白煙，形狀不變，時間 21.7 秒
B	布料性質：細緻、平紋織 吸水性：97 秒/滴 彈性：有彈性（長）伸長 0.5 公分（寬）伸長 1.0 公分 平均厚度 0.1 cm 經緯密度(1 in <sup>2</sup> )：70*76 密度(M/V)：0.12 g/cm <sup>3</sup>		燃燒結果：燃燒時火焰沒有很強烈，燒紙味，燒完的灰燼是灰白色的，最後少量白煙(比 A 多)，形狀不變，時間 22.3 秒
C	布料性質：細緻、平紋織 吸水性：45 秒/滴 彈性：有彈性（長）伸長 0.9 公分（寬）伸長 0.9 公分 平均厚度 0.2 cm 經緯密度(1 in <sup>2</sup> )：64*80 密度(M/V)：0.10 g/cm <sup>3</sup>		燃燒結果：燃燒時火焰比 AB 強烈，燒紙味，開始即有黑煙，後段為白煙，燒完的灰燼是白色的，形狀不變，時間 34.3 秒
D	布料性質：粗糙、平紋織 吸水性：340 秒/滴 彈性：彈性差（長）伸長 0.2 公分（寬）伸長 0.1 公分 平均厚度 0.4 cm 經緯密度(1 in <sup>2</sup> )：37*58 密度(M/V)：0.08 g/cm <sup>3</sup>		燃燒結果：燃燒時火焰強烈持久，燒紙味，火滅時有白煙，燒完的灰燼是灰白色的，形狀不變，時間 40.5 秒

E	布料性質：粗糙、平紋織 吸水性：25 秒/滴 彈性：彈性差（長）伸長 0.3 公分（寬）伸長 0.2 公分 平均厚度 0.2 cm 經緯密度(1 in <sup>2</sup> )：50*38 密度(M/V)：0.07g/cm <sup>3</sup>	 	燃燒結果：燃燒時火焰比 D 強烈快速，燒紙味，燒完的灰燼是灰色的，變得非常小塊，火滅時有白煙，有點不規則形，時間 15 秒
F	布料性質：細緻、雙股平紋織 吸水性：60 秒/滴 彈性：彈性差（長）伸長 0.2 公分（寬）伸長 0.4 公分 平均厚度 0.2 cm 經緯密度(1 in <sup>2</sup> )：23*19(*2) 密度(M/V)：0.06 g/cm <sup>3</sup>	  <div style="border: 1px solid red; padding: 2px; display: inline-block; color: red; font-weight: bold;">合成纖維</div>	燃燒結果：不先捲曲，燃燒時火焰強烈跳動，產生黑煙，末了有白煙，燒完的灰燼是黑色硬塊，時間 25 秒
G	布料性質：細緻、針織物 吸水性：35 秒/滴 彈性：彈性最佳（長）伸長 1.2 公分（寬）伸長 1.3 公分 平均厚度 0.4 cm 經緯密度(1 in <sup>2</sup> )：48G(G 是針數單位，48 針/in) 密度(M/V)：0.05 g/cm <sup>3</sup>	  <div style="border: 1px solid red; padding: 2px; display: inline-block; color: red; font-weight: bold;">合成纖維</div>	燃燒結果：燃燒時火焰非常強烈，燒塑膠味，不斷滴下物質並繼續燃燒，燒完的灰燼是黑色的，黏在桌子上，時間 34 秒
H	布料性質：粗纖維網眼密、雙股平紋織 吸水性：50 秒/滴 彈性：彈性差（長）伸長 0.1 公分（寬）伸長 0.3 公分 平均厚度 0.5 cm 經緯密度(1 in <sup>2</sup> )：26*34(*2) 密度(M/V)：0.05 g/cm <sup>3</sup>	  <div style="border: 1px solid red; padding: 2px; display: inline-block; color: red; font-weight: bold;">做過特殊處理的布料</div>	燃燒結果：較不易點燃，燃燒時火焰很穩定，燒紙味，碳化後燒很久，有些白煙，燒完的灰燼是白色的，灰燼形狀與布料完全相同並能看到網眼，時間 48.7 秒
I	布料性質：粗纖維、針織物 吸水性：48 秒/滴 彈性：彈性佳（長）伸長 2 公分（寬）伸長 1 公分 平均厚度 0.3 cm 經緯密度(1 in <sup>2</sup> )：35G 密度(M/V)：0.04 g/cm <sup>3</sup>	  <div style="border: 1px solid red; padding: 2px; display: inline-block; color: red; font-weight: bold;">合成纖維</div>	燃燒結果：燃燒時火焰跳動產生大量黑煙，燒塑膠味，燒完的灰燼是黑色硬塊，時間 38.3 秒

結果：各種布料性質的比較：

1. 吸水性(最好到最差)⇒ E>G>C>I>H>F>B>D>A
2. 彈性(最好到最差)⇒ I>G>C>B>F>A≅E≅H>D
3. 布料厚度(厚到薄) ⇒ H>D=G>I>C=E=F>A=B

4. 經緯密度(抽紗計算) :  $B \cong C > A > D > E = F(\text{雙股}) > H(\text{雙股})$ ; G、I 為針

**織物**

5. 布料密度(大到小)  $\Rightarrow B > A > C > G > F > D > H > I > E$

6. 燃燒速度(最快到最慢)  $\Rightarrow E > A > B > F > G > C > I > D > H$







7. 判斷布料種類 :

編號	A	B	C	D	E	F	G	H	I
種類	棉	棉	棉	棉	棉	合成	合成	特殊	合成

(二) 不同布料的箱曬

**表 3**

不同布料的箱曬結果 (數值均為三重複平均值)

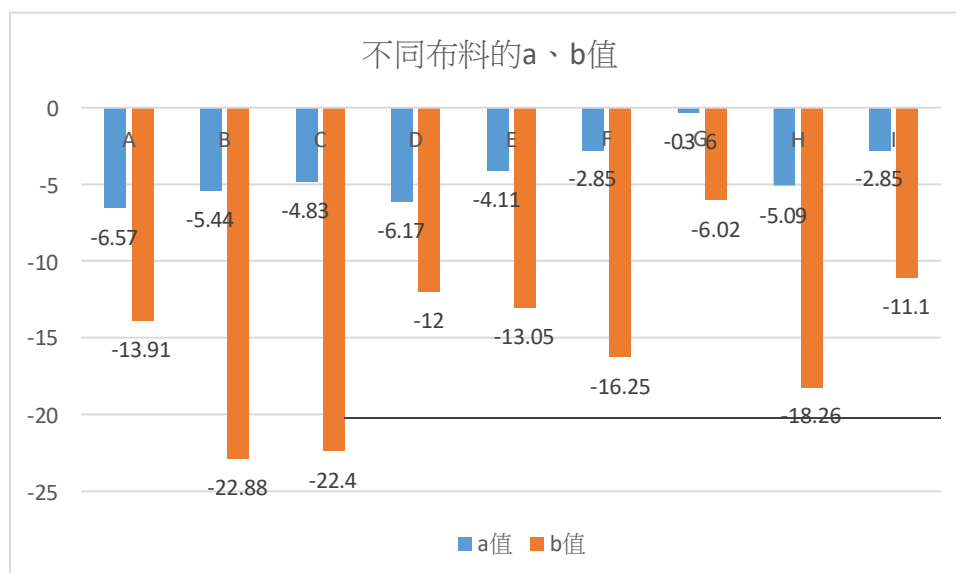
布料編號	圖例(選總色差值最接近兩圖代表)	圖案說明	L 值 亮度	a 值 正紅/負綠	b 值 正黃/負藍	$\Delta E$
A		圖案輪廓：犀利 綠色比例排序 4 藍色比例排序 5 總色差排序 4	59.7	-6.57	-13.91	34.28
B		圖案輪廓：犀利 綠色比例排序 6 藍色比例排序 2 總色差排序 6	42.44	-5.44	-22.88	53.21
C		圖案輪廓：犀利 綠色比例排序 8 藍色比例排序 1 總色差排序 1	43.48	-4.83	-22.4	52
D		圖案輪廓：犀利 綠色比例排序 1 藍色比例排序 2 總色差排序 2	55.36	-6.17	-12	37.63
E		圖案輪廓：模糊 綠色比例排序 2 藍色比例排序 6 總色差排序 3	56.59	-4.11	-13.05	36.54
F		圖案輪廓：犀利 綠色比例排序 3 藍色比例排序 4 總色差排序 5	50.06	-2.85	-16.25	43.5

續

G		圖案輪廓：模糊不清 綠色比例排序 9 藍色比例排序 9 總色差排序 9	81.44	-0.36	-6.02	11.45
H		圖案輪廓：暈染 綠色比例排序 5 藍色比例排序 8 總色差排序 8	44.53	-5.09	-18.26	49.65
I		圖案輪廓：模糊 綠色比例排序 7 藍色比例排序 7 總色差排序 7	66.13	-2.85	-11.1	26.81

圖 3

不同布料的  $a$ (正紅/負綠)、 $b$ (正黃/負藍)值



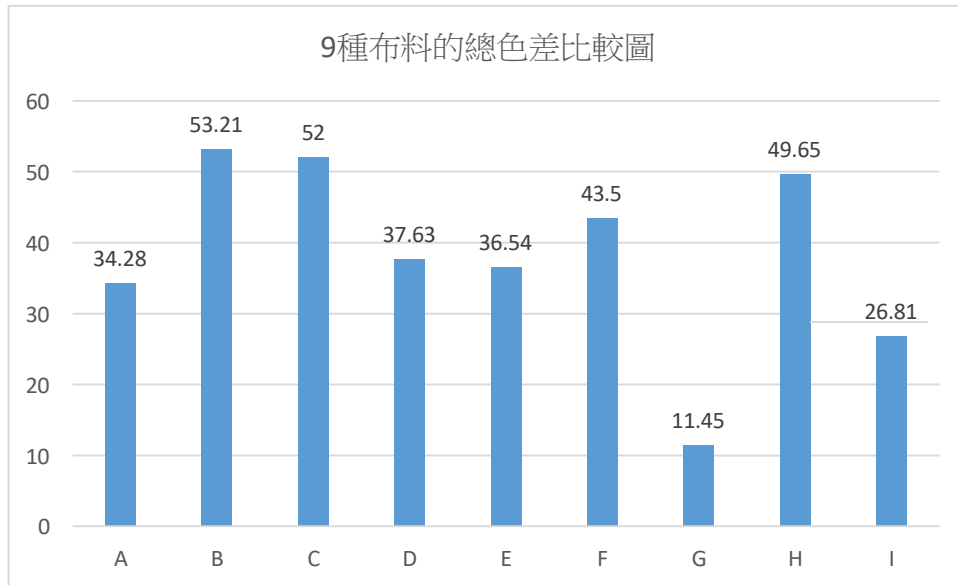
偏綠色的順序：A>D>B>H>C>E>F>I>G

偏藍色的順序：B>C>H>F>A>E>D>I>G

說明：由表 3 和圖 3 可知，藍曬圖經色差儀所測得的藍綠比例各不相同。藍色比例最高者，綠色比例不一定最低，因此可知整個藍曬圖的效果不應只看  $a$  值或  $b$  值，而是應該看  $a$ 、 $b$  值的綜合效果。

圖 4

9種布料的總色差值  $\Delta E$  比較



我們的色差儀是以白色為標準值，因此  $\Delta E$  數值越大表示顏色越深  
上色效果：**B>C>H>F>D>E>A>I>G**





說明：由表 2、表 3、圖 3 和圖 4 綜合比較可知， $\Delta E$  值越大，圖案顏色越清晰鮮明，因此用  $\Delta E$  值來判定藍曬圖的品質是合理的。

小結：布料經緯密度大、質量密度大、平紋織法和厚度小有利於藍曬圖品質。

### 三、感光液存放時間的感光效果之比較：

表 4

不同存放時間的感光液效果 (數值均為三重複平均值)

布料編號	時間	圖例	L 值 亮度	a 值 正紅/負綠	b 值 正黃/負藍	$\Delta E$
A	新鮮		51.4	-7.91	-17.69	43.58
	一天		42.37	-8.42	-21.21	53.02
	二天		49.91	-8.8	-16.4	44.49
B	新鮮		55.27	-6.36	-19.2	40.52

續







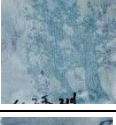



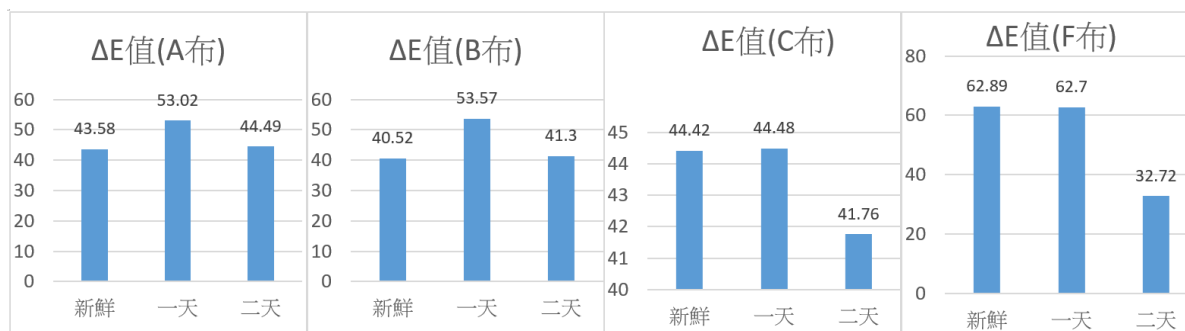
	一天		41.34	-6.57	-20.82	53.57
	二天		55.71	-6.76	-19.14	41.3
C	新鮮		32.56	-4.64	-24.3	62.89
	一天		33.84	-5.91	-26.92	62.7
	二天		63.41	-11.89	-14.3	32.72
F	新鮮		49.11	-3.82	-16.46	44.42
	一天		54.79	-5.29	-17.94	44.48
	二天		58.78	-3.82	-16.46	41.76

圖 5

感光液存放時間對藍曬圖的影響


















說明：由表 4 和圖 5 可以看到，感光液從第一天配製到放置一天後效果有變好的情形，然後放置兩天(第三天)就往下掉，因此發現若要進行藍曬，感光液可以在前一天配製。

小結：新配好的感光液進行藍曬的效果不是最好的，放置到第二天比較好。

#### 四、比較曝曬光源強度不同的藍曬圖：

**表 5**

不同曝曬光源強度 (數值均為三重複平均值)

布料 編號	燈管數	圖例	L 值 亮度	a 值 正紅/負綠	b 值 正黃/負藍	ΔE
A	3 支		75.54	-4.62	-4.67	16.11
	4 支		63.52	-6.7	-16.84	39.94
	7 支		36.86	-6.40	-23.09	58.20
B	3 支		78.92	-2.65	-4.25	12.45
	4 支		60.62	-7.14	-16.73	34.46
	7 支		44.98	-6.60	-19.78	49.54
C	3 支		63.85	-6.01	-10.9	29.00
	4 支		48.82	-7.97	-21.71	47.25
	7 支		34.55	-4.81	-24.18	60.56
D	3 支		71.55	-5.28	-4.90	19.83
	4 支		52.86	-4.17	-12.19	38.05
	7 支		41.23	-10.56	-20.58	53.98
E	3 支		72.31	-3.63	-8.11	19.78
	4 支		69.62	-4.41	-8.72	22.38
	7 支		51.29	-4.94	-17.42	42.65

續










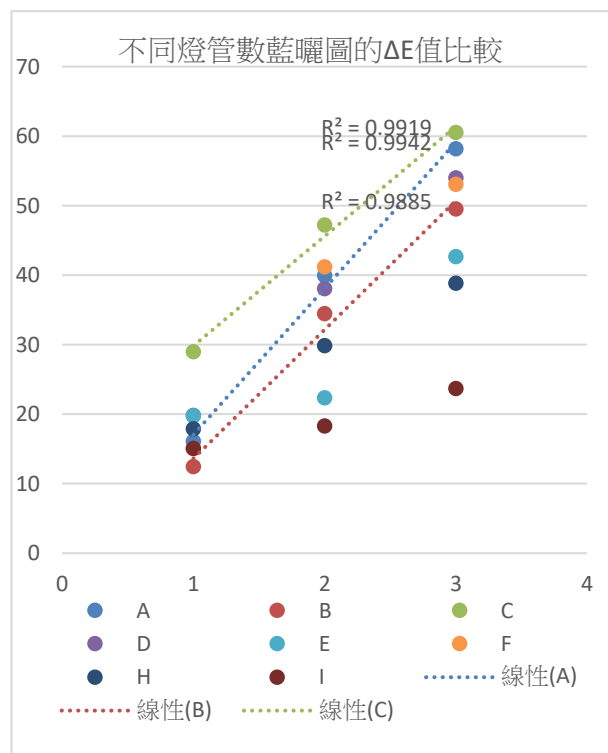
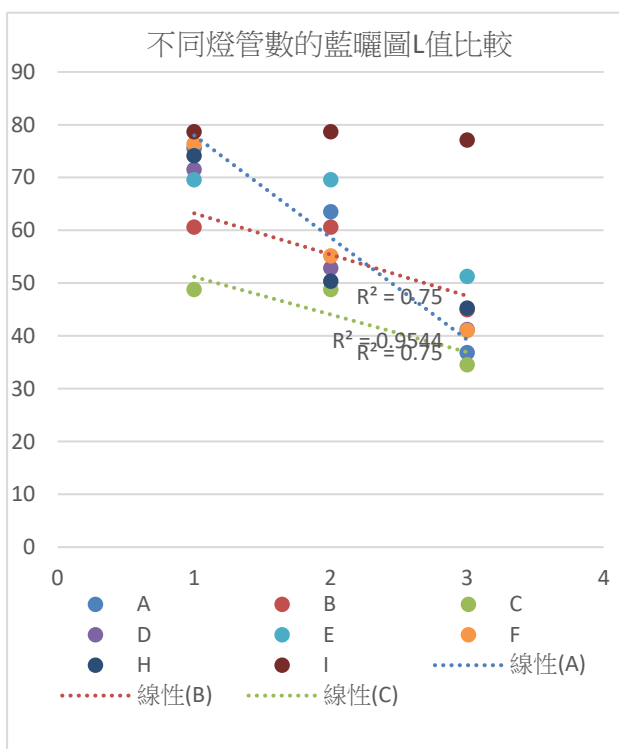
F	3 支		76.41	-4.98	-1.98	15.04
	4 支		55.18	-5.68	-19.35	41.21
	7 支		41.06	-8.54	-23.54	53.09
H	3 支		74.17	-6.43	-3.94	17.91
	4 支		50.4	-10.37	-20.74	29.88
	7 支		45.3	-9	-21.09	38.86
I	3 支		82.14	-0.41	-2.82	15.10
	4 支		78.7	-2.34	-0.85	18.3
	7 支		77.15	-3.2	-3.22	23.68

圖 6

不同曝曬光源強度



說明：由表 5 和圖 6 可知，燈箱 7 支燈管亮時所曬出的藍曬圖  $\Delta E$  值較 3 支、4 支燈管大，

$\Delta E$  與燈管數有正相關之關係，L 值則為負相關。

小結：在曝曬相同時間下，燈箱燈管亮數越多，藍曬圖  $\Delta E$  值越大。

## 五、比較自製燈箱與日曬的藍晒圖：

表 6

箱曬與日曬比較 (數值均為三重複平均值)








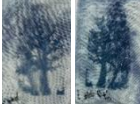










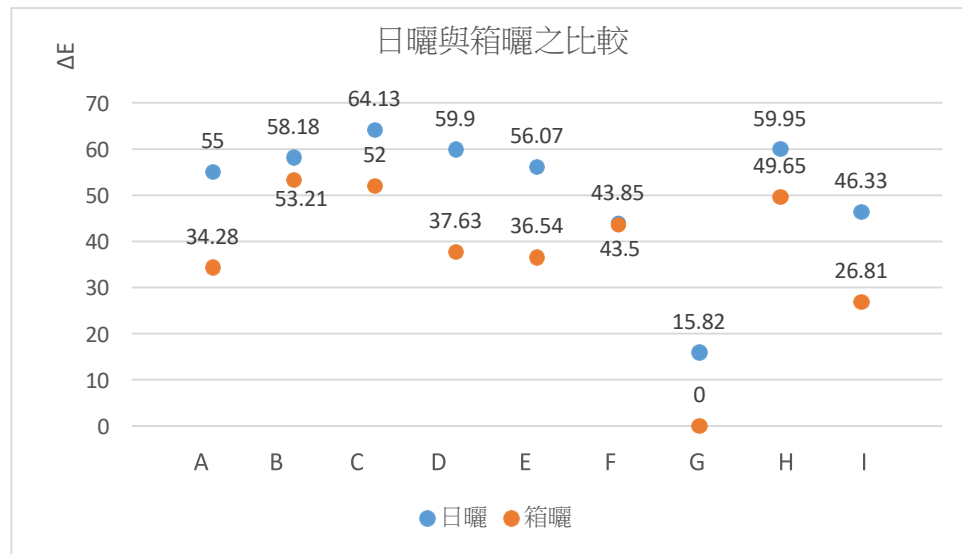
布料編號	日曬	L 值 亮度	a 值 正紅/負 綠	b 值 正黃/負藍	$\Delta E$	箱曬	L 值 亮度	a 值 正紅/負 綠	b 值 正黃/負 藍	$\Delta E$
A		38.96	-7.00	-22.84	55		59.7	-6.57	-13.91	34.28
B		35.51	-6.28	-24.09	58.18		42.44	-5.44	-22.88	53.21
C		27.88	-4.31	-24.57	64.13		43.48	-4.83	-22.4	52
D		32.93	-7.21	-22.87	59.9		55.36	-6.17	-12	37.63
E		36.42	-6.01	-21.52	56.07		56.59	-4.11	-13.05	36.54
F		42.27	-3.01	-8.52	43.85		50.06	-2.85	-16.25	43.5
G		78.12	-3.25	-9.96	15.82		81.44	-0.36	-6.02	11.45
H		32.37	-5.79	-22.81	59.95		44.53	-5.09	-18.26	49.65
I		45.34	-5.82	-16.77	46.33		66.13	-2.85	-11.1	26.81

圖 7

日曬與箱曬的比較



小結：由表 6 及圖 7 可知，日曬的  $\Delta E$  值皆比箱曬大，故得知日曬效果比箱曬效果好。








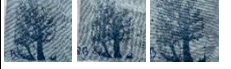










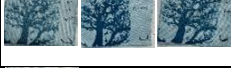


### 六、不同定色劑的藍曬圖之差異:箱曬、15 分鐘

表 7

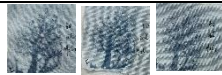






不同定色劑的藍曬圖比較 (數值均為三重複平均值)

布料編號	定色劑種類	定色劑量	結果	L 值 亮度	a 值 正紅/負綠	b 值 正黃/負藍	$\Delta E$
A	雙氧水	20mL		54.43	-10.05	-15.59	29.52
		40 mL		58.18	-8.55	-10.67	35.87
		60 mL		58.2	-5.92	-12.15	34.6
	食醋	20mL		53.61	-7.39	-15.69	42.06
		40 mL		51.55	-8.69	-15.28	34.36
		60 mL		46.66	-9.17	-18.20	49.94
酒精	20mL		65.16	-6.49	-8.28	27.29	
	40 mL		54.77	-4.19	-11.25	40.13	

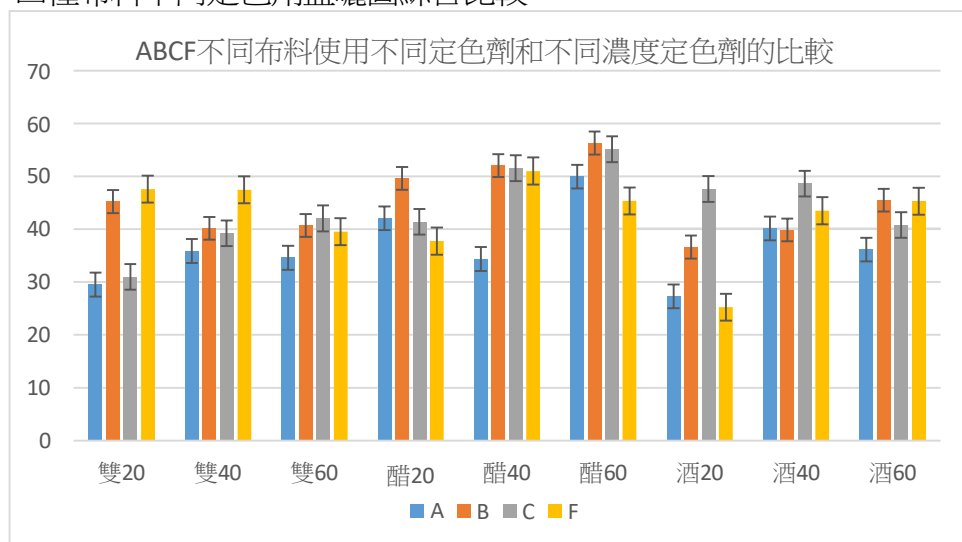
續

		60 mL		56.47	-5.82	-11.39	36.13
B	雙氧水	20mL		50.49	-7.54	-17.72	45.23
		40 mL		53.33	-7.52	-14.13	40.17
		60 mL		59.60	-5.77	-16.96	40.71
	食醋	20mL		46.39	-5.95	-18.08	49.61
		40 mL		45.04	-8.75	-21.04	52.04
		60 mL		41.96	-9.11	-23.80	56.31
	酒精	20mL		56.06	-4.60	-12.49	36.62
		40 mL		55.68	-3.80	-12.83	39.85
		60 mL		48.08	-4.73	-16.63	45.49
C	雙氧水	20mL		62.8	-9.55	-11.04	31.00
		40 mL		56.46	-9.93	-16.48	39.22
		60 mL		52.24	-8.85	-15.85	42.03
	食醋	20mL		55.25	-8.47	-16.59	41.40
		40 mL		44.89	-8.94	-18.30	51.55
		60 mL		41.43	-8.59	-19.58	55.13
	酒精	20mL		46.14	-6.96	-17.85	47.61
		40 mL		46.25	-6.96	-18.74	48.63
		60 mL		53.12	-9.18	-13.96	40.8
F	雙氧水	20mL		49.82	-7.33	-17.59	47.59
		40 mL		55.06	-4.76	-13.59	37.75

續

		60 mL		66.66	-3.49	-8.28	25.25
食醋		20mL		48.81	-5.69	-18.45	47.48
		40 mL		47.4	-5.22	-6.57	51.00
		60 mL		53.45	-5.06	-15.80	43.49
酒精		20mL		53.72	-3.89	-14.36	39.51
		40 mL		46.6	-4.16	-14.57	45.36
		60 mL		48.35	-0.72	-14.63	45.29

**圖 8**  
四種布料不同定色劑藍曬圖綜合比較



說明：我們選 A、B、C、F 四種布料進行不同定色劑的藍曬圖效果的研究，由上表 7 及圖 8 很清楚可以看到，用食醋定色效果比雙氧水和酒精好，除了 A 布添加 40 毫升定色劑反而是食醋較差外。此外，A、B、C、F 四種布料添加定色劑多數是量較多定色效果較好。

小結：食醋對藍曬圖定色優於雙氧水和酒精。











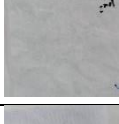
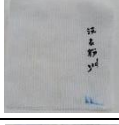

## 七、藍曬圖的耐洗程度之探討：

**表 8**

藍曬圖的耐洗程度比較 (數值均為三重複平均值)

布料編號	清潔劑種類	圖例	L 值 亮度	a 值 正紅/負綠	b 值 正黃/負藍	$\Delta E$
------	-------	----	-----------	--------------	--------------	------------

續

B	市售洗衣精		75.72	-3.17	-7.73	16.96
	市售洗衣粉		80.69	-0.13	6.86	9.26
	自製環保清潔劑		45.17	-7.96	-20.69	50.24
	小蘇打		65.51	-5.78	-7.67	26.65
	漂白水		75.29	-3.23	-68.25	15.83
	肥皂		69.29	-5.50	-5.24	22.91
C	市售洗衣精		78.98	-3.83	-6.13	13.72
	市售洗衣粉		85.78	-0.13	6.86	9.26
	自製環保清潔劑		50.89	-7.99	-13.83	42.62
	小蘇打		69.47	-5.17	-3.65	21.99
	漂白水		70.26	-7.16	-6.59	22.52
	肥皂		82.95	-3.54	-2.21	9.26
F	市售洗衣精		70.38	-2.87	-11.21	23.07
	市售洗衣粉		85.78	-0.06	3.13	12.96
	自製環保清潔劑		69.98	-2.82	-4.71	21.25

續






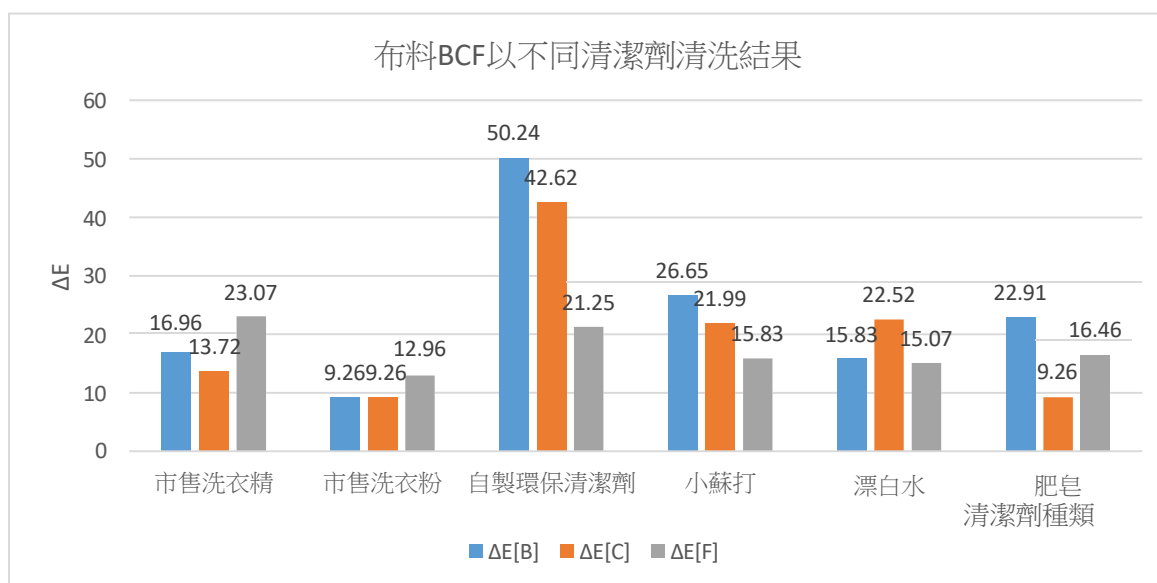
小蘇打		70.08	-3.60	-5.46	15.83
漂白水		75.7	-1.68	0.05	15.07
肥皂		74.79	-2.95	-1.78	16.46

圖 9

藍曬圖的耐洗程度比較



說明：我們選擇藍曬效果較佳的布料進行耐洗探究。使用 6 種常用的清潔劑將藍曬圖依模擬洗衣機方式進行清洗。發現除了自製環保清潔劑的圖案  $\Delta E$  值可以保持在 50 左右，其他清潔劑清洗過的圖案  $\Delta E$  值都已降至 30 以下，洗衣粉對藍曬圖的破壞力是最強的。

小結：藍曬圖不耐洗，需要經常清洗的衣物不適合用藍曬印製圖案。

## 伍、討論

一、**找出自製燈箱曝曬的最佳時間**：根據表 1、圖 1、圖 2 推論，我們製做的燈箱在曝曬 15 分鐘可以得到很好的藍曬圖，與曝曬 25 分鐘相近。但也發現曝曬 20 分鐘時效果反而不好，原因目前難以判斷，表示燈箱可能存在一些不穩定因素。我們反覆嘗試 15 分鐘效果確實穩定，又為避免溫度可能產生的影響(我們測量燈箱開啟 3、4、7 支燈管 15、20、25 分鐘，溫度平均如下表 9)以及節能因素，最終選定 15 分鐘的曝曬時間進行各項變因的探討。

**表 9**

不同燈管、不同時間燈箱的溫度

燈箱平均升溫°C	15 分鐘	20 分鐘	25 分鐘	60 分鐘
3 支	30	33.5	35	34.5
4 支	33.17	36.5	38.17	41
7 支	39.33	39.67	40.17	45

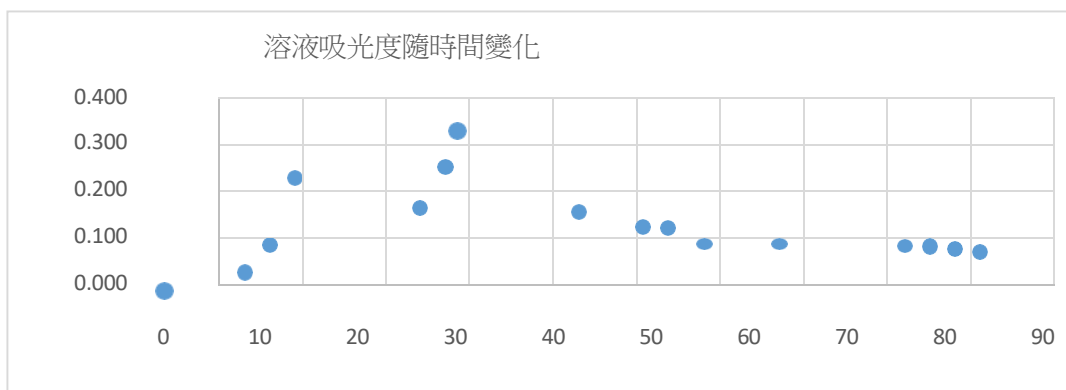
**二、比較不同布料的藍曬圖：**我們在布莊剪了 9 塊不同的白色布料，經過布料性質、抽紗及燃燒分析判斷，F、G、I 因為燃燒時有融化現象，應該含較高比例的合成纖維，其餘布料燃燒時多為燒紙味、形狀較能保持原形，因此推測含棉量較高。根據表 2、表 3、圖 3、圖 4 可知，箱曬的效果最佳的布料為 B，該布料的特性為吸水性不佳、質量密度最大 (M/V)、彈性略差、厚度最薄、燃燒速度快、纖維是單股平紋織法、經緯密度最大、含棉量高(燒紙味、灰燼形狀不變)等。依據表 2 及表 3 整理可得下列性質比較順序：

圖案效果 ΔE 值	<b>B&gt;C&gt;H&gt;F&gt;D&gt;E&gt;A&gt;I&gt;G</b>
吸水性(由好至差)	<b>E&gt;G&gt;C&gt;I&gt;H&gt;F&gt;B&gt;D&gt;A</b>
彈性(由好至差)	<b>I &gt; G &gt; C &gt; B &gt; F &gt; A ≅ E ≅ H &gt; D</b>
布料厚度	<b>H&gt;D=G&gt;I&gt;C=E=F&gt;A=B</b>
經緯密度	<b>B ≅ C &gt; A &gt; D &gt; E = F &gt; H ; G&gt;I</b> 
質量密度(M/V)	<b>B&gt;A&gt;C&gt;G&gt;F&gt;D&gt;H&gt;I&gt;E</b>
燃燒速度	<b>E&gt;A&gt;B&gt;F&gt;G&gt;C&gt;I&gt;D&gt;H</b>

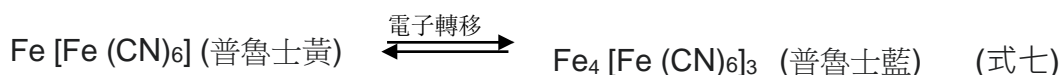
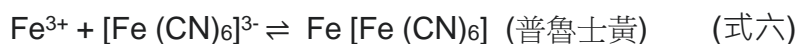
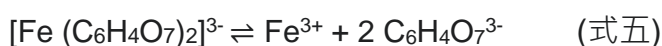
綜合上述，我們認為布料經緯密度大、質量密度大、單股平紋織法和厚度小有利於藍曬圖品質。

**三、感光液存放時間的感光效果之比較：**我們參加市賽時發現第一天新配製的感光液感光效果並未達到最好，因此建議可以放至抽屜或櫥櫃陰暗處隔天再使用，效果會更好。我們想知道究竟在放置一天後，溶液發生了什麼事，可以使藍曬圖品質變好呢？於是進一步對溶液做吸光度量測，以便得到較精準的最佳反應時間。結果發現在第 30 小時的時候，溶液對 365nm 紫外光的吸光度達到最大值。進一步證實溶液在第二天的效果比第一天好。

感光液 A 值	08:00	11:00	02:00	05:00
第一天(新配好)	0.022	0.021	0.079	0.221
第二天	0.159	0.247	0.334	0.15
第三天	0.09	0.106	0.104	0.091
第四天	0.086	0.081	0.074	0.065



究竟是何原因造成？查閱許多文獻並無結論。我們討論後認為：吸光度變大的原因應該是此反應的速率決定步驟中的檸檬酸根濃度逐漸變大。亦即感光液配製後，檸檬酸鐵錯離子即會開始進行分解反應，產生的鐵離子會和赤血鹽產生鐵氰化鐵(普魯士黃)(何綺婷、張皓帆，2021)<sup>[22]</sup>，同時，溶液中少量能量較高的檸檬酸根會開始進行電子轉移，而使普魯士黃轉變成亞鐵氰化鐵(普魯士藍)。



我們推測，溶液放置於黑暗中的前 30 小時，檸檬酸鐵錯離子分解為鐵離子和檸檬酸根的反應速率大於鐵氰化鐵(普魯士黃)和亞鐵氰化鐵(普魯士藍)形成的速率，因此檸檬酸根和鐵離子的濃度均會逐漸增加，但鐵離子會進一步與赤血鹽的六氰鐵離子結合成鐵氰化鐵(普魯士黃)，亦即鐵離子繼續進行上式六與式七之反應，因此可以看到溶液一直維持藍綠色且透光度降低。根據勒沙特列原理，鐵離子進行的反應，恰促使式五的反應有利於向右，因此可知溶液中檸檬酸根的濃度應會逐漸上升，導致測量出的吸光度逐漸增大。但 30 小時後，可能式五、式六、式七之間反應逐漸達成平衡，故物質濃度變化逐漸變小。

**四、比較曝曬光源強度不同的藍曬圖：**從表 5、圖 6 可知，同一種布料在 7 支燈管曝曬下的 L 值皆比 4 支和 3 支小， $\Delta E$  值則比較大，故可知紫外燈管亮的數目與藍曬的效果呈正相關。又由圖 6 可知， $\Delta E$  值線性變化的判定係數( $R^2$ )非常高，因此可知比較  $\Delta E$  值可以有效顯示藍曬圖的效果。

**五、比較自製燈箱箱曬與日曬的藍曬圖：**由表 6 及圖 7 可知，日曬的  $\Delta E$  值皆比箱曬大，故得知日曬效果比箱曬效果好，因此若是有太陽，建議仍以日曬進行藍曬以節省能源。為何箱曬效果會略遜於日曬呢？我們進一步使用便攜式紫外線輻射計，測試比較燈箱

中燈管蓋上壓克力板前後的紫外線強度。發現當紫外線燈管上放上壓克力板時，其紫外線強度因為被遮擋平均立即降低約 32%。

燈管上未蓋壓克力板					燈管上蓋上壓克力板			
次數	UVI Index	UV grade	UV radiation	平均值	UVI Index	UV grade	UV radiation	平均值
1	9	4	912	922	6	3	637	618
2	9	4	911		6	3	629	
3	9	4	942		6	3	592	
4	9	4	925		6	3	617	
5	9	4	919		6	3	616	

其實我們的初衷並非要以箱曬取代日曬，只是希望可以提供穩定的光源，以及讓在晚上工作者或陰雨天時也可以進行藍曬。從上表可以看到，燈箱的紫外線強度是很穩定的，參閱我們測量太陽紫外線強度的補充<sup>[補充3]</sup>可以知道，太陽的紫外線強度變化很大。因為燈箱中的紫外線強度穩定，所以藍曬圖效果很容易掌握。我們製做的燈箱略大於 A3 尺寸，曬揸袋或書衣都很適合，蓋子密合度很高，整體美觀安全。若增加兩條四切四座延長線，組裝金額合計 4000 多元(扣掉延長線只要 3000 多元)，比起市售機型划算許多(4 開約 15000 元，並且沒有蓋子)。

**六、不同定色劑及不同濃度定色劑的藍曬圖之差異：**我們用 A、B、C、F 四種布料進行箱曬，然後以不同定色劑浸泡後再清洗、晾乾得藍曬圖。由表 7 及圖 8 可知，以食醋為定色劑的效果大多比雙氧水和酒精好，且添加量在 60 毫升以內有正相關的關係。我們討論後認為，酸性定色劑的氫離子使檸檬酸根恢復成檸檬酸，檸檬酸根減少就會使普魯士藍沉澱產生速率變慢，因此使圖案顏色與清晰度維持一定。(此情形可參閱參考文獻四<sup>[4]</sup>，作者發現草酸根與赤血鹽的反應亦有此現象。)

**七、藍曬圖的耐洗程度之探討：**從表 8 和圖 9 可知，藍曬圖對於我們選擇的清潔劑多數難保其色彩。本研究使用的清潔劑種類及其界面活性劑或主成分如下：

清潔劑種類	市售洗衣粉	市售洗衣精	自製環保清潔劑	小蘇打	漂白水	自製手工皂液
界面活性劑或主成分	十二烷基硫酸鈉	十二烷基苯磺酸鈉	月桂醇聚氧乙烯醚硫酸鈉	碳酸氫鈉	次氯酸鈉	脂肪酸鈉

我們選擇 B、C、F 三種效果較好的藍曬圖( $\Delta E$  平均值為 50~60 之間)進行清洗，除了經過自製柑橘環保清潔劑清洗的 B、C 兩種布料， $\Delta E$  值仍可維持在 40 以上，其他清潔劑清洗的圖案  $\Delta E$  值均降至 30 以下。我們認為雖然每種清潔劑使用量相同，但自製環保清潔劑在製作過程中已加入大量水稀釋，因此取相同體積時，其成分的濃度應該比其他清潔劑都要低，因此無法說明月桂醇聚氧乙烯醚硫酸鈉的清潔力較差。從本研究的照片可

以看到 $\Delta E$  值低於 30 以下，已經非常模糊。因此可知，僅使用定色劑印製在布料上的藍曬圖，不適合印在需要經常清洗的物品上。布料 B 的圖案因為較為明顯清晰，因此亦較能維持其 $\Delta E$  值，故可知欲提升藍曬圖的耐洗力，必須提高普魯士藍的附著力。

## 陸、結論

- 一、使用 7 支、8w、UVA、T5 黑燈管自製燈箱，曝曬 15 分鐘就可以得到很棒的藍曬圖。
- 二、以色差儀的 L 值和 $\Delta E$  值描述藍曬圖的品質客觀且有說服力，尤以 $\Delta E$  值為佳。
- 三、布料質量密度大(M/V)、經緯密度大(織線密)、厚度薄、平紋織法、含棉量高，所得藍曬圖較佳。
- 四、新配好的感光液進行藍曬的效果不是最好的，放置到第二天(約 30 小時)會比新鮮的溶液更好。
- 五、自製燈箱亮的燈管數不同時，藍曬效果即不同：7 支燈管優於 4 支再優於 3 支。
- 六、晴天日曬的藍曬圖效果比自製的燈箱略佳，節能考量，建議白天有陽光時仍以日曬為最佳選擇；自製燈箱光源穩定，非常適合於夜晚或陰雨天使用。
- 七、食醋對藍曬圖的定色優於雙氧水和酒精。
- 八、藍曬圖不耐洗，需要經常清洗的衣物不適合用藍曬印製圖案。也許可以藉由媒染劑或固色劑輔助印製，以提高普魯士藍附著於布料的強度，值得未來探討。
- 九、展望：
  - (一)起初我們對自製燈箱的性能無法完全掌控，因此曬出的藍曬圖常不完美，但隨著操作的嫺熟穩定，我們已能印製出精美的藍曬圖及藍曬工藝作品。我們希望能將此項技術推廣給更多喜歡創作的人們。
  - (二)經由這次科展，我們希望學校可以發展出更深入的藍曬課程，這個反應結合高中化學課程中氧化還原、光反應及錯合物、反應機構、速率定率、化學平衡等種種概念，進而可以融合環境保護、經濟效益等議題，最終可以形成一門跨域多元的探究實作課程，不僅有趣，且極具意義。

## 柒、參考文獻資料及其他

- 一、藍晒的歷史 (2019 年 7 月 10 日)。引自凡思若藝部落格  
<https://tovisionary.blogspot.com/2019/07/blog-post.html>
- 二、藝享影像工作室(2021 年 2 月 28 日)。藍色記憶—淺談藍曬的歷史和發展。

<https://ppfocus.com/0/fa2407b16.html>

三、陳孟男(2014年8月20日)。人像藍印術。台灣化學教育第三期

<http://chemed.chemistry.org.tw/?p=2830>

四、周芳妃、李盈萱、陳靜瑋(2016年7月)。微量化學實驗：小綠綠晶體與藍印術微量實驗(上)。台灣化學教育第14期。<http://chemed.chemistry.org.tw/?p=17802>

五、高中選修化學IV(2022)。

六、維基百科(2022)。檸檬酸鐵。<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/檸檬酸鐵>

七、施建輝(2016)。藍印術的另類實驗與探討檸檬酸根的反應。台灣化學教育第三期(3)。

<http://chemed.chemistry.org.tw/?p=15657>

八、曾俊迪(2020)。BLUE是藍，普魯士藍—藍印術的反應機構與紫外線試紙。第19屆旺宏科學獎成果報告書。

[https://www.mxeduc.org.tw/scienceaward/history/projectDoc/19th/doc/SA19-326\\_final.pdf](https://www.mxeduc.org.tw/scienceaward/history/projectDoc/19th/doc/SA19-326_final.pdf)

九、彭勻霖、侯禹彤、吳芮昕、彭勻霆、楊立丞(2021)。藍到非晒不可—光雕顯影術，以投影機為例。中華民國第61屆中小學科學展覽會作品說明書。

<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/61/pdf/NPHSF2021-080218.pdf>

十、黃蒼恩、張采甯、李昕怡、張鈺泓(2017)。藍"住陽光,"晒"出幸福—藍晒關鍵揭迷。中華民國第57屆中小學科學展覽會作品說明書。

<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/57/pdf/080212.pdf>

十一、蔡涵芸、李芸蓁、蔡宇翔、鍾茲涵(2021)。藍色狂想曲—藍晒變色探究。中華民國第61屆中小學科學展覽會作品說明書。

[file:///C:/Users/cchs/Downloads/19063\\_NPHSF2021-080204%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/cchs/Downloads/19063_NPHSF2021-080204%20(1).pdf)

十二、你說的“藍”是什麼“藍”—藍晒感光液呈色探討—(2020)。屏東縣第60屆國中小學科學展覽會作品說明書。[https://sci.ptc.edu.tw/Upfile/Works/1583222567\\_874955\\_97.pdf](https://sci.ptc.edu.tw/Upfile/Works/1583222567_874955_97.pdf)

十三、黃鼎翔、陳玟均、楊承昕(2020)。氘氘紙巾悠悠我心。2020全國科學探究競賽

<https://sciexplore2020.colife.org.tw/Upload/da1ce533-ac8b-47a3-9a1d-77b7c3083a1f-20200425132111654.pdf>

十四、黃東榕(2020年4月6日)。自宅暗房|一個簡易藍晒燈箱的設計歷程分享。

<https://vocus.cc/article/5e8ad944fd89780001c330af>

十五、翰軒文化(2021)。4開紫外線燈箱。

[http://Www.Hansen.Com.Tw/Main/Show\\_product/2021100002](http://Www.Hansen.Com.Tw/Main/Show_product/2021100002)

十六、燈管。百科知識。<https://www.easyatm.com.tw/wiki/%E7%87%88%E7%AE%A1>

十七、txt doc2000(2006) (飲水此，2023年2月13日更新)。黑光燈(氣體放電燈)。百度百科。<https://baike.baidu.com/item/%E9%BB%91%E5%85%89%E7%87%88/435999>

十八、ViewSonic(2020年10月20日)。什麼 Delta E ? 他又為何色彩準確度很重要?  
<https://www.viewsonic.com/library/zh-hant//藝術/什麼是-delta-e?它又為何對色彩準確度很重要?/>

十九、三角洲E 101。GitHub 資料庫。<http://zschuessler.github.io/DeltaE/learn/>

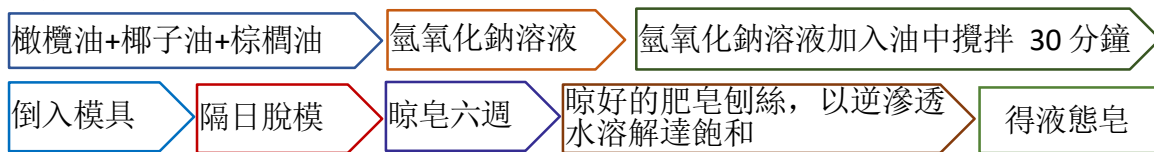
二十、黃玲娉(2018)。由纖維到服飾。財團法人紡織產業綜合研究所  
<https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/c000003/detail?ID=09dd9f3d-2123-42fd-aedc-e5f39a692968>

二十一、吳樹屏。認識織物- 材質應用課程-The Application of Material in Styling。環球科技大學美容造型設計系。<http://denny.77bbs.com/material/pdf/CH04.pdf>

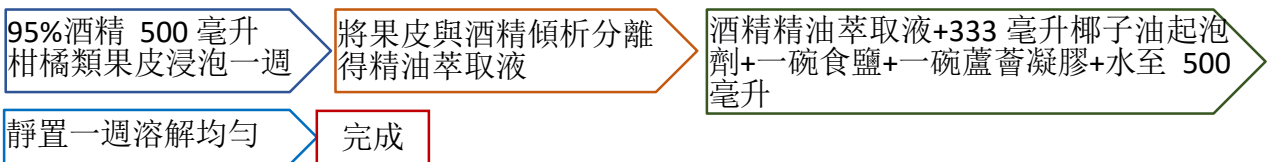
二十二、何綺婷，張皓帆(2021)。藍色顏料之藍曬奇旅。化學科普(2021)專刊。  
<https://www.koushare.com/post/postdetail/4386>

補充資料：

### 一、自製液態皂



### 二、自製環保清潔劑



### 三、陽光 UV 強度測定

時間	5/29			5/30			6/1			6/8			6/9		
	UVI index	UV grade	UV radiation	UVI index	UV grade	UV radiation	UVI index	UV grade	UV radiation	UVI index	UV grade	UV radiation	UVI index	UV grade	UV radiation
8:00	01	1	26	01	1	96	04	2	441	3	2	224	3	2	226
9:00	1	1	42	04	2	497	09	4	932	3	2	288	3	2	309
10:00	14	6	1419	09	4	993	09	5	996	11	6	1149	14	6	1421
11:00	12	6	1259	03	2	301	09	5	980	12	6	1216			
12:00	10	5	1011	03	2	299	01	1	57	10	5	1025	9	4	965
13:00	15	6	1500	03	2	209	09	5	905	2	1	161	15	6	1500
14:00	13	6	1345	01	1	94	09	5	973	3	2	252	5	3	596
15:00	09	5	962	01	1	46	13	6	1373	7	4	701	3	2	226
16:00	01	1	29	0	0	0	05	3	539	1	1	142			
17:00	01	1	32	0	0	0	05	3	520	3	2	224			

## 【評語】 050208

本研究發現布料質量密度大(M/V) 、經緯密度大(織線密) 、厚度薄、平紋織法、含棉量高，所得藍曬圖較佳，但從作品上不容易發現這些結果。此次採用紫外光燈管作為固定的光源，製作出紫外光燈箱，使藍曬可以在光源強度維持定值的狀況下操作，但分析方法沒有系統化。



# 作品海報

# 燈下藍

The background is a textured, painterly illustration of a traditional Chinese building with a tiled roof and a courtyard. The colors are muted, with shades of blue, grey, and beige. The style is reminiscent of a watercolor or a textured print.

自製燈箱的藍曬研究

# 壹、研究動機

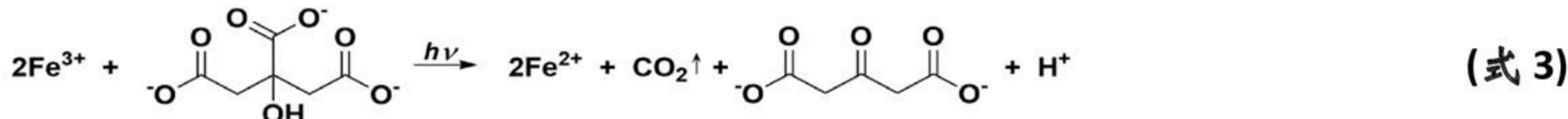
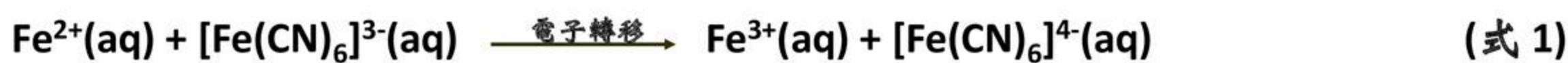
高一時我們在多元選修課學了藍印術，覺得非常有趣，希望能了解藍曬的原理，因此我們首先決定參加2022年10月15日全國小論文競賽(獲得甲等)，做了有關藍曬的主題，讓自己能從研究中更了解藍曬的原理與意義；並且得到日曬在6分鐘以上已無太大差異、同種不同布以粉色和白色效果最好、感光液塗刷次數不是越多越好。這些研究變因實在不足以解決我們心中有關藍曬的各種疑惑，便決定再利科學展的機會更深入了解藍曬的化學原理，且希望做出更好的藍曬圖。這次科學展我們也應用了多元選修課程中學到的自製棉皮環保清潔劑和手工皂，來探討藍曬圖的耐洗度。去年12月參加跨校小論文競賽口頭報告過程中，評審質疑我們的藍曬圖僅有質性探討沒有客觀的數據表達，因此我們閱讀了很多文獻，確實只有一篇曾將藍曬圖的效果以數據呈現，但該作者自述其「實驗最終無法達成起始期望」，因此我們下定決心要使用數據分析，期能客觀呈現藍曬結果。一般的藍曬會於日光充足時進行顯影，效果很好，但陰天或光線昏暗時，藍曬時間須拉長且失敗機會大，夜晚則無法進行藍曬。可見以日曬為光源，無法控制照射強度及光源的穩定性。於是我們採用紫外光燈管作為固定的光源，製作出紫外光燈箱，使藍曬可以在光源強度維持定值的狀況下操作。利用肉眼觀察藍曬圖色彩的深淺是不可靠的，因為若碰到顏色相近時則很難準確比較呈色差異，於是我們這次使用色差儀來檢測藍曬圖，分析由L值(亮度)、a值(正紅/負綠)、b值(正黃/負藍)所組合成的 $\Delta E$ 值，客觀比較出藍曬的結果。

# 貳、研究目的

- 一、找出自製燈箱曝曬的最佳時間。
- 二、比較不同布料的藍曬圖。
- 三、感光液存放時間的感光效果之比較。
- 四、比較曝曬光源強度不同的藍曬圖。
- 五、比較自製燈箱與日曬的藍曬圖。
- 六、不同定色劑及定色劑濃度的藍曬圖之差異。
- 七、藍曬圖的耐洗程度之探討。

# 參、文獻探討

## 藍曬的化學原理



# 肆、實驗步驟



# 伍、研究架構圖



# 陸、研究設備器材



# 柒、成果展示

表1 找出自製燈箱曝曬的最佳時間

布料編號	曝曬時間	圖例	$\Delta E$
A	15min		43.58
	20min		46.10
	25min		46.10
B	15min		40.52
	20min		49.11
	25min		60.54
C	15min		62.89
	20min		25.62
	25min		26.05
D	15min		49.81
	20min		26.95
	25min		45.16

表2 布料分析

布料編號	布料性質	吸水性(秒/滴)	彈性(cm)伸長長度	平均厚度(cm)	經緯密度(1in <sup>2</sup> )	質量密度(g/cm <sup>3</sup> )	照片
A	細緻、平紋織	需用壓力才能滲透	差長: 0.2 寬: 0.3	0.1	63*56	0.11	
B	細緻、平紋織	97	有彈性 長: 0.5 寬: 1.0	0.1	70*76	0.12	
C	細緻、平紋織	45	有彈性 長: 0.9 寬: 0.9	0.2	64*80	0.10	
D	粗糙、平紋織	340	彈性差 長: 0.2 寬: 0.1	0.4	37*58	0.08	
E	粗糙、平紋織	25	彈性差 長: 0.3 寬: 0.2	0.2	50*38	0.07	
F	細緻、雙股平紋織	60	彈性差 長: 0.2 寬: 0.4	0.2	23*19 (*2) 雙股	0.06	
G	細緻、針織物	35	彈性最佳 長: 1.2 寬: 1.3	0.4	48G(G是針數)	0.05	
H	粗纖維、網眼密、雙股平紋織	50	彈性差 長: 0.1 寬: 0.3	0.5	26*34 (*2) 雙股	0.05	
I	粗纖維、針織物	48	彈性佳 長: 2 寬: 1	0.3	35G	0.04	

圖1 不同布料箱曬平均L值

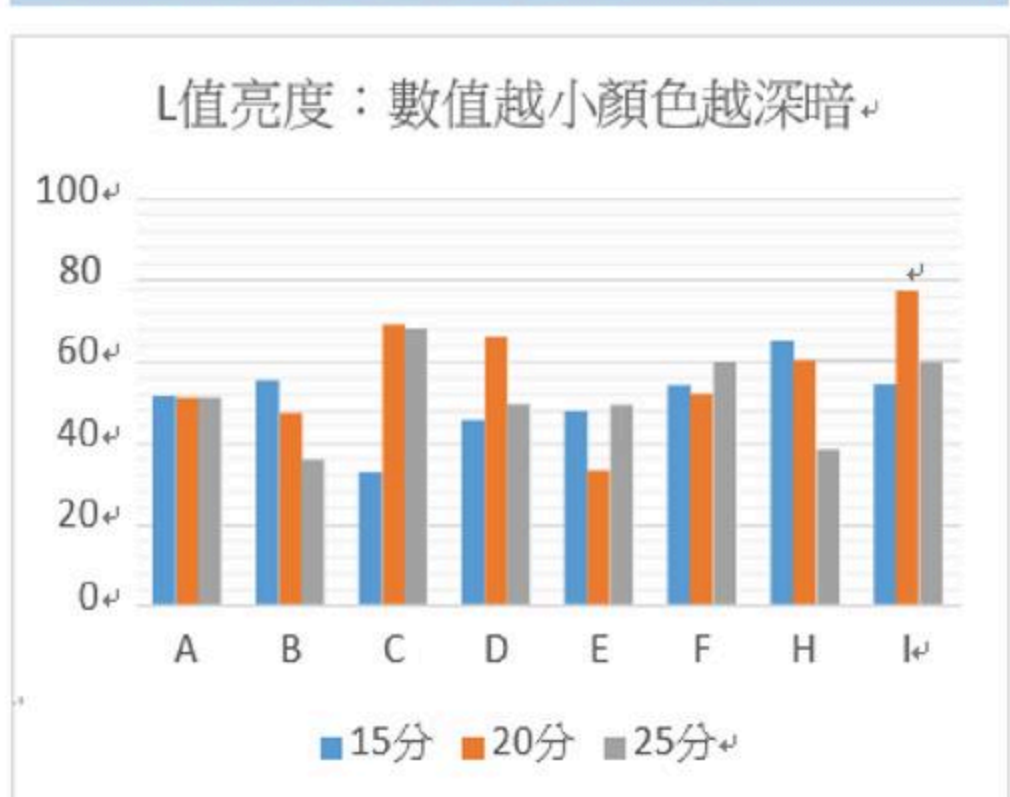


圖2 不同布料箱曬平均 $\Delta E$ 值

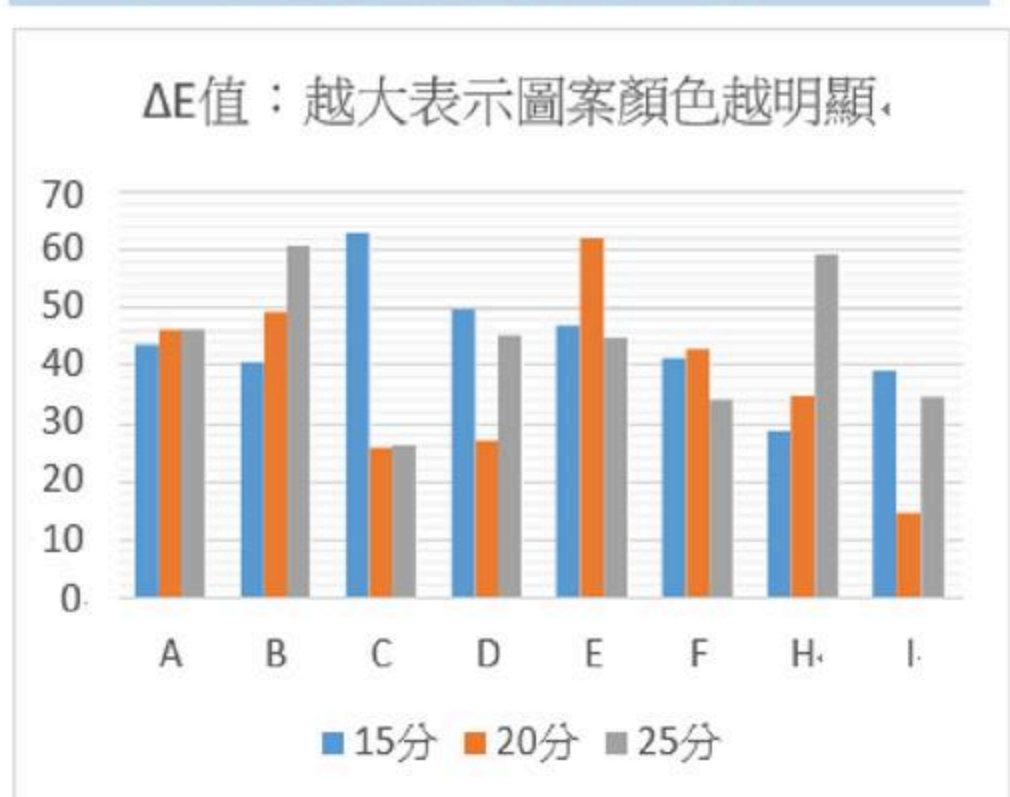


圖3 不同布料的a(正紅/負綠)、b(正黃/負藍)值

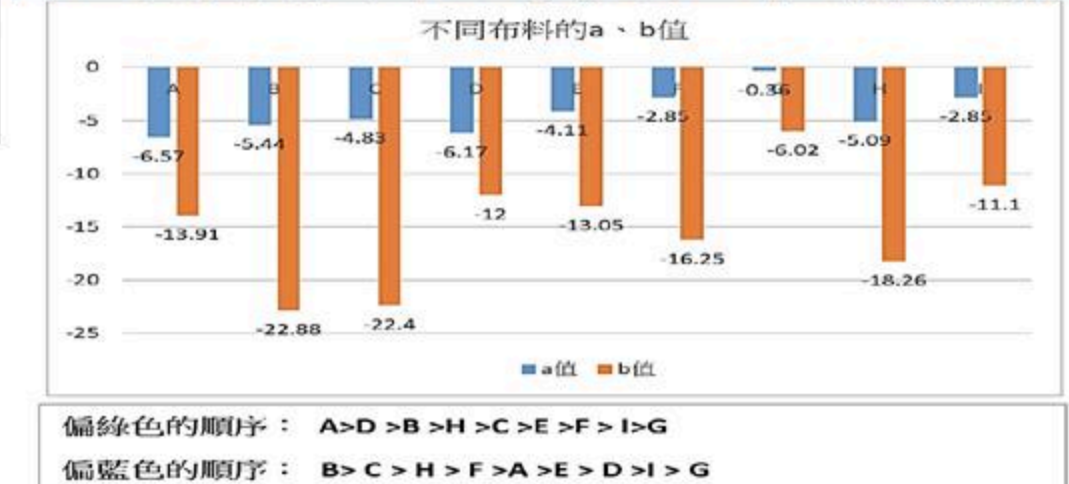
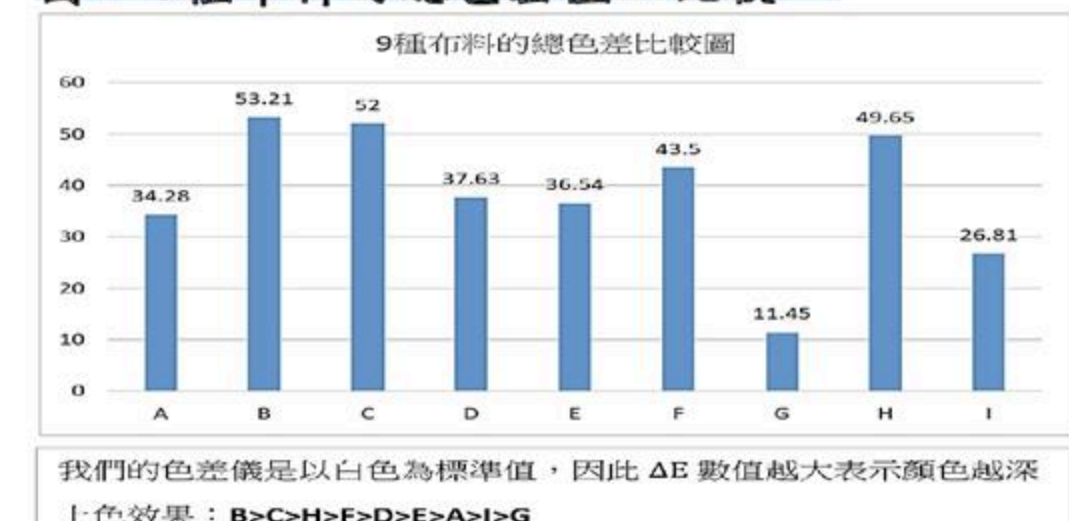


圖4 9種布料的總色差值 $\Delta E$ 比較



# 築、成果展示 (續)

表4 不同時間的感光液效果

不同布料	存放時間	箱曬情形	L值亮度	a值正紅/負綠	b值正黃/負藍	ΔE
B	新鮮		55.27	-6.36	-19.2	40.52
	一天		41.34	-6.57	-20.82	53.57
	二天		55.71	-6.76	-19.14	41.3
C	新鮮		32.56	-4.64	-24.3	62.89
	一天		33.84	-5.91	-26.92	62.7
	二天		63.41	-11.89	-14.3	32.72
F	新鮮		49.11	-3.82	-16.46	44.42
	一天		54.79	-5.29	-17.94	44.48
	二天		58.78	-3.82	-16.46	41.76

圖5 感光液存放時間對藍曬圖的影響

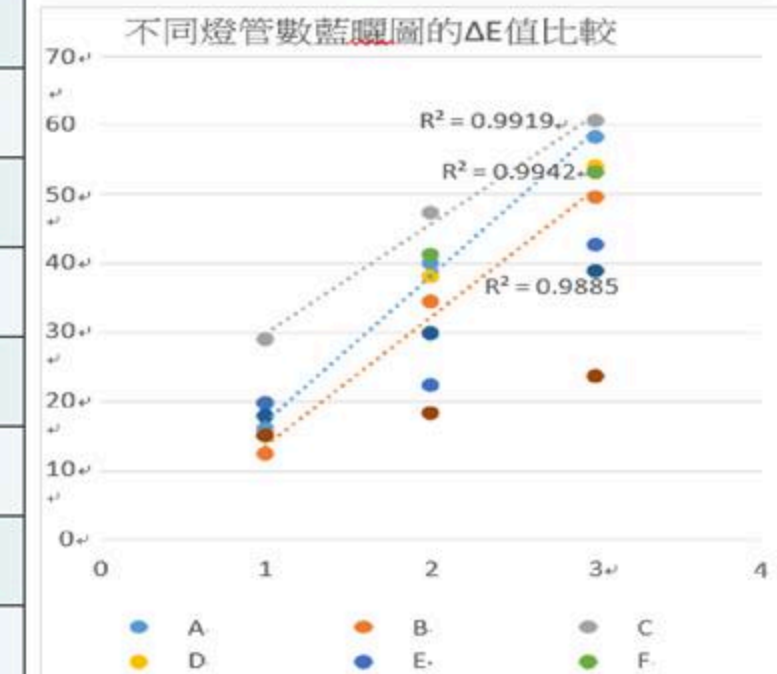
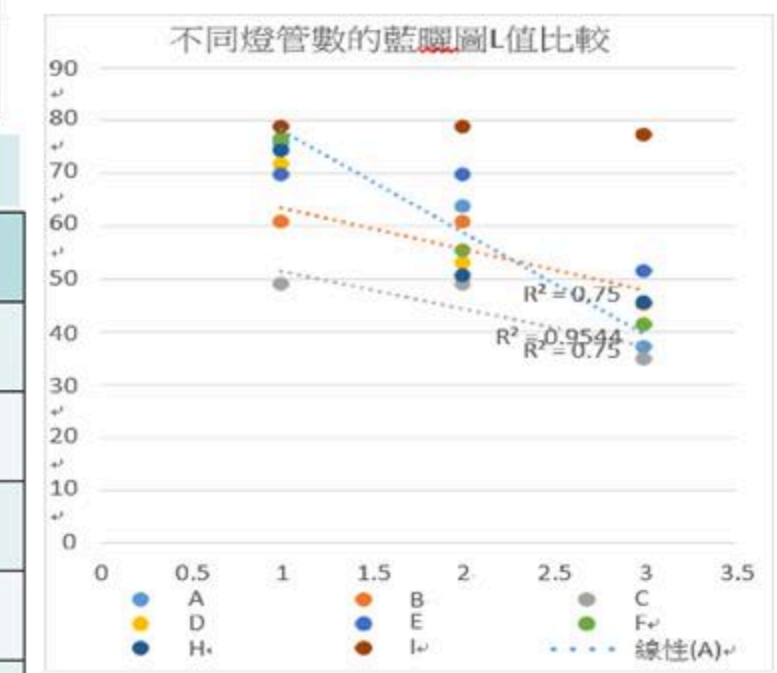
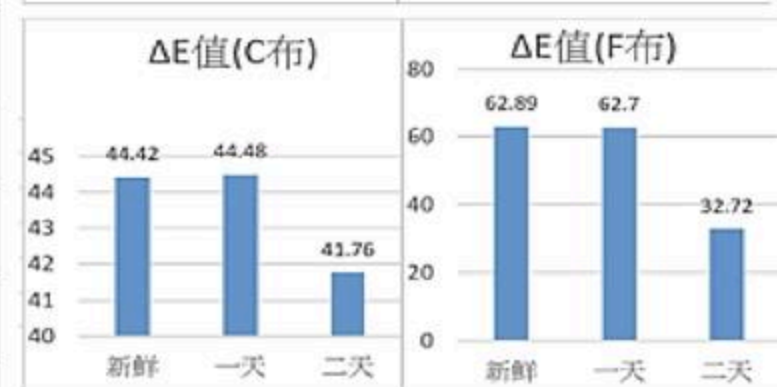
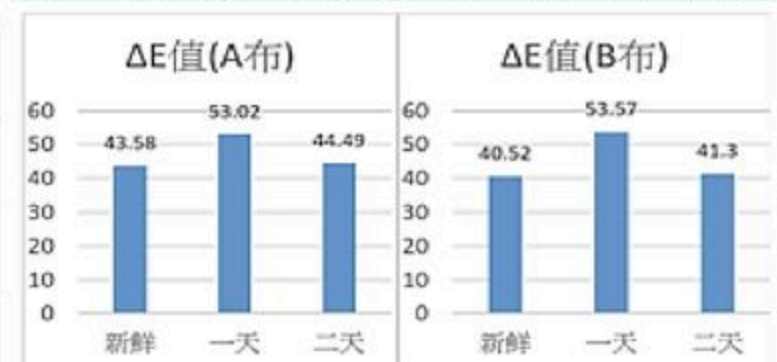


表5 曝曬光源強度不同的藍曬圖

布料編號	燈管數	圖例	布料編號	燈管數	圖例
A	3支		E	3支	
	4支			4支	
	7支			7支	
B	3支		F	3支	
	4支			4支	
	7支			7支	
C	3支		H	3支	
	4支			4支	
	7支			7支	
D	3支		I	3支	
	4支			4支	
	7支			7支	

表6 自製燈箱與日曬的藍曬圖

布料編號	日曬	L值亮度	a值正紅/負綠	b值正黃/負藍	ΔE	箱曬	L值亮度	a值正紅/負綠	b值正黃/負藍	ΔE
A		38.96	-7.00	-22.84	55		59.7	-6.57	-13.91	34.28
B		35.51	-6.28	-24.09	58.18		42.44	-5.44	-22.88	53.21
C		27.88	-4.31	-24.57	64.13		43.48	-4.83	-22.4	52
D		32.93	-7.21	-22.87	59.9		55.36	-6.17	-12	37.63
E		36.42	-6.01	-21.52	56.07		56.59	-4.11	-13.05	36.54
F		42.27	-3.01	-8.52	43.85		50.06	-2.85	-16.25	43.5
G		78.12	-3.25	-9.96	15.82		15.82	0	0	15.82
H		32.37	-5.79	-22.81	59.95		44.53	-5.09	-18.26	49.65
I		45.34	-5.82	-16.77	46.33		66.13	-2.85	-11.1	26.81

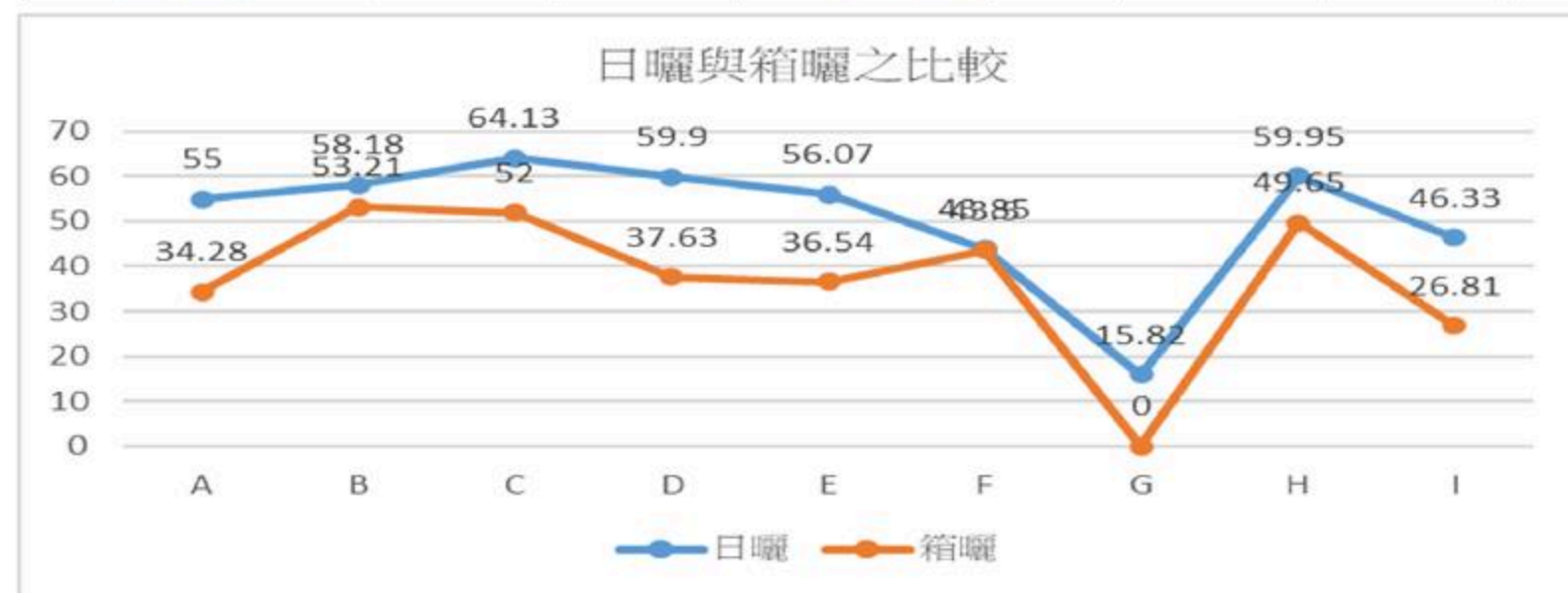


表7 不同定色劑的藍曬圖之差異

布料編號	定色劑種類	定色劑量mL	圖例	ΔE	布料編號	定色劑種類	定色劑量mL	圖例	ΔE
A	雙氣水	20		29.52	C	雙氣水	20		31.00
		40		35.87			40		39.22
		60		34.6			60		42.03
	食醋	20		42.06		食醋	20		41.40
		40		34.36			40		51.55
		60		49.94			60		55.13
	酒精	20		27.29		酒精	20		47.61
		40		40.13			40		48.63
		60		36.13			60		40.8
B	雙氣水	20		45.23	F	雙氣水	20		47.59
		40		40.17			40		37.75
		60		40.71			60		25.25
	食醋	20		49.61		食醋	20		47.48
		40		52.04			40		51.00
		60		56.31			60		43.49
	酒精	20		36.62		酒精	20		39.51
		40		39.85			40		45.36
		60		45.49			60		45.29



ABC不同布料使用不同定色劑和不同濃度定色劑的比較

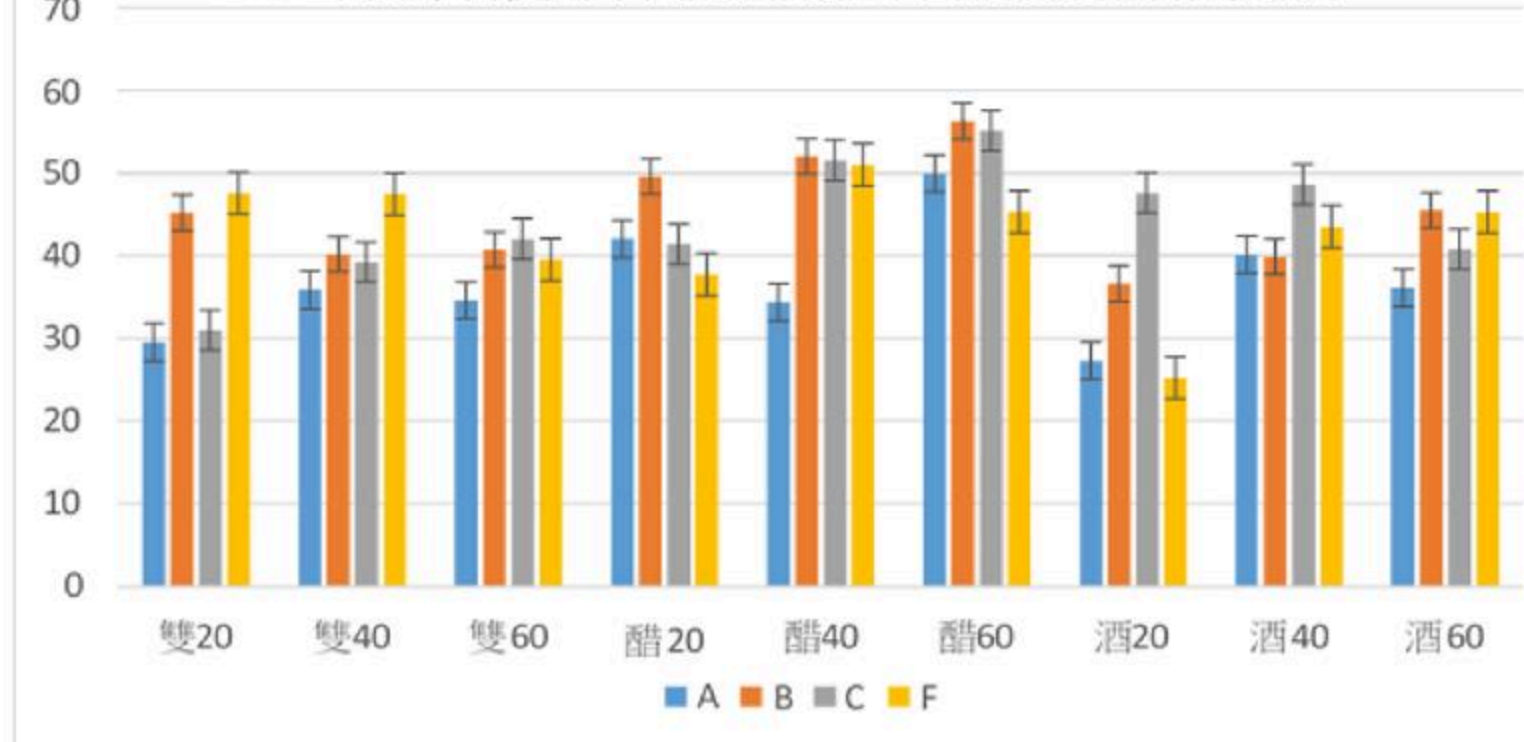
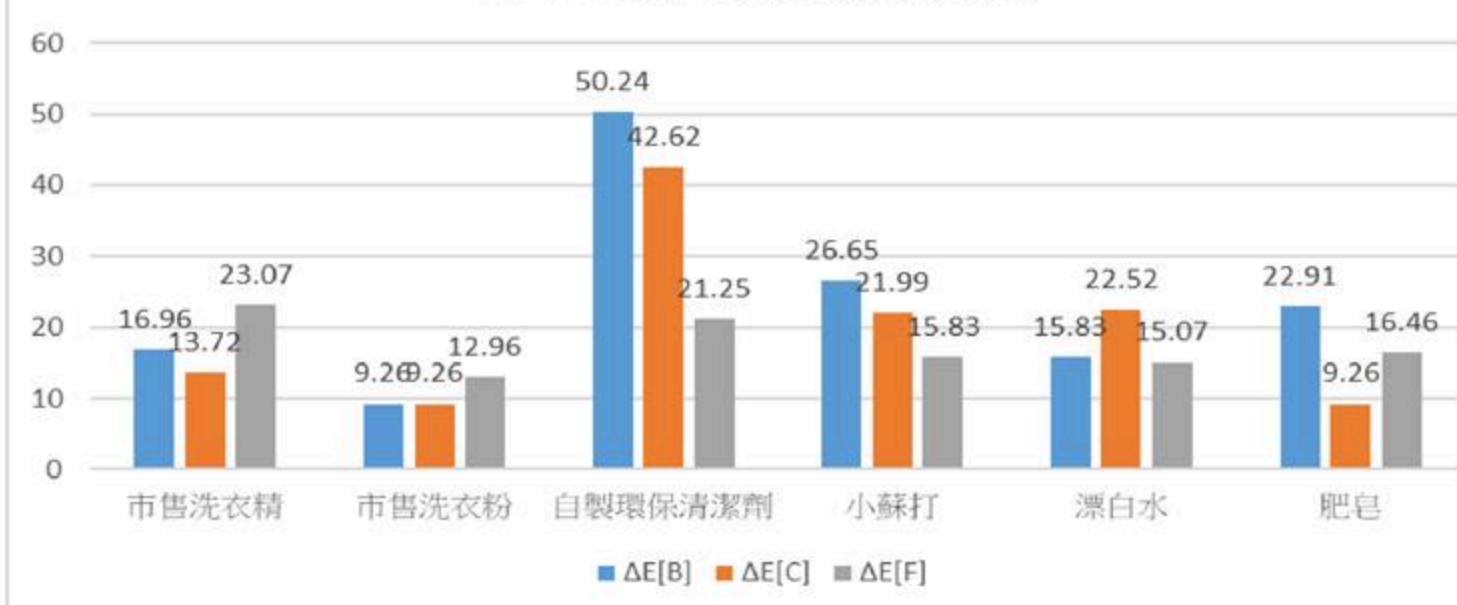


表8 藍曬圖的耐洗程度之探討

布料編號	清潔劑種類	L值亮度	a值正紅/負綠	b值正黃/負藍	ΔE	布料編號	清潔劑種類	L值亮度	a值正紅/負綠	b值正黃/負藍	ΔE
B	市售洗衣精	75.72	-3.17	-7.73	16.96	C	小蘇打	69.47	-5.17	-3.65	21.99
	市售洗衣粉	80.69	-0.13	6.86	9.26		漂白水	70.26	-7.16	-6.59	22.52
	自製環保清潔劑	45.17	-7.96	-20.69	50.24		肥皂	82.95	-3.54	-2.21	9.26
	小蘇打	65.51	-5.78	-7.67	26.65		市售洗衣精	70.38	-2.87	-11.21	23.07
	漂白水	75.29	-3.23	-68.25	15.83		市售洗衣粉	85.78	-0.06	3.13	12.96
	肥皂	69.29	-5.50	-5.24	22.91		自製環保清潔劑	69.98	-2.82	-4.71	21.25
C	市售洗衣精	78.98	-3.83	-6.13	13.72	F	小蘇打	70.08	-3.60	-5.46	15.83
	市售洗衣粉	85.78	-0.13	6.86	9.26		漂白水	75.7	-1.68	0.05	15.07
	自製環保清潔劑	50.89	-7.99	-13.83	42.62		肥皂	74.79	-2.95	-1.78	16.46

布料BCF以不同清潔劑清洗結果



## 捌、討論

一、找出自製燈箱曝曬的最佳時間：根據表 1、圖 1、圖 2 推論，我們製做的燈箱在曝曬15分鐘可以得到很好的藍曬圖，與曝曬 25 分鐘相近。但也發現曝曬 20 分鐘時效果反而不好，原因目前難以判斷，表示燈箱可能存在一些不穩定因素。我們反覆嘗試 15 分鐘效果確實穩定，又為避免溫度可能產生的影響(我們測量燈箱開啟 3、4、7 支燈管 15、20、25 分鐘，溫度平均如下表 9)以及節能因素，最終選定 15 分鐘的曝曬時間進行各項變因的探討。

二、比較不同布料的藍曬圖：我們在布莊剪了 9 塊不同的白色布料，經過布料性質、抽紗及燃燒分析判斷 F、G、I 因為燃燒時有融化現象，應該含較高比例的合成纖維，其餘布料燃燒時多為燒紙味、形狀較能保持原形，因此推測含棉量較高。根據表 2、表 3、圖 3、圖 4 可知，箱曬的效果最佳的布料為 B，該布料的特性為吸水性不佳、質量密度最大 (M/V)、彈性略差、厚度最薄、燃燒速度快、纖維是單股平紋織法、經緯密度最大、含棉量高(燒紙味、灰燼形狀不變)等。依據表 2 及表 3 整理可得下列性質比較順序如右表。綜合上述，我們認為布料經緯密度大、質量密度大、單股平紋織法和厚度小有利於藍曬圖品質。

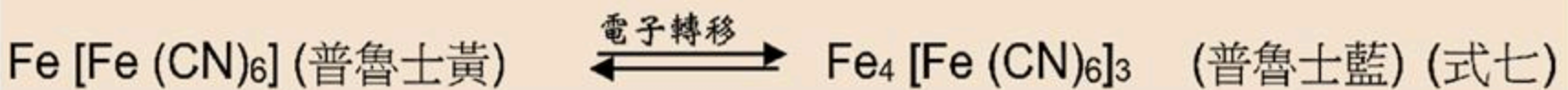
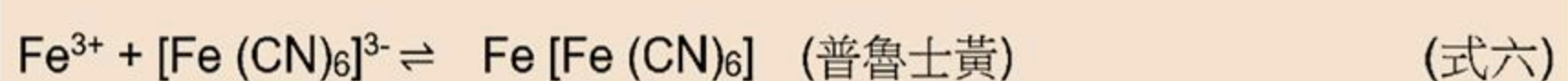
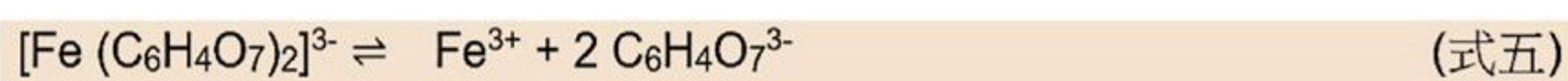
三、感光液存放時間的感光效果之比較：我們參加市賽時發現第一天新配製的感光液感光效果並未達到最好，因此建議可以放至抽屜或櫥櫃陰暗處隔天再使用效果會更好。我們想知道究竟在放置一天後，溶液發生了什麼事，可以使藍曬圖品質變好？於是進一步對溶液做吸光度量測以便得到較精準的最佳反應時間。結果發現在第 30 小時的時候，溶液對 365nm 紫外光的吸光度達到最大值。進一步證實溶液在第二天的效果比第一天好。

表 9 不同燈管、不同時間燈箱的溫度

燈箱平均升溫°C	15 分鐘	20 分鐘	25 分鐘	60 分鐘
3 支	30	33.5	35	34.5
4 支	33.17	36.5	38.17	41
7 支	39.33	39.67	40.17	45

圖案效果 ΔE 值	B>C>H>F>D>E>A>I>G
吸水性(由好至差)	E>G>C>I>H>F>B>D>A
彈性(由好至差)	I > G > C > B > F > A ≅ E ≅ H > D
布料厚度	H>D>G>I>C=E>F>A=B
經緯密度	B ≅ C > A > D > E = F > H ; G>I <span style="color:red">← 單股平紋織      雙股平紋織      針織 →</span>
質量密度(M/V)	B>A>C>G>F>D>H>I>E
燃燒速度	E>A>B>F>G>C>I>D>H

究竟是何原因造成？查閱許多文獻並無結論。我們討論後認為：吸光度變大的原因應該是此反應的速率決定步驟中的檸檬酸根濃度逐漸變大。亦即感光液配製後，檸檬酸鐵錯離子即會開始進行分解反應(式五)，產生的鐵離子會和赤血鹽產生鐵氰化鐵(普魯士黃)(何綺婷、張皓帆，2021)<sup>[22]</sup>，同時溶液中少量能量較高的檸檬酸根會開始進行電子轉移，而使普魯士黃轉變成亞鐵氰化鐵(普魯士藍)。我們推測，溶液放置於黑暗中的前30小時，檸檬酸鐵錯離子分解為鐵離子和檸檬酸根的反應速率大於鐵氰化鐵(普魯士黃)和亞鐵氰化鐵(普魯士藍)形成的速率，因此檸檬酸根和鐵離子的濃度均會逐漸增加。



但鐵離子會進一步與赤血鹽的六氰鐵離子結合成鐵氰化鐵(普魯士黃)，亦即鐵離子繼續進行上式六與式七之反應，因此可以看到溶液一直維持藍綠色且透光度降低。根據勒沙特列原理，鐵離子進行的反應，恰促使式五的反應有利於向右，因此可知溶液中檸檬酸根的濃度應會逐漸上升，導致測量出的吸光度逐漸增大。但30小時後，可能式五、式六、式七之間反應逐漸達成平衡，故物質濃度變化逐漸變小。

四、**比較曝曬光源強度不同的藍曬圖**：從表5、圖6可知，同一種布料在7支燈管曝曬下的L值皆比4支和3支小， $\Delta E$ 值則比較大，故可知紫外燈管亮的數目與藍曬的效果呈正相關。又由圖6可知， $\Delta E$ 值線性變化的判定係數( $R^2$ )非常高，因此可知比較 $\Delta E$ 值可以有效顯示藍曬圖的效果。

五、**比較自製燈箱箱曬與日曬的藍曬圖**：由表6及圖7可知，日曬的 $\Delta E$ 值皆比箱曬大，故得知日曬效果比箱曬效果好，因此若是有太陽，建議仍以日曬進行藍曬以節省能源。為何箱曬效果會略遜於日曬呢？我們進一步使用便攜式紫外線輻射計，測試比較燈箱中燈管蓋上壓克力板前後的紫外線強度。

發現當紫外線燈管上放上壓克力板時，其紫外線強度因為被遮擋平均立即降低約32%。

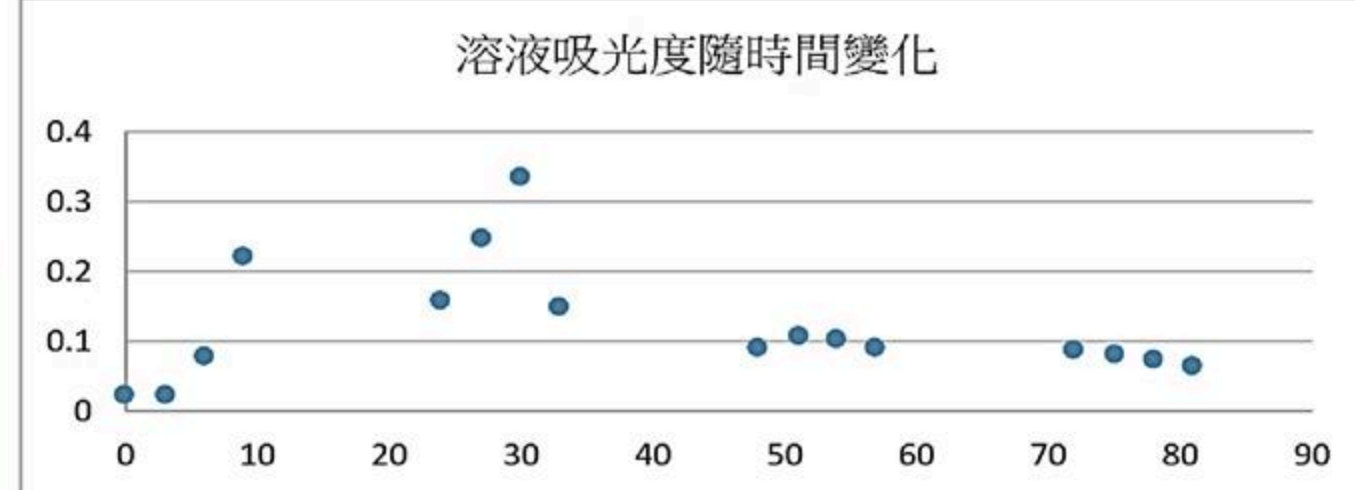
其實我們的初衷並非要以箱曬取代日曬，只是希望可以提供穩定的光源，以及讓在晚上工作者或陰雨天時也可以進行藍曬。從上表可以看到，燈箱的紫外線強度是很穩定的，參閱我們測量太陽紫外線強度的補充可以知道，太陽的紫外線強度變化很大。因為燈箱中的紫外線強度穩定，所以藍曬圖效果很容易掌握。我們製做的燈箱略大於A3尺寸，曬摺袋或書衣都很適合，蓋子密合度很高，整體美觀安全，組裝金額若增加兩條四切四座延長線合計4000多元(扣掉延長線只要3000多元)，比起市售機型划算許多(4開約15000元，並且沒有蓋子)。

六、**不同定色劑及不同濃度定色劑的藍曬圖之差異**：我們用A、B、C、F四種布料進行箱曬，然後以不同定色劑浸泡後再清洗、晾乾得藍曬圖。由表7及圖8可知，以食醋為定色劑的效果大多比雙氧水和酒精好，且添加量在60毫升以內有正相關的關係。我們討論後認為酸性定色劑的氫離子使檸檬酸根恢復成檸檬酸，檸檬酸根減少就會使普魯士藍沉澱產生速率變慢，因此使圖案顏色與清晰度維持一定。(此情形可參閱參考文獻四<sup>[4]</sup>，作者發現草酸根與赤血鹽的反應亦有此現象。)

七、**藍曬圖的耐洗程度之探討**：從表8和圖9可知，藍曬圖對於我們選擇的清潔劑多數難保其色彩。本研究使用的清潔劑種類及其界面活性劑或主成分如右表。我們選擇B、C、F三種效果較好的藍曬圖( $\Delta E$ 平均值為50~60之間)進行清洗，除了經過自製柑橘環保清潔劑清洗的B、C兩種布料， $\Delta E$ 值仍可維持在40以上，其他清潔劑清洗的圖案 $\Delta E$ 值均降至30以下。我們認為雖然每種清潔劑使用量相同，但自製環保清潔劑在製作過程中已加入大量水稀釋，因此取相同體積時，其成分的濃度應該比其他清潔劑都要低，因此無法說明月桂醇聚氧乙烯醚硫酸鈉的清潔力較差。從本研究的照片可以看到 $\Delta E$ 值低於30以下，已經非常模糊。因此可知，僅使用定色劑印製在布料上的藍曬圖，不適合印在需要經常清洗的物品上。布料B的圖案因為較為明顯清晰，因此亦較能維持其 $\Delta E$ 值，故可知欲提升藍曬圖的耐洗力，必須提高普魯士藍的附着力。

補充實驗：感光液存放時間的吸光度變化

感光液 A 值	08:00	11:00	02:00	05:00
第一天(新配好)	0.022	0.021	0.079	0.221
第二天	0.159	0.247	0.334	0.15
第三天	0.09	0.106	0.104	0.091
第四天	0.086	0.081	0.074	0.065



補充實驗：燈箱中燈管上方有無放置壓克力板的紫外線強度比較

次數	燈管上未蓋壓克力板				燈管上蓋上壓克力板			
	UVI Index	UV grade	UV radiation	平均值	UVI Index	UV grade	UV radiation	平均值
1	9	4	912	922	6	3	637	618
2	9	4	911		6	3	629	
3	9	4	942		6	3	592	
4	9	4	925		6	3	617	
5	9	4	919		6	3	616	

## 玖、結論

- 一、使用7支、8w、UVA、T5黑燈管自製燈箱，曝曬15分鐘就可以得到很棒的藍曬圖。
- 二、以色差儀的L值和 $\Delta E$ 值描述藍曬圖的品質客觀且有說服力，尤以 $\Delta E$ 值為佳。
- 三、布料質量密度大(M/V)、經緯密度大(織線密)、厚度薄、平紋織法、含棉量高，所得藍曬圖較佳。
- 四、新配好的感光液進行藍曬的效果不是最好的，放置到第二天(約30小時)會比新鮮的溶液更好。
- 五、自製燈箱亮的燈管數不同時，藍曬效果即不同：7支燈管優於4支再優於3支。
- 六、晴天日曬的藍曬圖效果比自製的燈箱略佳，節能考量，建議白天有陽光時仍以日曬為最佳選擇；自製燈箱光源穩定，非常適合於夜晚或陰雨天使用。
- 七、食醋對藍曬圖的定色優於雙氧水和酒精。
- 八、藍曬圖不耐洗，需要經常清洗的衣物不適合用藍曬印製圖案。也許可以藉由媒染劑或固色劑輔助印製，以提高普魯士藍附著於布料的強度，值得未來探討。
- 九、展望：

- (一) 隨著操作的嫻熟穩定，我們已能印製出更精美的藍曬圖及藍曬工藝作品，因此希望能將此項技術推廣給更多喜歡創作的人們。
- (二) 經由這次科展，我們希望學校可以發展出更深入的藍曬課程，這個反應結合了高中化學課程中氧化還原、光反應及錯合物、反應機構、速率定率、化學平衡等種種概念，進而可以融合環境保護、經濟效益等議題，最終可以形成一門跨域多元的探究實作課程，不僅有趣且極具意義。

## 拾、參考文獻資料及其他

- 一、藝享影像工作室(2021年2月28日)。藍色記憶—淺談藍曬的歷史和發展。<https://ppfocus.com/0/fa2407b16.html>
- 二、黃東榕(2020年4月6日)。自宅暗房|一個簡易藍曬燈箱的設計歷程分享。<https://vocus.cc/article/5e8ad944fd89780001c330af>
- 三、你說的“藍”是什麼“藍”—藍曬感光液呈色探討—(2020)。屏東縣第60屆中小學科學展覽會國中組化學科。[https://sci.ptc.edu.tw/Upfile/Works/1583222567\\_874955\\_97.pdf](https://sci.ptc.edu.tw/Upfile/Works/1583222567_874955_97.pdf)
- 四、ViewSonic(2020年10月20日)。什麼Delta E?他又為何色彩準確度很重要? <https://www.viewsonic.com/library/zh-hant//藝術/什麼是-delta-e?它又為何對色彩準確度很重要?/>
- 五、黃菁恩、張采甯、李昕怡、張鈺泓(2017)。藍“住陽光”晒“住幸福—藍曬關鍵揭迷。中華民國第57屆中小學科學展覽會作品說明書。<https://twf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/57/pdf/080212.pdf>
- 六、彭勻霖、侯禹彤、吳芮昕、彭勻靈、楊立丞(2021)。藍到非晒不可—光雕顯影術，以投影機為例。中華民國第61屆中小學科學展覽會作品說明書。<https://twf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/61/pdf/NPHSF2021-080218.pdf>
- 七、你說的“藍”是什麼“藍”—藍曬感光液呈色探討—(2020)。屏東縣第60屆中小學科學展覽會作品說明書。[https://sci.ptc.edu.tw/Upfile/Works/1583222567\\_874955\\_97.pdf](https://sci.ptc.edu.tw/Upfile/Works/1583222567_874955_97.pdf)
- 八、陳孟男(2014年8月20日)。人像藍印術<http://chemed.chemistry.org.tw/?p=2830>
- 九、凡思若藝部落格(2019年7月10日)。藍曬的歷史<https://toivisionary.blogspot.com/2019/07/blog-post.html>
- 十、蔡涵芸、李芸蓁、蔡子翔、鍾茲涵(2021)。藍色狂想曲-藍曬變色探究。中華民國第61屆中小學科學展覽會作品說明書。[file:///C:/Users/cchs/Downloads/19063\\_NPHSF2021-080204%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/cchs/Downloads/19063_NPHSF2021-080204%20(1).pdf)
- 十一、小張(2016年10月17日)。古典工藝-藍曬法(Cyanotype)<http://photoplanet.com/blueghost/cyanotype/>
- 十二、藍曬圖紫外燈箱<https://learning.mediatagtw.com/tag/%E8%97%8D%E6%9B%AC%E5%9C%96+%E7%B4%AB%E5%A4%96%E7%B7%9A+%E7%87%88>
- 十三、黃鼎翔、陳玖均、楊承昕(2020)。氫氣紙巾悠悠我心。2020全國科學探究競賽<https://sciexplore2020.colife.org.tw/Upload/da1ce533-ac8b-47a3-9a1d-77b7c3083a1f-20200425132111654.pdf>
- 十四、ViewSonic(2020年10月6日)。自宅暗房|一個簡易藍曬燈箱的設計歷程分享。<https://vocus.cc/article/5e8ad944fd89780001c330af>
- 十五、翰軒文化(2021)。4開紫外線燈箱。[http://www.hansen.com.tw/Main/Show\\_product/2021100002](http://www.hansen.com.tw/Main/Show_product/2021100002)
- 十六、燈管。百科知識。<https://www.easyatm.com.tw/wiki/%E7%87%88%E7%AE%A1>
- 十七、txtdoc2000(2006)(飲水此，2023年2月13日更新)。黑光燈(氣體放電燈)。百度百科。<https://baike.baidu.com/item/%E9%BB%91%E5%85%89%E7%87%88/435999>
- 十八、ViewSonic(2020年10月20日)。什麼Delta E?他又為何色彩準確度很重要? <https://www.viewsonic.com/library/zh-hant//藝術/什麼是-delta-e?它又為何對色彩準確度很重要?/>
- 十九、三角洲E 101。GitHub 資料庫。<http://zschuessler.github.io/DeltaE/learn/>
- 二十、黃玲媽(2018)。由纖維到服飾。財團法人紡織產業綜合研究所<https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/c000003/detail?ID=09dd9f3d-2123-42fd-aedc-e5f39a692968>
- 二十一、吳樹屏。認識織物-材質應用課程-The Application of Material in Styling。環球科技大學美容造型設計系。<http://denny.77bbs.com/material/pdf/CH04.pdf>
- 二十二、何綺婷、張皓帆(2021)。藍色顏料之藍曬奇旅。化學科普(2021)專刊。<https://www.koushare.com/post/postdetail/4386>