

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 化學科

佳作

080202

「墨」世不忘~天然鐵膽墨水之製作與最適化探討

學校名稱：雲林縣斗六市鎮西國民小學

作者： 小六 蘇軒儀	指導老師： 蔡易諦 許毓琪
-------------------	-----------------------------

關鍵詞：鐵膽墨水、單寧酸、CMYK

「墨」世不忘~天然鐵膽墨水之製作與最適化探討

摘要

本研究旨在加入五倍子、綠茶等天然材料以製作環境親和力高之鐵膽墨水。將自製墨水分為三代製作，以色差儀與軟體 ImageJ 測量顏色，找出最適化比例。綜合所有測量數據，自製墨水之最適化比例為**五倍子 100 公克，水 80 毫升，硫酸亞鐵 2 公克，阿拉伯膠 2 公克，丙酮 1.5 毫升者**，其特點如下：

1. 添加愈多五倍子，其顏色愈深，添加 100 公克五倍子 K 值為 99%；市售墨水 K 值為 95%。
2. 墨水加入丙酮，具有乾燥速度跟市售墨水相同及顏色變化微小的特點。
3. 五倍子墨水遇水不易暈染；單寧酸粉及市售墨水較無法防水。
4. 自製墨水顏色受日曬影響較小；市售墨水受影響較大。
5. 五倍子墨水筆跡較市售墨水具有良好的保存效果。

壹、前言

一、研究動機

平時，媽媽會以車床製作木頭鋼筆，分送給親朋好友。而我常用獲得的鋼筆書寫文字，因此也收藏了多種顏色的鐵膽墨水，繽紛的色彩使我漸漸對墨水產生興趣。於是，我深入研究墨水的成分，發現部分墨水中添加的「苯胺類」染料具有毒性。而六年級自然及社會課本提到，種種生態危機日益嚴重，解決生態危機的方法為致力保護環境。保護環境的其中一個途徑為「綠色化學」，其指標之一為「環境親和力」。因此我想製作不添加染料、顏色夠深的墨水，除讓鐵膽墨水能夠更加安全，提高其環境親和力外，同時美觀、實用。

二、研究目的

- (一) 研究各種天然材料跟硫酸亞鐵結合的效果。
 - 1-1 調製墨水，並測量其 TDS 值、pH 值及進行色層觀察。
 - 1-2 找出適合調製自製墨水的天然材料。
- (二) 研究不同配方墨水之書寫效果，並找出最適化比例。
 - 2-1 比較自製第一代墨水添加阿拉伯膠的書寫效果。
 - 2-2 比較自製第二代墨水添加阿拉伯膠及蜂蜜的差別。
 - 2-3 調整阿拉伯膠劑量自製第三代墨水。
 - 2-4 調整硫酸亞鐵劑量自製第三代墨水。
- (三) 研究自製最適化比例鐵膽墨水的書寫效果及乾燥時間。
- (四) 研究自製最適化比例鐵膽墨水之防水、抗光效果。

三、文獻回顧

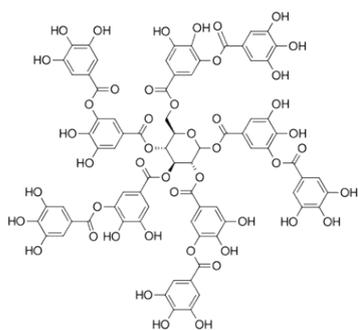
▼表 1-3-1 文獻回顧

作品名稱	相關研究內容
[第 31 屆全國中小學科展] 變色茶	所有茶水的靜置時間越長，顏色會越深。這是因為茶水中的單寧酸和鐵產生化學作用，才使其變黑、變深。
[第 54 屆全國中小學科展] 喝茶？找碴？- 單寧酸和茶的異想世界	單寧酸含量越高，茶葉浸泡越久，單寧酸的溶出量越多。
[第 61 屆全國中小學科展] 單寧酸現形記	單寧酸加上鐵離子就會成為單寧酸鐵。而綠茶的單寧酸含量最高，紅茶單寧酸含量最少。
[第 61 屆全國中小學科展] 察「顏」觀「色」~食品色素大解碼	使用色彩分析軟體 ImageJ 來進行色彩之 RGB 值分析工作，並且至網站將數值轉換為印刷四色 CMYK 值。

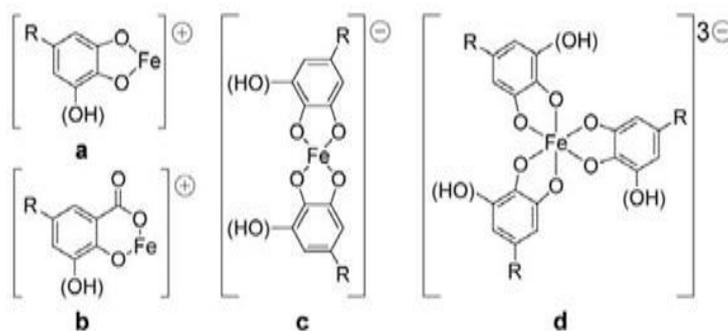
本研究主要想製作出對環境親和力較高的深色鐵膽墨水。鐵膽墨水會充分地滲入紙張，而墨水可以透過混合單寧酸與硫酸亞鐵製作，顏色深且抗光和防水。

鐵膽墨水是單寧酸加上鐵的化合物，基本成分包含單寧酸、硫酸亞鐵、阿拉伯膠及水。

單寧酸加上鐵可能的反應結構圖如下：



▲圖 1-3-1 單寧酸結構



▲圖 1-3-2 單寧酸加上鐵所形成的錯合物結構

圖片來源：stackexchange網站(How Does The Mordant, Ferric Acetate, Interact With Tannins When Ebonizing Wood?)

單寧酸是一種強大的抗氧化劑、還原劑，其羧酸基團容易失去 H^+ ，變成羧酸鹽離子。反應時，由 $FeSO_4$ 解離出二價鐵離子 (Fe^{2+}) 會取代 H^+ 的位置，生成聚合的有機金屬化合物。而鐵膽墨水的顏色之所以會逐漸變深，就是因為其內含的 Fe^{2+} 氧化為 Fe^{3+} 的過程，反應式為 $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+} + e^-$ ，這也是為什麼鐵膽墨水需儲存在密封良好的容器，且長時間存放可能會失效。另外，鐵膽墨水中的鐵含量較高時，墨水的黑度、耐曬性和耐水性都會增強，但過高則可能降低墨水穩定性，導致沉澱降低書寫性能。

因此，本實驗以軟體 ImageJ 分析墨水顏色，轉換為 CMYK 值。其中 K 代表黑色，其百分率越高，代表顏色越深，用以判斷墨水顏色深淺。我也使用色差儀測量自製與市售墨水的差別。進行資料蒐集並訪問附近大學文化資產維護系專家相關資訊，得到資訊如下：

▼表 1-3-2 $L^*a^*b^*$ 值及 ΔE 值意義

項目	相關資訊
$L^*a^*b^*$ 值	CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) 是國際照明協會的簡稱，負責制定測量顏色的國際標準。CIE 制定了 L^* 、 A^* 和 B^* 值來測量色值，這種測量方法稱為 $CIEL^*A^*B^*$ 。
	L^* 代表明度，意為從明亮(此時 $L^*=100$)到黑暗(此時 $L^*=0$)之間的變化。 a^* 值表示顏色從綠色($-a^*$)到紅色($+a^*$)之間的變化，而 b^* 值表示顏色從黃色($+b^*$)到藍色($-b^*$)之間的變化。
ΔE 值	<p>ΔE (ΔE) 值代表著與標準 $L^*a^*b^*$ 值的色差，其分級如下：</p> <p>【ΔE 值在 1.6-3.2】人眼分辨不出色彩的差異，通常被認為是相同的顏色。</p> <p>【ΔE 值在 3.2-6.5】經過專業訓練的人士可以辨別其差異，但普通人觀察不到其中的不同。</p> <p>【ΔE 值在 6.5-13】色差別容易識別，但可認為是相同的色調。</p> <p>【ΔE 值在 13-25】被認為是不同的色調，超過此值，則被認為是不同的顏色。</p>

貳、研究設備及器材

一、設備及器材

▼表 2-1-1 研究設備及器材

250 公克燒杯	500 公克燒杯	電子秤	溫度計	水質、pH 測量計	實驗濾紙
咖啡濾紙	試管	玻璃罐	攪拌棒	漏斗	冷壓紙卡
熱水器	吸墨鋼筆	圖畫紙	紙杯	棉花棒	色差儀

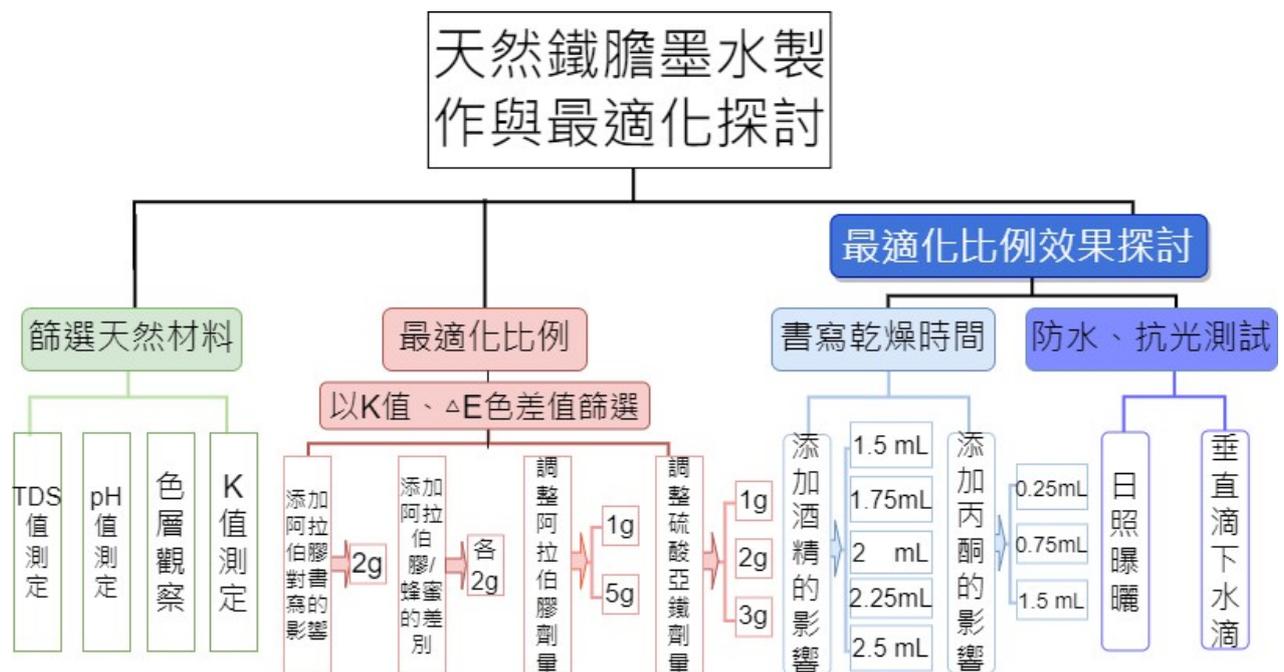
二、耗材與藥劑

▼表 2-2-1 研究耗材與藥劑

90 度 c 熱水	清水	硫酸亞鐵	綠茶葉	單寧酸粉	紅茶葉	酒精
咖啡	烏龍茶葉	五倍子	欖仁葉(枯)	阿拉伯膠	蜂蜜	丙酮

參、研究過程或方法

一、研究架構圖



▲圖 3-1-1 天然鐵膽墨水製作與最適化探討架構

二、研究過程

(一) 研究各種天然材料跟硫酸亞鐵結合的效果

我選擇天然材料來製作墨水，篩選高單寧酸含量者。最後選出以下 7 種材料：

▼表 3-2-1 天然材料

天然材料				
茶類	1.綠茶	2.紅茶	3.烏龍茶	
其他類	1.單寧酸粉	2.五倍子	3.咖啡	4.欖仁葉

【1-1】 調製墨水，並測量其 TDS 值、pH 值及進行色層觀察。

實驗說明：了解鐵膽墨水的成分及相關歷史後，遂以基本配方為基礎，以富含單寧酸之天然材料，混合硫酸亞鐵製作墨水，觀察與其結合效果。根據文獻(吳宗恩等，2020)，單寧酸

和硫酸亞鐵結合，會產生深色的錯合物。因此我運用 TDS 值與 pH 值檢測筆，測量水中雜質變化狀況。TDS 值全名為 Total Dissolved Solids，代表「溶解性總固體值」，即肉眼看不見的雜質，數值若越大，表示液體越混濁，顏色應越深。文獻(洪福偉，2018)使用的墨水 pH 值約為 2.8~3，因此我也測量 pH 酸鹼值，觀察其與顏色之關係。

實驗步驟：

1. 製作鐵膽墨水：

			
1. 取天然材料 5g、10g、15g、20g，分別裝在燒杯中。	2. 每個燒杯各加入 80 毫升攝氏 90 度的熱水。	3. 靜置 5 分鐘後使用咖啡濾紙過濾。	4. 每個燒杯各加入 5g 硫酸亞鐵，攪拌至其完全溶解。

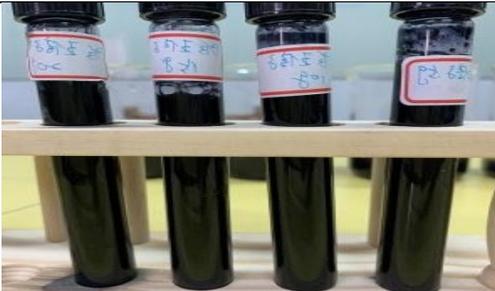
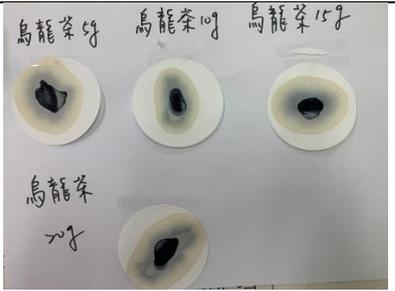
2. 先測量未加硫酸亞鐵的墨水之 TDS 值及 pH 酸鹼值(各三次取平均值)。

3. 將已添加硫酸亞鐵的墨水裝入試管中，蓋緊瓶口，靜置 24 小時。

4. 將靜置後的墨水使用實驗濾紙過濾至玻璃瓶內，測量其 TDS 值及 pH 酸鹼值(各三次取平均值)，並滴 0.5 毫升墨水在實驗濾紙中央，觀察色層。

5. 依表 3-2-1 的天然材料替換，重複上述步驟，並紀錄色層觀察結果及測量之數據。

實驗過程照片：

		
▲圖 3-2-1 測試 TDS 值及 pH 值。	▲圖 3-2-2 五倍子由左到右為 5、10、15、20g(靜置 24 時)	▲圖 3-2-3 進行色層觀察的濾紙。

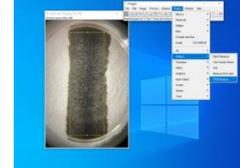
【1-2】找出適合調製自製墨水的天然材料

實驗說明：

運用色彩分析軟體 ImageJ，篩選出顏色夠深(K值大於70%)的墨水來進行第一代墨水(添加增稠劑阿拉伯膠)的製作。為了方便觀察墨水的顏色，我先使用手機顯微鏡 Uhandy 拍下放大 13 倍之照片，再使用色彩分析軟體 ImageJ，進行墨水的 RGB 顏色分析，並採用色彩分析網站把墨水 RGB 值轉換為印刷四色 CMYK，觀察其黑色(Key, black) 值。

實驗步驟：

1. 自製、市售墨水之 K 值測定：

				
1. 以一支棉花棒伸至墨水瓶最底部，旋轉一圈，沾取墨水。	2. 於圖畫紙上，使用相同力道，以沾有墨水的棉花棒畫出 5cm 的直線。	3. 以手機顯微鏡之應用程式放大 13 倍進行拍攝與觀察，並測量市售墨水作為比較目標。	4. 使用色彩分析軟體 ImageJ，測量墨水 RGB 數值(測三次取平均值)。	5. 使用色彩分析網站，將墨水 RGB 數值轉換為 CMYK，觀察 K 值數據。(測三次取平均值)。

實驗過程照片：

	
▲圖 3-2-4 靜置 10 分鐘，墨水無明顯變化。	▲圖 3-2-5 靜置 24 小時，墨水顏色變深

▼表 3-2-2 墨水顯微鏡照片

	綠茶	紅茶	烏龍茶	咖啡	單寧酸粉	五倍子	欖仁葉(枯)
5g							
10g							
15g							
20g							

以 CMYK 色彩分析數值之黑色值(Key, black) 高於 70%以上為標準，最後篩選出以下 14 種，製成第一代墨水：

▼表 3-2-3 篩選出的墨水比例配方

項目 墨水	硫酸 亞鐵	天然材料				
		綠茶	紅茶	單寧酸粉	五倍子	咖啡
比例	5g	10g、15g、20g	15g、20g	5g、10g、15g、20g	5g、10g、15g、20g	20g

(二) 研究不同配方墨水之書寫效果，並找出最適化比例。

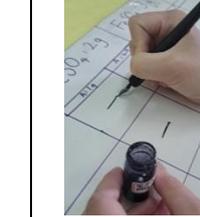
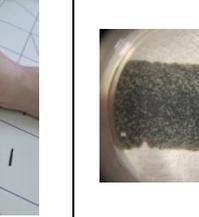
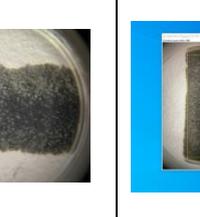
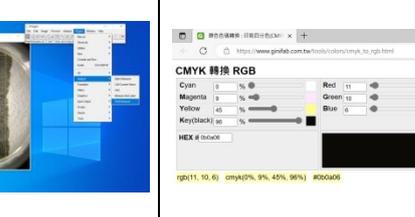
▼表 3-2-4 研究二實驗流程統整

項目 實驗	自製鐵膽墨水配方			製作 鐵膽 墨水 步驟	添加 物— 增稠 劑 比例	實驗發現	篩選方式
	天然材料		水				
2-1 第一 代 墨水	綠茶	10g、15g、20g	80 毫升 攝氏 90 度的 熱水	5g	阿 拉 伯 膠 2g	與市售墨水之色差 仍有距離，因此調 整實驗 2-2 天然材 料、比例	CMYK 之 K 值 (僅實驗 2- 1 以棉花 棒書寫樣 本，另外 三個實驗 皆以鋼筆 書寫樣 本)、 ΔE 值色 差值 兩種數據 皆與市售 墨水做比 較。
	紅茶	15g、20g					
	單寧 酸粉	5g、10g、15g、 20g					
	五倍 子	5g、10g、15g、 20g					
	咖啡	20g					
2-2 第二 代 墨水	綠茶	30g、50g、80g	80 毫升 攝氏 90 度的 熱水	5g	阿 拉 伯 膠 2g 蜂 蜜 2g	蜂蜜墨水書寫效果 不佳，因此實驗 2-3 只調整阿拉伯 膠劑量	CMYK 之 K 值 (僅實驗 2- 1 以棉花 棒書寫樣 本，另外 三個實驗 皆以鋼筆 書寫樣 本)、 ΔE 值色 差值 兩種數據 皆與市售 墨水做比 較。
	單寧 酸粉	30g、50g、80g					
	五倍 子	30g、50g、80g、 100g					
2-3 第三 代 墨水	同實驗 2-2		80 毫升 攝氏 90 度的 熱水	5g	阿 拉 伯 膠 1g/5g	加入 5g 硫酸亞鐵 之墨水已呈過飽 和，且 5g 阿拉伯 膠墨水書寫效果較 黏稠，筆跡不易延 展，因此在實驗 2- 4 將硫酸亞鐵劑量 調低，並將阿拉伯 膠劑量採用 1g/2g	CMYK 之 K 值 (僅實驗 2- 1 以棉花 棒書寫樣 本，另外 三個實驗 皆以鋼筆 書寫樣 本)、 ΔE 值色 差值 兩種數據 皆與市售 墨水做比 較。
2-4 第三 代 墨水	同實驗 2-2						

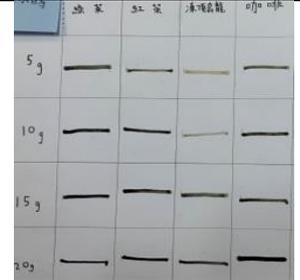
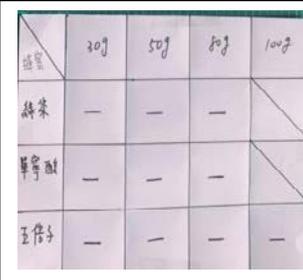
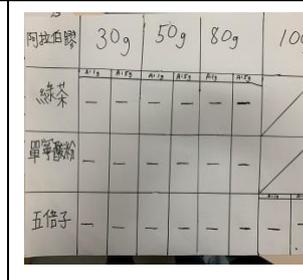
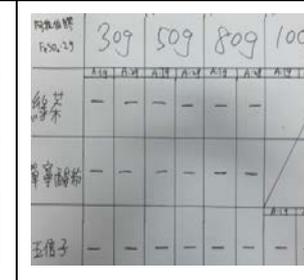
▼表 3-2-5 製作鐵膽墨水步驟：

					
1. 取天然材料，分別裝在燒杯中。	2. 每燒杯各加入 80 毫升攝氏 90 度的熱水。	3. 靜置 5 分鐘後使用咖啡濾紙過濾。	4. 每個燒杯各加入硫酸亞鐵，攪拌至完全溶解。	5. 將墨水裝入試管靜置 24 小時後，使用實驗濾紙過濾墨水至玻璃瓶內。	6. 將天然材料替換，重複前述步驟，製作各天然材料墨水。

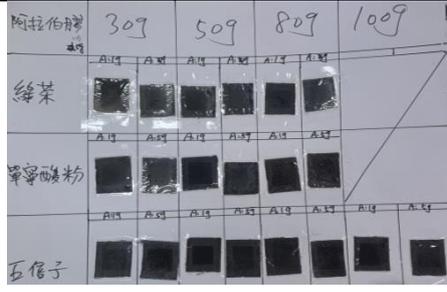
▼表 3-2-6 K 值數據取得步驟：

				
1. 將鋼筆伸至墨水瓶裡沾取墨水。	2. 於圖畫紙上，使用相同力道，以鋼筆畫出 2cm 的直線。	3. 24 小時後以手機顯微鏡之應用程式放大 13 倍進行拍攝與觀察。	4. 使用色彩分析軟體 ImageJ，測量墨水 RGB 數值。(測三次取平均值)。	5. 使用色彩分析網站，將墨水 RGB 數值轉換為 CMYK，觀察 K 值數據。(測三次取平均值)。

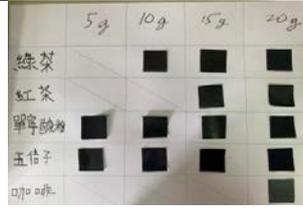
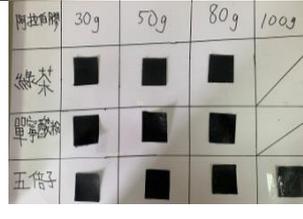
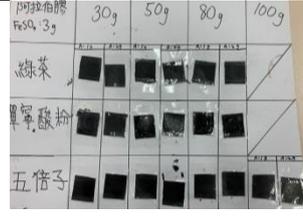
▼表 3-2-7 各實驗 K 值樣本

實驗 2-1	實驗 2-2	實驗 2-3	實驗 2-4
			

▼表 3-2-8 ΔE 值色差值取得步驟：

		
<p>1. 取 0.5 毫升的自製墨水，在離實驗濾紙高 0.5 公分處，滴在 4cmx4cm 冷壓紙板中央，使用水彩筆將其刷開，並重複一次，待其乾燥。製成實驗樣本。</p>	<p>2. 以步驟 1 相同方法製作市售墨水樣本。</p>	<p>3. 開啟色差儀測量市售墨水，再以其為依據，測試自製墨水與市售墨水的 L*a*b*值及ΔE 值測量三次，取得平均 L*a*b*值及ΔE 值，ΔE 值數值愈大，代表色差愈大。</p>

▼表 3-2-9 各實驗 ΔE 值色差值樣本

實驗 2-1	實驗 2-2	實驗 2-3	實驗 2-4
			

【2-1】比較自製第一代墨水添加阿拉伯膠的書寫效果

實驗說明：將篩選出來的墨水，加入阿拉伯膠，製作成第一代墨水。使用 ImageJ，測得 RGB 值轉換為 CMYK 值，觀察 K 值數據；向附近大學借用色差儀，測量墨水的 L*a*b*值以及自製墨水與市售墨水進行色差比較。

實驗步驟：

1. 取天然材料綠茶(10、15、20 公克)、紅茶(15、20 公克)、單寧酸粉(5、10、15、20 公克)、五倍子(5、10、15、20 公克)、咖啡(20 公克)，各加入硫酸亞鐵 5 公克，製作鐵膽墨水。(步驟詳見表 3-2-5)
2. 各取 5 公克墨水，盛裝在玻璃瓶裡。
3. 各加入 2 公克的阿拉伯膠，攪拌均勻。
4. 取得平均 K 值、平均ΔE 值色差值數據。(步驟詳見表 3-2-6、3-2-8)

【2-2】比較自製二代墨水添加阿拉伯膠及蜂蜜的差別

實驗說明：第一代墨水與市售墨水之色差仍有距離，於是淘汰 K 值未達 80 的材料，篩選出以下3種天然原料，並調高其劑量，製作出顏色更深的墨水，實驗中綠茶及單寧酸粉於添加至 80 公克時，水分幾乎被吸乾，故不進行調製 100 公克的劑量。由於蜂蜜含鐵，而蜂蜜

也含有增稠劑(果糖) ，增稠劑能防止墨水沉澱來提升書寫性能，因此用蜂蜜取代阿拉伯膠，以相同比例之劑量調配墨水，觀察加入蜂蜜之墨水與阿拉伯膠配方之區別。調製比例如下：

▼表 3-2-10 準備製作成第二代墨水

項目 添加	綠茶	單寧酸粉	五倍子
硫酸亞鐵 5g	30g、50g、80g	30g、50g、80g	30g、50g、80g、100g
蜂蜜、阿拉伯 膠各 2g			

實驗步驟：

1. 取天然材料綠茶(30、50、80 公克)、單寧酸粉(30、50、80 公克)、五倍子(30、50、80、100 公克)，硫酸亞鐵 5 公克，製作鐵膽墨水(步驟詳見表 3-2-5)。
2. 墨水各取 5 公克，盛裝在玻璃瓶裡。
3. 各加入 2 公克的阿拉伯膠/蜂蜜，攪拌均勻。
4. 取得平均 K 值、平均 ΔE 色差值數據。(步驟詳見表 3-2-6、3-2-8)

實驗過程照片：



【2-3】調整阿拉伯膠劑量自製第三代墨水

實驗說明：第二代之墨水加入兩種增稠劑，由於蜂蜜墨水書寫效果不佳，僅將阿拉伯膠劑量調整，觀察其跟墨水之結合效果，找出墨水調製之最適化比例。

實驗步驟：

1. 取天然材料綠茶(30、50、80 公克)、單寧酸粉(30、50、80 公克)、五倍子(30、50、80、100 公克)，及硫酸亞鐵 5 公克，製作鐵膽墨水(步驟詳見表 3-2-5)。
2. 各取 5 公克墨水，盛裝在玻璃瓶裡。
3. 各加入 1、5 公克的阿拉伯膠，攪拌均勻。
4. 各取得平均 K 值、平均 ΔE 色差值數據。(步驟詳見表 3-2-6、3-2-8)

【2-4】調整硫酸亞鐵劑量自製第三代墨水。

實驗說明：調製墨水實驗時發現，加入 5 公克硫酸亞鐵之墨水呈過飽和狀態，遂將硫酸亞鐵劑量調低，研究其跟墨水的結合效果。從前述實驗發現，5 公克阿拉伯膠墨水書寫效果較黏稠，筆跡不易延展，不利書寫，故此實驗中阿拉伯膠劑量採用 1 公克及 2 公克。

實驗步驟：

1. 取篩選出之天然材料綠茶(30、50、80 公克)、單寧酸粉(30、50、80 公克)、五倍子(30、50、80、100 公克)，將硫酸亞鐵劑量調整為 1、2 公克及 3 公克，製成鐵膽墨水。(步驟詳見表 3-2-5)
2. 各取墨水 5 公克，盛裝在玻璃瓶裡。
3. 各加入 1、2 公克的阿拉伯膠，攪拌均勻。
4. 各取得平均 K 值、平均 ΔE 值色差值數據。(步驟詳見表 3-2-6、3-2-8)

(三) 研究自製最適化比例鐵膽墨水的書寫效果及乾燥時間

實驗說明：調製第三代墨水時有測量其 K 值，而 K 值在 CMYK 印刷四色中代表黑度，遂將其作為書寫效果之依據，即 K 值愈高，墨水顏色愈深，書寫效果愈好。而乾燥速度方面，由於自製鐵膽墨水乾燥速度較慢，故添加酒精及丙酮，研究墨水乾燥速度變化，並與市售墨水比較。

實驗步驟：

1. 比對第三代墨水 K 值數據、色差值，選出最適合比例墨水為單寧酸粉 50 公克，硫酸亞鐵和阿拉伯膠各 2 公克；五倍子 100 公克，硫酸亞鐵和阿拉伯膠各 2 公克。
2. 依以上比例自製鐵膽墨水後(步驟詳見表 3-2-5)，各比例每次取 3 公克墨水，分別加入 1.5 / 1.75 / 2 / 2.25 / 2.5 毫升酒精。
3. 於 A3 紙上使用鋼筆劃出 5 公分直線，測量其乾燥平均速度(秒)。乾燥完成之測定標準為；使用棉花棒滑過墨跡時，無任何暈染。並測試市售墨水乾燥平均速度。
4. 取得其平均 K 值及平均 ΔE 值色差值數據。(步驟詳見表 3-2-6、3-2-8)
5. 由於酒精添加於墨水平均乾燥時間比起市售墨水多，為了提升乾燥速度，將酒精替換為丙酮。
6. 各比例每次取 3 公克墨水，分別加入 0.25 / 0.75 / 1.5 毫升的丙酮，再重複步驟 3、4。

實驗過程照片：



▲圖 3-2-9 在墨水中加入酒精



▲圖 3-2-10 在墨水中加入丙酮。

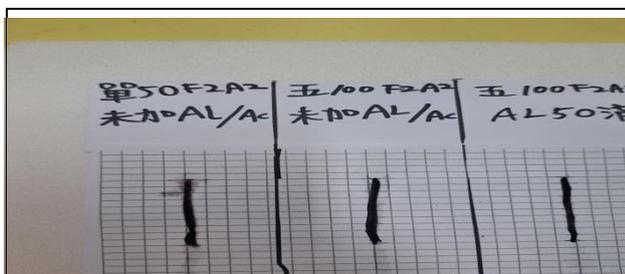
(四) 研究自製最適化比例鐵膽墨水之防水、抗光效果。

實驗說明：鐵膽墨水具防水性及抗光性，而為了比較不同種類之墨水抗光、防水程度，遂以此實驗比較自製與市售墨水的差別。

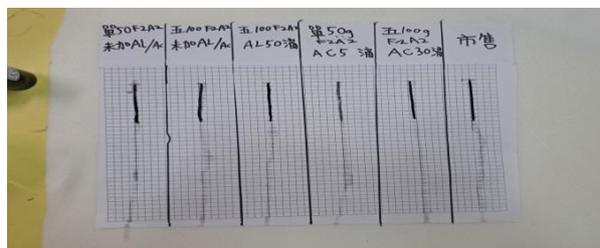
【4-1】研究自製最適化比例墨水防水效果。

實驗步驟：

1. 以鋼筆沾取最適化比例墨水及添加酒精、丙酮之最適化比例墨水(K 值最高者，須高於 95%)，在方格紙上畫 5 公分的直線。
2. 待其乾燥後，滴 0.1 毫升的清水至墨跡開頭。
3. 將黏有表格的 pp 板垂直立起，使清水自然滴落。
4. 以顯微鏡觀察墨跡是否有暈染。



▲圖 3-2-11 清水自然滴落墨跡。



▲圖 3-2-12 最適化比例墨水防水效果。

【4-2】研究自製最適化比例墨水抗光效果。

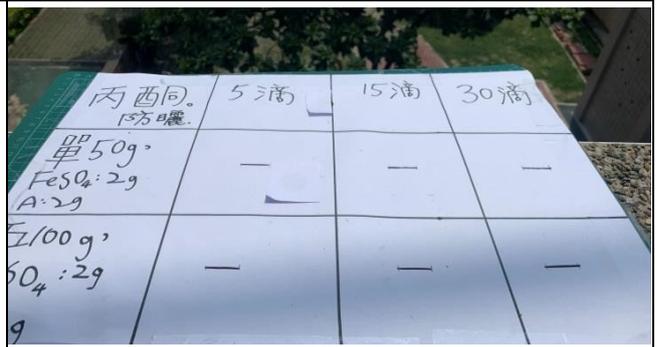
實驗步驟：

1. 以鋼筆沾取最適化比例墨水及添加酒精、丙酮之最適化比例墨水，在圖畫紙上畫2 公分的直線。
2. 待其乾燥後，於日照充足時，隨日照位置擺放樣本，曝曬墨水跡。
3. 每日曝曬 8 小時，總共曝曬六天。
4. 分別於曝曬一日、二日、六日後，取得平均 K 值數據，進行比較。

實驗過程照片：



▲圖 3-2-13 早上 8 點至 12 點，於教室外走廊曝曬墨跡。

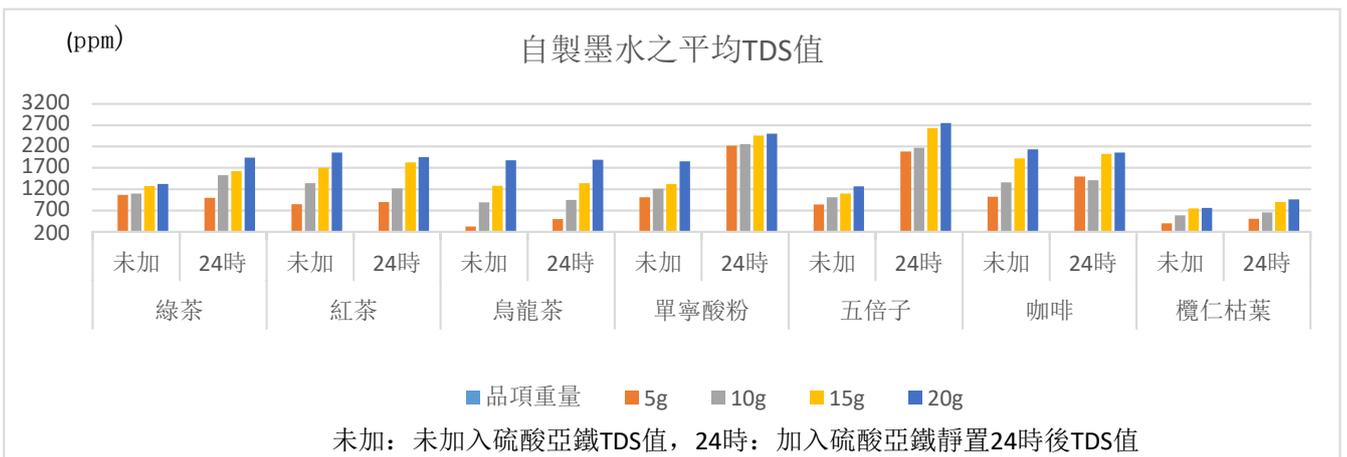


▲圖 3-2-14 下午 12 點到 4 點，將墨水樣本拿至陽台曝曬。

肆、研究結果及討論

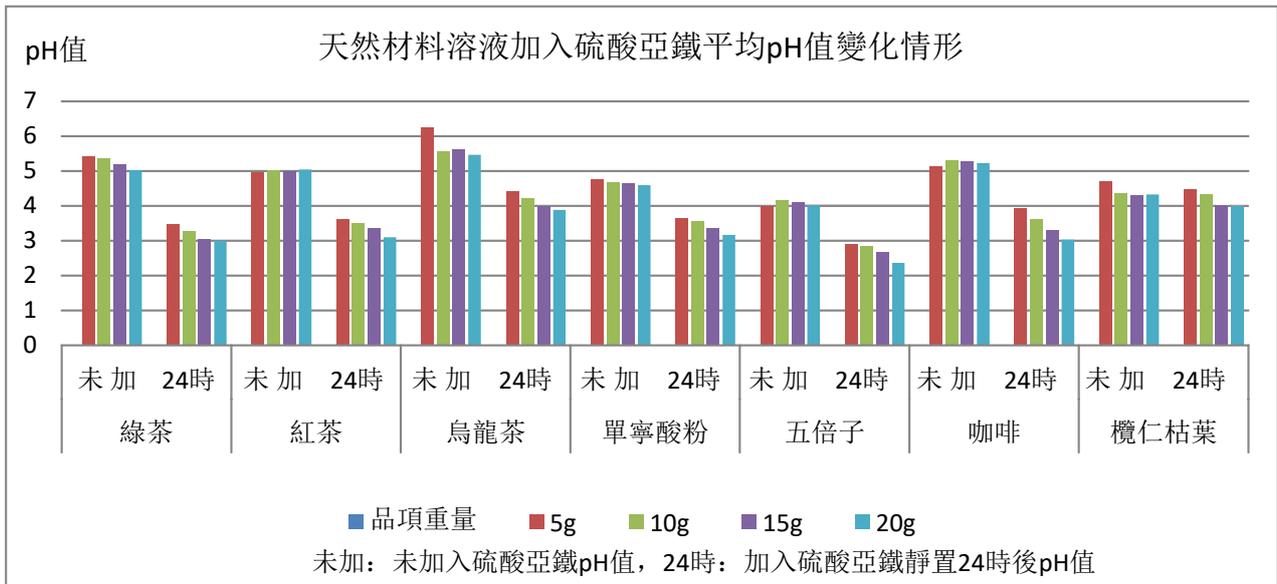
一、研究各種天然材料跟硫酸亞鐵結合的效果。

【1-1】調製墨水，並測試其 TDS 值、pH 值及色層觀察結果



▲圖 4-1-1 自製墨水之平均 TDS 值

1. 根據圖 4-1-1，自製墨水之天然材料劑量越多，TDS 值會越高；加入硫酸亞鐵放置 24 小時後之墨水 TDS 值多比未加時高。
2. 所有墨水中，放置 24 小時後之五倍子 20 公克墨水 TDS 值約為 2700ppm，為所有墨水中最高者；所有墨水中，放置 24 小時後之欖仁枯葉 20 公克墨水 TDS 值約為 960ppm，為所有加入硫酸亞鐵後，20 公克墨水中最低者。



▲圖 4-1-2 天然材料溶液加入硫酸亞鐵平均 pH 值變化

- 根據圖4-1-2，自製墨水pH 值皆偏酸；於天然材料溶液中加入硫酸亞鐵後，墨水pH值比未加硫酸亞鐵時低。五倍子 pH 值最低。

▼表 4-1-1 墨水在試管中的照片

材料 項目	綠茶	紅茶	單寧酸粉	咖啡	烏龍茶	五倍子	欖仁枯葉
試管中顏色 由左到到右 (5g、10g、 15g、20g)							

- 根據表4-1-1，所有墨水在試管中皆呈現黑色系，為硫酸亞鐵與單寧酸之反應。
- 烏龍茶 5 及 10 公克墨水試管中出現沉澱狀況。

▼表 4-1-2 墨水濾紙色層狀況

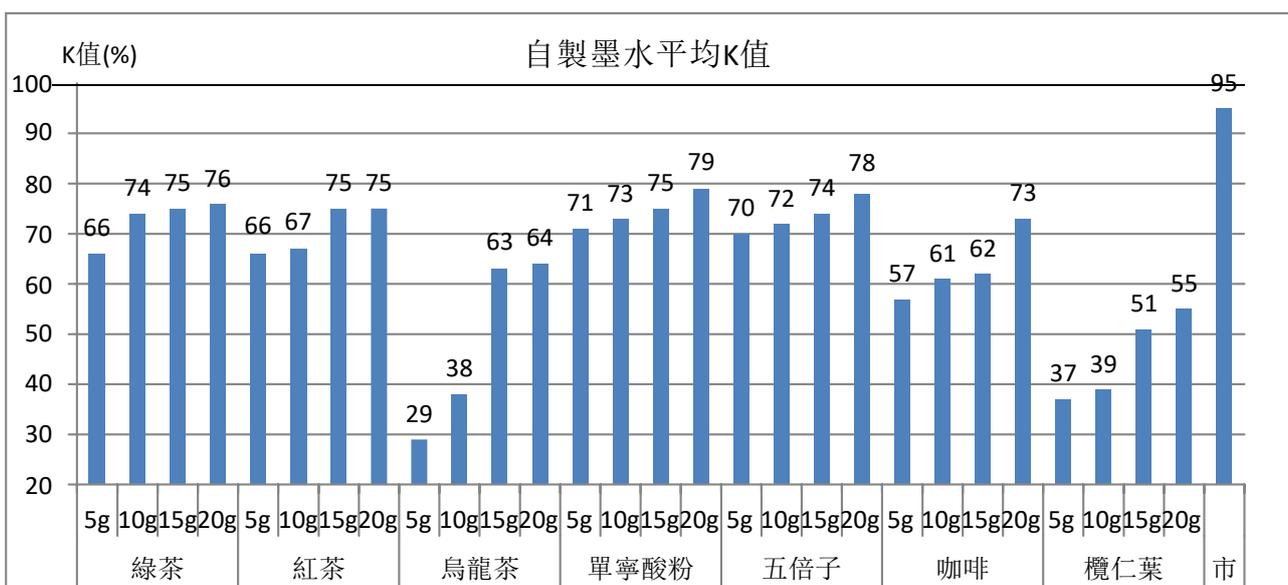
項目 重量	綠茶	紅茶	單寧酸粉	咖啡	烏龍茶	五倍子	欖仁枯葉
5g							
10g							
15g							
20g							

1. 根據表 4-1-2 墨水濾紙色層狀況觀察結果，天然材料製成的墨水顏色可分為黑偏紫色、黑偏灰色及黑偏綠色三類。其分類請見下表格：

▼表 4-1-3 觀察顏色分類表

黑偏紫色	黑偏灰色	黑偏綠色
綠茶、五倍子	紅茶、烏龍茶、單寧酸粉	咖啡、欖仁枯葉

【1-2】 找出適合調製自製墨水的天然材料



▲圖 4-1-3 自製墨水平均 K 值(市：市售墨水)

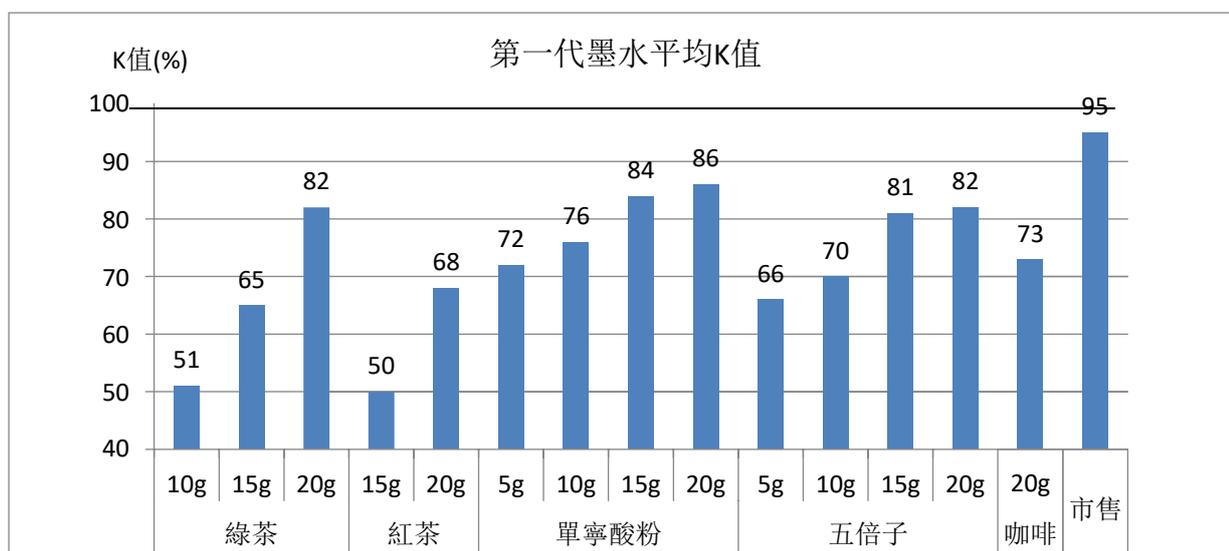
1. 根據圖 4-1-2，墨水加入硫酸亞鐵放置 24 小時後，pH 值變低；根據圖 4-1-1、圖 4-1-2 及圖 4-1-3，可見同品項濃度越高的墨水，TDS 值愈高，顏色會愈深。如加硫酸亞鐵放置 24 小時後的五倍子 20 公克墨水，其 TDS 值最高超過 2500ppm，且 pH 值落在 2~3 之間，K 值達 78%；而加硫酸亞鐵放置 24 小時後的欖仁葉 20 公克墨水，其 TDS 值約 960ppm，且 pH 值約為 4，K 值最低，為 55%。
2. 根據圖 4-1-3 研究結果顯示，我發現 K 值會隨著天然材料濃度增加，證明材料濃度愈高，顏色也愈深。自製墨水中，顏色最深者為單寧酸 20 公克墨水，K 值為 79%，與市售墨水 K 值 95%相差 16%；顏色最淺者為烏龍茶 5 公克墨水，K 值為 29%，與市售墨水 K 值 95%相差 66%。因此，我擬定出篩選標準，淘汰 K 值未達 70%墨水，並保留達標者如表 4-1-4。
3. 由於拍攝顯微鏡照片時，光源會影響實驗結果，因此本研究拍攝時，均固定光源。

▼表 4-1-4 篩選出的墨水比例配方

項目 墨水 成分	硫酸 亞鐵	天然材料				
		綠茶	紅茶	單寧酸粉	五倍子	咖啡
比例	5g	10g、15g、 20g	15g、20g	5g、10g、15g、 20g	5g、10g、15g、 20g	20g

二、研究不同配方墨水之書寫效果，並找出最適化比例

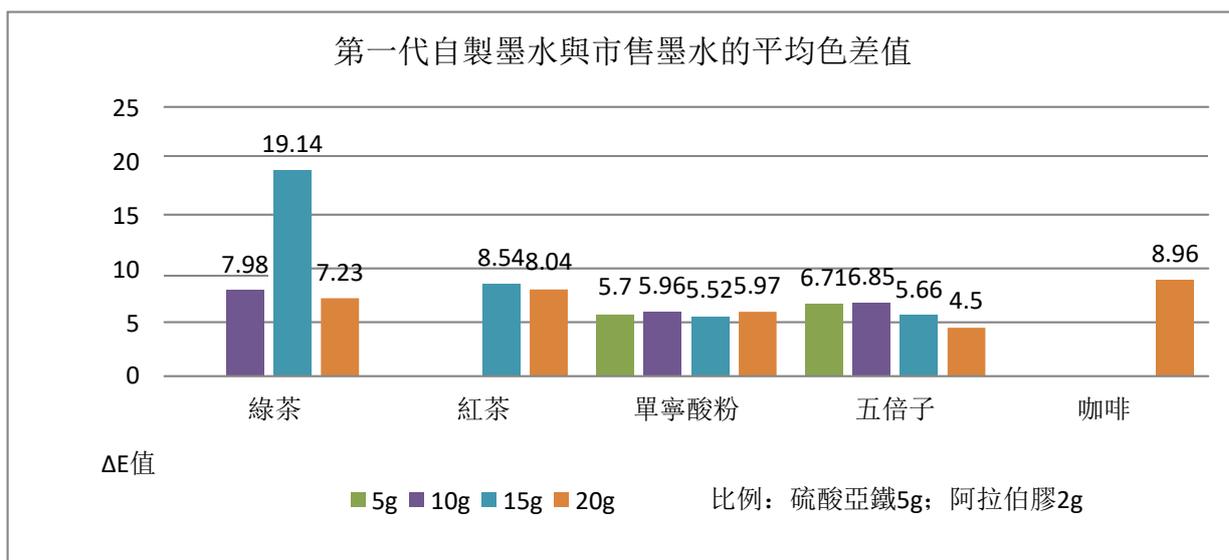
【2-1】比較自製第一代墨水添加阿拉伯膠的書寫效果。



▲圖 4-2-1 第一代墨水平均 K 值

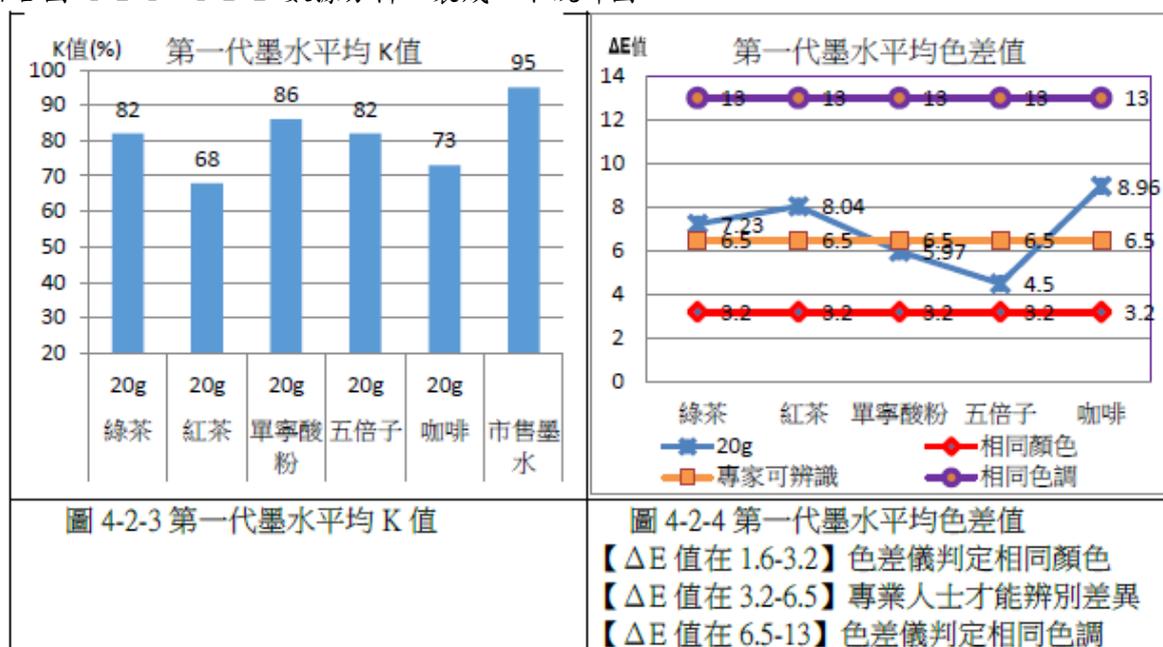
1. 依據圖 4-2-1，市售墨水之 K 值為 95%，與顏色最深之單寧酸粉 20 公克墨水 K 值 86%仍相差 9%。

2. 顏色最淺之墨水為紅茶 15 公克墨水，其 K 值為 50%，與市售墨水相差 45%。



▲圖 4-2-2 第一代自製墨水與市售墨水的平均色差值

1. 依據圖 4-2-2、表 1-3-2，大部分之第一代市售墨水與範本之色差值介於 6.5~13，此範圍與範本之色差明顯，但屬於相同色調。
2. 由於手工繪製樣本，墨水均勻度難保一致，因此墨水色差值有可能產生誤差。例如綠茶 15 公克色差值達 19.14，高於其他比例很多。
3. 綜合圖 4-2-1、4-2-2 數據分析，製成以下統計圖：



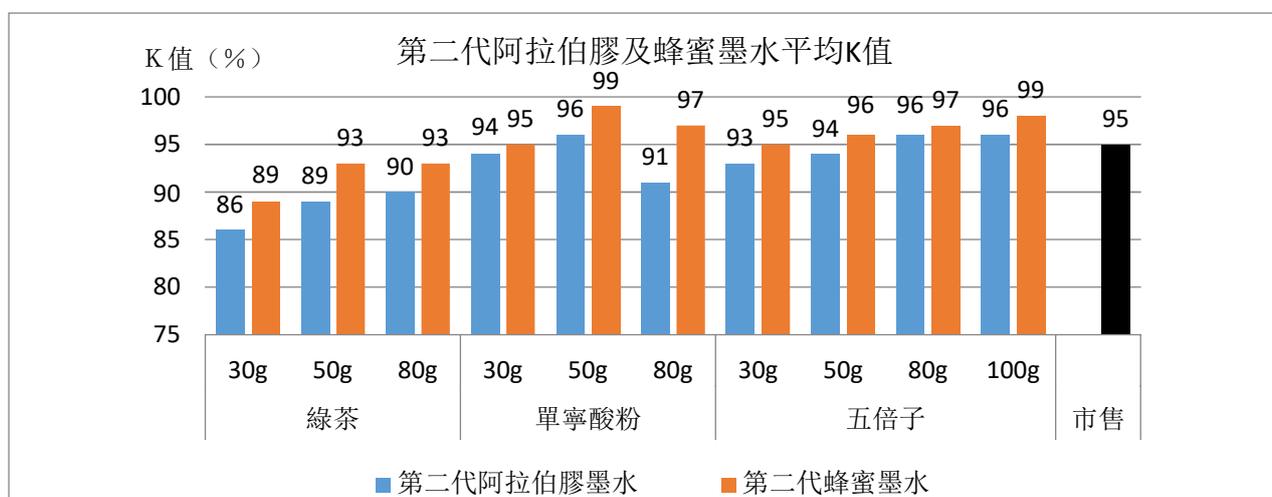
1. 觀察圖 4-2-3、4-2-4 劑量最多的 20 公克品項數據，保留 K 值達 80 且 ΔE 值 ≤ 13 之天然材料，選取綠茶、單寧酸粉以及五倍子來做為第二代墨水，並且調高劑量，以製作更深的墨水。

- 我從 20 公克天然材料開始調高劑量，將其劑量拉高至 30 公克、50 公克、80 公克及 100 公克，但由於綠茶及單寧酸粉之 80 公克劑量於調製墨水時，其近乎吸乾水分，調製出的墨水劑量少，故不往上增加為 100 公克。以下為調高劑量的第二代墨水材料及比例。

▼表 4-2-1 第二代墨水之天然材料

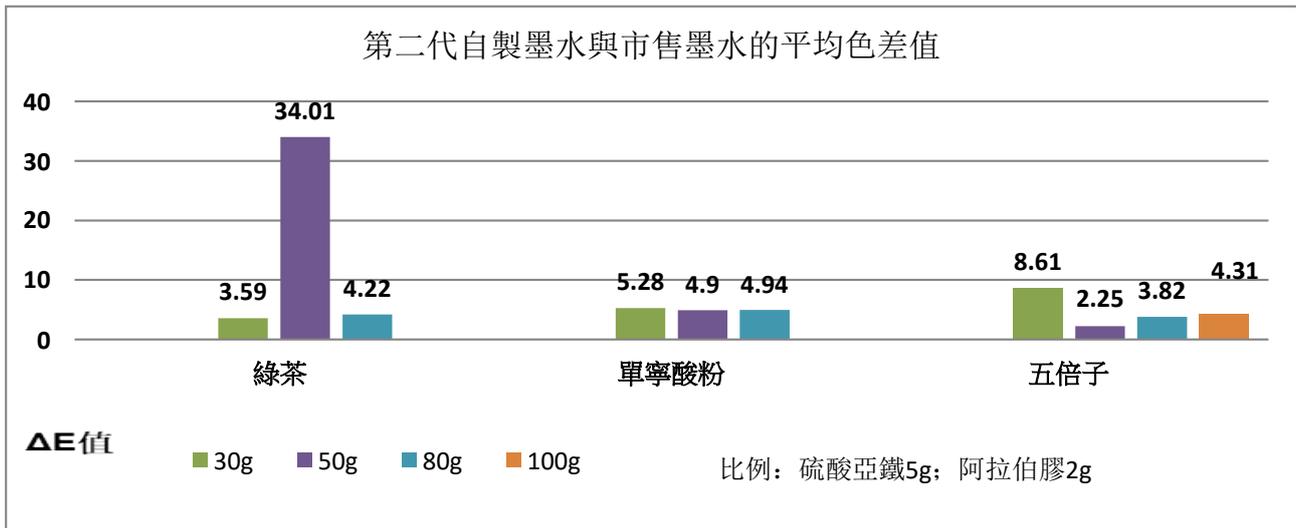
墨水成分 \ 重量	硫酸亞鐵	阿拉伯膠	蜂蜜	綠茶	單寧酸粉	五倍子
比例	5g	2g	2g	30g、50g、80g	30g、50g、80g	30g、50g、80g、100g

【2-2】比較自製二代墨水添加阿拉伯膠及蜂蜜的差別。



▲圖 4-2-5 第二代自製墨水與市售墨水的平均 K 值

- 根據圖 4-2-5，調高劑量的第二代墨水顏色有隨著濃度提高而變得較深之趨勢。天然材料相同劑量時，以蜂蜜做為增稠劑之墨水顏色都較阿拉伯膠墨水深，如單寧酸粉 80 公克墨水，加入蜂蜜後，K 值較阿拉伯膠墨水多了 6%；然而因為蜂蜜較阿拉伯膠黏稠，墨跡具黏性，且遇熱會暈開，無法進行色差儀檢測，故後續實驗中無採用；阿拉伯膠墨水則無此問題。
- 五倍子 30~100g 調製的阿拉伯膠墨水，K 值落在 93-96%區間，接近市售墨水的 95%，也有部分高於市售墨水。
- 單寧酸粉 30~80g 調製的阿拉伯膠墨水，K 值落在 91-96%區間，接近市售墨水的 95%，其中只有 50g 高於市售墨水。
- 單寧酸粉 80 公克墨水 K 值 91%低於五倍子墨水 80 公克 K 值 96%，推測是實驗中，單寧酸粉 80 公克溶液較黏稠，影響跟硫酸亞鐵的結合效果。



▲圖 4-2-6 第二代自製墨水與市售墨水的平均色差值

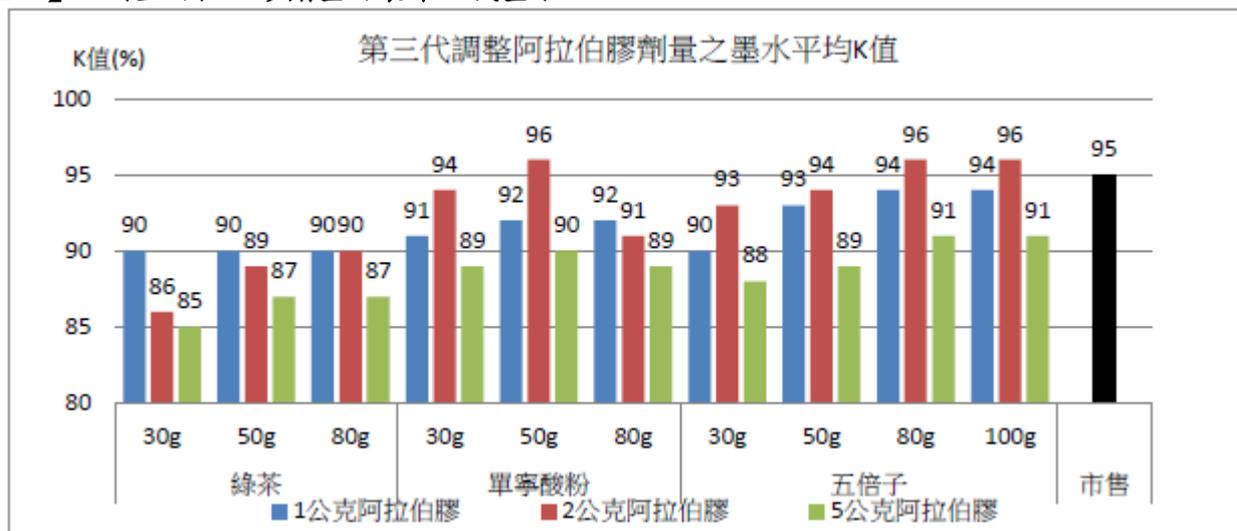
1. 依據圖 4-2-6，五倍子 50 公克墨水，與市售墨水之色差值僅 2.25，對照表 1-3-2，色差介於 1.6~3.2 被認為與市售墨水是相同的顏色。
2. 依據圖 4-2-6，單寧酸粉 50 公克墨水，與市售墨水之色差值為 4.9，對照表 1-3-2，色差介於 3.2~6.5 之顏色難以分辨。
3. 由於手工繪製樣本，墨水均勻度難保一致，因此墨水色差值有可能產生誤差。例如綠茶 50 公克色差值達 34.01，高於其他比例很多。
4. 綜合圖 4-2-5、4-2-6 數據分析如下表

▼表 4-2-2 色差、K 值範圍(阿拉伯膠墨水)

	綠茶	單寧酸粉	五倍子
K 值範圍	86~90%	91~96%	93~96%
色差範圍	3.59~34.01	4.9~5.28	2.25~8.61
備註	市售墨水 K 值 95%；【 ΔE 值在 1.6-3.2】人眼分辨不出色彩的差異，通常被認為是相同的顏色。		

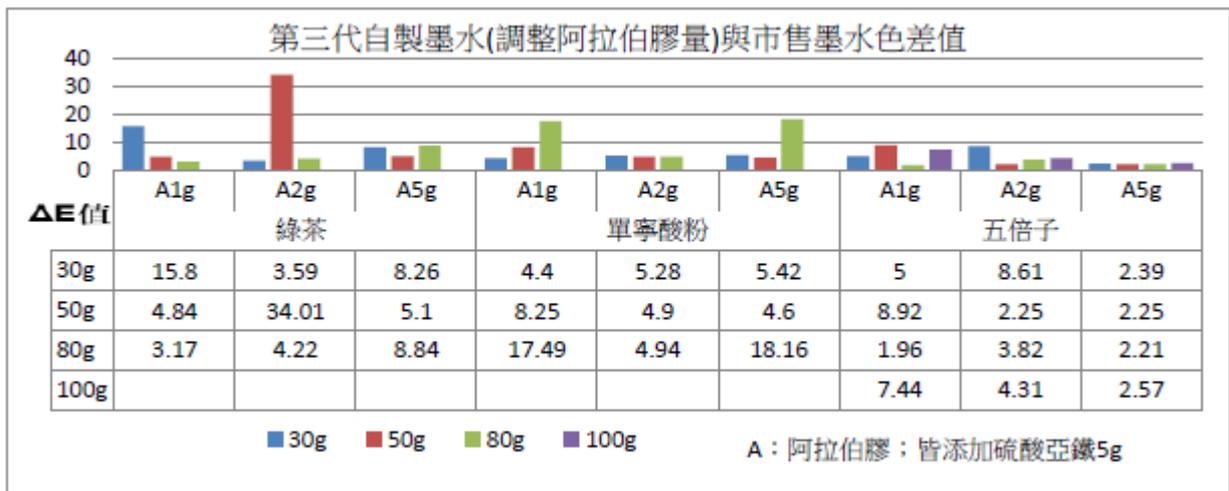
1. 根據表 4-2-2 五倍子 30~100g、單寧酸粉 30~80g 及綠茶 30~80g 調製的阿拉伯膠墨水，因為 K 值多未高於市售墨水 K 值 95%，色差也多未達研究者的理想目標 3.2 以下，因此後續**第三代墨水**實驗進行阿拉伯膠及硫酸亞鐵劑量調整。

【2-3】 調整阿拉伯膠劑量自製第三代墨水。



▲圖 4-2-7 第三代自製墨水與市售墨水的平均 K 值

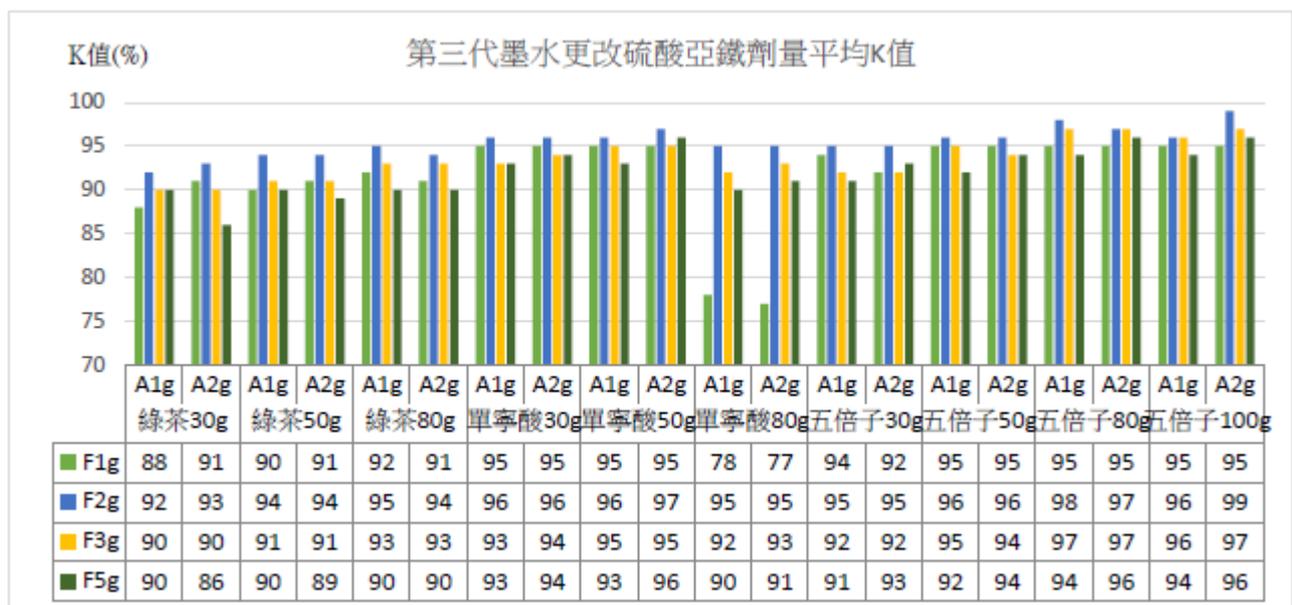
1. 依圖 4-2-7，添加 5 公克阿拉伯膠之墨水顏色會較添加 1 公克淺且較濃稠，筆跡不易延展，K 值降低 1~6%。
2. 依圖 4-2-7，添加 1 公克或 2 公克阿拉伯膠墨水 K 值差別微小或沒有差別，最多相差 4%。
3. 添加 1 公克或 2 公克阿拉伯膠之墨水，其 K 值接近市售墨水 95%，最低為 86%，最高為 96%，高於市售墨水。
4. 添加 2 公克阿拉伯膠之五倍子 80 公克、100 公克墨水 K 值與單寧酸粉 50 公克一致，K 值均為 96%，單寧酸粉 80 公克墨水 K 值 91%低於五倍子墨水 80 公克 K 值96%，推測是實驗中，單寧酸粉 80 公克溶液較黏稠，影響跟硫酸亞鐵的結合效果；在 80 公克墨水中，最接近市售墨水 K 值為五倍子墨水。
5. 比較五倍子和綠茶墨水，在相同劑量天然材料、阿拉伯膠下，只有添加 1 公克阿拉伯膠的 30 公克墨水 K 值相同，其他綠茶 K 值皆較五倍子低，因此推測可能同樣劑量下，五倍子墨水單寧酸含量較綠茶高。



▲圖 4-2-8 第三代自製墨水與市售墨水的平均色差值

1. 依據此圖 4-2-8，五倍子 80 公克墨水添加 1 公克阿拉伯膠時，與市售之色差值僅1.96，對照表 1-3-2，色差介於 1.6~3.2 被認為是與做為標準之市售墨水相同的顏色，為所有墨水中色差最小者。
2. 而五倍子添加 5 公克阿拉伯膠之墨水色差值約為 2，色差介於 1.6~3.2。對照表 1-3-2 其被認為是與做為標準之市售墨水相同的顏色。
3. 綜合圖 4-2-7、4-2-8，大部分墨水添加 5 公克阿拉伯膠時，顏色會變淺；除了五倍子，綠茶及單寧酸粉的色差值大部分增加。遂於後續實驗中，更改硫酸亞鐵劑量的墨水僅調製 1 公克及 2 公克阿拉伯膠墨水品項。

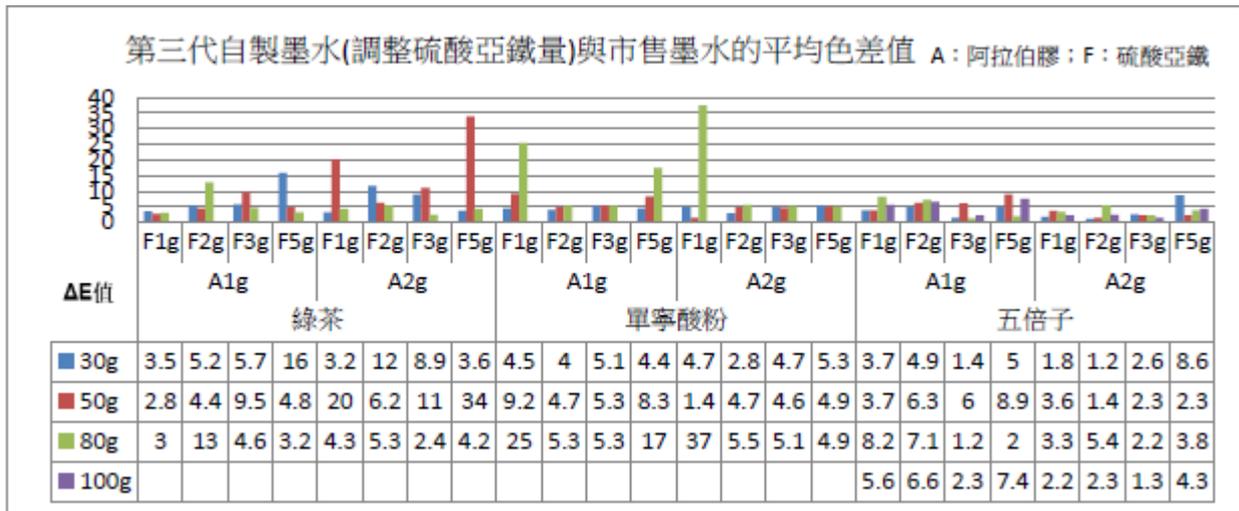
【2-4】調整硫酸亞鐵劑量自製第三代墨水。(統計圖代號：A：阿拉伯膠，F：硫酸亞鐵)



▲圖 4-2-9 第三代墨水更改硫酸亞鐵劑量平均 K 值

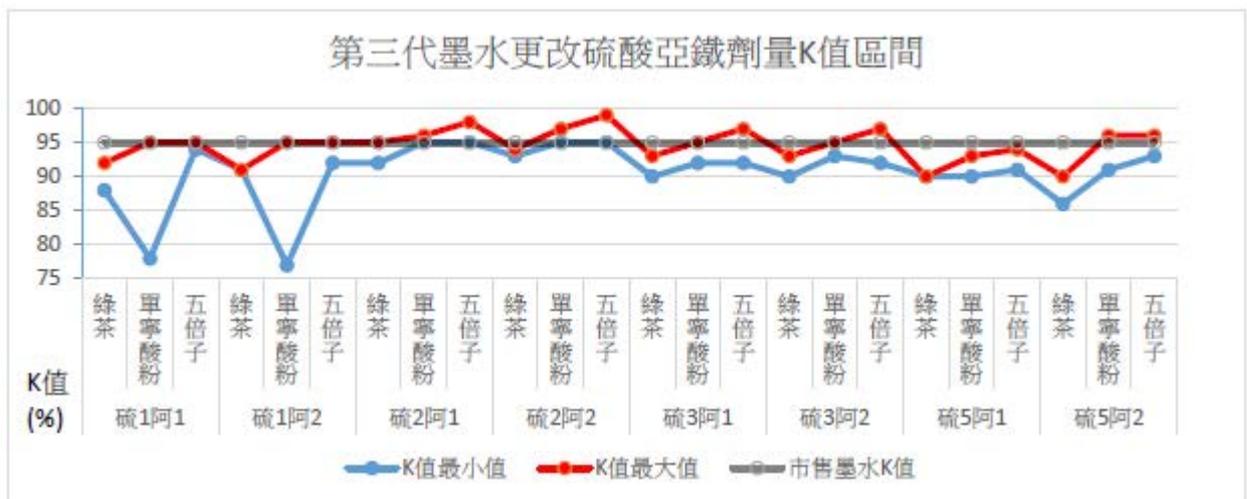
1. 依據圖 4-2-9，添加 2 公克硫酸亞鐵之墨水顏色最深，如五倍子 100 公克，阿拉伯膠

2 公克之品項之 K 值達 99%。單寧酸 50 公克，阿拉伯膠 2 公克，K 值達 97%，皆高於市售墨水 K 值 95%。

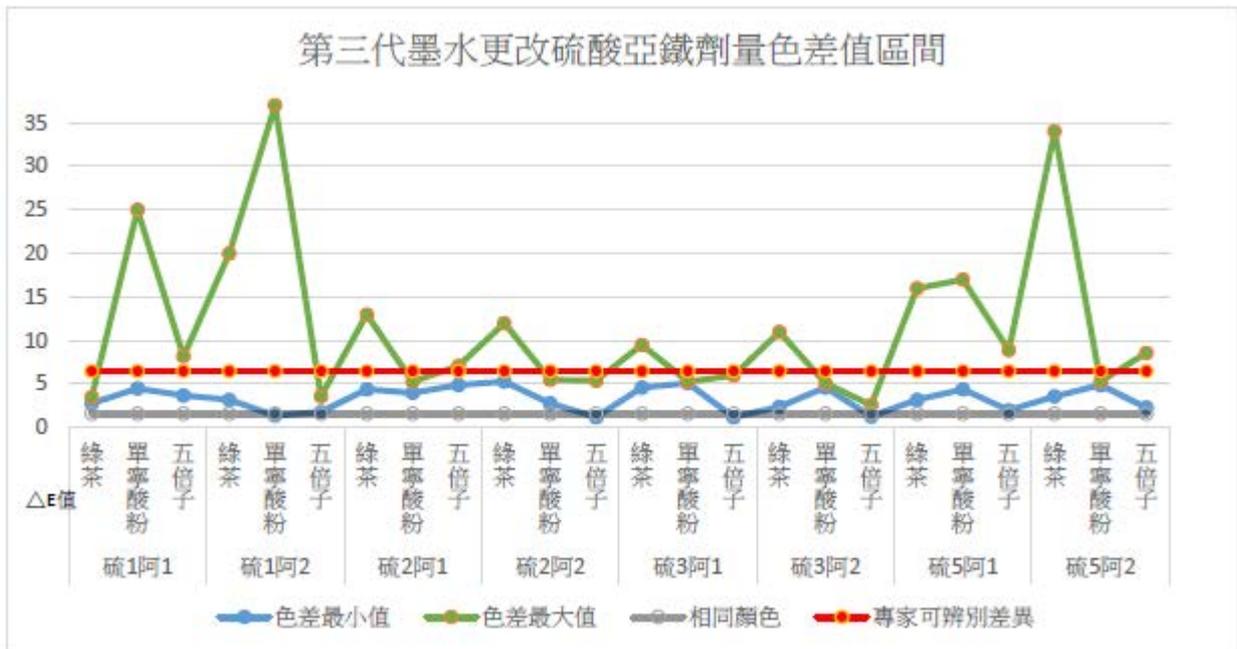


▲圖 4-2-10 第三代自製墨水(調整硫酸亞鐵量)與市售墨水的平均色差值

1. 依據圖 4-2-10，大部分調整硫酸亞鐵劑量（調整為 1、2 及 3 公克）之墨水與市售品項之色差值在 3.2~6.5 間，依據表 1-3-2，僅有經過專業訓練的人士可以辨別其差異；部分數據在 3.2 以下，人眼分辨不出色彩的差異，通常被認為是相同的顏色；6.5 以下普通人觀察不到其中的差別。
2. 綠茶的比例中，K 值皆未大於市售墨水 K 值 95%。
3. 綜合圖 4-2-9、4-2-10 的數據分析，為了決選最適化比例製成以下統計圖：(例：硫 2 阿 2：硫酸亞鐵 2g；阿拉伯膠 2g)



▲圖 4-2-11 第三代墨水平均 K 值區間



▲圖 4-2-12 第三代墨水平均色差值區間

1. 依照圖 4-2-11、4-2-12，墨水K值大於市售墨水，且色差小於 6.5 者(專家可辨差異)為硫酸亞鐵 2 公克，阿拉伯膠 1 及 2 公克之單寧酸粉；硫酸亞鐵 2 公克，阿拉伯膠 2 公克五倍子墨水；硫酸亞鐵 3 公克，阿拉伯膠 1 及 2 公克五倍子墨水；硫酸亞鐵 5 公克，阿拉伯膠 2 公克之單寧酸粉墨水。考慮「綠色化學」的環境親和力原則跟成本考量，選擇硫酸亞鐵劑量較少者(2 公克)。以及二者 K 值(五倍子 99%、單寧酸粉 97%)最高者進行最適化實驗。此兩種墨水為單寧酸粉 50 公克，硫酸亞鐵、阿拉伯膠各 2 公克及五倍子 100 公克，硫酸亞鐵、阿拉伯膠各 2 公克。
2. 單寧酸粉(50 公克，硫酸亞鐵和阿拉伯膠各 2 公克)，K 值為 97%，為單寧酸粉比例中 K 值最高，其色差 4.7；五倍子(100 公克，硫酸亞鐵和阿拉伯膠各 2 公克)，K 值為 99%，為五倍子比例中 K 值最高，其色差 2.3，K 值高於市售 95%。後續實驗以此二種配方為最適化比例來探討書寫效果。

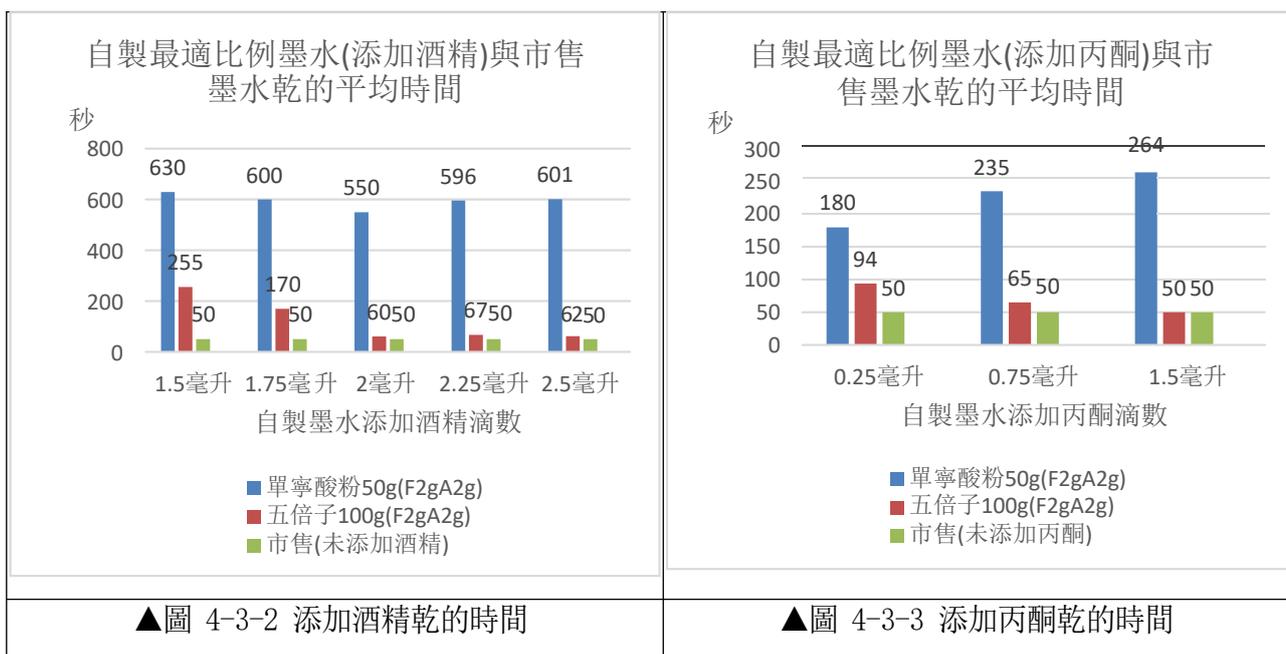
(三) 研究自製最適化比例鐵膽墨水的書寫效果及乾燥時間

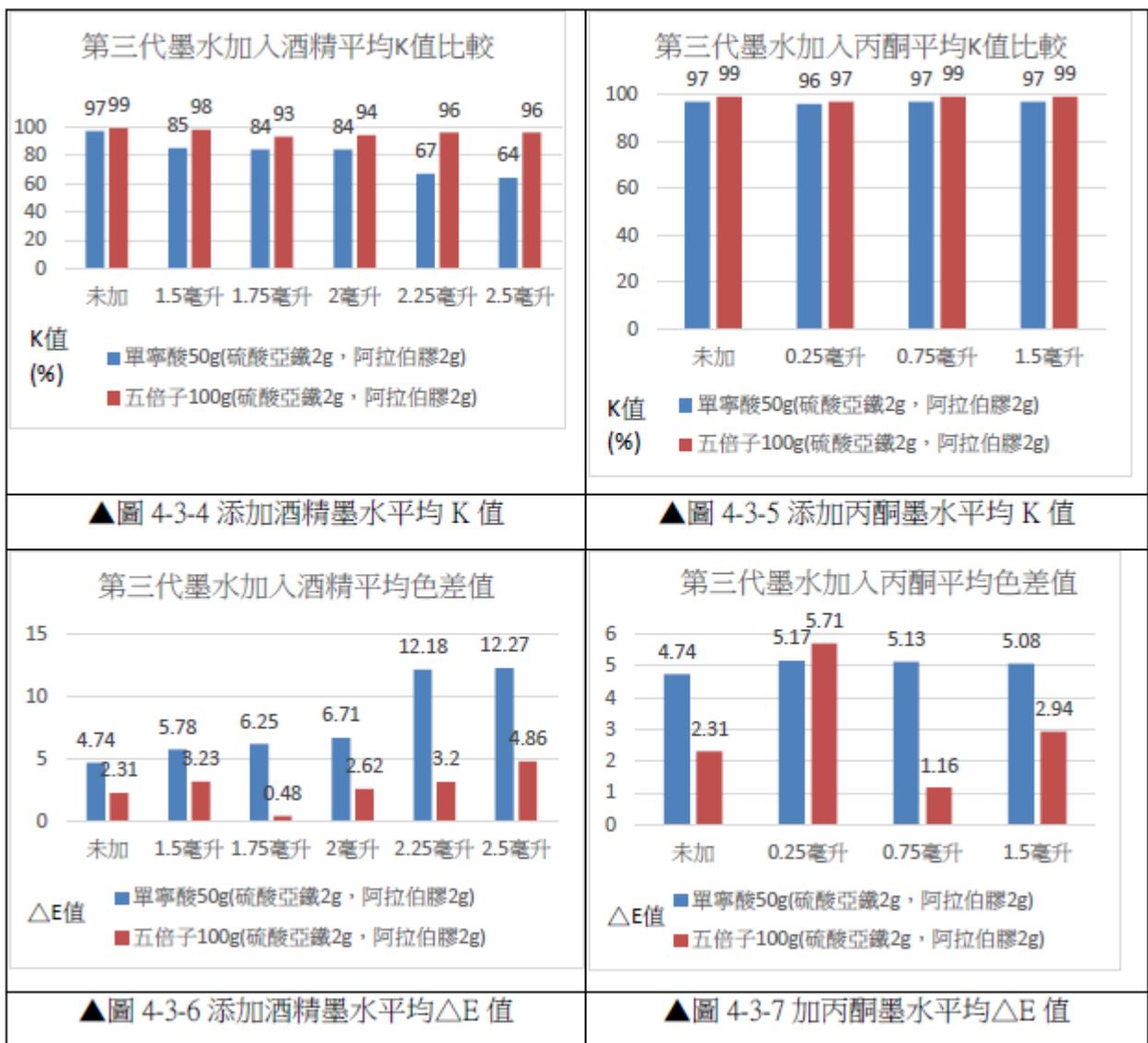
自製墨水最適化比例：單寧酸粉 50 公克，水 80 毫升，硫酸亞鐵和阿拉伯膠各 2 公克；五倍子 100 公克，水 80 毫升，硫酸亞鐵和阿拉伯膠各 2 公克。



▲圖 4-3-1 自製最適化比例墨水(未添加酒精及丙酮)與市售墨水乾的平均時間

1. 未加入酒精、丙酮之自製鐵膽墨水乾燥速度相當慢，單寧酸粉墨水需 510 秒；五倍子需 227 秒。
2. 市售墨水之乾燥時間則只需 50 秒，因此在自製墨水加入酒精及丙酮，觀察其乾燥時間。





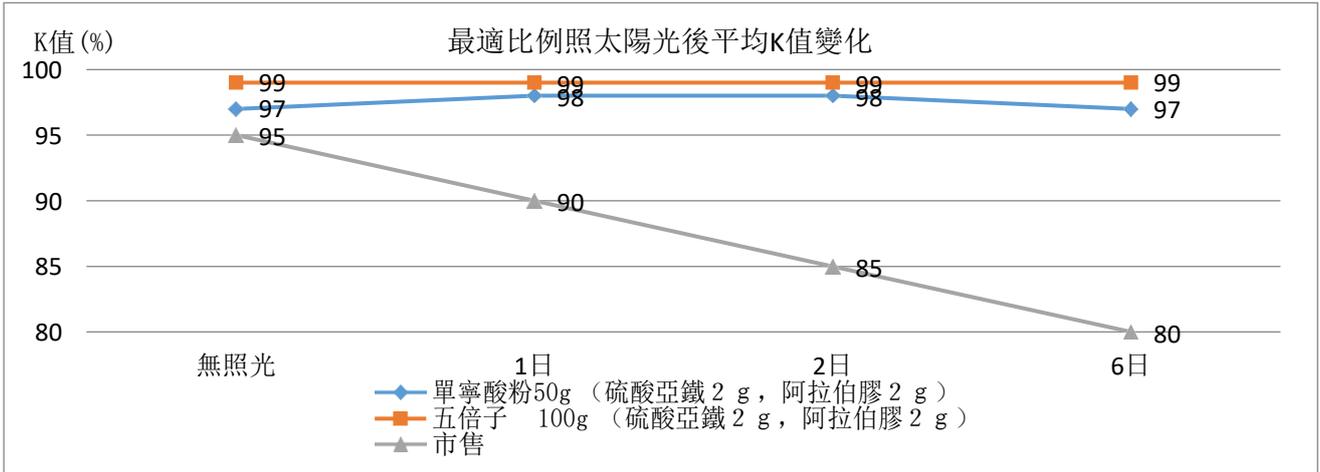
1. 依據圖 4-3-2 及 4-3-3，加入酒精之自製單寧酸粉墨水乾燥速度較加入丙酮慢，如加入 1.5 毫升酒精之單寧酸墨水，需 630 秒，而加入 0.25 毫升丙酮之自製單寧酸粉墨水乾燥僅需 180 秒；加入酒精之五倍子墨水乾燥速度則變快，最快僅需 60 秒(加入 2 毫升酒精)。加入 1.5 毫升丙酮之五倍子墨水，其乾燥時間僅需 50 秒，與市售墨水一樣。因此，自製五倍子墨水中加入酒精能夠乾得更快，加入酒精單寧酸墨水則無法達到快乾效果；墨水加入丙酮後，自製墨水之乾燥速度較加入酒精之墨水快。由此推測，是因為丙酮的蒸發速度比乙醇快，且分子間的吸引力較弱，所以五倍子丙酮墨水乾燥比酒精快。
2. 進行實驗時，我以酒精開始測試，發現酒精從加入 1.5 毫升開始，乾的速度比未加快；於是測試丙酮墨水時，也以 1.5 毫升開始往上調高劑量，然而丙酮若加入過多會使墨水凝固，故將劑量調降，且發現丙酮較少劑量就能使墨水快乾。

3. 依據圖 4-3-4 及 4-3-5，加入酒精之自製墨水 K 值均有降低，如加入 2.5 毫升酒精之單寧酸墨水 K 值 64%，較未加酒精 K 值 97%，K 值下降了 33%；加入 1.75 毫升酒精之五倍子墨水 K 值 93%，較未加酒精 K 值 99%，K 值下降了 6%。加入丙酮之自製墨水，其 K 值與未加丙酮之墨水比較，幾乎沒有更動。因此，加入酒精後之自製單寧酸墨水則無法達到快乾效果，且顏色會變淺；五倍子墨水則能夠更快乾燥，且顏色變淺問題較不明顯。加入丙酮後，自製墨水顏色變化微小。
4. 依據圖 4-3-6 及 4-3-7，加入 2.5 毫升酒精之自製單寧酸粉墨水色差值為 12.27，其所屬色差值範圍(6.5~13)為容易識別與範本差別之顏色；加入 1.75 毫升酒精之五倍子墨水，其與範本之色差值僅 0.48，可被視為與範本相同的顏色。加入丙酮之自製墨水，其色差值最大為 5.71，此色差範圍(3.2~6.5)普通人士難以分辨其與範本之色差。因此，加入酒精後之自製單寧酸墨水色差值較大；五倍子墨水色差值較小。加入丙酮後，自製與市售墨水之色差難以分辨。
5. 綜合以上分析，最適化比例如要達到或接近市售墨水乾燥時間，顏色不影響的配方如下表，其中五倍子墨水，雖然是加入 2 毫升酒精乾燥速度最快，但考量加入 2.5 毫升酒精的 K 值較高於加入 2 毫升酒精 2%，且乾燥速度僅次於加入 2 毫升酒精，因此選擇加入 2.5 毫升酒精的五倍子墨水為最適化比例。在後續實驗將這些配方進行抗光、防水測試。

▼表 4-3-1 添加酒精、丙酮墨水最適化比例配方

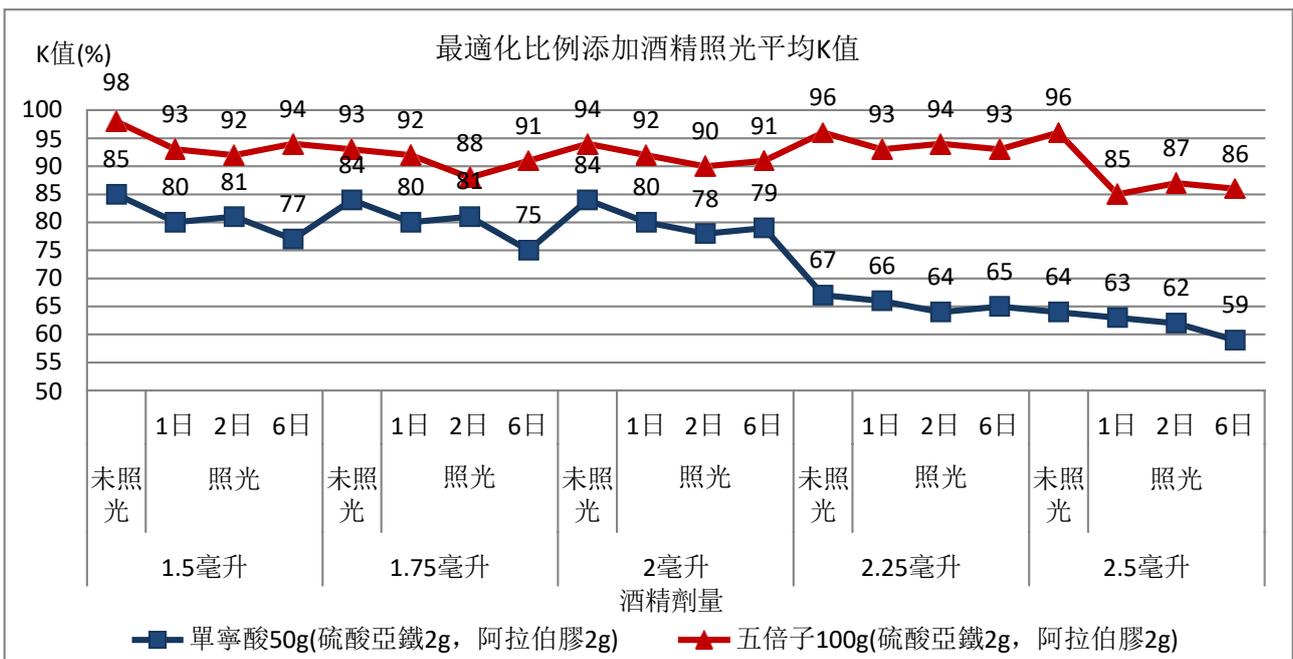
墨水品項	酒精				丙酮			
	未達標	K 值	色差	乾速	0.25 毫升	K 值	色差	乾速
單寧酸 50 公克，80 毫升水，硫酸亞鐵及阿拉伯膠各 2 公克						96%	5.17	180 秒
五倍子 100 公克，80 毫升水，硫酸亞鐵及阿拉伯膠各 2 公克	2.5 毫升	96%	4.86	62 秒	1.5 毫升	99%	2.94	50 秒

(四) 研究自製最適化比例鐵膽墨水之防水、抗光效果。



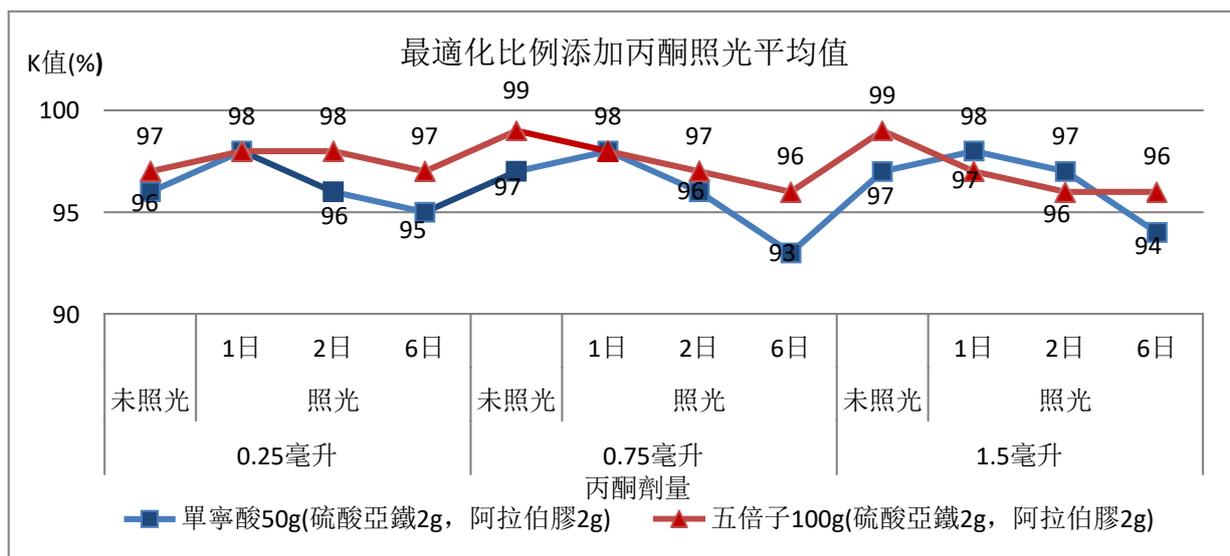
▲圖 4-4-1 最適化比例(未添加酒精、丙酮)照太陽光後平均 K 值變化

1. 依據圖 4-4-1，最適化比例自製墨水照太陽光後，K 值幾乎沒有變動，如 五倍子墨水品項，其曝曬六日之 K 值仍維持 99%；市售墨水會隨著曝曬時間 K 值遞減，六日之 K 值為 80%，下降了 15%。



▲圖 4-4-2 最適化比例(添加酒精)照太陽光後平均 K 值變化

1. 依據圖 4-4-2，酒精墨水經日曬，其 K 值會降低。
2. 五倍子酒精墨水照光六日後 K 值與未照光之 K 值進行比較，其最多相差 10%；單寧酸粉酒精墨水照光六日後 K 值若與未照光之 K 值進行比較，其最多相差 9%。



▲圖 4-4-3 最適比例(添加丙酮)照太陽光後平均 K 值變化

1. 依據圖 4-4-3，丙酮墨水經日曬，其大部分 K 值會降低。
2. 五倍子丙酮墨水照光六日後 K 值若與未照光之 K 值進行比較，其最多相差 3%；單寧酸粉丙酮墨水照光六日後 K 值若與未照光之 K 值進行比較，其最多相差 4%。
3. 依圖 4-4-1、4-4-2 及 4-4-3，酒精與丙酮墨水經過日曬後，K 值皆會降低，墨水未添加酒精或丙酮則此現象不明顯。以五倍子墨水為例，其 1.5 毫升酒精墨水曝曬 6 日後 K 值下降了 4%，添加 1.5 毫升丙酮墨水曝曬 6 日後 K 值下降了 3%。單寧酸粉墨水部分，1.5 毫升酒精墨水曝曬 6 日後 K 值下降了 8%，添加 1.5 毫升丙酮墨水曝曬 6 日後 K 值下降了 3%。因此推論五倍子跟酒精、丙酮的結合性，較單寧酸粉佳。酒精墨水較丙酮墨水更容易受日光傷害。

▼表 4-4-1 最適比例(添加丙酮與酒精)防水效果

墨水比例	單寧酸粉：單寧酸粉 50g、80 毫升水、硫酸亞鐵 2g、阿拉伯膠 2g 五倍子：五倍子 100g、80 毫升水、硫酸亞鐵 2g、阿拉伯膠 2g					
酒精或丙酮劑量	單寧酸	五倍子	五倍子	單寧酸	五倍子	市售墨水
	無添加	無添加	酒精 2.5 毫升	丙酮 0.25 毫升	丙酮 1.5 毫升	無添加
顯微鏡照片						
有無暈染	有	無	無	有	無	有
是否防水	否	是	是	否	是	否

1. 依據表 4-4-1，市售墨水滴水後產生淺色暈染。除單寧酸粉及墨水外，其餘最適化比例墨水皆防水。

伍、結論

一、天然材料劑量越多，TDS 值越高；加入硫酸亞鐵之墨水 TDS 值會比未加時高。加入硫酸亞鐵後，墨水 pH 值會降低。綠茶及五倍子墨水呈黑偏紫色，紅茶、單寧酸粉及烏龍茶墨水呈黑偏灰色，咖啡及欖仁枯葉墨水則呈黑偏綠色。以烏龍茶、欖仁葉調製的墨水效益最低，因此不適合調製墨水。

二、墨水顏色會隨著天然材料濃度愈深。第一代墨水中最高劑量墨水(20公克)，顏色由深到淺為單寧酸粉>五倍子、綠茶>咖啡>紅茶。

三、蜂蜜墨水顏色較阿拉伯膠墨水深或相同，然而蜂蜜較阿拉伯膠黏稠，且墨跡遇熱會融化，作為墨水增稠劑較不合適。

四、墨水加入5公克阿拉伯膠，會由於太黏稠而不易書寫且顏色變淺。

五、墨水中加入2公克硫酸亞鐵，與墨水之結合效果較 1、3、5 公克時佳。

六、酒精不能讓單寧酸粉墨水快乾，且其顏色會大幅變淺；五倍子墨水可透過加酒精快乾，但其顏色會些微變淺。

七、單寧酸粉及五倍子丙酮墨水能快乾，顏色變化不明顯。

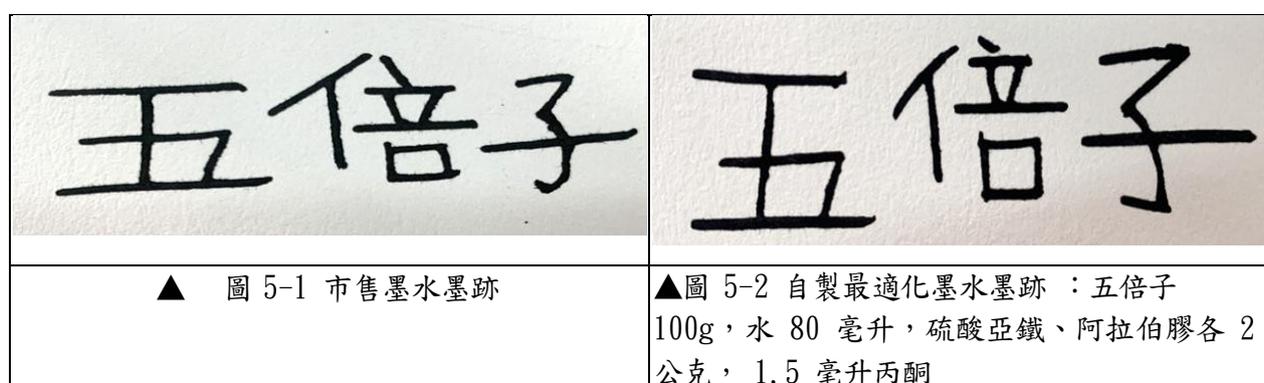
八、自製墨水抗光性好，曝曬後，顏色變化微小；市售墨水無法抗光。單寧酸粉及市售墨水遇水會暈染，五倍子墨水防水性較佳。

綜合所有數據，五倍子為所有天然材料中最適合製作成墨水者，因其墨水顏色較深，且與酒精和丙酮結合效果較好。自製墨水之最適化比例為五倍子 100 公克，水 80 毫升，硫酸亞鐵 2 公克，阿拉伯膠 2 公克，添加 丙酮 1.5 毫升墨水。其各項數據為：

▼表 5-1 最適化比例墨水各項數據

五倍子墨水	K 值 (未曝曬)	色差值	乾燥速度	曝曬 6 日後K值	是否防水
	99%	2.94	50 秒	96%	是
市售墨水	95%	標準樣本	50 秒	80%	否
備註	【 ΔE 值在 1.6-3.2】人眼分辨不出色彩的差異，通常被認為是相同的顏色。				

依據表 5-1，最適化比例墨水之K值為 99%，高於市售墨水 4%，顏色較市售墨水深；色差值為 2.94，人眼無法辨別其不同，可被認為相同的顏色。乾燥時間只需 50 秒，相當於市售墨水。其曝曬 6 日後K值為 96%，顏色變化微小，具抗光、防水性；而市售墨水曝曬後顏色變化較大，且遇水容易暈染，抗光、防水較差。因此五倍子墨水墨跡較市售墨水具有良好的保存效果。



陸、參考文獻

- 一、尤馨瑩、紀玉菁、康雅婷、王俐淳(1991)。變色茶。第 31 屆全國中小學科展。
- 二、蔡幸紘、陳炳伸、黃祥偉(2013)。喝茶？找碴？-單寧酸和茶的異想世界。第54屆全國中小學科展。
- 三、涂好華、楊裕安、謝承洋(2020)。察「顏」觀「色」~食品色素大解碼。第60屆全國中小學科展。
- 四、鄭博瑋、郭庭君、廖子翔、蕭貫育、黃泓達、林頂立(2021)。單寧酸現形記。第61屆全國中小學科展
- 五、吳宗恩、蔡旻翰、林昀臻(2020)。鐵來銅去 茶葉墨水。109 年度高級中等學校綠色化學創意競賽。
- 六、洪福偉(2018)。鞣酸鐵墨水的修護處理方法評估。台灣博碩士論文知識加值系統。
- 七、單寧(2022 年 9 月 1 日)。科學 Online

<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?tag=%E5%96%AE%E5%AF%A7>

【評語】 080202

1. 本作品研究開發鐵膽墨水製作最佳條件，主題明確，適合國小階段學生進行探究實作。
2. 善用儀器與軟體測量墨水顏色變化，讓結果數據科學化。
3. 實驗變因控制得宜，且實驗結果對照市售墨水有較佳趨勢，創意十足。
4. 對於色差量測已能夠討論到誤差因素，已有量測不確定的觀念，但缺乏導入重複測量的步驟，故數據的代表性可能受到影響。
5. 實驗產生之數據量龐大，可考慮簡化實驗設計，或需要更理想的數據整理及呈現方式，以利於讀者吸收。
6. 作品說明書只列出過去科展的相關作品，但並沒有提到科展以外的相關文獻，建議提供與市售或文獻報導的鐵膽墨水內含物及成分比例的比較，來強化自製墨水的創新發現。
7. 如何定義墨水的好與壞？墨水對於紙張的暈染程度也可列入討論項目。

作品海報

「墨」世不忘 -

天然鐵膽墨水之製作與最適化探討



摘要

本研究製作高環境親和力鐵膽墨水。墨水分為三代製作，測量顏色，找出其最適化比例。最適化比例為**五倍子100公克，水80毫升，硫酸亞鐵 2 公克，阿拉伯膠 2 公克，丙酮 1.5 毫升者**，其書寫效果較市售墨水佳。

壹、前言

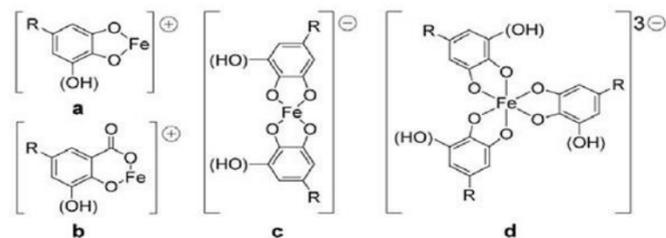
一、研究動機

部分墨水中添加的染料有毒。生態危機嚴重，解決方法為致力保護環境，「綠色化學」，其指標之一為「環境親合」。因此製作更加安全實用之鐵膽墨水。

二、研究目的

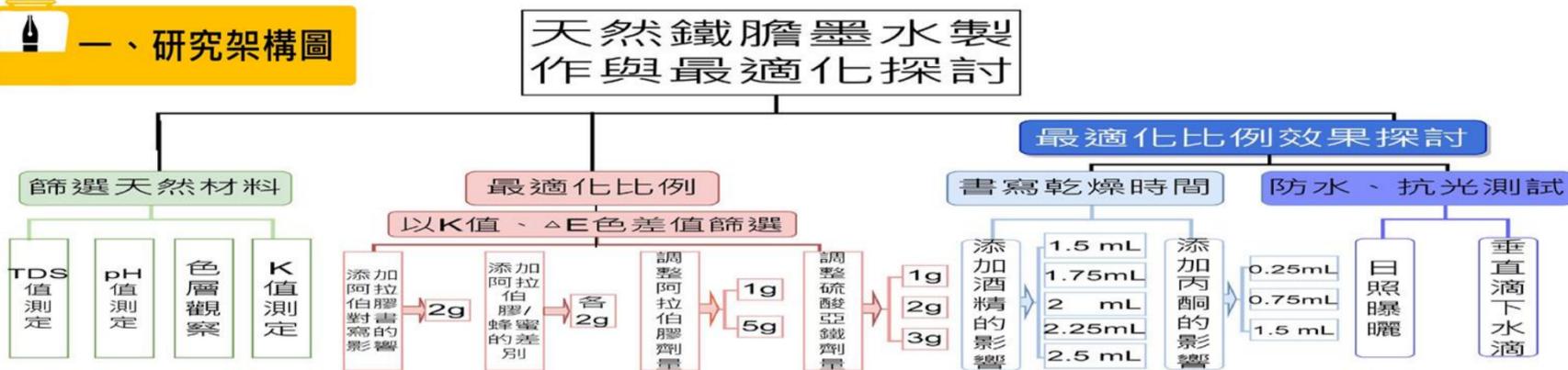
- (一) 研究各種天然材料跟硫酸亞鐵結合的效果。
- (二) 研究不同配方墨水之書寫效果，並找出最適化比例
- (三) 研究自製最適化比例鐵膽墨水的書寫效果及乾燥時間。
- (四) 研究自製最適化比例鐵膽墨水之防水、抗光效果。

三、單寧酸加上鐵的錯合物

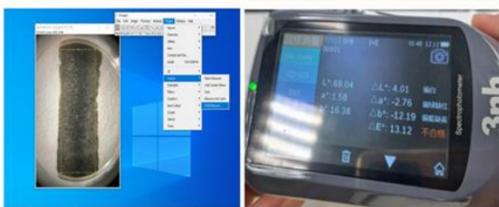


貳、研究過程或方法

一、研究架構圖



二、墨水書寫效果測量方法及判定標準



以軟體Image J分析墨水RGB，轉為CMYK值。**K代表黑色，其百分率越高，顏色越深**，用以判斷墨水顏色深淺且用色差儀測量自製與市售墨水的色差。

三、色差值(ΔE值)判定標準

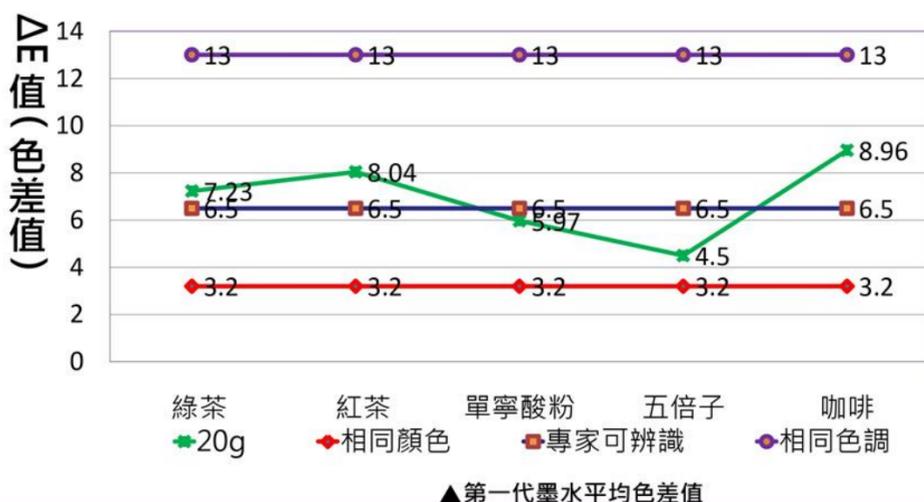
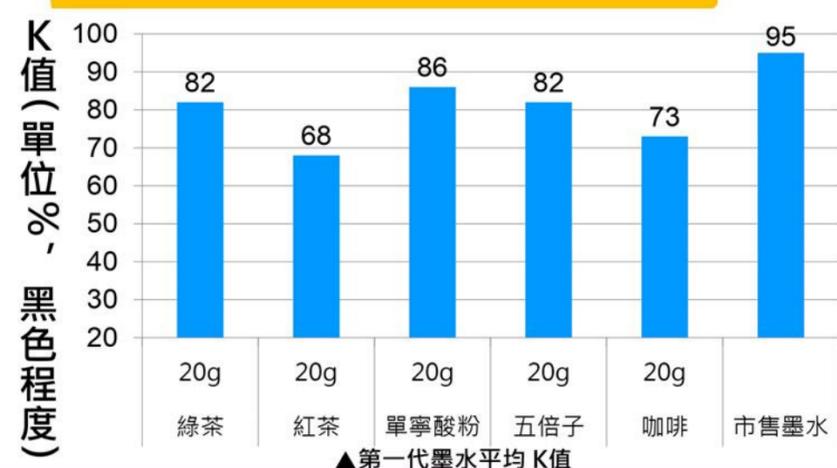
ΔE值	ΔE值代表著與標準L*a*b值的色差： 【ΔE值在1.6-3.2】人眼分不出色彩差異。 【ΔE值在3.2-6.5】普通人觀察不到其中的不同。 【ΔE值在6.5-13】色差別容易識別。 【ΔE值在13-25】被認為是不同的色調，超過此值，則被認為是不同的顏色。
-----	---

四、墨水書寫效果研究內容

項目	自製鐵膽墨水配方					製作鐵膽墨水步驟	添加物-增稠劑比例	實驗發現
	天然材料	水	硫酸亞鐵					
第一代墨水	綠茶 10g、15g、20g 紅茶 15g、20g 單寧酸粉 5g、10g、15g、20g 五倍子 5g、10g、15g、20g 咖啡 20g	80毫升攝氏90度的熱水	5g	阿拉伯膠 2g		取墨水定量5g，做添加增稠劑實驗。	阿拉伯膠 2g 蜂蜜 2g	與市售墨水之色差仍有距離因此調整實驗天然材料比例
第二代墨水	綠茶 30g、50g、80g 單寧酸粉 30g、50g、80g 五倍子 30g、50g、80g、100g			阿拉伯膠 2g				
第三代墨水	同第二代墨水			阿拉伯膠 1g/5g				
第三代墨水	同第二代墨水			阿拉伯膠 1g/2g				

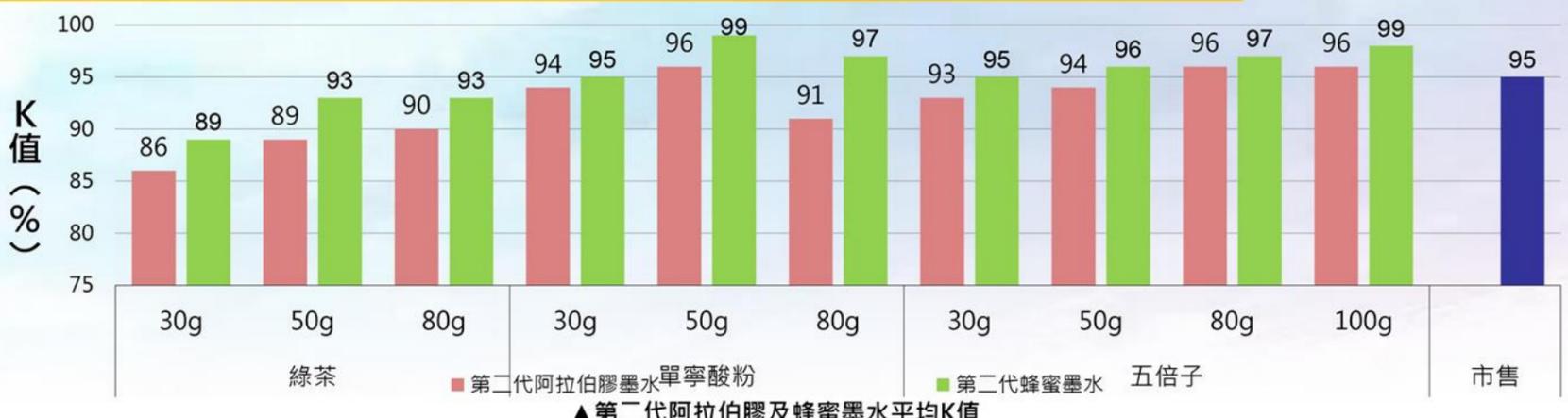
參、研究結果與討論

一、第一代墨水書寫效果比較



研究結果分析：由於**第一代墨水顏色皆不夠深**，保留K值達80且ΔE值≤13之天然材料，選取**綠茶、單寧酸粉**以及**五倍子**來做為第二代墨水，並從20公克天然材料開始**調高劑量**以製作更深色的墨水。

二、調高天然材料劑量之第二代墨水增稠劑阿拉伯膠與蜂蜜墨水書寫效果比較



▲第二代阿拉伯膠及蜂蜜墨水平均K值

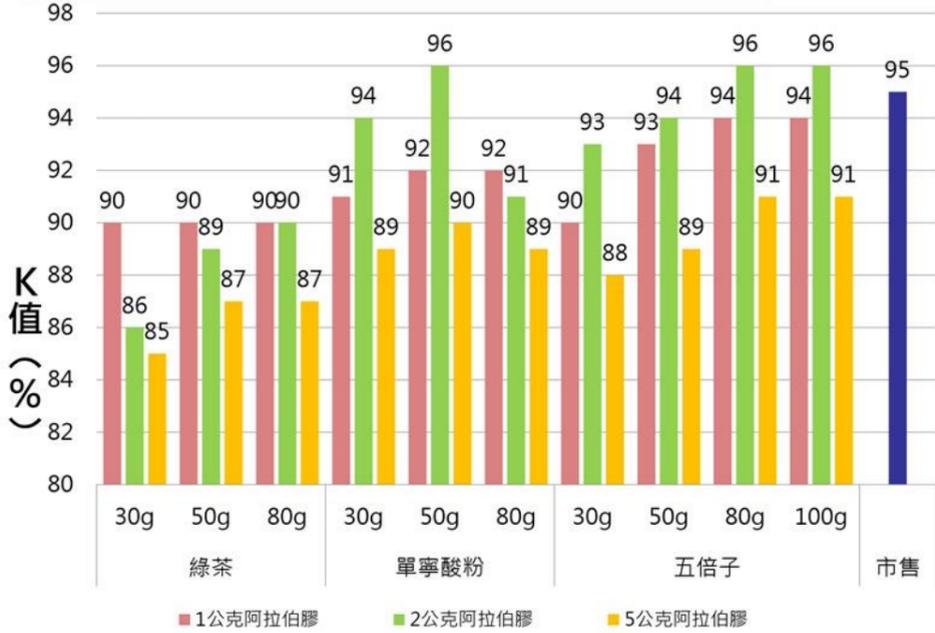
研究結果分析：調高劑量的第二代墨水顏色有**隨著濃度提高而變得較深**之趨勢。蜂蜜墨水顏色都較阿拉伯膠墨水深，但**蜂蜜墨跡具黏性，無法進行色差儀檢測**，故後續實驗中無採用；阿拉伯膠墨水則無此問題。

三、調高天然材料劑量之第二代墨水(阿拉伯膠)書寫效果

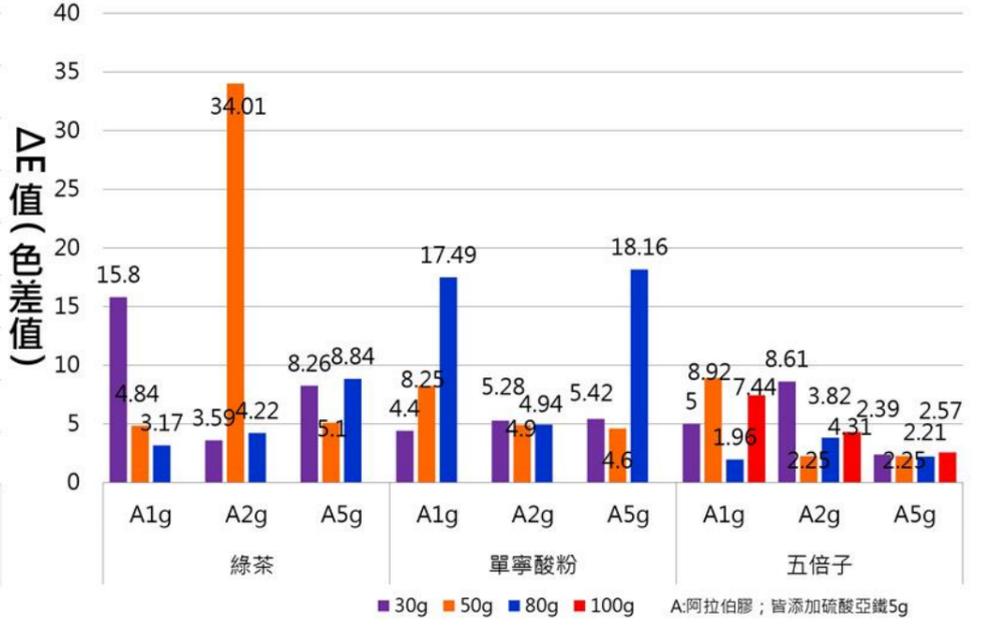
	綠茶	單寧酸粉	五倍子
K值範圍	86~90%	91~96%	93~96%
色差範圍	3.59~4.22	4.9~5.28	2.25~8.61

研究結果分析：五倍子30~100g、單寧酸粉30~80g及綠茶30~80g調製的阿拉伯膠墨水，因**K值多低於市售墨水K值95%**，**色差也多未達3.2以下**，因此**第三代墨水進行阿拉伯膠及硫酸亞鐵劑量調整**。

四、第三代調整阿拉伯膠墨水書寫效果



▲第三代調整阿拉伯膠劑量之墨水平均K值



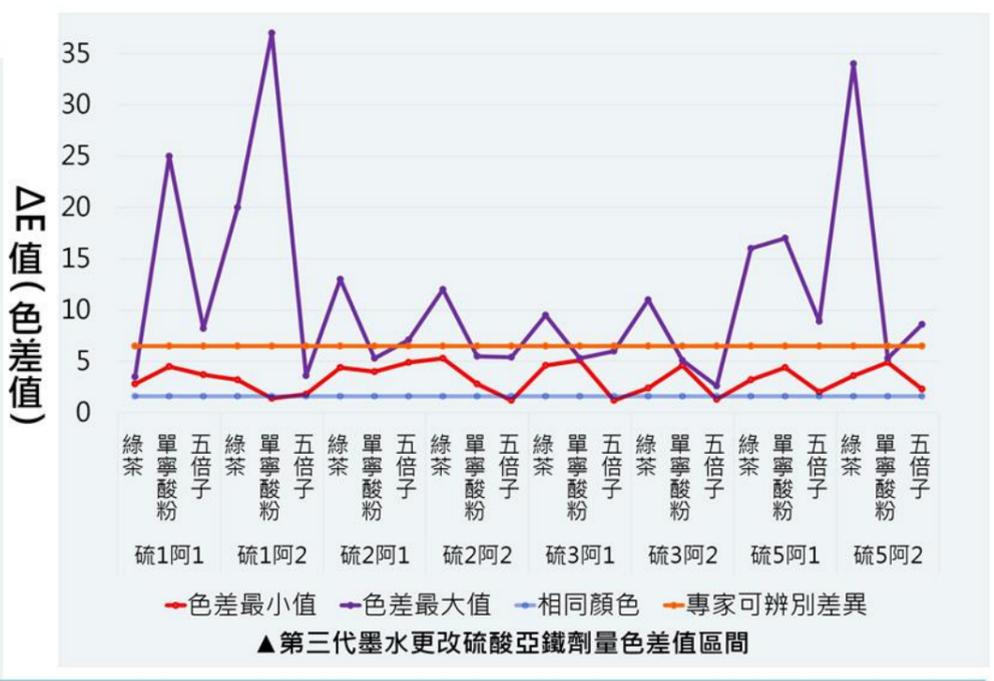
▲第三代自製墨水(調整阿拉伯膠量)與市售墨水色差值

研究結果分析：**添加5公克阿拉伯膠之墨水顏色會較添加1公克淺**，且筆跡不易延展，故書寫效果較不佳。

五、第三代調整硫酸亞鐵墨水書寫效果



▲第三代墨水更改硫酸亞鐵劑量K值區間



▲第三代墨水更改硫酸亞鐵劑量色差值區間

研究結果分析：考慮「**綠色化學**」的環境親和力原則，擇**硫酸亞鐵劑量較少者(2公克)且K值最高者**實驗。單寧酸粉(50公克，硫酸亞鐵和阿拉伯膠各2公克)，五倍子(100公克，硫酸亞鐵和阿拉伯膠各2公克)。

六、第三代自製墨水乾燥時間



▲自製最適化比例墨水(未添加酒精及丙酮)與市售墨水乾的平均時間

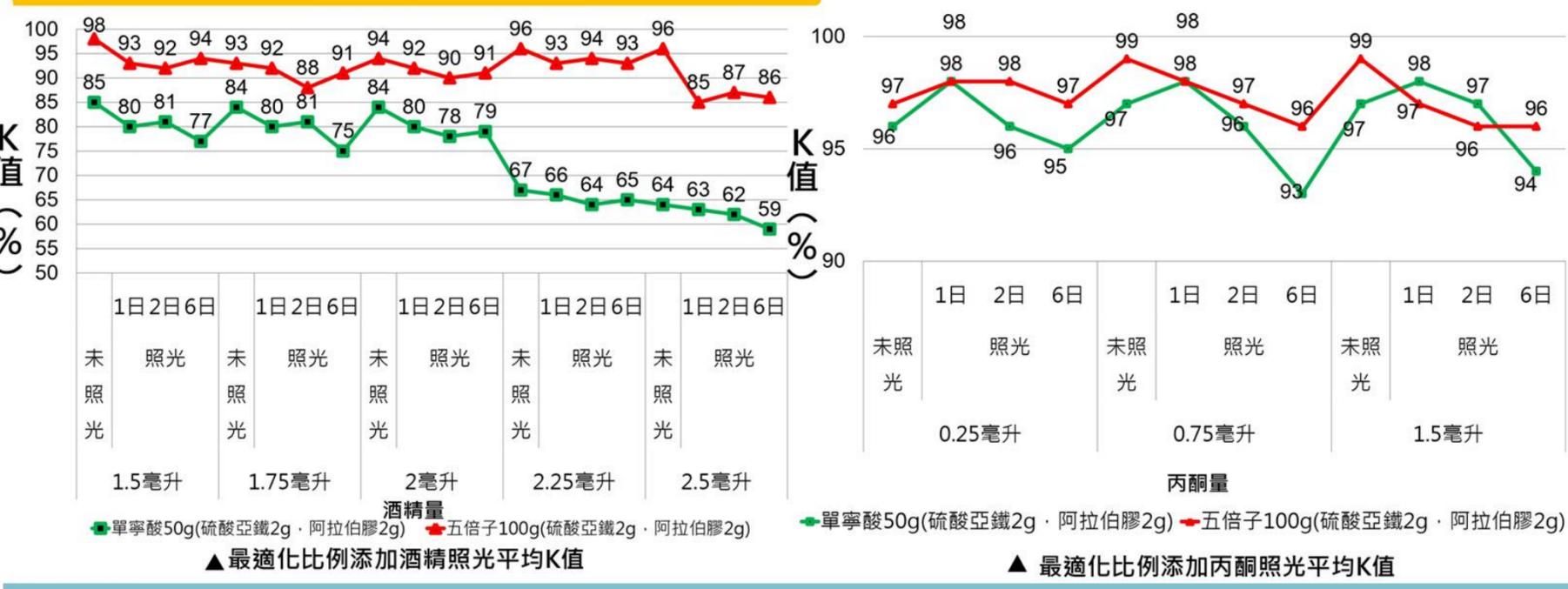
研究結果分析：最適化比例墨水墨水乾燥速度相當慢，市售墨水之乾燥時間則只需50秒，遂在自製墨水中**加入酒精及丙酮**，觀察其乾燥時間。

七、第三代自製墨水(添加酒精及丙酮)乾燥時間(F:硫酸亞鐵；A:阿拉伯膠)



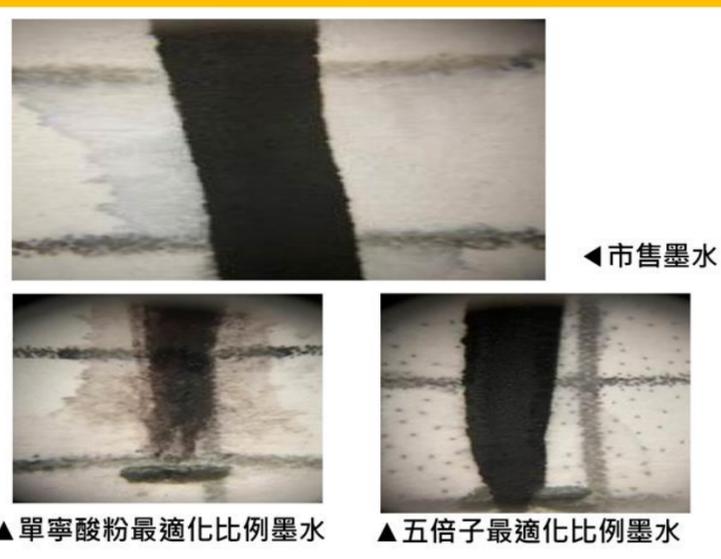
研究結果分析：自製五倍子墨水中加入酒精能夠乾得更快，加入酒精後單寧酸墨水則無法達到快乾效果；墨水加入丙酮後，自製墨水之乾燥速度較加入酒精之墨水快。

八、第三代自製墨水(添加酒精及丙酮)抗光效果



研究結果分析：酒精及丙酮墨水經日曬，K值會降低。然而，酒精墨水較丙酮墨水更容易受日光傷害。

九、自製與市售墨水(無酒精及丙酮)防水效果



十、自製墨水(添加酒精及丙酮)防水效果



肆、結論

- 墨水顏色會隨著天然材料濃度愈深。
- 酒精不能讓單寧酸粉墨水快乾，且其顏色會大幅變淺；五倍子墨水可透過加酒精快乾，但其顏色會些微變淺。丙酮墨水能快乾，顏色變化不明顯。
- 自製墨水抗光性好；市售墨水無法抗光。五倍子墨水防水性較單寧酸粉及市售墨水佳。
- 經過三代的實驗，用以調製最適化比例墨水中，五倍子、水、阿拉伯膠，天然成分總共約占7成以上，化學成分較低，符合綠色化學的原則。

自製最適化比例墨水與市售墨水之書寫效果比較(五倍子100g，水80毫升，硫酸亞鐵和阿拉伯膠各2g，1.5毫升丙酮)

項目	K值(未曝曬)	色差值	乾燥速度	曝曬6日後K值	是否防水
五倍子墨水	99%	2.94	50秒	96%	是
市售墨水	95%	標準樣本	50秒	80%	否
備註	【ΔE值在1.6-3.2】人眼分辨不出色彩的差異，通常被認為是相同的顏色。				

