

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 化學科

第三名

030204

燒出光彩炫麗的藝術品

學校名稱： 雲林縣立北港國民中學

作者： 國一 洪千喻 國一 于又安 國一 蘇炫伊	指導老師： 洪浩宸
---	------------------

關鍵詞： 燒箔、氧化還原反應、藝術科學

燒出光彩炫麗的藝術品

本研究以金屬「燒箔」技術為主軸，探討在不同硫化、加熱條件與時間下金屬表面產生的色彩變化。研究分為兩階段進行：第一階段以銅箔、鋁箔、銀箔為材料，調整硫磺皂濃度、加熱時間與溫度等變因，透過 RGB 數值與色階圖進行分析；第二階段則排除硫化變因，改以加厚銅幣並使用控溫加熱板，聚焦探討材料厚度與熱控精準度對色彩穩定性的影響。結果顯示，厚銅材具備更佳的熱傳導與結構穩定性，可呈現連續、可預測的漸層色階。研究建構「燒箔藝術色階設計參考表」，整理超過二十種代表性色彩及其對應條件，提升燒箔創作的可控性與應用價值。本研究不僅實現燒箔技術的科學化與系統化，也為藝術創作與教育應用建立實證基礎，展現藝術與科學整合的可能性。

壹、前言

一、研究動機

觀看 YouTube 影片時，我們偶然發現一種特殊的燒箔技術。影片中，創作者透過銅箔與硫磺水加熱反應，成功燒製出色彩斑斕、獨具美感的藝術作品。這樣的視覺效果引起了我們極大的興趣，也激發出結合科學方法與藝術創作的想法。

初步文獻探討後，我們了解到燒箔技術是利用金屬與硫化物經過加熱，產生不同的色彩變化。然而，影片中提到以經驗判斷「想要的顏色」即停止加熱，這讓我們思考：是否能透過科學化控制加熱條件，來達成可預期的色彩變化？

本研究初期以銅箔、鋁箔、銀箔為材料，有系統性探討硫磺皂水濃度、加熱溫度、加熱時間對金屬色彩變化的影響。但在實驗過程中，我們發現箔類等薄型材料在高溫下易發生破裂、翹曲、表面不均勻等問題，且硫化處理過程中水分、硫化劑濃度亦難以完全一致，影響了實驗的穩定性與可控性。

為了克服這些限制，提升實驗可靠性，我們設計了加厚銅幣延伸實驗：改以厚度更大的銅片為材料，排除硫化催化因素，單純控制加熱溫度與加熱時間兩個變因，並使用可控溫加熱板取代熨斗，以提高加熱的一致性與精準性。

本研究期望透過這樣的方式，不僅能更科學化分析金屬色彩變化的機制，也能拓展燒箔藝術的應用層面，讓科學與藝術得以交融，創造出兼具美感與科學意涵的作品。

二、研究目的

本研究旨在探討金屬材料在加熱與硫化條件下的色彩變化機制，並嘗試建立科學化的色彩控制方法，以促進燒箔技術在藝術創作中的應用。具體目標如下：

- （一）以銅箔、鋁箔、銀箔為材料，分別在不同硫磺皂水濃度（5%、10%、15%）、不同加熱溫度（低溫、中溫、高溫）及不同加熱時間（5 秒、10 秒、15 秒、20 秒）條件下，觀察並分析金屬表面的色彩變化規律。
- （二）建立金屬燒箔色彩變化的數據資料庫，透過 RGB 色彩值與色階圖分析，歸納出不同條件下色彩變化的特性與趨勢，提供藝術創作時的參考依據。
- （三）針對原研究過程中發現的薄箔易破損、變色不均與條件難以控制等問題，進行加厚銅幣的延伸實驗，排除硫化劑干擾，純粹以加熱溫度（250°C、300°C、350°C）與加熱時間為變因，分析銅材的色彩變化行為。
- （四）比較原燒箔實驗與加厚銅幣延伸實驗的結果，探討材料厚度、加熱條件對金屬表面變色效果的影響，並提出最佳化的燒箔製作建議。

三、文獻探討

（一）燒箔技術與金屬表面變色原理

燒箔技術源於東方藝術工藝，透過金屬（如銀、銅）與硫磺、氧氣等反應，在金屬表面形成不同的化合物層，產生多樣的色彩變化。銀箔容易與硫化物反應生成硫化銀（ Ag_2S ），**【 $2\text{Ag}+\text{S}\rightarrow\text{Ag}_2\text{S}$ 】**呈現深灰至黑色光澤；銅箔則可因氧化與硫化反應生成氧化銅（ CuO ）**【 $4\text{Cu}+\text{O}_2\rightarrow 2\text{Cu}_2\text{O}$ 、 $2\text{Cu}_2\text{O}+\text{O}_2\rightarrow 4\text{CuO}$ 】**、硫化銅（ Cu_2S 、 CuS ）**【 $2\text{Cu}+\text{S}\rightarrow\text{Cu}_2\text{S}$ 、 $\text{Cu}+\text{S}\rightarrow\text{CuS}$ 】**等，展現出黃色、紅褐色、綠色等豐富色階（吳敏慈，2024）。

燒箔過程中，硫化劑濃度、加熱溫度、加熱時間以及金屬本身性質，皆為影響色彩表現的重要因素。除此之外，加熱方式（如：熨斗、加熱板）與硫化劑類型（如硫磺皂、硫磺粉）亦會對變色反應速率與結果產生明顯差異，影響作品的細緻度與穩定性。

（二）金屬厚度對熱傳導與表面反應的影響

金屬材料的厚度影響其熱傳導速度及表面反應的均勻性。相較於薄膜結構，厚金屬片受熱時可更均勻地分散熱量，減少局部過熱、翹曲或破裂的現象（成功大學能源教育資源中心，2024）。厚度增加也讓表面溫度變化較緩和，使反應層生成過程更加穩定，有助於形成均勻且可控的色彩層次。此外，厚銅幣在多次加熱或高溫加熱後，仍能保持較佳的結構完整性，適合用於需長時間操作或高溫燒製的藝術創作中。

（三）加熱溫度與金屬表面氧化變化

銅在不同溫度下氧化的行為有所差異。在 150°C 至 300°C 範圍內，加熱可使銅表面逐步氧化，生成氧化銅（ CuO ）薄層。隨著溫度升高，氧化速率加快，並造成表面色澤由紅銅色向暗紅、棕色、紫色、甚至深灰色轉變（高國庭，2023）。不同的加熱時間亦影響氧化層厚度與色澤呈現，如短時間形成的氧化層較薄且色澤明亮，長時間加熱則可能產生多層次氧化膜，帶來更深沉、複雜的色彩變化，對燒箔藝術表現具有關鍵性影響。

（四）RGB 色彩空間與色階分析應用

RGB 色彩空間以紅（R）、綠（G）、藍（B）三基色為基礎，能精確描述色彩深淺與亮度。透過數位攝影並提取 RGB 數值，可量化分析金屬表面的色彩變化趨勢。進一步以色階圖呈現，不僅可視覺化顏色變遷，也能輔助歸納不同加熱條件下色彩變化的規律，提升研究數據的科學性。

（五）燒箔技術的藝術應用潛力

燒箔技術廣泛應用於手工藝、裝置藝術與現代裝飾設計領域。色彩變化的可控性與創作自由度成為其關鍵優勢。藉由本研究對色彩變化機制的科學探究，未來燒箔藝術有望從經驗導向，邁向理論指導下的創作模式，為金屬工藝帶來更多創新與可能性。同時，系統化的色彩資料庫建構，將有助於藝術家依據預測結果設計更具個性化且高品質的作品。

綜合以上文獻可知，金屬表面色彩變化主要受硫化反應、氧化反應與加熱條件影響。燒箔技術透過掌控硫化劑濃度、加熱溫度及時間，可產生多樣且可預測的色階表現；同時，金屬材料的厚度對熱反應的穩定性亦具有顯著影響。

此外，應用 RGB 色彩空間與色階分析技術，能夠以量化方式紀錄與比較金屬色彩變化，進一步提升實驗資料的科學性與再現性。燒箔技術的藝術應用潛力亦證明，系統性控制色彩變化對創作價值具有實質貢獻。

因此，本研究將基於上述理論，設計分為兩階段的實驗：首先探討不同硫化條件下銅、鋁、銀箔的色彩變化；其次針對加厚銅幣進行無硫化劑純加熱延伸實驗，透過系統控制溫度與時間，進一步探究金屬變色行為的穩定性與可控性。

貳、研究設備及器材

研究設備及器材如下：銅箔、銀箔、鋁箔、硫磺皂、宣紙、可控溫熨斗、碼錶、攝影黑箱、攝影手機、腳架、燒杯、竹夾、硬幣、可控溫加熱板。

名稱	自製攝影黑箱	一元硬幣	可控溫加熱板
照片			
說明	控制光線環境，提升拍攝樣本的色彩穩定性。 （研究者自行拍攝）	延伸實驗使用，厚度約1.5mm，防止翹曲、破裂。 （研究者自行拍攝）	用於加厚銅幣的精確溫控加熱。 （研究者自行拍攝）

參、研究流程及實驗方法

（一）研究設計

本研究分為兩個階段進行。第一階段為金屬箔燒箔實驗，探討銅、鋁、銀在不同硫磺皂水濃度、加熱溫度與加熱時間條件下的色彩變化。第二階段則為加厚銅幣延伸實驗，於無硫化物催化條件下，單純以溫度與時間為變因，探討金屬表面的氧化變色現象。

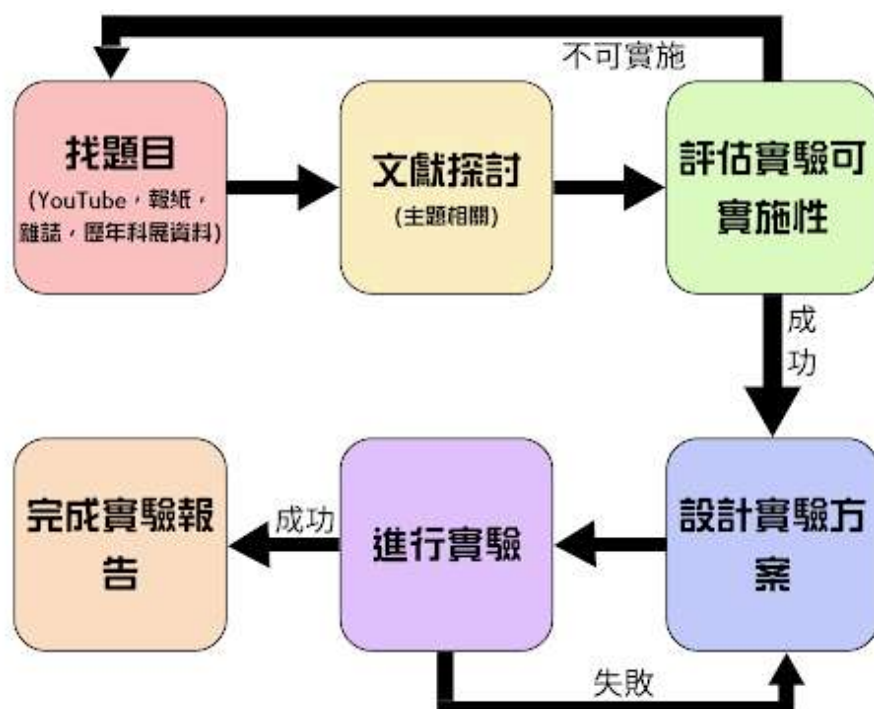


圖 3-1 研究流程圖（研究者自行繪製）

（二）操作變因、應變變因與控制變因

項目	第一階段：金屬箔燒箔實驗	第二階段：加厚銅幣延伸實驗
操作變因	硫磺皂水濃度（5%、10%、15%） 加熱溫度（低、中、高溫） 加熱時間（5、10、15、20 秒）	加熱溫度（250°C、300°C、350°C） 加熱時間（32、34、...、120 秒，每 2 秒製作一個樣本）
應變變因	金屬表面的色彩變化（實驗樣本呈現、RGB 色彩分析、色階圖分析）	銅幣表面的色彩變化（實驗樣本呈現）
控制變因	50mm*50mm 的金屬材料 宣紙材質與硫磺皂水配製方式 加熱設備與環境一致性	1.5mm 的銅幣厚度 加熱板設備與操作流程 降溫方式、環境溫濕度

(三) 實驗步驟

1、第一階段：金屬箔燒箔實驗

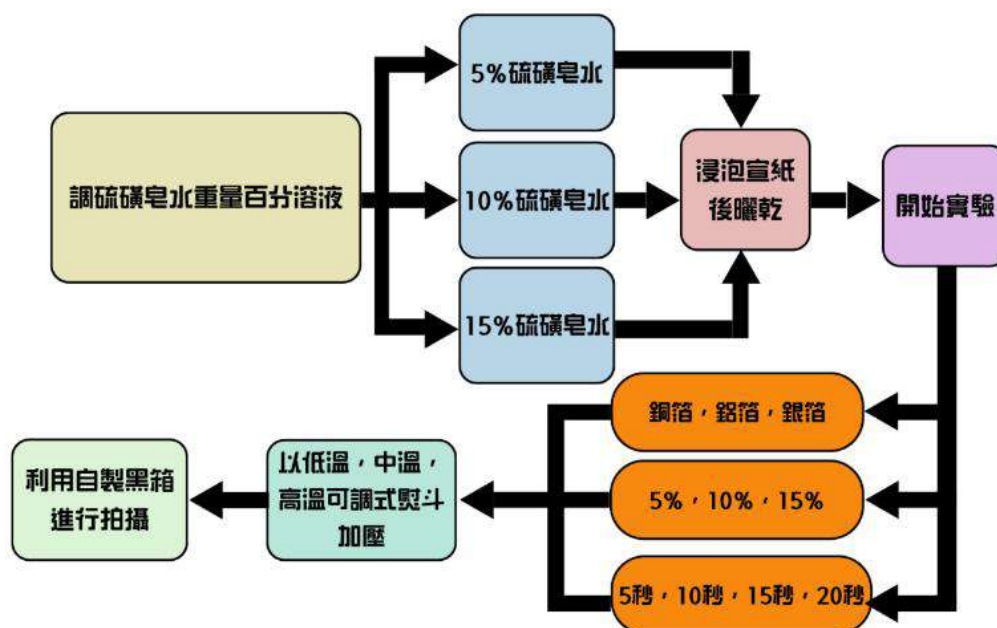




圖 3-2 金屬燒箔實驗流程圖（研究者自行繪製）



(1) 調製 5%、10%、15% 的硫磺皂水重量百分溶液。

	
<p>製作皂屑以利快速調製重量百分溶液 (研究者自行拍攝)</p>	<p>利用熱水調製重量百分溶液 (研究者自行拍攝)</p>

(2) 將宣紙泡入硫磺皂百分比溶液完全浸濕後，進行晾曬。

	
<p>浸泡各種濃度的宣紙 (研究者自行拍攝)</p>	<p>進行曬乾 (研究者自行拍攝)</p>

(3) 將 50mm*50mm 的金屬箔貼在已編碼的紙上，覆蓋泡好的宣紙，用可控溫熨斗在宣紙上進行低、中、高溫的加熱及控制 5、10、15、20 秒的加熱時間。有 9 組實驗數據，一組有 12 個樣本，共 108 個樣本。

	
<p>竹夾取箔準備黏合 (研究者自行拍攝)</p>	<p>熨斗進行低、中、高溫加熱 (研究者自行拍攝)</p>

(4) 對於完成實驗成品，對其結果進行拍照。


<p>利用自製黑箱進行拍照 (研究者自行拍攝)</p>

2、第二階段：加厚銅幣延伸實驗

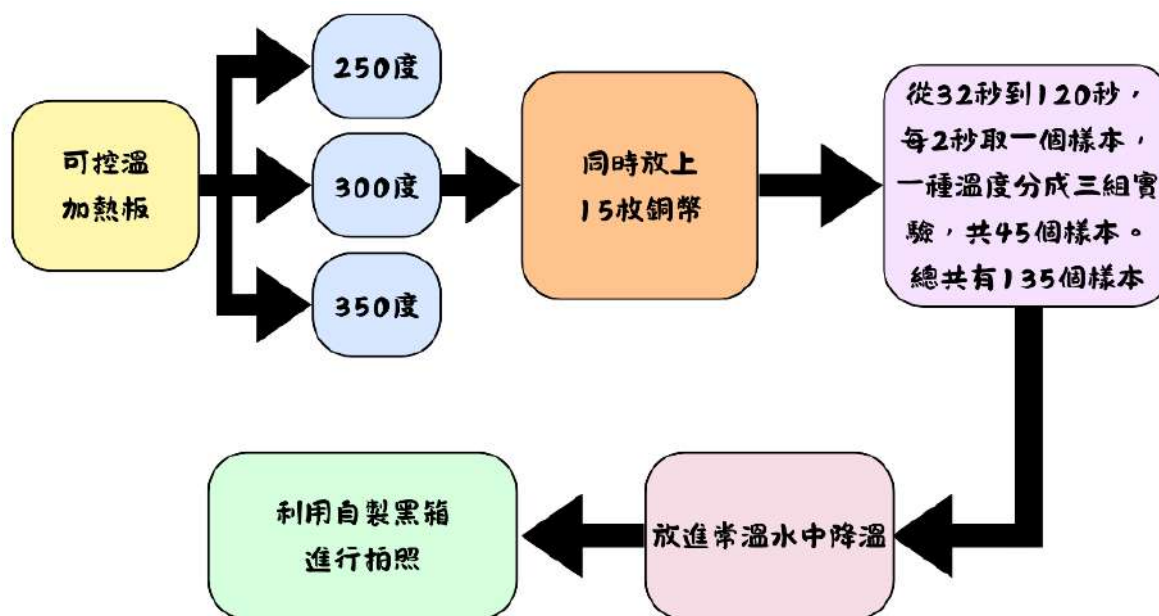



圖 3-3 加厚銅幣延伸實驗流程圖（研究者自行繪製）

(1) 將銅幣放置於設定好溫度的加熱板上。

	
先將控溫加熱板加熱到設定溫度 (研究者自行拍攝)	將 15 個實驗樣本一次放上 (研究者自行拍攝)

(2) 依序於 250°C、300°C、350°C 溫度條件下加熱，從 32、34、...、120 秒，每 2 秒取一個樣本，每一種溫度分成 3 組取樣(共 45 個樣本)，三種溫度總共 135 個樣本。取樣過程，需要三人同步進行合作，冷卻後的樣本利用自製攝影黑箱進行拍照。

	
【計時人員】兩秒鐘間隔喊「撥」 (研究者自行拍攝)	【取樣人員】隔兩秒將樣本撥入水中 (研究者自行拍攝)
	
【水冷人員】一共有 15 個水冷杯，依照不同秒數在杯身作記號，依順序協助「傳」、「取」水杯。(研究者自行拍攝)	冷卻完的樣本，利用自製的攝影黑箱進行拍照。(研究者自行拍攝)

(五) 研究過程中的修正歷程

1、熨斗加熱工具的調整

原本計畫使用精密控溫熨斗，但市售產品無法達到細緻溫度控制，因此改以三段式(低、中、高溫)可控熨斗進行加熱，並以碼表精準控制加熱時間。

2、硫磺水調製方式的變更

初期嘗試自行以硫磺粉溶解調製硫磺水，但因硫磺不溶於水，且溶液穩定性差，故改用硫磺皂水溶液，以確保硫化劑濃度的一致性與實驗可操作性。

3、取箔與樣本固定方式的改良

在操作金屬箔時，使用金屬夾易產生靜電，導致箔材捲曲，遂改用竹夾夾取金屬箔，並以膠水固定於編碼紙上，提升加熱過程的平整性與實驗穩定性。

4、延伸實驗材料與加熱設備的調整

鑒於薄銅箔在高溫下易破碎、翹曲，且硫化條件難以完全控制，因此於延伸實驗中改用加厚銅幣，並引進可精確控溫的加熱板設備，純粹以溫度與時間為變因，提升整體實驗的一致性與重現性。

肆、研究過程及分析

本實驗是以銅箔、鋁箔、銀箔與硫化物進行加熱反應，在不同的硫磺皂液百分濃度（5%、10%、15%）、不同溫度（低溫、中溫、高溫）及不同加熱時間（5s、10s、15s、20s）的狀況下來進行，之後在外在條件可控的攝影黑箱進行下拍照取樣，其結果我們採用三種方式來進行分析說明：

（1）實驗樣本呈現

將最原始的實驗樣本，依照溫度、時間來製成表格，1 個表格有 12 個樣本，在本實驗中共有 9 個表格，總共 108 個樣本。

（2）RGB 色彩分析

所有的顏色均由光的三原色來進行合成，為色彩的基礎，故利用 chatgpt 進行每一筆實驗結果的 RGB 平均顏色提取，各原色數據落在 0 ~ 255，再繪製成折線圖，分析三原色在各種條件下的消長及變化。

（3）色階圖分析

每一筆的實驗結果並非由單一顏色構成，而是由幾個色階組合而成，為了更能直觀的看出實驗結果，將每一筆結果透過「colors」網站由電腦來進行 5 個平均顏色的取樣。

此外，為探討材料厚度對變色現象的影響，本研究延伸進行加厚銅幣的純加熱實驗。加厚銅幣，於不同加熱溫度（250°C、300°C、350°C）、不同加熱時間（從 32、34、...、120 秒，每 2 秒取一個樣本）條件下進行反應，用相同的常溫水進行冷卻。一種溫度分三次進行實驗，會有 45 個樣本，總共 135 個樣本。

銅幣樣本經實驗後成色均勻，顏色變化趨勢明確，因此延伸部分以目視樣本觀察與直接比較為主要分析方式，不進行細部 RGB 數值與色階分析。樣本呈現依溫度、加熱時間與冷卻方式分類，系統整理成矩陣表格，以直觀方式展示色彩變化規律，輔以文字描述總結觀察結果。以下分成四個部分來進行說明：

一、探討銅箔在不同硫磺皂重量百分溶液中，在不同溫度與不同加熱時間的顏色變化。

(一) 在 5% 硫磺皂重量百分溶液下，不同溫度及不同時間的銅箔顏色變化。

1、實驗樣本呈現

由肉眼可以觀察到，在低溫時變化不大由亮黃變暗後又稍微恢復，中溫的變化有逐漸加劇有出現綠色、褐色，高溫就明顯呈現綠色及褐色的色階，還保有金屬的光澤。













時間 溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒
低溫				
中溫				
高溫				

表 4-1 銅箔在 5% 硫磺皂溶液下實驗樣本呈現表（研究者自行拍攝整理）

2、RGB 色彩分析

整體而言，低溫受熱後顏色變化較小，顏色變深且偏暖色，R 值與 B 值緩和的下降，到 20 秒還是呈現較高的數值；中溫呈現反應的秒數比低溫秒數提早但趨勢相同，20 秒的顏色變化大，變成黃褐色帶一絲綠；在高溫 R 值與 G 值強度明顯減弱，而藍色則大幅下降後稍微回升但仍維持較低水平，顏色偏向暗色調，出現綠色與藍色的變化產生銅綠現象。就三種不同溫度的 RGB 值走勢一致，隨著時間與溫度呈現均勻的下降。

時間	低溫 R/G/B	中溫 R/G/B	高溫 R/G/B
5 秒	210 / 180 / 140	200 / 170 / 130	180 / 140 / 100
10 秒	200 / 170 / 130	180 / 150 / 110	150 / 120 / 90
15 秒	190 / 160 / 120	150 / 130 / 100	120 / 100 / 80
20 秒	180 / 150 / 110	140 / 120 / 90	100 / 80 / 60

表 4-2 銅箔在 5% 硫磺皂溶液下 RGB 數值表（研究者自行整理）

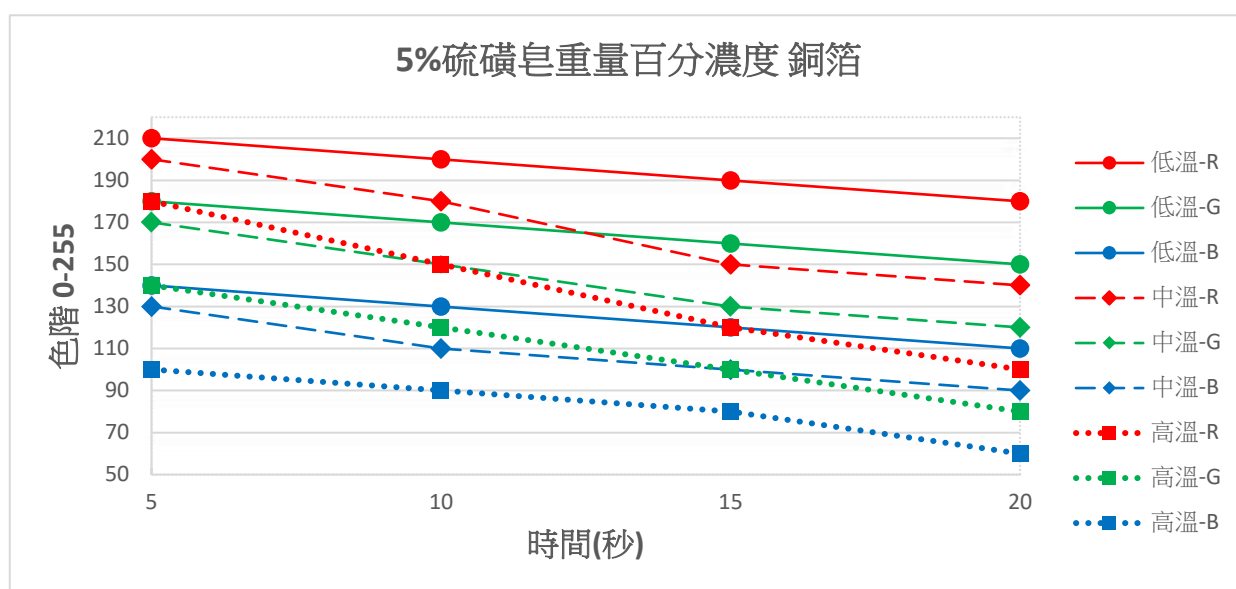


圖 4-1 銅箔在 5%硫磺皂溶液下 RGB 值折線圖（研究者自行繪製）

3、色階圖分析

透過色階圖的呈現，可以發現低溫的顏色變化保有原始的銅色階，顏色由淺→深→淺的變化；中溫的部分變化的時間提早，然後顏色的分佈有出現褐色及綠色；高溫的部分，顏色變化更劇烈，呈現出更多不同的褐色及綠色色階。

時間 溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒
低溫				
中溫				
高溫				

表 4-3 銅箔在 5%硫磺皂溶液下色階分析表（研究者自行繪製整理）

（二）在 10%硫磺皂重量百分溶液下，不同溫度及不同時間的銅箔顏色變化。

1、實驗樣本呈現

從圖片中可看見，一開始在低溫條件下，銅明顯呈現較亮的顏色，但是到了中溫階段，四周開始出現了些許的綠色和深褐色，接下來，高溫階段出現了大範圍的綠色和小範圍的紅色，接著 15 秒出現了一些些藍色，20 秒的顏色變化較大，則是呈現了暖色調。













時間 溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒
低溫				
中溫				
高溫				

表 4-4 銅箔在 10%硫磺皂溶液下實驗樣本呈現表（研究者自行拍攝整理）

2、RGB 色彩分析

由下表可知，低溫主要呈現金黃色，隨著時間變化，表面質地略微改變，但顏色變化不明顯，RGB 數值以相同的曲線進行變化；中溫初期仍保有部分金色，但隨時間推移，出現明顯的綠色與褐色變化，RGB 整體數值較低溫時更低，R 值在 15~20 秒持平；高溫銅箔顏色種類變化最多，5 秒時表面仍帶有金黃色，但開始出現綠色與藍色的區塊。10~20 秒後，材料表面變化劇烈，出現更多藍色、綠色、橘色及紫紅色，顯示明顯的氧化，RGB 值較前兩個溫度更低，G、B 值走勢相同，R 值在最後猛烈回升。

時間	低溫 R/G/B	中溫 R/G/B	高溫 R/G/B
5 秒	206 / 190 / 153	213 / 204 / 164	175 / 181 / 132
10 秒	211 / 198 / 160	195 / 190 / 151	148 / 153 / 118
15 秒	206 / 183 / 135	149 / 152 / 120	129 / 165 / 130
20 秒	207 / 188 / 143	149 / 137 / 106	204 / 147 / 117

表 4-5 銅箔在 10%硫磺皂溶液下 RGB 數值表（研究者自行整理）

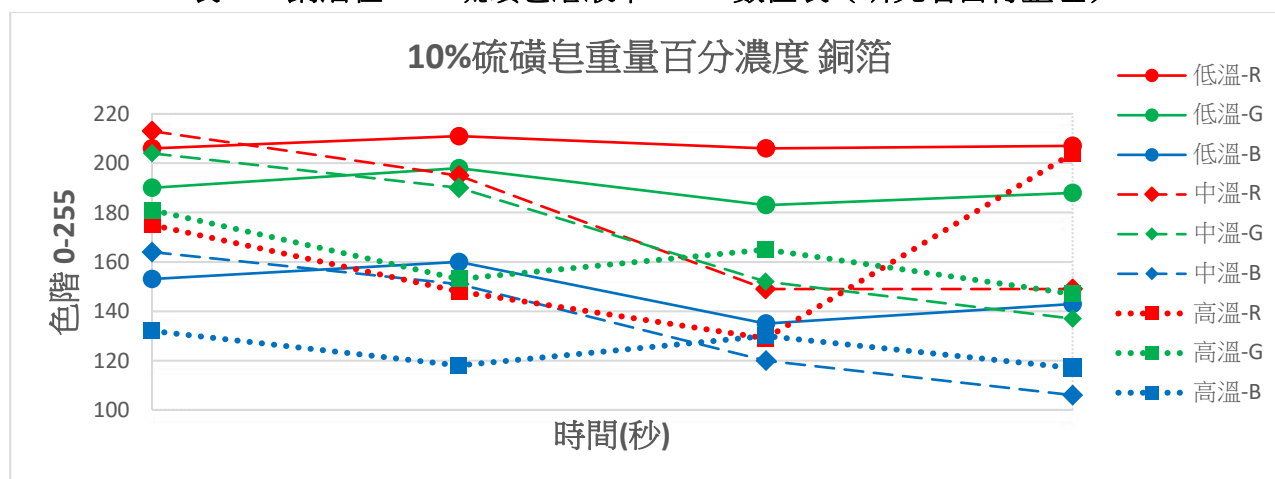


圖 4-2 銅箔在 10%硫磺皂溶液下 RGB 值折線圖（研究者自行繪製）

3、色階圖分析

透過色階圖可清楚了解顏色的變化，低溫的顏色變化不大，中溫 5 秒和低溫的顏色相似，到了 10 秒顏色慢慢出現變化，從原本的顏色變為深色系，再略為回淺色。高溫部分，從低溫 5 秒到 15 秒顏色變動較小，主要維持在綠及褐色調，到 20 秒變成橘紅的暖色調。



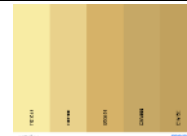

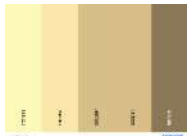
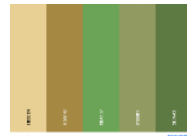

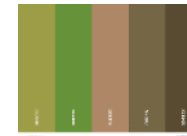

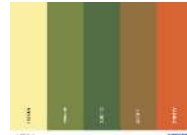
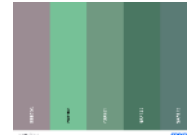

時間 溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒
低溫				
中溫				
高溫				

表 4-6 銅箔在 10%硫磺皂溶液下色階分析表（研究者自行繪製整理）

（三）在 15%硫磺皂重量百分溶液下，不同溫度及不同時間的銅箔顏色變化。

1、實驗樣本呈現

從圖片中可看見，在低溫條件下，銅明顯呈現較暗的顏色，但是到了中溫 5 秒開始出現淡黑色，到了 10 秒周圍開始出現淡綠色，20 秒則是多了咖啡色，高溫 5 秒和 20 秒整體呈現綠色，10 秒和 15 秒則是呈現暖色調，到 20 秒又恢復為帶有金色光澤的綠色。













時間 溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒
低溫				
中溫				
高溫				

表 4-7 銅箔在 15%硫磺皂溶液下實驗樣本呈現表（研究者自行拍攝整理）

2、RGB 色彩分析

由圖可知，低溫整體仍以金色為主，在 10~15 秒時 RGB 數值稍微下降，顯示表面可能稍微變暗，但 20 秒後又回升，可能因為表面反射光影響；中溫的 RGB 值整體下降，讓顏色從金色變成暗淡的棕色與綠色，在 15 秒時，R 值及 G 值回升，可能顯示某些區域出現氧化後的明亮反射，20 秒時數值又下降，整體又變暗；高溫的部分，R 值與 G 值是上升的，R 值特別劇烈，到 15 秒為最高峰，顏色也最亮，而 B 值持平變化不大。

時間	低溫 R/G/B	中溫 R/G/B	高溫 R/G/B
5 秒	207 / 184 / 153	186 / 163 / 135	141 / 149 / 115
10 秒	194 / 172 / 147	161 / 160 / 127	181 / 149 / 117
15 秒	189 / 170 / 144	170 / 166 / 136	197 / 165 / 112
20 秒	212 / 189 / 160	152 / 149 / 129	162 / 162 / 118

表 4-8 銅箔在 15%硫磺皂溶液下 RGB 數值表（研究者自行整理）

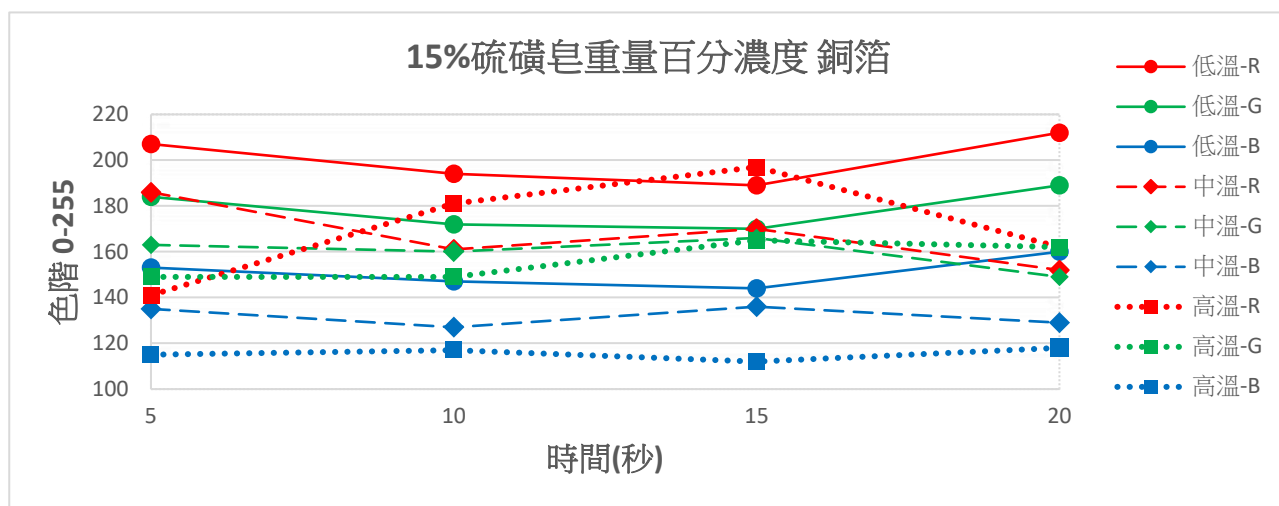


圖 4-3 銅箔在 15%硫磺皂溶液下 RGB 值折線圖（研究者自行繪製）

3、色階圖分析

透過色階圖可清楚了解顏色的變化，銅箔在低溫的顏色都相似，到了中溫顏色開始變深，直到出現了綠色和咖啡色，高溫則是由深綠色變成 10、15 秒的暖色調，最後再變回深綠色。

時間 溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒
低溫				
中溫				
高溫				

表 4-9 銅箔在 15%硫磺皂溶液下色階分析表（研究者自行繪製整理）

二、探討鋁箔在不同硫磺皂重量百分溶液中，在不同溫度與不同加熱時間的顏色變化。

(一) 在 5% 硫磺皂重量百分溶液下，不同溫度及不同時間的鋁箔顏色變化。

1、實驗樣本呈現

在低溫條件下，鋁箔在 5 秒時呈現較亮的顏色，顯示其反射光線較多。到了 10 秒時，顏色明顯變暗，開始發生化學變化，表面出現硫化或氧化物層。接下來，15 秒及 20 秒時，顏色逐漸回升，說明鋁箔的表面變化趨於穩定，且部分區域變得更光滑，增加了反光性。













時間 溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒
低溫				
中溫				
高溫				

表 4-10 鋁箔在 5% 硫磺皂溶液下實驗樣本呈現表（研究者自行拍攝整理）

2、RGB 色彩分析

低溫條件下的鋁箔顏色變化最明顯，在 15 秒時達到最深的顏色，20 秒後顏色回升；中溫與高溫條件下，鋁箔顏色變化相對較小，在 10 秒時略微變亮，15 秒後逐漸趨於穩定。整體而言，低溫環境下鋁箔顏色變化幅度較大，而高溫環境下的顏色變化較為平緩，數值走勢一致。

時間	低溫 R/G/B	中溫 R/G/B	高溫 R/G/B
5 秒	241 / 230 / 214	203 / 195 / 185	185 / 178 / 166
10 秒	188 / 183 / 171	212 / 207 / 195	217 / 208 / 197
15 秒	174 / 170 / 159	199 / 192 / 182	205 / 195 / 187
20 秒	209 / 203 / 193	212 / 205 / 196	204 / 195 / 186

表 4-11 鋁箔在 5% 硫磺皂溶液下 RGB 數值表（研究者自行整理）

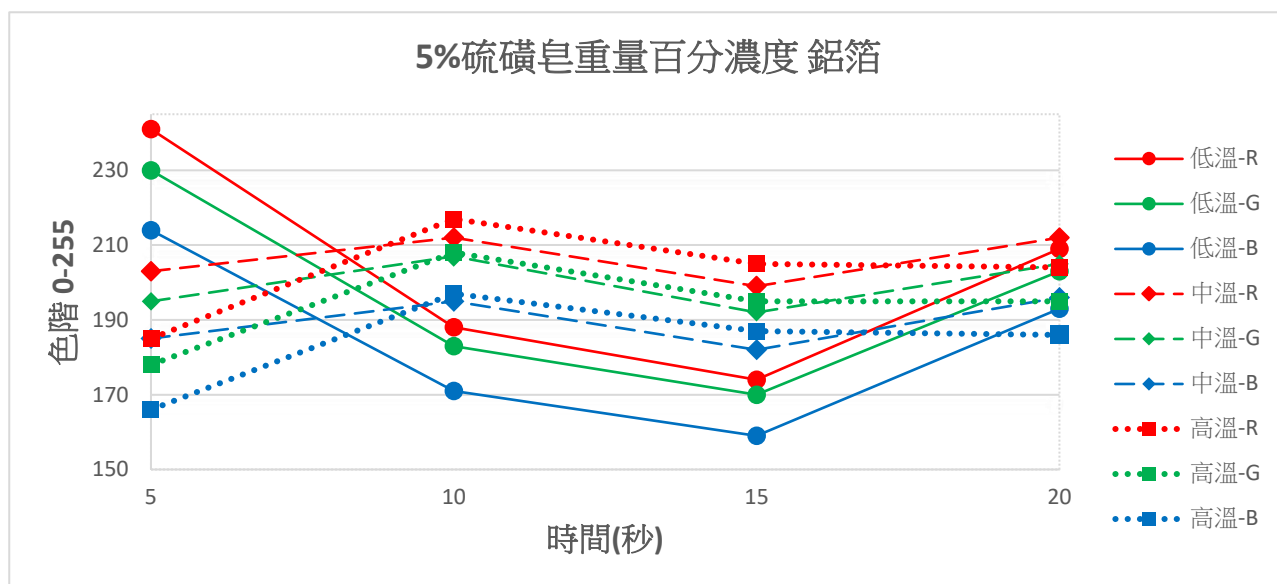


圖 4-4 鋁箔在 5%硫磺皂溶液下 RGB 值折線圖（研究者自行繪製）

3、色階圖分析

鋁箔在 5%硫磺皂液的催化反應下，顏色變化較為細微，因此透過色階圖能更清楚地觀察其變化趨勢：低溫環境下，顏色變化幅度最大，且 10 秒時顏色最深，之後略微回淺；中溫條件下的變化趨勢與低溫相似，但變化幅度較小，20 秒時顏色趨於穩定；高溫環境下的顏色變化相對平緩，從 5 秒到 20 秒的顏色變動較小，顏色主要維持在淺灰褐色範圍內。

時間 溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒
低溫				
中溫				
高溫				

表 4-12 鋁箔在 5%硫磺皂溶液下色階分析表（研究者自行繪製整理）

（二）在 10%硫磺皂重量百分溶液下，不同溫度及不同時間的鋁箔顏色變化。

1、實驗樣本呈現

在這一組實驗中，高溫條件下的變化最為明顯；低溫條件下，鋁箔的顏色變化較不顯著，即使時間較長，也未見明顯的硫化反應；中溫與高溫條件下，隨著時間增加，鋁箔表面的暗沉與斑駁現象逐漸增強，進一步證實了較高的溫度可加速鋁的硫化過程。













時間 溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒
低溫				
中溫				
高溫				

表 4-13 鋁箔在 10%硫磺皂溶液下實驗樣本呈現表（研究者自行拍攝整理）

2、RGB 色彩分析

在低、中溫的實驗結果，大部分 GB 數值會隨著時間下降逐漸變暗，但到了 20 秒又會回升變得比較亮，可能是因為氧化層或硫化層影響反射光，導致顏色變亮。而高溫的色彩分析圖則是先下降、上升再下降。整體來說，RGB 數值波動不大，不管哪個溫度三種數值都很一致走勢相同，顯示顏色變化較穩定。

時間	低溫 R/G/B	中溫 R/G/B	高溫 R/G/B
5 秒	228 / 214 / 199	231 / 225 / 213	228 / 219 / 207
10 秒	219 / 212 / 199	224 / 213 / 200	225 / 215 / 202
15 秒	212 / 201 / 189	201 / 191 / 179	233 / 224 / 210
20 秒	218 / 210 / 197	219 / 208 / 195	225 / 215 / 202

表 4-14 鋁箔在 10%硫磺皂溶液下 RGB 數值表（研究者自行整理）

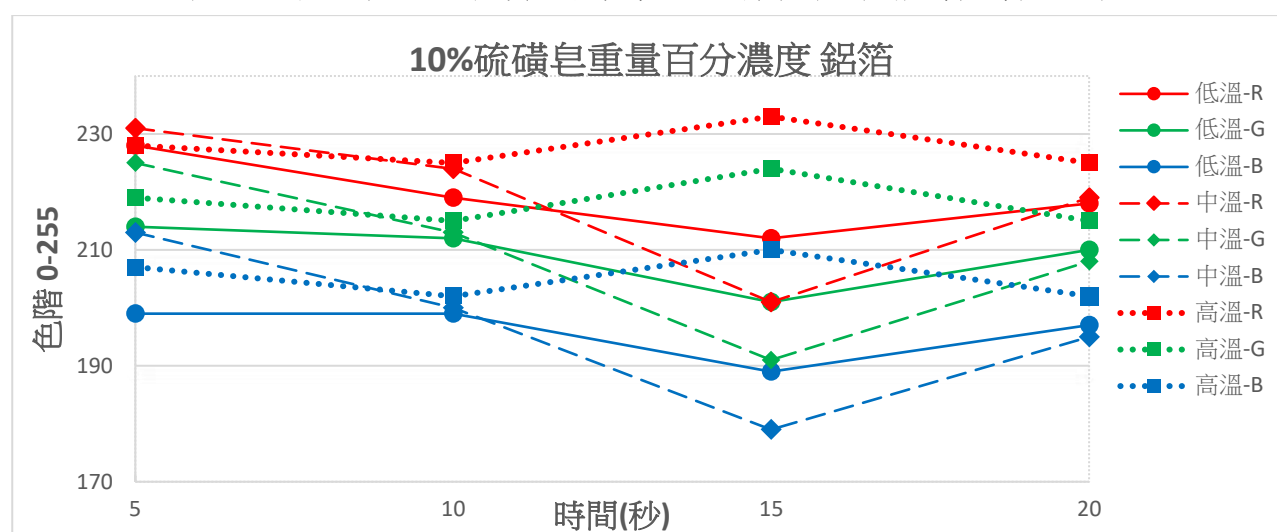


圖 4-5 鋁箔在 10%硫磺皂溶液下 RGB 值折線圖（研究者自行繪製）

3、色階圖分析

由此表可看出鋁箔的顏色前後變化，實驗結果顯示溫度越高，鋁箔的顏色變化越明顯，有出現微微的淡橘色與米色。低溫時顏色變化較慢，且偏向灰褐色。同時，時間的影響也很明顯，隨著時間增加，顏色就越深，且在較低的溫度隨著時間增加，顏色變化幅度不大，顯示反應較緩慢。在較高的溫度下，5 秒內即可觀察到顏色變化，且時間越長顏色層次越明顯。






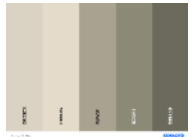



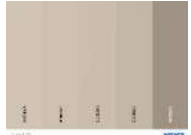
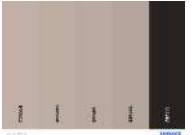
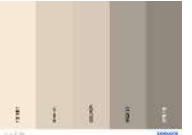
時間 溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒
低溫				
中溫				
高溫				

表 4-15 鋁箔在 10%硫磺皂溶液下色階分析表（研究者自行繪製整理）

（三）在 15%硫磺皂重量百分溶液下，不同溫度及不同時間的鋁箔顏色變化。

1、實驗樣本呈現

根據實驗結果顯示，低溫條件下，鋁箔的顏色變化較緩慢，顏色變淺的程度較低，且表面變化不明顯；而中溫的亮度提升顏色較為均勻；到了高溫，部分實驗結果出現紋理變化，可能是貼箔不均勻導致，或著因為高溫導致裂化。










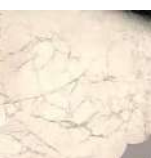


時間 溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒
低溫				
中溫				
高溫				

表 4-16 鋁箔在 15%硫磺皂溶液下實驗樣本呈現表（研究者自行拍攝整理）

2、RGB 色彩分析

高溫區的變化仍然稍微明顯於中溫、低溫區，但整體趨勢比前幾次平緩。在不同溫度條件下，RGB 數值整體偏高，顯示材料表面仍然非常明亮，RGB 值的走勢相似，但變化幅度有所不同，15-20 秒後，顏色變化趨於平穩，可能是因為鋁箔表面已經形成穩定的氧化層。

時間	低溫 R/G/B	中溫 R/G/B	高溫 R/G/B
5 秒	233 / 230 / 227	238 / 231 / 224	235 / 230 / 224
10 秒	219 / 214 / 209	222 / 210 / 197	225 / 215 / 203
15 秒	232 / 230 / 223	227 / 218 / 204	230 / 219 / 206
20 秒	223 / 220 / 215	217 / 208 / 197	228 / 221 / 209

表 4-17 鋁箔在 15%硫磺皂溶液下 RGB 數值表（研究者自行整理）

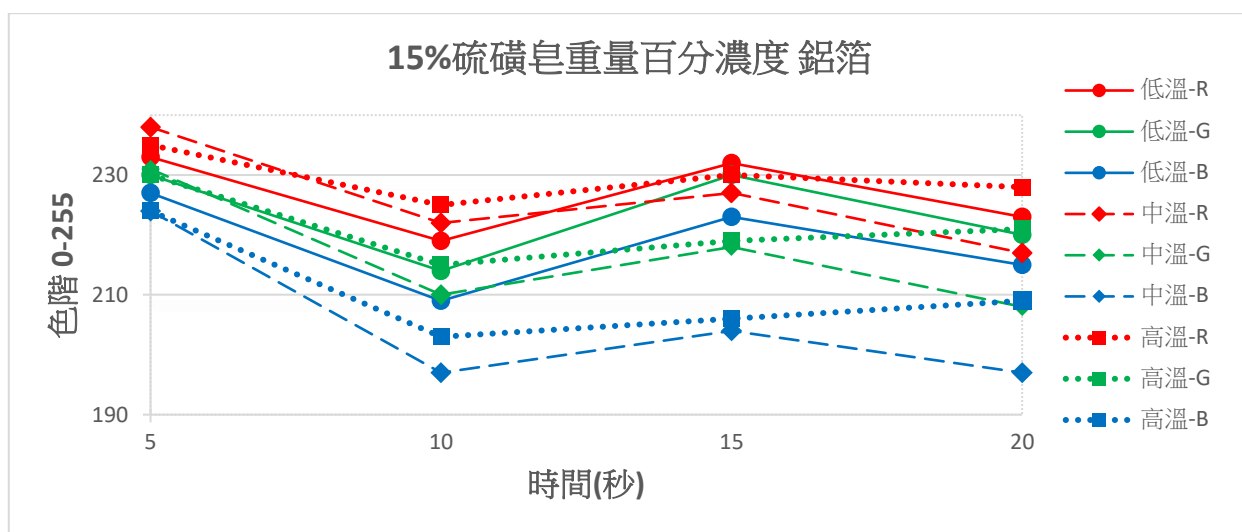


圖 4-6 鋁箔在 15%硫磺皂溶液下 RGB 值折線圖（研究者自行繪製）

3、色階圖分析

根據上面的實驗結果，鋁箔從原本的銀白色開始，隨著氧化反應的進行慢慢變成灰色或深灰色。低溫條件下變化較慢，需較長時間才會產生較顯著的變色；高溫條件下，鋁箔顏色變化速度較快，在短時間內即產生明顯變化，顏色趨向深黑或深棕色。隨著時間增加，鋁箔表面顏色趨於均勻，並在部分條件下出現變淺的趨勢，可能與氧化層的穩定化有關。

時間 溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒
低溫				
中溫				
高溫				

表 4-18 鋁箔在 10%硫磺皂溶液下色階分析表（研究者自行繪製整理）

三、探討銀箔在不同硫磺皂重量百分溶液中，在不同溫度與不同加熱時間的顏色變化。

（一）在 5% 硫磺皂重量百分溶液下，不同溫度及不同時間的銀箔顏色變化。

1、實驗樣本呈現

由實驗結果可以觀察到，在低溫時由淺灰變成金黃色，再慢慢變深，20 秒出現更豐富的顏色，中溫逐漸有出現深灰、玫瑰金，高溫就明顯呈現深灰色及金色的色階，還保有金屬的光澤。













時間 溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒
低溫				
中溫				
高溫				

表 4-19 銀箔在 5% 硫磺皂溶液下實驗樣本呈現表（研究者自行拍攝整理）

2、RGB 色彩分析

從折線圖中，我們可以看到 R 值都比較大，B 數值相對較小。低溫：R 值只有在 10 秒的時候上升，之後都呈現下降的趨勢，G 值都持續下降，B 值在 10 秒的時候下降劇烈，之後慢慢上升。由上可看出 RGB 值在 10 秒的相對數值，讓實驗樣本顏色呈現金黃色澤。中、高溫：三個數值都呈現相同的下降趨勢，樣本的顏色變深，但是在 15~20 有出現玫瑰金色，應該有氧化物覆蓋的成色。

時間	低溫 R/G/B	中溫 R/G/B	高溫 R/G/B
5 秒	225 / 220 / 215	210 / 200 / 190	200 / 190 / 180
10 秒	255 / 180 / 100	180 / 160 / 140	160 / 140 / 120
15 秒	200 / 150 / 110	150 / 130 / 110	140 / 120 / 100
20 秒	180 / 140 / 130	130 / 110 / 100	120 / 100 / 90

表 4-20 銀箔在 5% 硫磺皂溶液下 RGB 數值表（研究者自行整理）

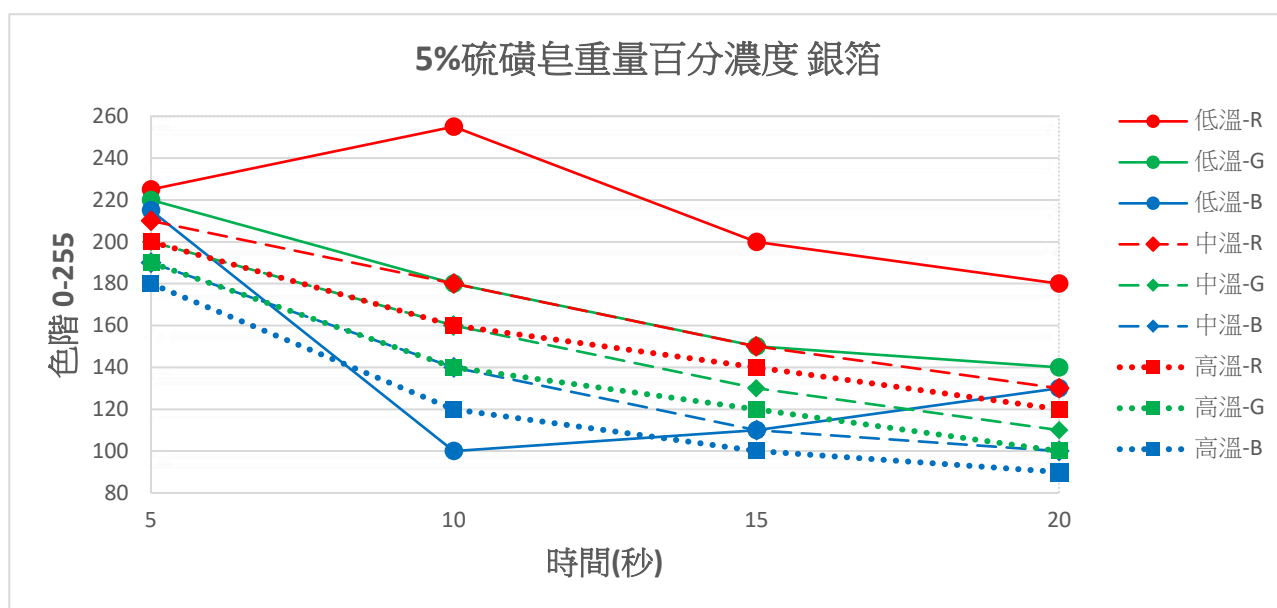


圖 4-7 銀箔在 5%硫磺皂溶液下 RGB 值折線圖（研究者自行繪製）

3、色階圖分析

由圖表可看出，低溫：呈現繽紛的色彩，顏色由暗→亮→暗的變化，在 10 秒、15 秒呈現暖黃色，20 秒時呈現各種不同的顏色。中溫：開始出現深灰色及咖啡色的變化，隨時間增加，顏色有變亮的趨勢。高溫：由灰、褐色出現鵝黃色及橘色，成色趨向暖色調。

時間 溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒
低溫				
中溫				
高溫				

表 4-21 銀箔在 5%硫磺皂溶液下色階分析表（研究者自行繪製整理）

（二）在 10%硫磺皂重量百分溶液下，不同溫度及不同時間的銀箔顏色變化。

1、實驗樣本呈現

由肉眼可以觀察到，在低溫時變化不大，由暗灰→淺灰→再變暗灰。中溫的變化有逐漸加劇有出現深灰、褐色，反應的速度比低溫還要提早。高溫明顯呈現金黃色及褐色的色階，還保有金屬的光澤，整體呈現暖色系。













時間 溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒
低溫				
中溫				
高溫				

表 4-22 銀箔在 10%硫磺皂溶液下實驗樣本呈現表（研究者自行拍攝整理）

2、RGB 色彩分析

由色彩分析中，我們可以看到，低溫：RGB 值逐漸上升，15 秒的數值達最大，因此樣本達最亮，到 20 秒時數值下降又變暗。中溫：R 值依舊最大，G 值在 15 秒之前都大於 B 值，直到 15 秒，兩個數值交錯後，B 值超過 G 值。高溫：反應的結果呈現不同的玫瑰金色，RGB 值以相同趨勢下滑，直到 15 秒開始趨緩，就顏色觀察是變暗，但是也趨於穩定。

時間	低溫 R/G/B	中溫 R/G/B	高溫 R/G/B
5 秒	220 / 215 / 210	225 / 220 / 215	210 / 200 / 190
10 秒	230 / 225 / 220	200 / 190 / 180	180 / 160 / 140
15 秒	240 / 230 / 220	180 / 160 / 140	160 / 140 / 120
20 秒	200 / 180 / 160	160 / 140 / 120	130 / 100 / 80

表 4-23 銀箔在 10%硫磺皂溶液下 RGB 數值表（研究者自行整理）

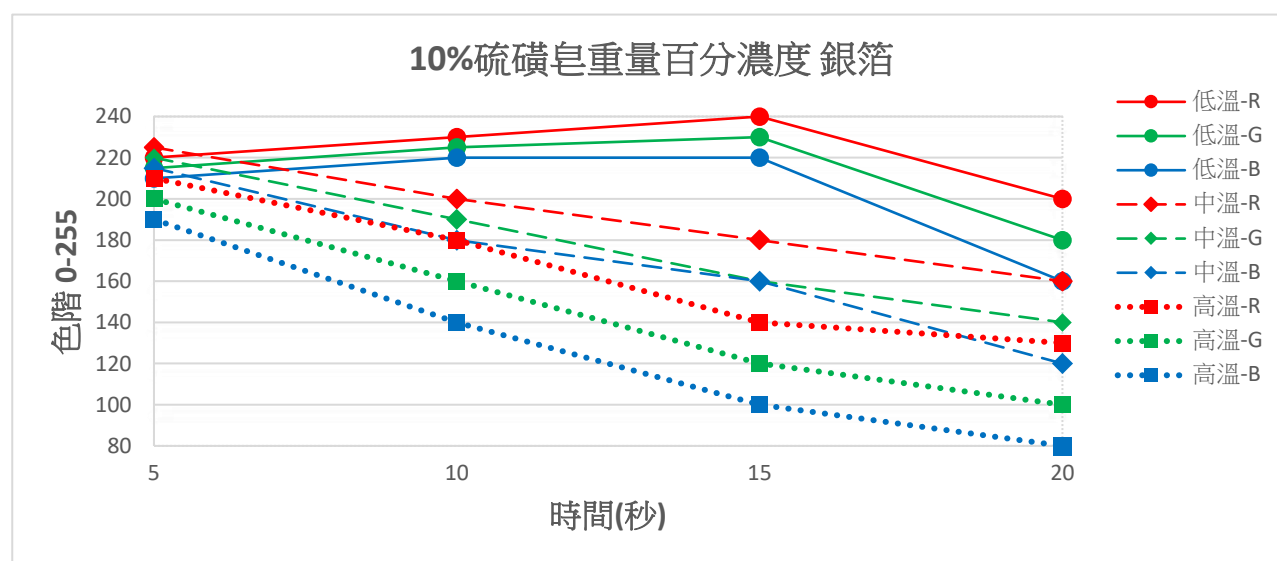


圖 4-8 銀箔在 10%硫磺皂溶液下 RGB 值折線圖（研究者自行繪製）

3、色階圖分析

由色階分布圖呈現，低溫：銀箔的變化不大，在 20 秒時，帶有些許褐色，整體亮度有提升。中溫：逐漸出現深灰色、褐色，顏色變化有「淺灰→深灰→亮灰→變暗」的趨勢。高溫：褐色更加普遍，出現了黃色及橘色，顏色變化如同中溫有「淺→深→亮→暗」的趨勢。











時間 溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒
低溫				
中溫				
高溫				

表 4-24 銀箔在 10%硫磺皂溶液下色階分析表（研究者自行繪製整理）

（二）在 15%硫磺皂重量百分溶液下，不同溫度及不同時間的銀箔顏色變化。

1、實驗結果呈現

由雙眼可以看到，低溫銀箔的變為「暗→亮→暗→亮」，還出現藍綠色的色階。中溫的變化更加劇烈出現深橘色色階。高溫的顏色變化相較於中溫又變的更亮。整體而言，在這一組的實驗，反應相當激烈，顏色變化也更為豐富。


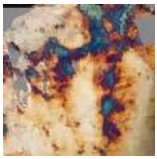
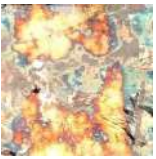


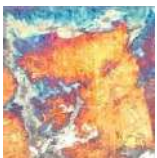






時間 溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒
低溫				
中溫				
高溫				

表 4-25 銀箔在 15%硫磺皂溶液下實驗樣本呈現表（研究者自行拍攝整理）

2、RGB 色彩分析

由 RGB 數值來看，低溫：RGB 值呈現先緩升再緩降的過程。中溫：R 值及 G 值變化趨勢都是先降後升，B 值下降之後未升，數值只剩 150 左右。高溫：R 值特別突出，過了 15 秒時才趨降，G 值及 B 值，都是採相同的軌跡，都是先降後升再降。

時間	低溫 R/G/B	中溫 R/G/B	高溫 R/G/B
5 秒	235 / 228 / 221	229 / 209 / 191	231 / 221 / 207
10 秒	208 / 198 / 193	201 / 179 / 156	237 / 217 / 183
15 秒	228 / 218 / 206	212 / 182 / 154	240 / 226 / 200
20 秒	209 / 201 / 194	218 / 191 / 154	238 / 216 / 183

表 4-26 銀箔在 15%硫磺皂溶液下 RGB 數值表（研究者自行整理）

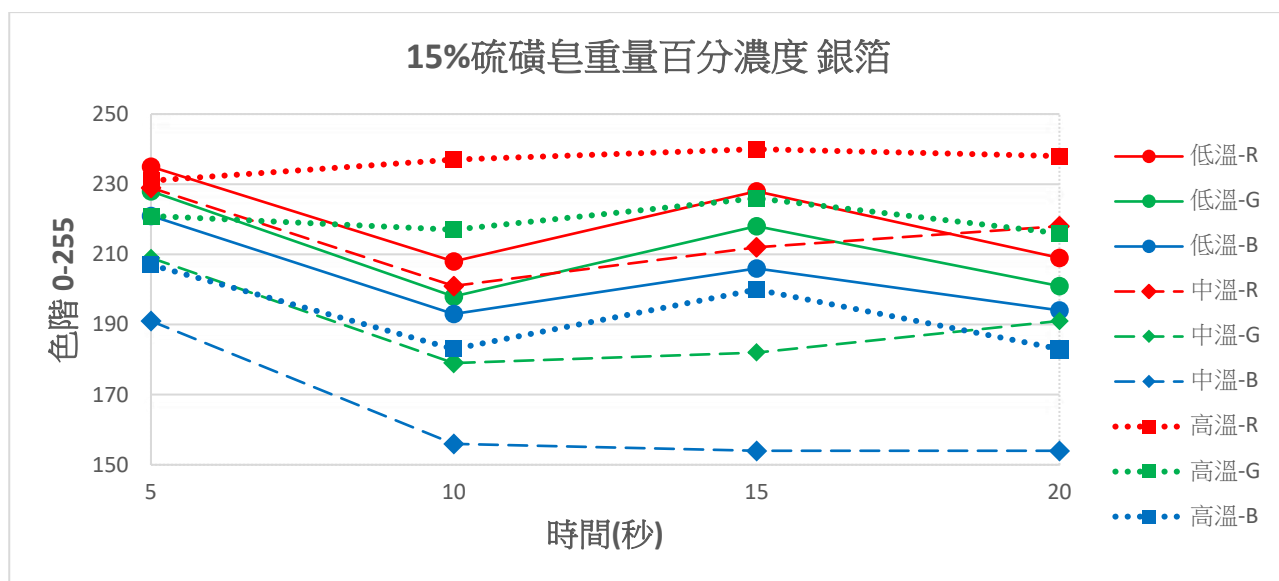


圖 4-9 銀箔在 15%硫磺皂溶液下 RGB 值折線圖（研究者自行繪製）

3、色階圖分析

由色階圖來看，在這一組的實驗樣本，顏色變化豐富。低溫：顏色帶有藍色及深紫色，還有深黃、咖啡色的色階。中溫：顏色更加豐富，多了黑色、深橘色以及亮藍色。高溫：顏色逐漸往金黃色及橘色變化並穩定下來。

時間 溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒
低溫				
中溫				
高溫				

表 4-27 銀箔在 15%硫磺皂溶液下色階分析表（研究者自行繪製整理）

四、加厚銅幣在不同加熱溫度與時間下的顏色變化探討。

1、實驗結果呈現








































































































































度 秒	250	300	350	度 秒	250	300	350	度 秒	250	300	350
32				62				92			
34				64				94			
36				66				96			
38				68				98			
40				70				100			
42				72				102			
44				74				104			
46				76				106			
48				78				108			
50				80				110			
52				82				112			
54				84				114			
56				86				116			
58				88				118			
60				90				120			

表 4-28 加厚銅幣實驗結果樣本呈現表（研究者自行拍攝整理）

（一）整體色彩變化工具「漸層性」與「溫度－時間雙向規律性」

- 在 250°C 下，顏色變化速度較慢，從原始銅色逐步轉為金黃→橘紅→淡褐→淡綠灰，整體色調柔和且過渡自然。
- 在 300°C 下，顏色變化曲線向前推進，約在 70 秒以後即出現墨綠、青綠等複合色系，漸變更明顯，色彩層次感強。
- 在 350°C 下，變色更為劇烈，60 秒後開始產生暗紫、灰黑、深褐等色階，且樣本色彩均呈高對比、高飽和度，顯示此階段已接近氧化極限。

（二）時間愈長，變色趨於深沉與冷調色系

- 無論哪一種溫度條件，隨時間延長至 80 秒以上，樣本普遍出現偏綠、墨綠、暗褐或鐵灰色澤，顯示氧化層逐漸增厚，反射率降低。
- 早期（32~50 秒）多為亮銅色、金色、橘色等暖色系，隨時間延長，開始逐步出現藍、紫、綠與灰黑色調等冷調色系。

（三）色彩飽和與層次變化在中高溫範圍最為顯著

- 在 300°C 條件下，時間由 32 秒至 60 秒間的樣本表現出最豐富的色彩變化，包括紅銅、金褐、草綠、灰紫等多色交融狀態，具高度觀賞與應用價值。
- 相對而言，250°C 變化較慢，350°C 則雖色彩變明顯，但多數趨向暗色或過深，容易失去細節層次。

（四）色彩趨勢可作為「燒箔顏色預測模型」的重要基礎

- 本圖呈現出時間與溫度的交錯影響下，銅幣表面由「亮→彩→深」的連續變化，具有高度規律性與可預測性。
- 建議未來可依據此矩陣圖，進行「顏色選擇→反推加熱條件」的應用推導，成為創作者燒箔設計時的參考依據，亦可應用於數位色彩模擬或教學工具開發。
- 透過進一步累積不同材質與環境條件下的變色數據，有望建立更完整的金屬燒箔色彩資料庫。
- 趨勢分析亦可延伸至材料研究、設計教育及創意產業，促進金屬變色技術之跨域應用。

伍、結果與討論

一、研究結果

本研究以兩階段實驗深入探討金屬材料在硫化與加熱條件下的變色行為，成功建構一套兼具理論與應用價值的燒箔科學系統。第一階段系統性比較銅、鋁、銀三種金屬箔在不同濃度硫磺皂液、加熱時間與溫度下的色彩變化；第二階段則以純加熱加厚銅幣方式，排除硫化干擾，聚焦探究材料厚度與溫控對變色情形的影響。

研究結果顯示，材料厚度與加熱控制穩定性密切相關。薄箔雖能產生豐富視覺效果，但易受操作與外部條件影響，出現翹曲與色彩分布不均等問題。加厚銅幣則因質地穩定，可在純加熱條件下呈現連續、可預測的漸變色階，有助於色彩控制與再現。

本研究的雙階段設計，是分別展開的實驗歷程，更是一場從「經驗藝術」邁向「科學創作」的實踐過程。銅幣實驗並非獨立於燒箔之外，而是對其技術限制的延伸回應與優化。箔材提供色彩多樣性初步探索，而銅幣則導向可控制、可複製、可應用的設計系統。此雙軌設計深化了對金屬變色行為的理解，亦為燒箔技術從經驗走向理論與應用奠定基礎。

綜合以上實驗結果發現：

（一）材料厚度明顯影響穩定性與色彩呈現

研究顯示，金屬厚度對其受熱穩定性與最終色彩有顯著影響。第一階段使用之銅箔雖能展現草綠、橘褐、墨綠等色階，但因材質薄弱，受熱易翹曲或破裂，導致顏色不均與樣本失敗率高。此現象代表若僅依賴箔材燒製，將難掌握成色，限制預測性與創作自由度。

相較之下，第二階段採用約 1.5mm 加厚銅幣，不僅克服上述缺點，其高熱容與穩定傳熱性使變色過程更一致。銅幣能維持結構完整，產生細緻漸變色階，展現「技術穩定」與「視覺美感」兼具的表現，顯示其應用潛力更高。

（二）變因控制程度影響色彩可預測性

研究亦比較含硫與純氧化條件下之變色表現。含硫條件能促進硫化反應，產生劇烈色變，但因反應高度敏感，易受溫度、時間、濕度等微小差異影響，實驗重現性低，色彩偶發性高。反觀純氧化條件，透過固定溫度與時間處理銅幣，呈現穩定、可預測之漸層色變，顏色由亮金轉為紅銅、紫褐、墨綠等漸變，具模型建立潛力。此差異顯示變因控制精度直接影響色彩可控性，對燒箔技術邁向科學化意義重大。

（三）建立系統化「燒箔藝術色階設計參考表」，為藝術與科學搭建橋樑

為提升應用價值，本研究依據實驗色彩結果，整理出逾 20 種代表性色階，涵蓋米黃、鵝黃、翠綠、墨綠、玫瑰金、紫灰、黑色等，並對應其產生條件（如：金屬材質、硫磺濃度、加熱溫度與時間等）。該「燒箔藝術色階設計參考表」不僅強化資料實用性，更為創作者提供技術依據，協助設計配色與預測燒製效果，讓燒箔創作從經驗轉向模型導引的流程，實現藝術與科學整合的重要突破。

（四）硫化與純氧化兩者皆具應用潛力

從應用角度觀之，硫化與純氧化雖屬不同機制，卻各具美學潛力。硫化產生的色彩飽和、反差大、變化迅速，適用於自由表現式創作；純氧化則呈現層次細緻、過渡平滑、可預測性高，適合工藝設計、教具開發等需求一致性的場域。換言之，硫化適合激發創意與偶發美感，純氧化利於標準化與理性設計，兩者並非對立，而是依目的選用的雙軌策略，開展燒箔多元應用的更大可能性。

總結而言，本研究除完成金屬變色之系統歸類，更成功發展具應用潛能之色階參考表。未來若能導入光譜儀分析、擴增材質與變因項目，將可推動燒箔邁向高階工藝、科學創作與教育推廣，實現藝術與科學的深度融合。

二、研究結果歸納

為提升應用價值，本研究根據代表性色彩，整理「燒箔藝術色階設計參考表」，將色階（如米黃、鵝黃、翠綠、墨綠、玫瑰金、紫灰等）對應至其形成條件（包括金屬材質、硫化濃度、加熱溫度與時間）。此表可作為創作者的技術參考，協助根據目標色階設計條件，大幅提升作品一致性與自由度。

該參考表象徵本研究從科學探究走向實務應用，突顯燒箔不再只是經驗藝術，而是能透過系統控制與科學分析，發展為具創新潛力的藝術科學整合技術。最終，兩階段的成果整合促成了本研究的關鍵創新，使藝術創作得以從視覺感受轉向數據導引，實現「由美出發、以科學實現、朝應用推進」的跨域價值。

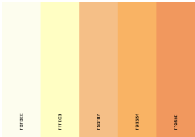

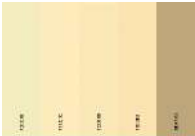


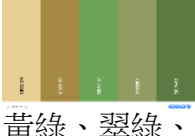


顏色色階	銅箔	鋁箔	銀箔
 米黃、淺橘色階	無	無	1、5%低溫 10 秒 2、5%高溫 15、20 秒 3、10%高溫 15 秒 4、15%高溫 20 秒
 淺黃、黃灰、紫灰、粉、藍色階	無	無	1、15%低溫 5、15 秒 2、15%中溫 10、20 秒
 鵝黃、淺褐色階	1、5%低溫 5、20 秒 2、5%中溫 5、15 秒 3、10%低溫 10、15、20 秒 4、10%中溫 5 秒	無	1、15%高溫 15 秒
 膚色、深褐色階	1、10%低溫 10 秒 2、15%低溫	無	1、10%中溫 15 秒
 褐色、橘褐色階	無	無	1、5%低溫 15 秒 2、15%高溫 20 秒
 黃綠、翠綠、草綠色階	1、5%中溫 15、20 秒 2、5%高溫 5、10、20 秒 3、10%中溫 10 秒 4、15%高溫 5、20 秒	無	無
 墨綠、棕色階	1、5%高溫 2、10%中溫 10、15 秒 3、10%高溫 5 秒 4、15%中溫 15 秒 5、15%高溫 5、20 秒	無	無
 灰、黑階	無	1、各種濃度、時間均可	1、10%低溫 5 秒

表 5-1 燒箔藝術色階設計參考表（研究者自行整理）

三、未來研究建議

本研究以生活中可得的材料進行實驗，雖已提供初步的數據支持與系統觀察，惟在精密度與深度方面仍具進一步發展空間。未來研究可從以下幾個方向持續精進：

（一）擴展金屬種類與厚度變因

未來可嘗試引入更多金屬材質，如鐵、鈦、鎳或合金等，並納入不同厚度的試片作為變因，深入探討材質與厚度對燒箔變色情形之影響，進而拓展其於藝術創作與功能性材料上的應用範疇。

（二）細化時間與溫度控制

本研究目前以每 5 秒及 2 秒為加熱間隔，未來建議縮小至 1 秒，以捕捉更細緻的色彩變化歷程；同時，溫度控制可更精進為每 10°C 為間隔，藉以提高色彩變化曲線的解析度與預測精度。

（三）提升實驗設備精密度與導入光譜分析技術

建議將硫化劑改為反應性更穩定之硫化鈉，並以塗覆方式進行施用，同時使用控溫加熱板以提升加熱穩定性。配合光譜儀等精密儀器進行色彩數據擷取與量化分析，可使實驗結果更具客觀性與科學性，亦有助於建立標準化的色彩判讀機制。

（四）探討環境變因影響

建議未來研究納入環境濕度、氧氣濃度、通風條件等外部變因，分析其對燒箔反應機制與色彩表現的影響，以更全面地理解與優化燒箔技術。

（五）納入冷卻方式為實驗變因

冷卻過程可能對最終色彩產生影響，未來可比較不同冷卻方式（如自然冷卻、常溫水冷、0 度水冷）對色澤穩定性與層次結構的影響，進一步優化整體燒箔流程。

（六）進行色彩長期穩定性測試

建議觀察燒箔作品於不同環境條件（如：濕度、光照、空氣污染）下的色彩穩定性與變化趨勢，以評估其長期保存價值與應用可行性。

綜上所述，若能透過更嚴謹的實驗設計與數據分析，未來研究將可進一步推動燒箔技術朝向高精度控制、系統化建模與多元應用發展，為金屬工藝與跨領域藝術創作開拓更寬廣的可能性。

陸、參考文獻

成功大學能源教育資源總中心（2018）。鋁的自述。2024年12月13日，取

<https://learnenergy.tw/index.php?inter=knowledge&caid=1&id=3>

吳敏慈（2024）。燒箔技法膠礬水塗佈比例與耐候性研究（未出版之碩士論文）。國立臺南藝術大學，臺南市。

高國庭（2023）。Mg摻雜量及硫化溫度對硫化銅薄膜之影響（未出版之碩士論文）。義守大學，高雄市。

【評語】 030204

本研究以金屬燒箔技術探討硫化與加熱條件及時間對金屬表面色彩的影響，並分析不同材料與厚度對顏色與色彩穩定性的影響。結果發現，厚銅材具更佳熱傳導性，能產生穩定漸層色階。研究建構色階參考表，提升藝術創作可控性與應用價值。研究分為兩階段進行：第一階段以銅箔、鋁箔、銀箔為材料，調整硫磺皂濃度、加熱時間與加熱溫度等變因，透過 RGB 數值與色階圖進行分析；第二階段則排除硫化變因，改以加厚銅幣並使用控溫加熱板，探討材料厚度與熱控精準度對色彩穩定性的影響。實驗結果顯示，厚銅材具備更佳的熱傳導與構形穩定性，可呈現連續、可預測的漸層色階。研究成果也包含建構「燒箔藝術色階設計參考表」，整理超過二十種代表性色彩及其對應條件，提升燒箔創作的可控性與應用價值，為藝術創作與教育建立實證基礎，展現藝術與科學整合的可能性。

本組科展作品不但有系統的描述這項工藝以及各種不同條件的呈色現象，實驗過程同時考慮不同金屬材料呈現的效果，在報告呈現的實驗流程非常清楚展示，研究過程也簡單明瞭，今年在另外一項科學競賽中也有相關的研究，但是兩者所著眼的變數

以及使用的工具都不相同，所以沒有抄襲的疑慮，本研究對於顏色變化的系統訓練相當完整，在研究過程中，其實作者發現鋁的效果並不明顯，其實可以更換其他常見的金屬或是更深入的探討硫化物及氧化物的顏色，最後使用錢幣做實驗，應當避免，以免有毀損國幣的嫌疑，可以用想類似的合晶片來做實驗。整體而言這是結合藝術性與科學的趣味研究，海報也做得非常精美且仔細，是一個非常值得鼓勵的好作品及海報呈現方式。

作品海報

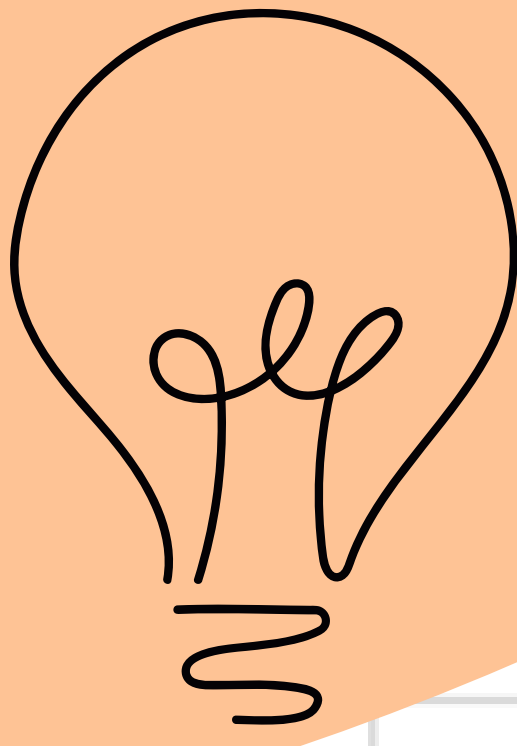


懷

出光彩炫麗的藝術品

摘要

本研究以「**金屬燒箔**」技術為主軸，探討在不同硫化、加熱條件與時間下金屬表面產生的色彩變化。**研究分為兩階段進行**：第一階段以**銅箔、鋁箔、銀箔**為材料，調整**硫磺皂濃度、加熱時間**與**溫度**等變因，透過**RGB數值**與**色階圖**進行分析；第二階段則**排除硫化變因**，改以**加厚銅幣**並使用**控溫加熱板**，聚焦探討材料厚度與熱控精準度對色彩穩定性的影響。結果顯示，厚銅材具備更佳的熱傳導與結構穩定性，可呈現連續、可預測的漸層色階。研究建構「**燒箔藝術色階設計參考表**」，整理超過二十種代表性色彩及其對應條件，提升燒箔創作的可控性與應用價值。本研究不僅**實現燒箔技術的科學化與系統化**，也為藝術創作與教育應用建立實證基礎，**展現藝術與科學整合的可能性**。



壹、研究動機



我們從YouTube發現一種**燒箔藝術**，透過銅箔與硫磺加熱產生絢麗色彩，引發我們結合科學與藝術的好奇。初期以銅、鋁、銀箔為材料，探討硫磺濃度、溫度與時間對色彩變化的影響。然而，薄箔易變形、翹曲，穩定性不足。為提升可控性，我們改用厚銅幣，排除硫化因素，僅控制加熱時間與溫度，並以可控溫加熱板取代熨斗。藉此，我們希望**建立可預測的金屬變色模型**，發展**兼具科學基礎與藝術美感**的創作方式。

貳、研究設備及器材

攝影黑箱



一元硬幣



控溫加熱版

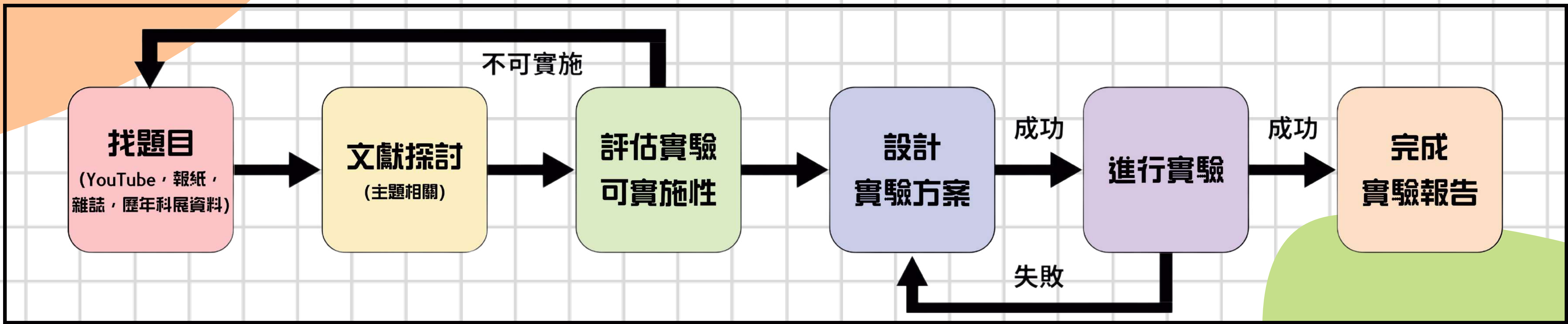


銅箔、銀箔、鋁箔、宣紙、硫磺皂、碼錶、攝影手機、腳架、燒杯、竹夾。



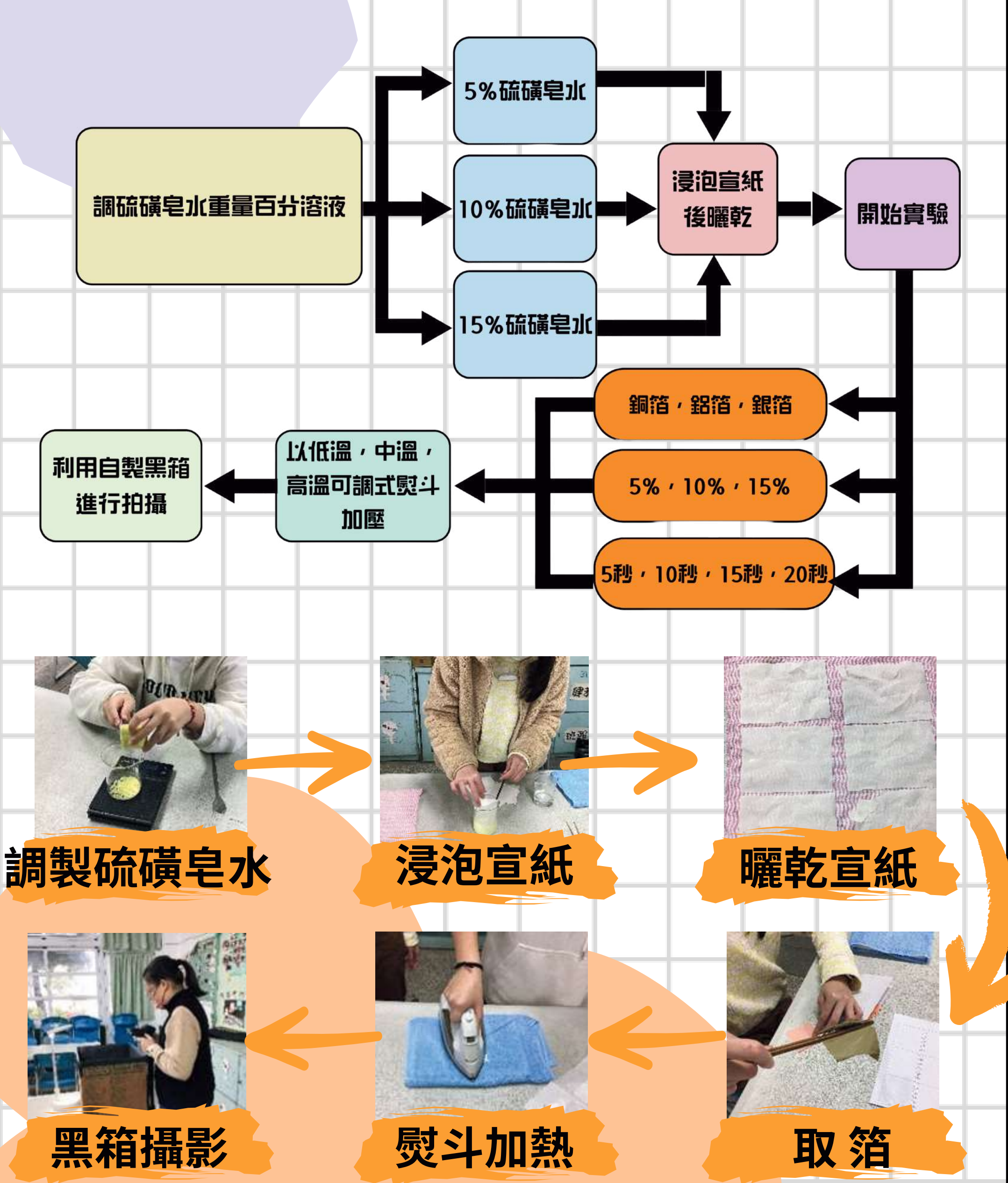
參、研究流程及實驗方法

一、研究流程

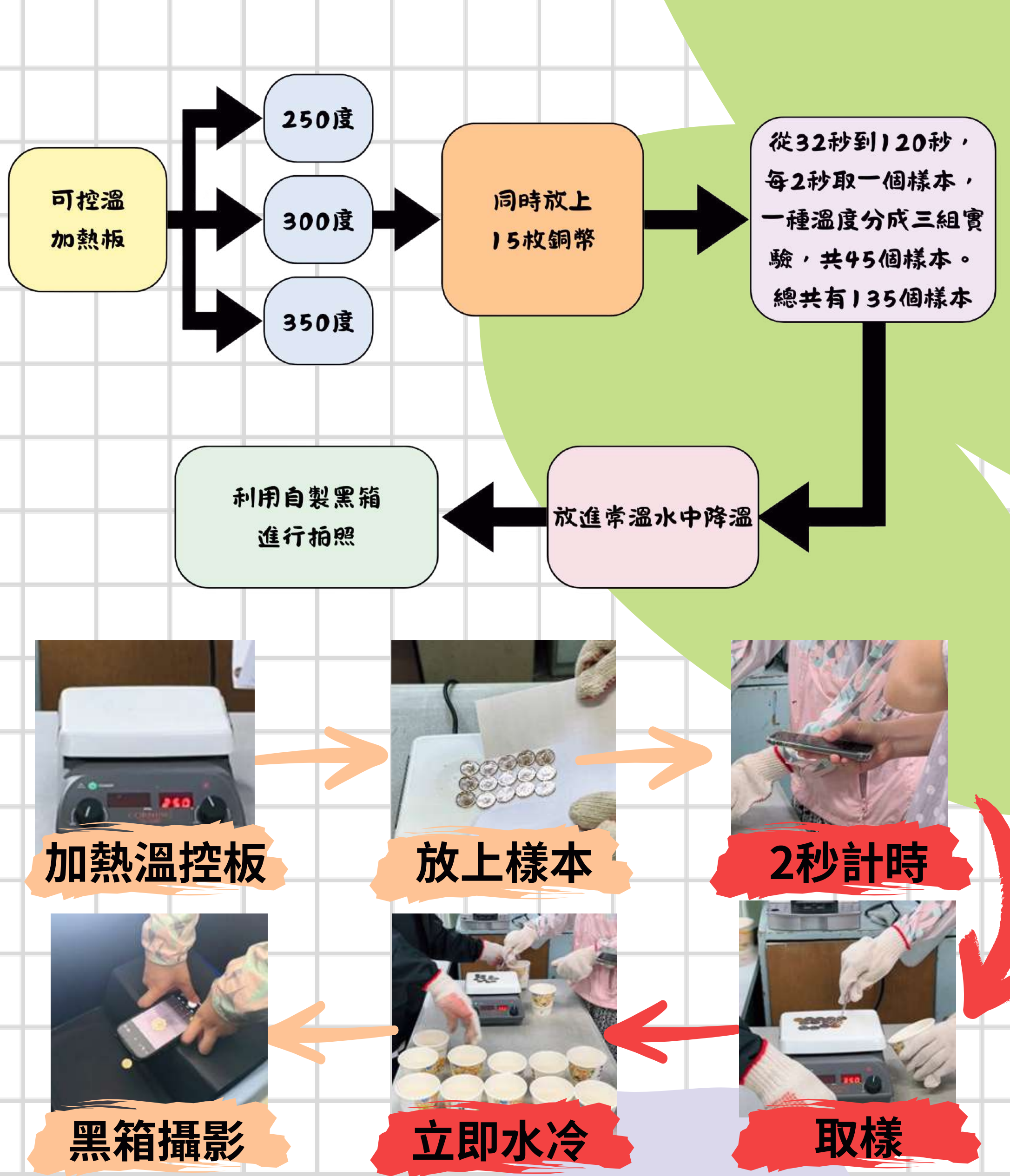


二、實驗流程

第一階段：金屬箔燒箔實驗



第二階段：加厚銅幣延伸實驗



肆、研究過程及分析

本研究的第一階段實驗，是以**銅箔**、**鋁箔**、**銀箔**與硫化物進行加熱反應，在**不同的硫磺皂液百分濃度（5%、10%、15%）**、**不同溫度（低溫、中溫、高溫）**及**不同加熱時間（5s、10s、15s、20s）**的狀況下來進行，之後在外在條件可控的攝影黑箱進行下拍照取樣，總共**108個樣本**。其結果我們採用三種方式來進行分析說明：

- (1) **實驗樣本呈現**
- (2) **RGB色彩分析**：利用ChatGPT，進行每一筆實驗結果的**RGB平均顏色提取**，再繪製成折線圖。
- (3) **色階圖分析**：每一筆結果透過「colors」網站由電腦來進行**5個平均顏色的取樣**，能更直觀看出色彩變化。

第二階段的延伸實驗，將**銅的厚度改變**，排除硫化的因素，只進行加熱。**1.5mm銅幣**，於**不同加熱溫度（250°C、300°C、350°C）**、在**不同加熱時間（從32、34、.....、120秒，每2秒取一個樣本）**條件下進行反應，用相同的**常溫水進行冷卻**。一種溫度分三次進行實驗，會有45個樣本，**總共135個樣本**。其結果我們採用**實驗樣本呈現**來進行分析說明。

一、探討銅箔在不同硫磺皂重量百分溶液、不同溫度與不同加熱時間下的顏色變化。

	5%	10%	15%																																																													
實驗樣本	<table><tr><th>時間溫度</th><th>5 秒</th><th>10 秒</th><th>15 秒</th><th>20 秒</th></tr><tr><td>低溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>中溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>高溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	時間溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒	低溫					中溫					高溫					<table><tr><th>時間溫度</th><th>5 秒</th><th>10 秒</th><th>15 秒</th><th>20 秒</th></tr><tr><td>低溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>中溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>高溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	時間溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒	低溫					中溫					高溫					<table><tr><th>時間溫度</th><th>5 秒</th><th>10 秒</th><th>15 秒</th><th>20 秒</th></tr><tr><td>低溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>中溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>高溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	時間溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒	低溫					中溫					高溫					由 實驗樣本 來看，在各濃度下，低溫時變化不大由亮黃變暗後又稍微恢復；中溫的變化有逐漸加劇有出現綠色、褐色、橘色；高溫就明顯呈現綠色及褐色的色階，隨著濃度增加，顏色出現暖色系，還保有金屬的光澤。由 色彩折線圖 可看出RGB值走勢大致相同，但是R值變化較劇烈。由 色階圖 來看，隨著濃度及溫度的增加，銅箔的變化顏色更為豐富，出現橘色...等鮮豔的顏色。
時間溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒																																																												
低溫																																																																
中溫																																																																
高溫																																																																
時間溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒																																																												
低溫																																																																
中溫																																																																
高溫																																																																
時間溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒																																																												
低溫																																																																
中溫																																																																
高溫																																																																
折線圖																																																																
色階圖	<table><tr><th>時間溫度</th><th>5 秒</th><th>10 秒</th><th>15 秒</th><th>20 秒</th></tr><tr><td>低溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>中溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>高溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	時間溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒	低溫					中溫					高溫					<table><tr><th>時間溫度</th><th>5 秒</th><th>10 秒</th><th>15 秒</th><th>20 秒</th></tr><tr><td>低溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>中溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>高溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	時間溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒	低溫					中溫					高溫					<table><tr><th>時間溫度</th><th>5 秒</th><th>10 秒</th><th>15 秒</th><th>20 秒</th></tr><tr><td>低溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>中溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>高溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	時間溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒	低溫					中溫					高溫					
時間溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒																																																												
低溫																																																																
中溫																																																																
高溫																																																																
時間溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒																																																												
低溫																																																																
中溫																																																																
高溫																																																																
時間溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒																																																												
低溫																																																																
中溫																																																																
高溫																																																																

二、探討鋁箔在不同硫磺皂重量百分溶液、不同溫度與不同加熱時間下的顏色變化。

	5%	10%	15%																																																													
實驗樣本	<table><tr><th>時間溫度</th><th>5 秒</th><th>10 秒</th><th>15 秒</th><th>20 秒</th></tr><tr><td>低溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>中溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>高溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	時間溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒	低溫					中溫					高溫					<table><tr><th>時間溫度</th><th>5 秒</th><th>10 秒</th><th>15 秒</th><th>20 秒</th></tr><tr><td>低溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>中溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>高溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	時間溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒	低溫					中溫					高溫					<table><tr><th>時間溫度</th><th>5 秒</th><th>10 秒</th><th>15 秒</th><th>20 秒</th></tr><tr><td>低溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>中溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>高溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	時間溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒	低溫					中溫					高溫					由 實驗樣本 及 色階圖 來看，在各種條件下，都呈現鋁本身的顏色，由亮銀、淺灰、深灰反覆變化，只是當溫度提升時，肉眼可見鋁箔材質劣化。由 色彩折線圖 可看出，無論在什麼條件下，RGB值走勢起伏大致都相同。
時間溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒																																																												
低溫																																																																
中溫																																																																
高溫																																																																
時間溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒																																																												
低溫																																																																
中溫																																																																
高溫																																																																
時間溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒																																																												
低溫																																																																
中溫																																																																
高溫																																																																
折線圖																																																																
色階圖	<table><tr><th>時間溫度</th><th>5 秒</th><th>10 秒</th><th>15 秒</th><th>20 秒</th></tr><tr><td>低溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>中溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>高溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	時間溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒	低溫					中溫					高溫					<table><tr><th>時間溫度</th><th>5 秒</th><th>10 秒</th><th>15 秒</th><th>20 秒</th></tr><tr><td>低溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>中溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>高溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	時間溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒	低溫					中溫					高溫					<table><tr><th>時間溫度</th><th>5 秒</th><th>10 秒</th><th>15 秒</th><th>20 秒</th></tr><tr><td>低溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>中溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>高溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	時間溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒	低溫					中溫					高溫					
時間溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒																																																												
低溫																																																																
中溫																																																																
高溫																																																																
時間溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒																																																												
低溫																																																																
中溫																																																																
高溫																																																																
時間溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒																																																												
低溫																																																																
中溫																																																																
高溫																																																																

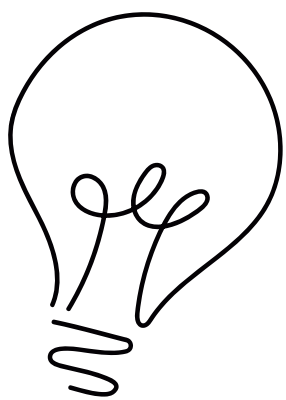
二、探討銀箔在不同硫磺皂重量百分溶液、不同溫度與不同加熱時間下的顏色變化。

	5%	10%	15%																																																													
實驗樣本	<table><tr><th>時間溫度</th><th>5 秒</th><th>10 秒</th><th>15 秒</th><th>20 秒</th></tr><tr><td>低溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>中溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>高溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	時間溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒	低溫					中溫					高溫					<table><tr><th>時間溫度</th><th>5 秒</th><th>10 秒</th><th>15 秒</th><th>20 秒</th></tr><tr><td>低溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>中溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>高溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	時間溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒	低溫					中溫					高溫					<table><tr><th>時間溫度</th><th>5 秒</th><th>10 秒</th><th>15 秒</th><th>20 秒</th></tr><tr><td>低溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>中溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>高溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	時間溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒	低溫					中溫					高溫					由 實驗樣本 來看，在5%及10%時，顏色變化不太相同但變化都較15%小。15%反應激烈，顏色豐富。由 色彩折線圖 可看出RGB值走勢大致相同，在5%及15%的R值變化與GB值不同。由 色階圖 來看，隨著濃度及溫度的增加，銀箔的變化顏色豐富，有 出現銅箔及鋁箔未出現的顏色 。
時間溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒																																																												
低溫																																																																
中溫																																																																
高溫																																																																
時間溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒																																																												
低溫																																																																
中溫																																																																
高溫																																																																
時間溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒																																																												
低溫																																																																
中溫																																																																
高溫																																																																
折線圖																																																																
色階圖	<table><tr><th>時間溫度</th><th>5 秒</th><th>10 秒</th><th>15 秒</th><th>20 秒</th></tr><tr><td>低溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>中溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>高溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	時間溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒	低溫					中溫					高溫					<table><tr><th>時間溫度</th><th>5 秒</th><th>10 秒</th><th>15 秒</th><th>20 秒</th></tr><tr><td>低溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>中溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>高溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	時間溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒	低溫					中溫					高溫					<table><tr><th>時間溫度</th><th>5 秒</th><th>10 秒</th><th>15 秒</th><th>20 秒</th></tr><tr><td>低溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>中溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>高溫</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	時間溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒	低溫					中溫					高溫					
時間溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒																																																												
低溫																																																																
中溫																																																																
高溫																																																																
時間溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒																																																												
低溫																																																																
中溫																																																																
高溫																																																																
時間溫度	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒																																																												
低溫																																																																
中溫																																																																
高溫																																																																

四、探討1.5mm銅幣在不同溫度與不同加熱時間下的顏色變化。

秒度	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60
250															
300															
350															
秒度	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90
250															
300															
350															
秒度	92	94	96	98	100	102	104	106	108	110	112	114	116	118	120
250															
300															
350															

- (一) 整體色彩變化具「漸層性」與「溫度—時間雙向規律性」。
- (二) 時間愈長，變色趨於深沉與冷調色系。
- (三) 色彩飽和與層次變化在中高溫範圍最為顯著。
- (四) 色彩趨勢可作為「燒箔顏色預測模型」的重要基礎。



伍、研究結果與討論

一、研究結果

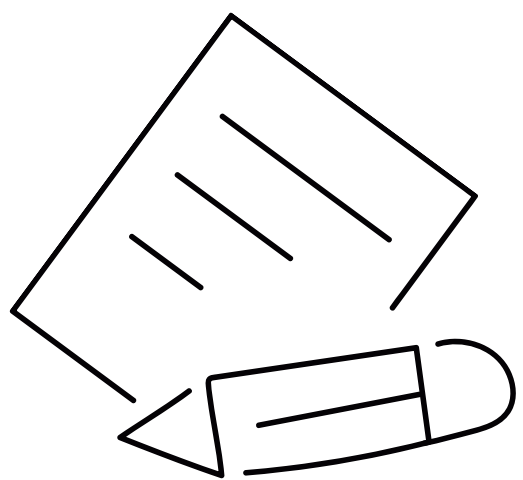
本研究有兩階段實驗，探討金屬在硫化與加熱條件下的變色機制，建構具應用潛力的燒箔色彩控制系統。

第一階段：以銅、鋁、銀箔搭配不同硫磺皂濃度、加熱時間與溫度，觀察其變色表現。結果發現雖能產生草綠、紫褐、玫瑰金等色彩，但箔材因厚度極薄，易受熱翹曲、破裂，導致色彩不均且重現困難。

第二階段：用加厚銅幣並採純加熱方式，排除硫化干擾。結果顯示銅幣具高熱容與穩定性，能呈現細緻連續的漸層色階，顏色由亮金轉為紅銅、紫灰、墨綠，提升色彩可預測性與應用穩定性。

本研究歸納出以下四大重點發現：

- (一) 材料厚度影響穩定性與色彩品質
加厚銅幣具結構強度與熱傳導一致性，可有效穩定成色，優於薄箔材。
- (二) 變因控制程度左右色彩可預測性
硫化反應雖色彩多變，但高度敏感；純加熱條件則可穩定產生可複製之色階，利於模型建構。
- (三) 建構「燒箔藝術色階設計參考表」
整理逾20種代表性色彩與對應製程條件，提供創作者設計與技術依據，促進創作流程科學化。
- (四) 硫化與純氧化各具應用優勢
硫化色彩飽和、自由奔放，適合藝術表現；純氧化色階漸層、效果穩定，適用於工藝設計與教學開發。
綜合而言，本研究不僅深化對金屬變色行為的理解，也搭建起藝術與科學整合的橋樑，拓展燒箔技術在創作與應用上的多元可能性。



二、研究結果歸納

根據我們以上的研究結果進行歸納，在某一些特定條件下可以燒出某一色階的顏色，希望在燒箔藝術上，提供有科學根據的數據給藝術家進行創作時的參考。以上的分色整理如下表：

顏色色階								
	米黃、淺橘色階	淺黃、黃灰、紫灰、粉、藍色階	鵝黃、淺褐色階	膚色、深褐色階	褐色、橘褐色階	黃綠、翠綠、草綠色階	墨綠、棕色階	灰、黑階
銅箔	無	無	1、5%低溫 5、20 秒 2、5%中溫 5、15 秒 3、10%低溫 10、15、20 秒 4、10%中溫 5 秒	1、10%低溫 10 秒 2、15%低溫均可	無	1、5%中溫 15、20 秒 2、5%高溫 5、10、20 秒 3、10%中溫 10 秒 4、15%高溫 5、20 秒	1、5%高溫均可 2、10%中 10、15 秒 3、10%高溫 5 秒 4、15%中溫 15 秒 5、15%高溫 5、20 秒	無
鋁箔	無	無	無	無	無	無	無	各種濃度、時間均可
銀箔	1、5%低溫 10 秒 2、5%高溫 15、20 秒 3、10%高溫 15 秒 4、15%高溫 20 秒	1、15%低溫 5、15 秒 2、15%中溫 10、20 秒	1、15%高溫 15 秒	1、10%中溫 15 秒	1、5%低溫 15 秒 2、15%高溫 20 秒	無	無	1、10%低溫 5 秒

三、未來研究建議

- (一) 擴展金屬種類
- (二) 細化時間與溫度控制
- (三) 光譜分析技術應用
- (四) 環境變因探討
- (五) 不同的冷卻方式
- (六) 實驗變因長期穩定性測試

陸、參考文獻

吳敏慈 (2024)。燒箔技法膠礬水塗佈比例與耐候性研究（未出版之碩士論文）。國立臺南藝術大學，臺南市。

鋁的自述。2024年12月13日取<https://learnenergy.tw/index.php?inter=knowledge&caid=1&id=3>。成功大學能源教育資源總中心。

高國庭 (2023)。Mg摻雜量及硫化溫度對硫化銅薄膜之影響（未出版之碩士論文）。義守大學，高雄市。