

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組 化學科

佳作

050206

以手機 app 研究各項變因對藍印術反應速率的影響

學校名稱：桃園市立壽山高級中等學校

作者： 高二 蔡昀蓁 高二 張伶 高二 邱天韻	指導老師： 楊文心
----------------------------------	--------------

關鍵詞：藍印術、光化學、手機 app

摘要

此研究主要以手機 app 『科學日誌(Arduino science journal)』研究各項變因對藍印術反應速率的影響。發現普魯士藍並不會溶於水中而是懸浮在溶液中或產生沉澱。研究結果發現 UVB 紫外光組的反應速率明顯高於 LED 組與日光燈組。雙氧水與硫代硫酸鈉不是對光敏感的還原劑，對光敏感的還原劑其還原能力順序為：草酸根>檸檬酸根>酒石酸根。鹽酸與稀硫酸的濃度對藍印術反應的反應速率沒有明顯影響。硫酸在較高濃度時會使藍印術的反應變慢。對於反應級數的研究，根據實驗結果可得到草酸根的濃度對反應速率應為 1 級;赤血鹽的濃度對反應速率為 0 級;三價鐵離子的濃度對反應速率應為 2 級反應。

$R = k [C_2O_4^{2-}]^1 [Fe(CN)_6^{3-}]^0 [Fe^{3+}]^2$ ，並由級數推估出可能的反應機構。

壹、前言

一、研究動機

剛開始是因為老師開放自主學習課讓我們在實驗室做實驗，跟老師討論後我們決定試試看藍印術實驗，沒想到只是簡單的幾個步驟就花了一節課才用完，當時因為是雨天所以放了三天才有明顯的實驗結果，但之後有一次趁著晴天太陽很大的時候，我們又做了一次，發現藍印術反應的時間跟紫外線有關，所以就想要研究在藍印術反應中還有哪些變因會影響反應速率，在老師的幫忙下找到了許多相關資料，發現可以使用手機的 app 對我們的研究進行測量，過程中也出現過很多意外和跟文獻資料裡有些不同的地方，但我們試著找出原因，了解了其實動手做和看資料是不同的兩件事，同時也啟發了更多我們後續對這實驗的延伸和探討。

二、研究目的

- (一) 了解藍印術反應的化學原理與操作方法
- (二) 以手機 app 測試照度是否可以進行藍印術反應的研究藉此開創一種新穎且方便的測量工具。
- (三) 以手機 app 對藍印術法進行研究
 1. 光源對藍印術法的影響 (LED、日光燈、紫外光燈)
 2. 還原劑改變對藍印術法的影響 (檸檬酸、草酸鉀、酒石酸鉀鈉)
 3. 不同濃度的酸對藍印術法的影響(鹽酸、稀硫酸)
 4. 以草酸根為還原劑對藍印術反應進行反應級數與反應機構的研究

三、文獻回顧

我們查詢了十年內與藍印術相關之中小學科學研究作品，以及網路資源中有關藍印術的歷史與介紹，除了更深入了解藍印術的反應機制與實際運用，我們也想討論出可以繼續藍印

術的各方面研究。

(一) 十年內與藍印術法相關之中小學科學研究作品

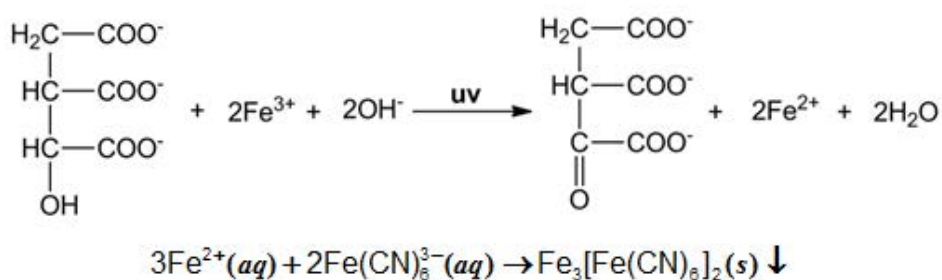
項目	作品名稱	摘要
旺宏科學獎	BLUE 是藍，普魯士藍—藍印術的反應機構與紫外線試紙	<ul style="list-style-type: none">● <u>實驗目的</u>：改變還原劑種類、探討鐵離子之臨界濃度及反應速率、推論普魯士藍的反應機構。● <u>操縱變因</u>：改變還原劑、改變鐵離子之濃度● <u>測量方法</u>：肉眼、手機軟體辨色、分光光度計
高中生小論文	「印」像中的藍	<ul style="list-style-type: none">● <u>實驗目的</u>：製作出穩定且漂亮的藍印術案● <u>操縱變因</u>：光源、還原劑種類、pH 值● <u>測量方法</u>：肉眼
全國中小學科展	科學「化」面：古典顯影的秘密	<ul style="list-style-type: none">● <u>實驗目的</u>：製造一套「古典顯影指南」● <u>操縱變因</u>：紙張、感光劑濃度、水洗溫度、調色法● <u>測量方法</u>：色階、對比度、相片印相
全國中小學科展	藍"住陽光,"晒"出幸福 - 藍印術關鍵揭迷	<ul style="list-style-type: none">● <u>實驗目的</u>：了解藥品比例對反應速率的影響、適合藍印術的紙、圖像清晰的沖洗液● <u>操縱變因</u>：檸檬酸鐵銨與赤血鹽比例、紙張種類、光源、沖洗液● <u>測量方法</u>：肉眼

閱讀分析完各個文獻資料後，我們參考文獻中的實驗條件進行預備測試，並練習使用手機軟體進行 RGB 辨色以及以分光光度計等方法，並以還原劑種類、反應物濃度、手機軟體辨色、光源種類為操縱變因進行預備實驗。

(二) 藍印術介紹

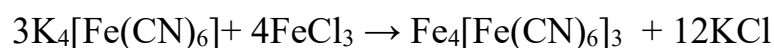
英國科學家約翰·赫謝爾爵士發現許多鐵化合物能夠感光，由此發明了一種能製作持久保存的藍色照片的攝影工藝—藍印術法（鐵氰酸鹽印相法，Cyanotype），又稱藍圖或藍曬圖，在 19 世紀末，該工藝被廣泛用於製作與複製大型建築和機械的圖紙。這種技術它十分簡單並且能在較短的時間內製作出成功的照片，藍印術上色是基於普魯士藍附著於載體纖維結構中的空隙，藍印術作品可以在各種材料上製作和沖洗，包括紙張、織物、木頭、陶瓷和石料，甚至是玻璃和牆面上。

赫謝爾爵士在一次光化學實驗中的記錄：於紙片塗上檸檬酸鐵銨溶液，並放在圖像下曝光，然後用氰亞鐵酸鉀溶液顯影，最終得到藍色的負片。這便是經典的藍曬法。感光劑主要是靠陽光中的紫外光曝光。照片中的藍色是檸檬酸鐵銨和鐵氰化鉀的混合溶液中的二價鐵離子光照後被氧化的結果，生成了非常獨特的藍色調的三價氰鐵鹽。



(三) 普魯士藍介紹

普魯士藍即亞鐵氰化鐵，分子式為 $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ ，是一種深藍色的顏料，由一位德國人狄斯巴赫（Johann Jacob Diesbach）在意外中發現。狄斯巴赫將草木灰和牛血混合在一起進行焙燒，他原本是打算製造紅色顏料，但是析出一種黃色的晶體。當狄斯巴赫將這種黃色晶體放進氯化鐵的溶液中，便產生了一種顏色很鮮豔的藍色沉澱。經過進一步的試驗，這種藍色沉澱竟然是一種性能優良的塗料。



鐵離子 Fe^{3+} 與黃血鹽 $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ 反應，會生成深藍色的普魯士藍沉澱；而亞鐵離子 Fe^{2+} 與赤血鹽 $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ 的反應，會生成深藍色的滕氏藍沉澱。此兩種產物表現出相似的顏色（藍色），且含有完全相同的化學元素和化學式，因此通稱為普魯士藍。

貳、研究設備及器材

一、研究試劑與材料：

<p>硝酸鐵</p> 	<p>赤血鹽</p> 	<p>草酸鉀</p> 	<p>雙氧水</p> 	<p>硫代硫酸鈉</p> 
<p>硫酸</p> 	<p>鹽酸</p> 	<p>酒石酸鉀鈉</p> 	<p>檸檬酸</p> 	<p>蒸餾水</p> 

二、研究器材與設備：

<p>紫外燈</p> 	<p>LED 白燈</p> 	<p>日光燈</p> 	<p>手機</p> 	<p>照度測量軟體</p> 
<p>燒杯</p> 	<p>量筒</p> 	<p>培養皿</p> 	<p>試管</p> 	<p>電子秤</p> 

參、研究過程或方法

一、研究流程

(一) 確認研究目的

根據閱讀查詢文獻得知藍印術原理是利用檸檬酸鐵銨與赤血鹽反應產生普魯士藍，其中檸檬酸根與三價鐵離子會進行光化學反應，而我們想要了解影響此光化學反應的化學原理，再加上檸檬酸鐵銨的價格較為昂貴，因此我們參考了一些論文與科展的研究，將檸檬酸鐵銨改成草酸鉀與硝酸鐵，並與赤血鹽進行藍印術反應的前置作業實驗，觀察結果後，試圖找到會影響顯色反應速率的一系列變因，期許從科學角度分析，更了解藍印術的化學原理與反應過程。

(二) 找到適合測量反應速率的方式

在測量方式上，大部分的科展或論文是以拍照肉眼比對或者是以軟體分析 RGB 的方式進行判定，但是在我們進行實驗的前置作業時發現這樣的方式誤差過大，因為試劑濃度不同所造成的藍色深淺不一，因此造成判定上的困難，之後我們嘗試以分光光度計對實驗結果進行測量分析，但是藍印術產生的普魯士藍會在水溶液中產生沉澱，以及有時實驗結果會產生棕色（普魯士黃）及綠色（普魯士綠），無法有效對實驗結果進行量化，而且老師提醒我們如果是測量最後反應結束(完全變藍色)的時間，得到的數據並非初始速率，因此無法得知各項變因對藍印術反應速率的影響，後來老師提供給我們在台灣化學教育期刊上刊登的這篇『[利用手機及 app 開發化學探究與實作課程—高中奈米硫粒實驗反應速率的測定](#)』，文章中提到了以『科學日誌(Arduino science journal)』測量硫粒實驗反應速率，因此我們決定應用此方法於藍印術的反應速率研究。

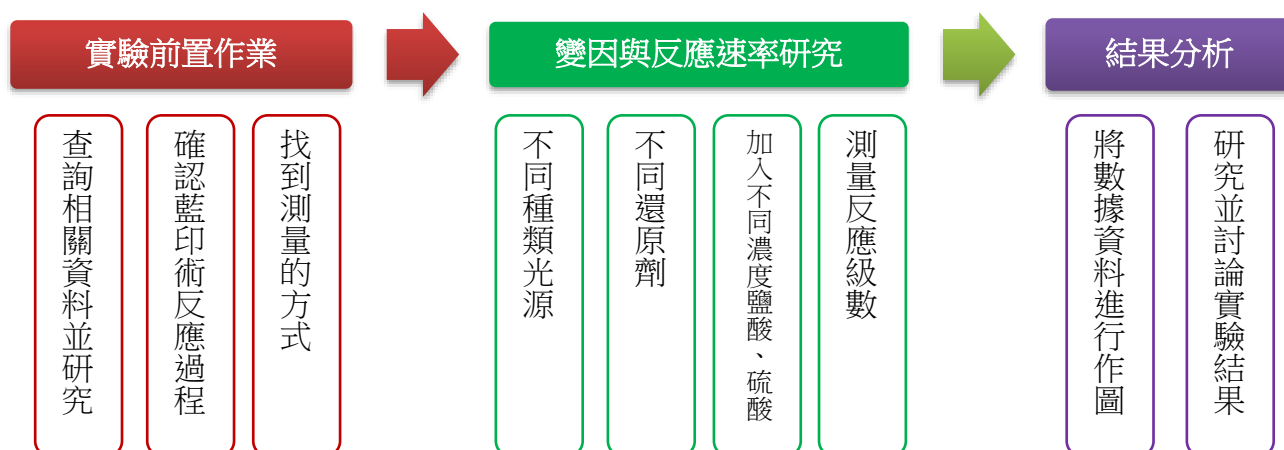


圖 1、實驗流程圖

二、研究方法

(一) 以『科學日誌(Arduino science journal)』測量反應速率

1. 科學日誌(Arduino Science Journal)簡介

「科學日誌」是由 Google 推出的應用程式，為一個免費與開源的 app，同時支援 android 與 ios 作業系統，程式可以使用手機或平板內建的各個感應器來測量光線、聲音、加速度和氣壓等自然現象。程式可將收集到的數據自動快速繪製成圖表。



圖 2、手機 app 操作畫面（下載、使用與感測器設定）

2. 如何以科學日誌(Arduino Science Journal)測量反應速率

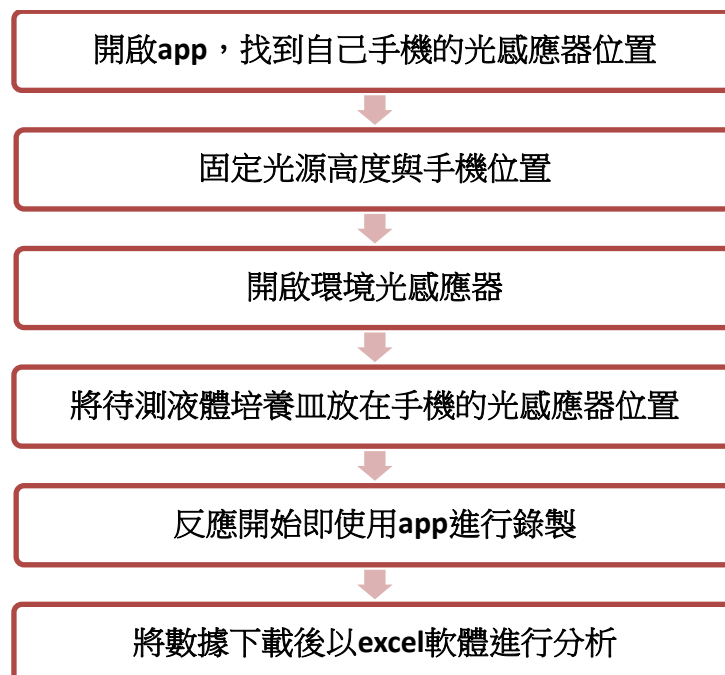




圖 3、手機 app 測量畫面

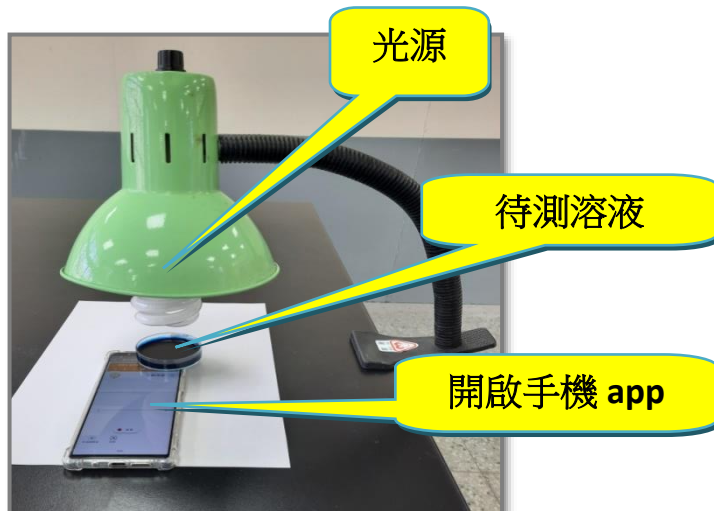


圖 4、反應速率測定裝置

3.如何 進行實驗結果的分析

我們模擬硫粒沉澱的實驗，先在白紙上畫出十字，並同時以手機 app 進行光照度的測量，此 app 每秒會掃描一次可將數據匯整於 Excel，在經過數次預備實驗的觀察後，我們發現當光照度低於 2000 勒克斯時，即表示產生足量的普魯士藍遮住十字，因此我們後續實驗均以 2000 勒克斯以下的第一個點作為依據，記錄所需的時間 Δt ，則 $\frac{1}{\Delta t}$ 則可代表反應速率，然後再進行各項變因對藍印術反應速率的研究。

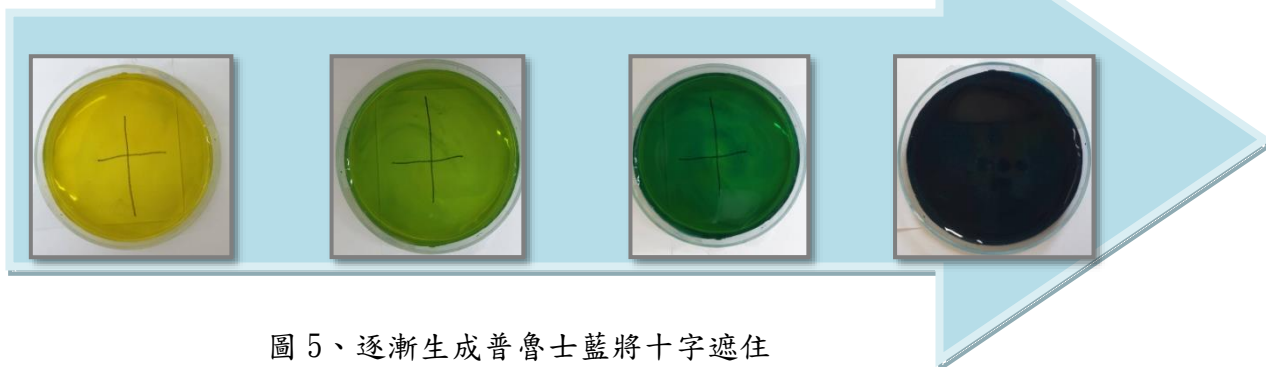


圖 5、逐漸生成普魯士藍將十字遮住

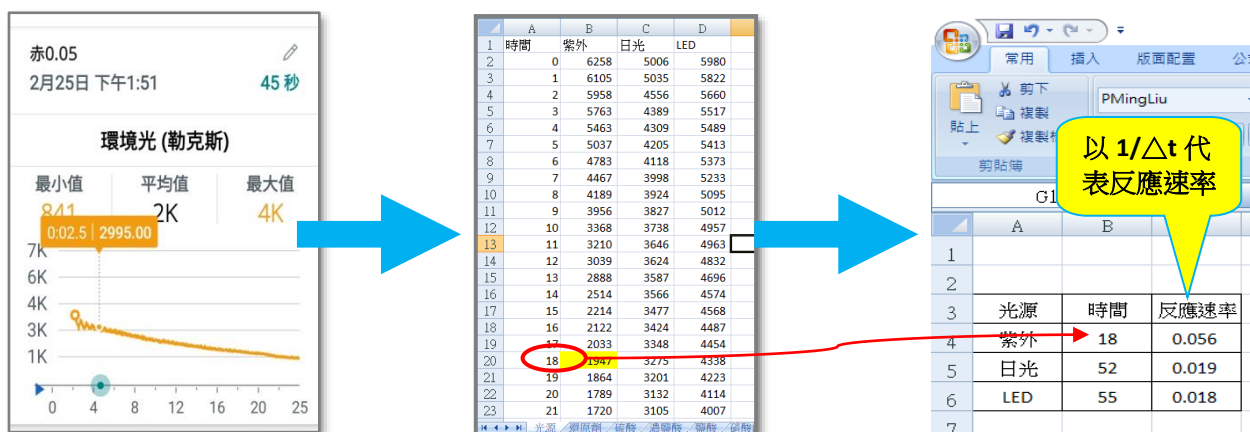


圖 6、分析實驗結果的流程

(二) 各項變因對藍印術反應之反應速率影響之研究

以下是我們進行不同變因對藍印術反應之反應速率影響之研究步驟，實驗過程中我們會將藥品放置陰暗處並將周圍的窗簾拉上，藉此達到避光效果。

1. 不同光源的影響（紫外燈 UVB、LED 燈、日光燈）

- (1) 配製 0.05M 的草酸鉀、赤血鹽與硝酸鐵溶液，分別放入三個燒杯避光處理。
- (2) 各取 2mL 的赤血鹽與硝酸鐵溶液於培養皿中混合
- (3) 再加入 2mL 的草酸鉀，迅速混合後在紫外光下以 app 紀錄光照度的變化
- (4) 將光源替換成日光燈、LED 燈後，重複上述步驟

2. 不同還原劑的影響（草酸鉀、檸檬酸、酒石酸鉀鈉、硫代硫酸鈉、雙氧水）

- (1) 配製 0.1M 的草酸鉀、赤血鹽與硝酸鐵溶液，分別放入三個燒杯避光處理。
- (2) 各取 2mL 的赤血鹽與硝酸鐵溶液於培養皿中混合
- (3) 再加入 2mL 的草酸鉀，迅速混合後在紫外光下以 app 紀錄光照度的變化
- (4) 將草酸鉀替換成、硫代硫酸鈉、檸檬酸、雙氧水、酒石酸鉀鈉後，重複上述步驟。

3. 酸性環境的影響（不同濃度的鹽酸、硫酸）

- (1) 配製 0.1M 的草酸鉀、赤血鹽與硝酸鐵溶液，分別放入三個燒杯避光處理。
- (2) 配製不同濃度的鹽酸與硫酸溶液
- (3) 在培養皿中加入 2mL 的酸液
- (4) 再各取 2mL 的赤血鹽與硝酸鐵溶液於上述培養皿中混合
- (5) 再加入 2mL 的草酸鉀，迅速混合後在紫外光下以 app 紀錄光照度的變化
- (6) 以不同濃度(0.05、0.01、0.05、0.1、0.5、1M)的鹽酸，重複上述(1)~(5)步驟。
- (7) 以不同濃度(0.1、0.2、0.4、0.6、0.8、1M)的硫酸，重複上述(1)~(5)步驟
- (8) 並分別進行不加酸的空白測試組(其他條件相同)

4. 反應級數的測定（草酸鉀、赤血鹽、硝酸鐵）

固定濃度	改變濃度
硝酸鐵、赤血鹽濃度固定為 0.1M	改變 <u>草酸鉀</u> 濃度(0.1、0.08、0.05、0.01、0.005M)
草酸鉀、硝酸鐵濃度固定為 0.1M	改變 <u>赤血鹽</u> 濃度(0.1、0.08、0.05、0.01、0.005M)
草酸鉀、赤血鹽濃度固定為 0.1M	改變 <u>硝酸鐵</u> 濃度(0.5、0.4、0.3、0.2、0.1、0.05M) *因為硝酸鐵在 0.05M 以下反應較不明顯，且測試時發現硝酸鐵濃度容易影響反應速率，因此我們改成配製了上述濃度來做實驗)

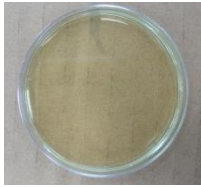

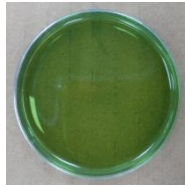

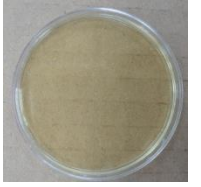

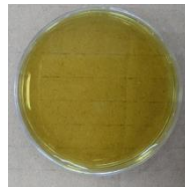
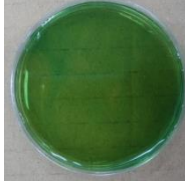
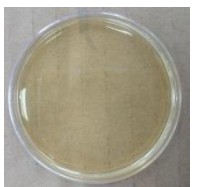
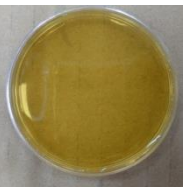
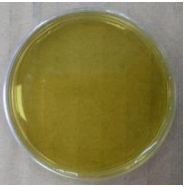
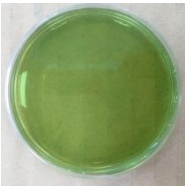
- (1) 配製不同濃度的草酸鉀
- (2) 各取 2mL 的赤血鹽與硝酸鐵溶液於培養皿中混合
- (3) 再加入 2mL 的草酸鉀，迅速混合後在紫外光下以 app 紀錄光照度的變化
- (4) 分別以不同濃度的草酸鉀溶液重複上述步驟
- (5) 將草酸鉀、赤血鹽濃度固定，改變硝酸鐵濃度，重複(1)~(4)步驟
- (6) 將草酸鉀、硝酸鐵濃度固定，赤血鹽改變濃度，重複(1)~(4)步驟

肆、研究結果

以下我們將各項實驗結果的數據以圖表加以分析，並原始數據呈現於 22~28 頁的附錄中。

一、不同光源對藍印術的影響

表 1、待測溶液在不同光源下的反應結果

光源	起始	4 秒	8 秒	40 秒
UVB 紫外燈				
LED 燈				
日光燈				

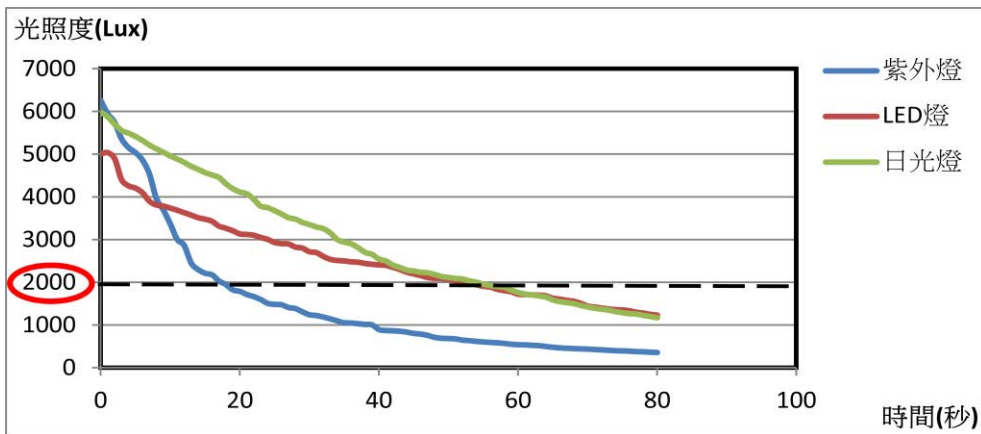


圖 7、
以手機 app 測得不同
光源下的照度變化

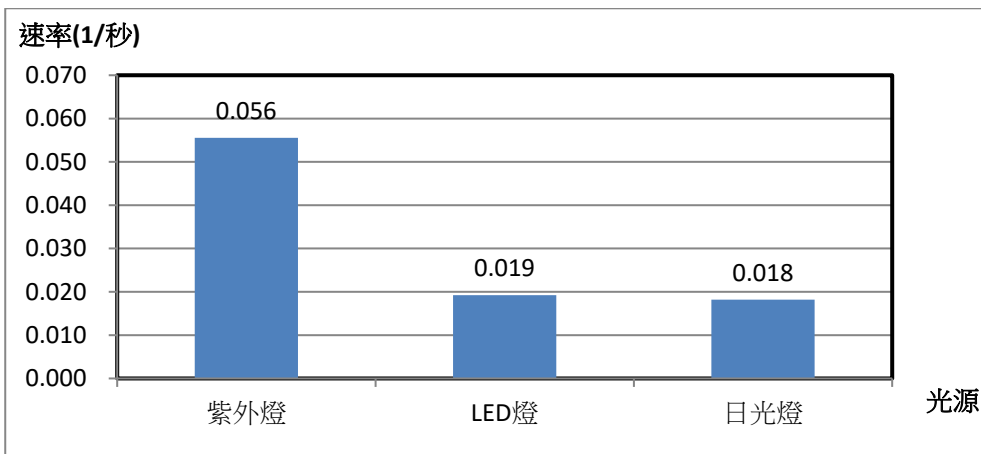



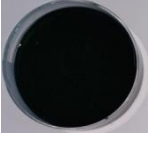
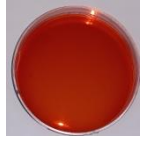
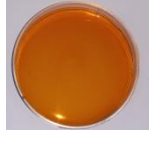

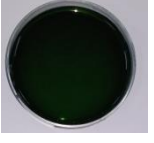
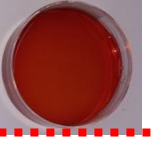
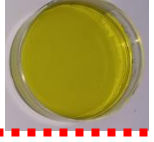
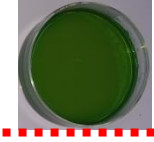

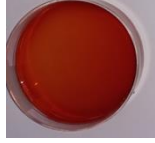



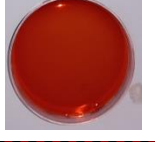
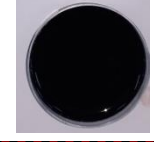
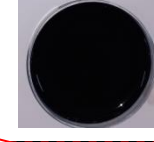
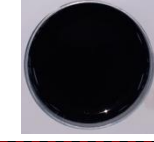
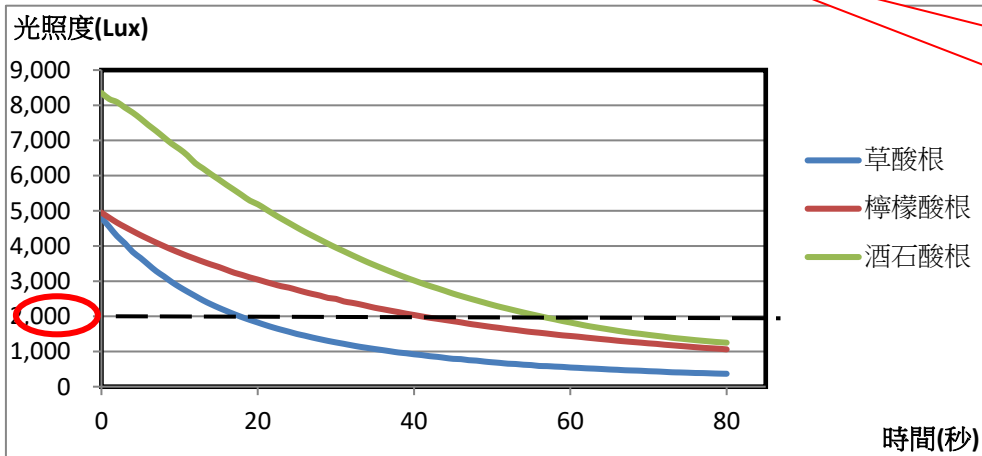


圖 8、
不同光源下的反應速
率比較

二、不同還原劑對藍印術的影響

表 2、以不同還原劑進行反應的反應結果

還原劑	赤血鹽+硝酸鐵	加入還原劑	開始照光	遮住十字
草酸鉀				
檸檬酸				
酒石酸鉀鈉				
硫代硫酸鈉				
雙氧水				



一加入試劑不需照光就馬上反應，因此圖 9 中沒有此兩種還原劑的數據。

圖 9、以手機 app 測得使用不同還原劑的照度變化

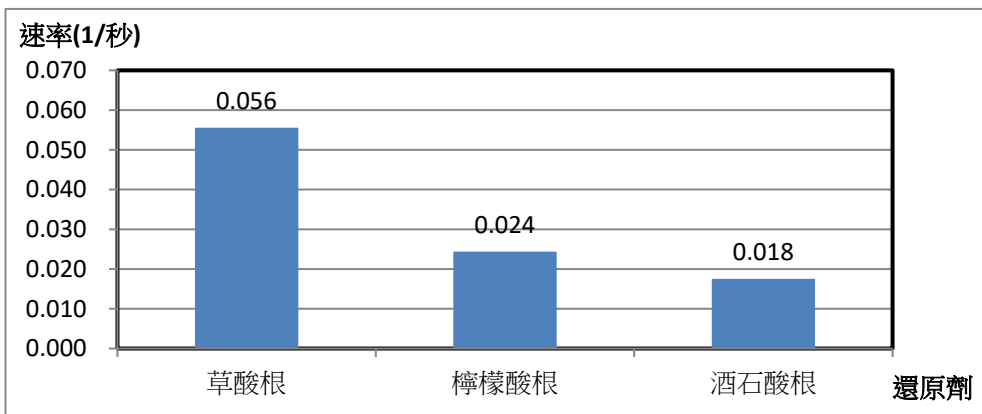


圖 10、以不同還原劑進行反應的反應速率比較

三、酸性環境對藍印術的影響

(一) 加入不同濃度的鹽酸

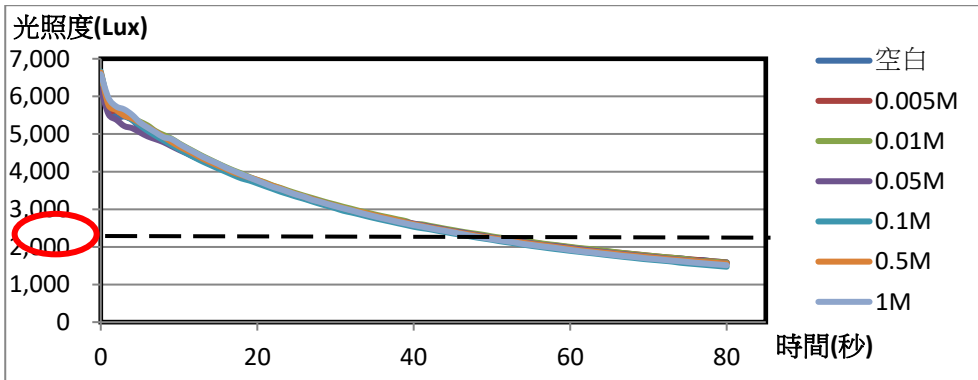


圖 11、
以手機 app 測量加入不同濃度鹽酸的照度變化

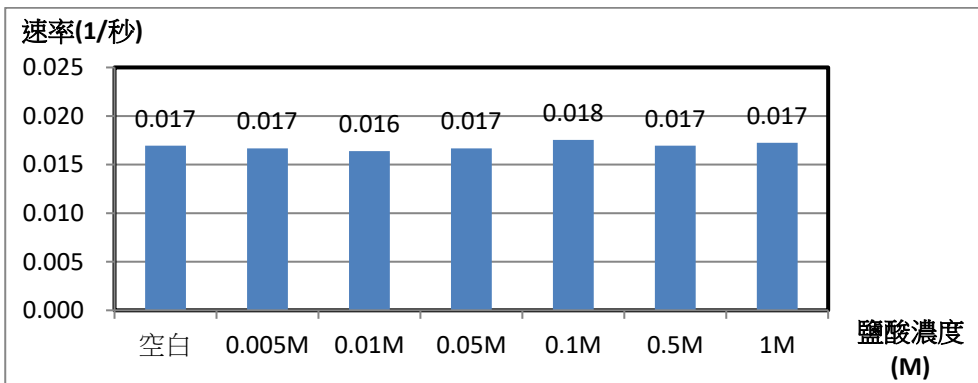


圖 12、
加入不同濃度鹽酸後的反應速率變化

(二) 加入不同濃度的硫酸

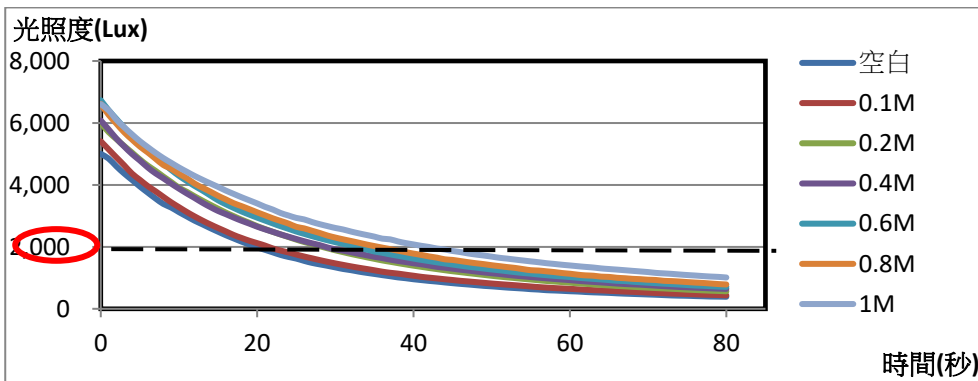


圖 13、
以手機 app 測量加入不同濃度硫酸的照度變化

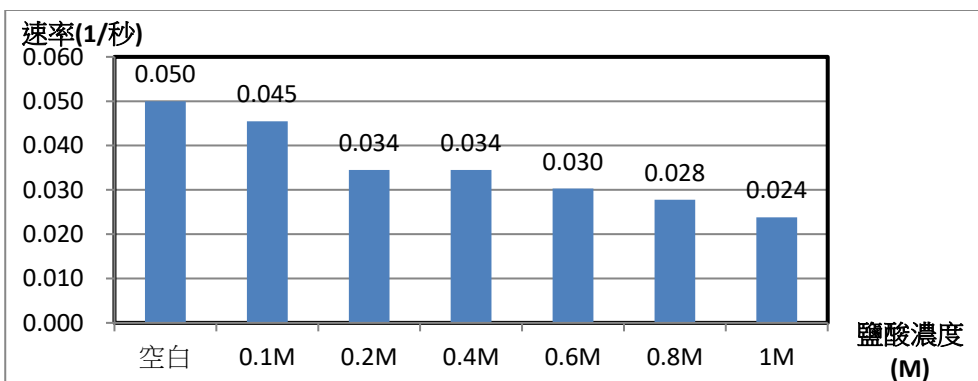
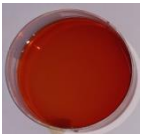
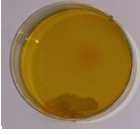


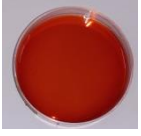
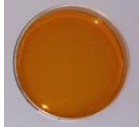
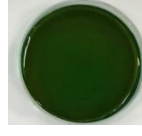

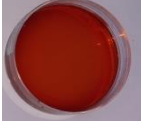



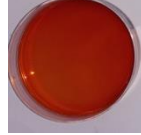
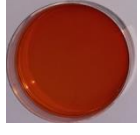



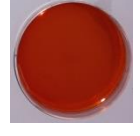
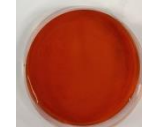



圖 14、
加入不同濃度硫酸後的反應速率變化

四、以草酸根為還原劑對藍印術反應進行反應級數研究

(一) 改變草酸鉀的濃度，固定硝酸鐵、赤血鹽濃度為 0.1M

表 3、以不同濃度草酸鉀進行反應的反應結果

草酸鉀濃度	赤血鹽+硝酸鐵	加入草酸鉀	開始照光	遮住十字
0.1M				
0.08M				
0.05M				
0.01M				
0.005M				

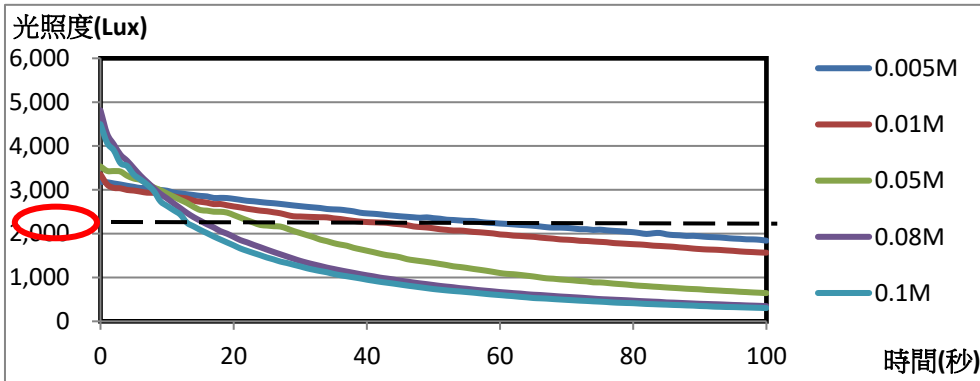


圖 15
以手機 app 測量加入不同濃度草酸鉀的照度變化

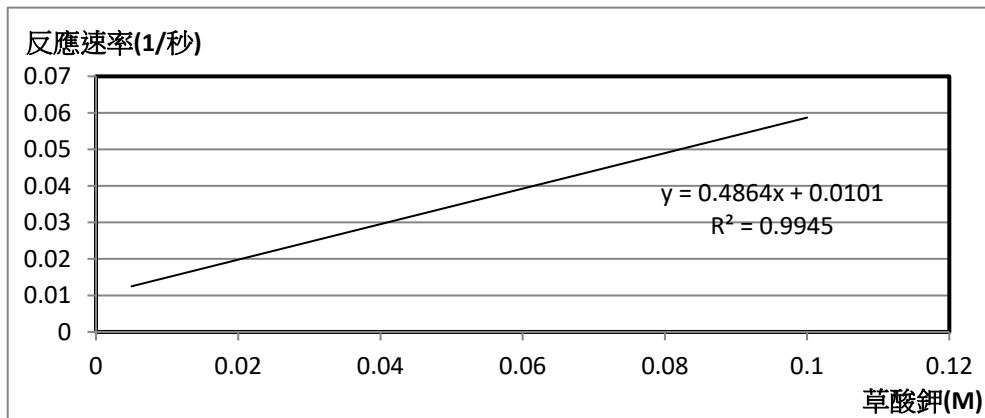
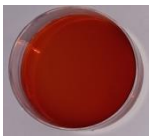
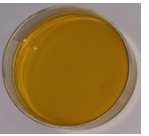
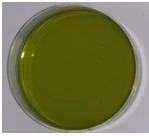
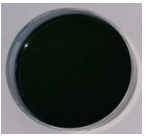
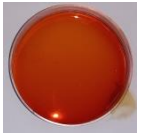

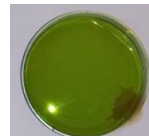
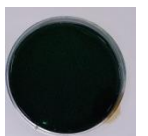
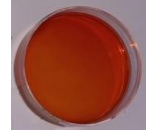
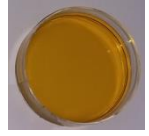
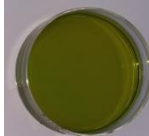

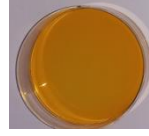
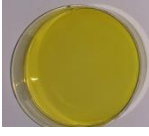
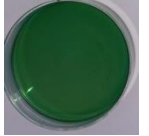

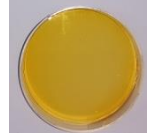

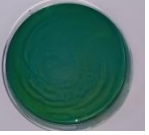
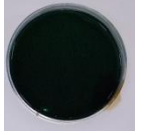


圖 16、
加入不同濃度草酸鉀的反應速率變化

(二) 改變赤血鹽的濃度，固定草酸鉀、硝酸鐵濃度為 0.1M

表 4、以不同濃度赤血鹽進行反應的反應結果

赤血鹽濃度	赤血鹽+硝酸鐵	加入草酸鉀	開始照光	遮住十字
0.1M				
0.08M				
0.05M				
0.01M				
0.005M				

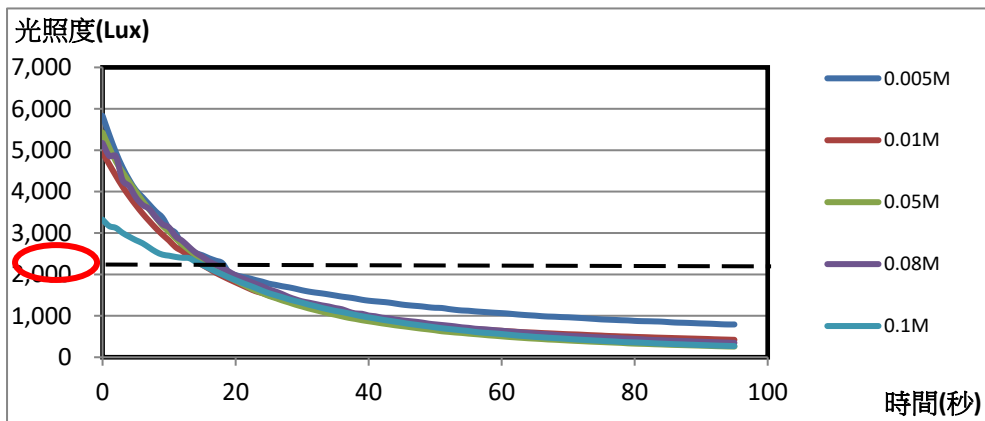


圖 17
以手機 app 測量加入不同濃度赤血鹽的照度變化

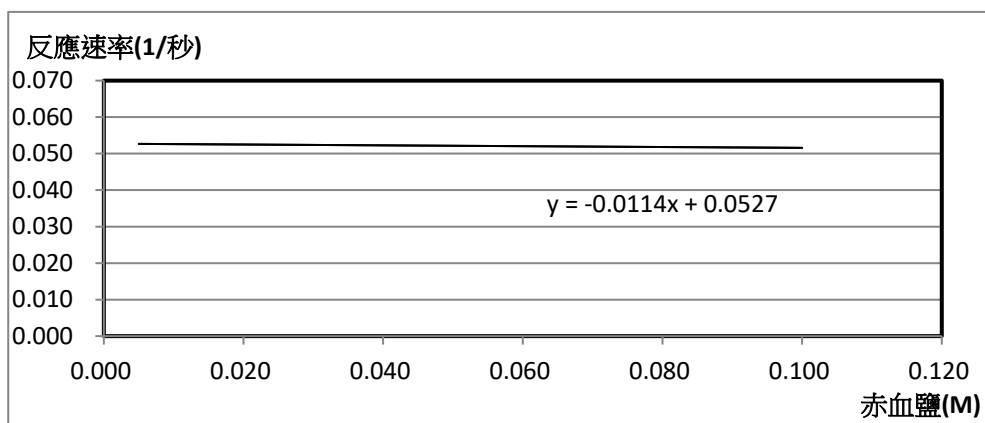


圖 18
加入不同濃度赤血鹽的反應速率變化

(三) 改變硝酸鐵的濃度，固定草酸鉀、赤血鹽濃度為 0.1M

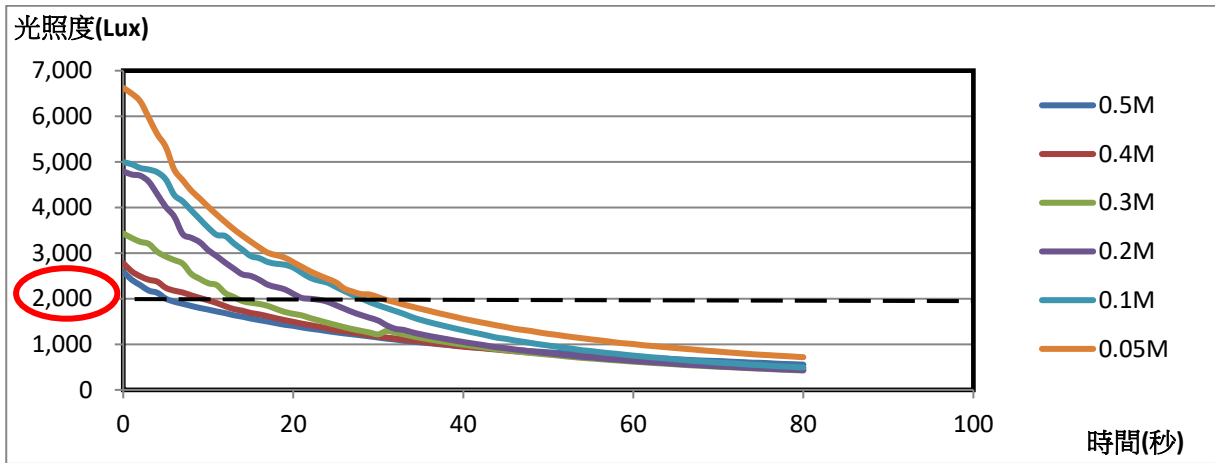


圖 19、以手機 app 測量加入不同濃度硝酸鐵的照度變化

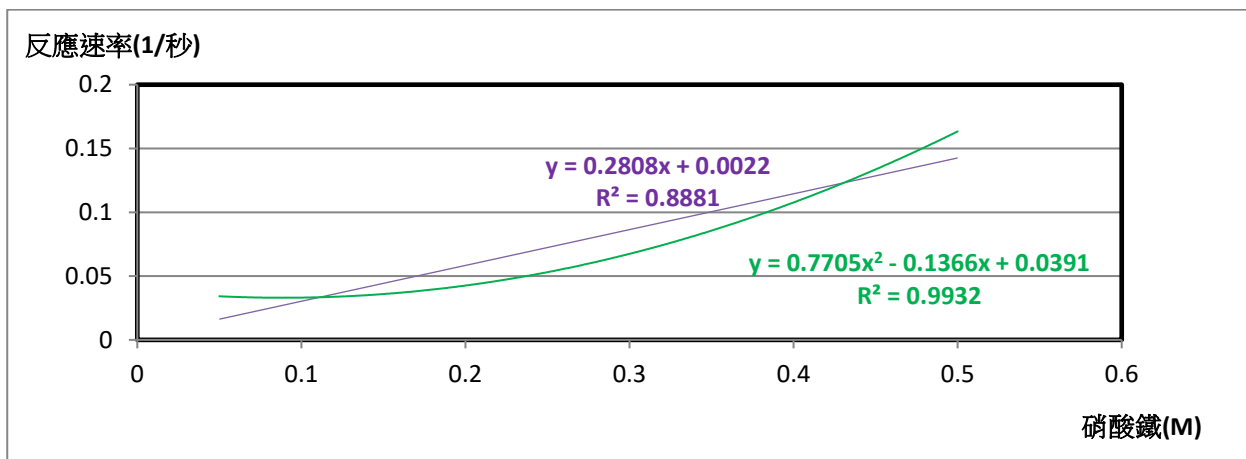


圖 20、加入不同濃度硝酸鐵的反應速率變化

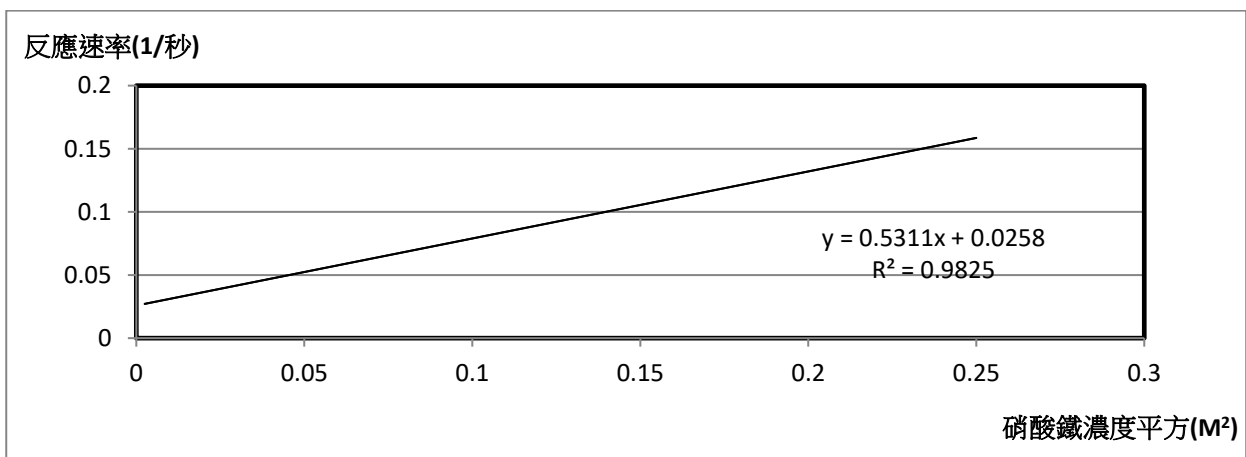


圖 21、硝酸鐵濃度平方對反應速率作圖

伍、討論

一、我們在進行本研究之前，有嘗試以一般藍印術的顯影方式(圖 22)，在紙張刷上試劑照陽光後顯影，紙張上會呈現很美麗的普魯士藍，但是當我們欲進行藍印術反應速率的研究時，我們發現傳統藍印術顯影法其顯色程度會明顯受到紙張種類、紙張吸水率、塗刷工具、塗刷力道、塗刷均勻程度影響，因此我們決定不在紙張上塗刷而是改以溶液顏色判定的方法。



圖 22、以紙張進行藍印術的實驗結果

二、在研究相關的文獻報告後，針對我們想研究的『反應速率』，一開始我們試圖測量溶液變藍色的時間，但是以肉眼判定容易受到主觀判斷、環境光線的影響，幾乎不可能做出客觀判斷，因此會大幅提高實驗的誤差率，而嘗試以顏色判讀軟體中的 RGB 來判定時，會遭遇以下兩個困難：

1. 若以顏色判讀軟體中的 RGB 來判定，需將光源關掉拍照再進行判定，若反應未完成再繼續照燈，此步驟容易造成反應時間的判定誤差。
2. 以不同還原劑為例，待測溶液的起始顏色(如下圖)已經不同，因此導致最後產生的藍色有的偏綠有的很藍，因此無法用統一的 RGB 數值來進行判定。



圖 23、以不同還原劑進行反應的起始顏色，草酸根(左)、檸檬酸根(中)、酒石酸根(右)

三、後來老師建議我們可以使用分光光度計來測量，我們決定固定待測溶液的反應時間後，再將溶液以分光光度計進行，試圖以從顏色的深淺(吸光度)，來判斷普魯士藍的濃度，但是我們發現如果改變試劑的濃度會導致實驗的結果有黃、棕、綠、藍(如下圖)，無法固定一個波長記錄其吸光度。



圖 24、實驗結果有藍有綠有黃

四、另外、我們發現反應完之後的溶液會有沉澱物，因此我們將反應完之後不同濃度的試液加以稀釋靜置一天後，結果如下圖，發現有些普魯士藍會完全沉澱，有些普魯士藍會懸浮於水中，因此確定無法以分光光度計進行反應速率的測量。

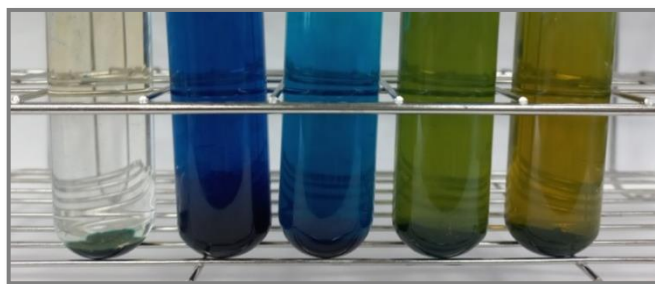
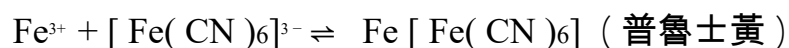


圖 25、有些普魯士藍會沉澱有些會懸浮在溶液裡

五、經過多次實驗後，從表 1~表 4 可以觀察出整個反應過程顏色變化多端，並不是只有藍色。從一開始赤血鹽加硝酸鐵會生成棕色，加入草酸鉀後變成黃綠色，照光後會漸漸變成綠色，最後才會形成普魯士藍。查詢文獻後，整個過程成分分析如下：

普魯士黃，又稱普魯士棕(Prussian Brown)，事實上，普魯士黃是普魯士藍的完全氧化形式，即所有的鐵離子都是 Fe III，而產生綠色是因為反應過程中藍色與黃色的懸濁液或固體混合物結合導致。



六、關於反應速率的測定，我們剛開始用肉眼初步觀察了試液的濃度對反應速率的影響時，發現大致上溶液的濃度越濃，混合液體要完全變藍色所需的時間會越長，這個結果相當困擾我們，因為我們原本是假設溶液的濃度越濃，反應粒子碰撞的機會越多，反應速率會越快才對，但是反覆實驗後，其結果與我們的假設始終不符合，後來我們再詳細閱讀有關反應速率的理論後，發現我們測量的是平均速率，也就是反應所需時間，在越多的反應粒子的狀況下，整個反應的確需要更多的時間來完成反應，而且反應的過程中，反應物的濃度一直在改變，若我們想要研究的是溶液的濃度與反應速率之間的關聯，那我們應該測量的是一開始反應遮住十字的速率，而不是反應完成的時間，所以我們最後決定紀錄照度低於 2000lux 的第一個點來去表示反應速率，並且發現採用此方法後，能夠比較合理說明我們各項實驗的數據。

七、以手機 app 對藍印術法進行研究之結果討論

(一) 光源對藍印術法的影響 (LED、日光燈、UVB 紫外光燈)

從表 1 中可以看出在 8 秒時紫外光燈下的反應試劑已經明顯變色，但是 LED 與日光燈下沒有變色，在 40 秒時紫外光燈下的反應試劑已經明顯變藍色，但是 LED 與日光燈下變成綠色，造成此一結果可能是因為我們是在窗簾拉下的實驗室內進行實驗，沒有完全避光而造成，但是從圖 7、圖 8 可以明顯看出紫外光組的反應速率的確明顯高於其他兩組。

(二) 還原劑改變對藍印術法的影響 (檸檬酸、草酸鉀、酒石酸鉀鈉)

從表 2 中可以看出改變還原劑種類對反應初始就有明顯的影響，未照光之前就可以看出溶液呈現不同顏色，尤其硫代硫酸鈉與雙氧水一加入就立刻產生普魯士藍，而另外三組則是要照光才有反應，只要反應的時間夠久最後都可以形成普魯士藍，從圖 9、圖 10 則可以明顯比較出以草酸鉀為還原劑的反應速率最快，因此根據本實驗結果可得知：雙氧水與硫代硫酸鈉不是對光敏感的還原劑，而對光敏感的還原劑其還原能力順序為：草酸根>檸檬酸根>酒石酸根

(三) 不同濃度的酸對藍印術法的影響 (鹽酸、稀硫酸)

本實驗分為兩部分，分別以不同濃度的鹽酸與硫酸加入後與空白組進行比較。從圖 11、圖 12 中可以明顯看出加入鹽酸幾乎不影響反應速率，我們配置的鹽酸濃度最高為 1M 最低為 0.01M，濃度相差了 100 倍，但是對此反應的反應速率沒有明顯影響。

另一方面，我們嘗試將鹽酸改成硫酸進行測試，發現在 0.1M~0.4M 時，與空白組的反應速率比較沒有明顯差異，而 0.6M~1M 時，隨著硫酸濃度變高，反應速率有逐漸降低的趨勢，這可能與硫酸在較高濃度時會參與氧化還原反應有關，高濃度硫酸為強氧化劑，會與溶液中的還原劑進行反應，而與三價鐵離子產生競爭的效應，所以會使得藍印術的反應變慢。

(四)藍印術反應的反應級數與反應機構的研究

1.草酸鉀

由圖 16 中可看出，當改變了草酸鉀的濃度時，反應速率隨著濃度增加而變快，而且將數據做一次線性趨勢線時，其 $R^2=0.9945$ ，顯示實驗數據與趨勢線的擬合程度相當良好。而草酸根的濃度對反應速率應為 1 級反應。

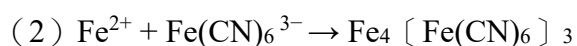
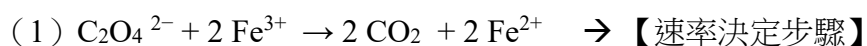
2.赤血鹽

由圖 18 中可看出，當改變了赤血鹽的濃度時，反應速率皆非常地相近，我們嘗試以一次線性方式做趨勢線，發現趨勢線已近乎水平，代表赤血鹽的濃度對反應速率幾乎沒有影響。顯示赤血鹽的濃度對反應速率應為 0 級反應。

3.硝酸鐵

由圖 20 中可看出，當改變了硝酸鐵的濃度時，反應速率隨著濃度增加而變快，而且我們嘗試以一次線性方式做趨勢線其 R^2 只有 0.8881，再將數據做多項式(2 次方)趨勢線時其 $R^2=0.9932$ ，顯示實驗數據與多項式(2 次方)趨勢線的擬合程度比較佳，我們再將濃度平方與反應速率做圖(圖 21)，並嘗試做一次線性趨勢線，其 $R^2=0.9825$ ，顯示三價鐵離子的濃度對反應速率應為 2 級反應。

根據以上反應級數的推論，我們認為赤血鹽參與的反應並非速率決定步驟，其中草酸根與亞鐵離子參與的反應應該是速率決定步驟，因此我們推估的可能反應機構如下：



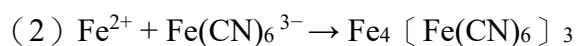
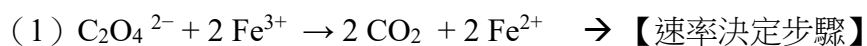
陸、結論

- 一、藍印術反應的反應過程中會產生黃棕綠藍各式深淺不一的顏色，不適合以肉眼或顏色判定軟體進行反應速率的研究
- 二、普魯士藍並不會溶於水中而是懸浮在溶液中或產生沉澱。
- 三、在測量濃度與反應速率之間的關係時，要測量的是反應初始的速率而非平均速率
- 四、以手機 app 『科學日誌(Arduino Science Journal)』可以對藍印術產生普魯士藍沉澱反應進行反應速率的定量研究。
- 五、UVB 紫外光組的反應速率的確明顯高於 LED 組與日光燈組。
- 六、雙氧水與硫代硫酸鈉不是對光敏感的還原劑
- 七、對光敏感的還原劑其還原能力順序為：草酸根>檸檬酸根>酒石酸根
- 八、加入鹽酸與稀硫酸對藍印術反應的反應速率沒有明顯影響。
- 九、硫酸在較高濃度時會參與氧化還原反應，濃硫酸與溶液中的還原劑進行反應時，會與三價鐵離子產生競爭的效應，使得藍印術的反應變慢。
- 十、以草酸鉀進行藍印術反應時的反應級數研究，根據實驗結果可得到：

$$R=k [C_2O_4^{2-}]^1 [Fe(CN)_6^{3-}]^0 [Fe^{3+}]^2$$

草酸根的濃度對反應速率應為 1 級反應，赤血鹽的濃度對反應速率應為 0 級反應，三價鐵離子的濃度對反應速率應為 2 級反應。

- 十一、本研究採用草酸鉀、硝酸鐵與赤血鹽產生普魯士藍的反應機構如下：



- 十二、藍印術屬於傳統印相法中的鐵鹽印相，我們未來也想要以『科學日誌』這個 app 應用在其他印相法的研究，另外對於不同紫外光的波長會如何影響實驗結果也是未來可以研究的方向。

柒、參考文獻資料

- 一. 張煥宗主編。高中選修化學(二)，物質構造與反應速率。第三章化學反應速率。龍騰書局。
- 二. 張煥宗主編。高中必修化學(全)，4-4 氧化還原反應。龍騰書局。
- 三. 陳孟男(2014)。人像藍印術。台灣化學教育電子期刊。
- 四. 施建輝(2016)。藍印術的另類實驗與探討檸檬酸根的反應。台灣化學教育電子期刊。
- 五. 劉燕孝、廖家榮(2018)。利用手機及 app 開發化學探究與實作課程—高中奈米硫粒實驗反應速率的測定。台灣化學教育電子期刊。
- 六. 楊莞筠、林盈喬、王聖惠。「印」像中的藍。中學生小論文。
- 七. 胡曼琦、何宗祐、黃宥凌、林柏君。科學「化」面：古典顯影的秘密。中華民國第 60 屆科學展覽會。
- 八. 黃蒼恩、張采甯、李昕怡、張鈺泓。"藍"住陽光,"晒"出幸福 - 藍晒關鍵揭迷。中華民國第 57 屆科學展覽會。
- 九. 何綺婷、張皓帆(2021)。藍色顏料之藍晒奇旅。南方科技大學化學系。
- 十. 曾俊迪。BLUE 是藍，普魯士藍—藍印術的反應 機構與紫外線試紙。第 19 屆旺宏科學獎報告書。

【附錄】 實驗原始實驗數據 (因為數據過於龐大，受限於頁數因此只擷取部分)

●不同光源對藍印術的影響 (表格中為 app 測得之光照度)

光源	2000LUX 以下的時間(秒)	速率 (1/秒)
UVB 紫外燈	0.056	18
LED 燈	0.019	52
日光燈	0.018	55

時間(秒)	UVB 紫外光	LED	日光
8	3965.21	3809.02	5123.02
9	3697.57	3785.29	5044.11
10	3368.22	3737.52	4957.64
11	3005.88	3688.00	4884.23
12	2864.32	3629.04	4806.78
13	2456.11	3574.32	4713.99
14	2299.34	3512.84	4644.01
15	2213.39	3477.23	4568.21
16	2177.13	3428.66	4511.06
17	2033.39	3315.91	4452.24
18	1946.63	3264.59	4304.51
19	1823.42	3205.67	4189.07
20	1788.67	3132.40	4113.75
42	865.75	2349.66	2401.71
43	855.99	2301.07	2348.56
44	835.09	2236.09	2284.15
45	804.22	2195.79	2264.54
46	789.63	2157.55	2235.07
47	758.33	2110.33	2222.15
48	711.81	2094.65	2184.25
49	690.45	2089.87	2133.50
50	685.21	2071.21	2113.54
51	675.81	2033.39	2091.05
52	648.00	1997.79	2078.22
53	635.22	1971.04	2033.39
54	618.47	1942.88	2002.24
55	604.65	1905.10	1957.75
56	594.33	1888.39	1923.00

●不同還原劑對藍印術的影響 (表格中為 app 測得之光照度)

還原劑	2000LUX 以下的時間(秒)	速率 (1/秒)
草酸根	18	0.056
檸檬酸根	41	0.024
酒石酸根	57	0.018

時間	草酸根	檸檬酸根	酒石酸根
8	3134.62	3995.59	7085.72
9	2974.44	3897.70	6905.51
10	2832.06	3806.49	6754.23
11	2703.03	3717.50	6576.26
12	2578.44	3635.18	6353.78
13	2453.86	3552.87	6202.50
14	2344.85	3475.00	6042.32
15	2244.74	3403.81	5893.27
16	2151.30	3321.50	5737.54
17	2060.09	3239.18	5590.71
18	1975.55	3176.89	5439.43
31	1219.14	2424.94	3850.98
32	1176.87	2387.12	3746.42
33	1136.83	2344.85	3644.08
34	1103.46	2293.68	3543.97
35	1070.09	2242.51	3450.53
36	1038.94	2202.47	3359.32
37	1005.57	2160.20	3270.33
38	972.20	2120.15	3183.57
39	949.95	2075.66	3099.03
40	921.03	2037.84	3018.94
41	898.78	1997.79	2938.85
47	754.18	1788.67	2513.93
48	740.83	1757.52	2451.64
49	714.13	1726.38	2389.34
50	694.11	1695.23	2327.05
51	676.31	1668.54	2269.21
52	654.07	1637.39	2215.82
53	645.17	1612.92	2162.42
54	625.14	1581.77	2109.03
55	614.02	1555.08	2057.86
56	589.55	1535.05	2008.92
57	585.10	1510.58	1959.97
58	571.75	1483.88	1915.48

●加入不同濃度鹽酸對藍印術的影響 (表格中為 app 測得之光照度)

鹽酸濃度	2000LUX 以下 的時間(秒)	速率 (1/秒)
空白(加入蒸餾水)	59	0.017
0.005M	60	0.017
0.01M	61	0.016
0.05M	60	0.017
0.1M	57	0.018
0.5M	59	0.017
1M	58	0.017

時間(秒)	空白	0.005M	0.01M	0.05M	0.1M	0.5M	1M
40	2571.77	2607.37	2607.37	2620.71	2536.17	2602.92	2578.44
41	2540.62	2560.65	2600.69	2576.22	2500.58	2560.65	2540.62
42	2502.80	2527.28	2560.65	2536.17	2471.66	2516.15	2500.58
43	2469.43	2491.68	2522.83	2498.35	2431.61	2480.56	2458.31
44	2436.06	2451.64	2482.78	2458.31	2396.02	2440.51	2424.94
45	2396.02	2418.26	2447.19	2416.04	2358.20	2404.92	2387.12
46	2360.42	2382.67	2409.37	2391.57	2322.60	2367.10	2349.30
47	2322.60	2349.30	2375.99	2351.52	2289.23	2335.95	2309.25
48	2295.91	2313.70	2347.07	2315.93	2251.41	2300.35	2273.66
49	2260.31	2284.78	2315.93	2284.78	2220.26	2264.76	2240.29
50	2235.84	2249.19	2278.11	2249.19	2189.12	2233.61	2206.92
51	2204.69	2220.26	2246.96	2218.04	2151.30	2202.47	2175.77
52	2173.55	2191.34	2218.04	2175.77	2122.38	2171.32	2146.85
53	2149.07	2173.55	2186.89	2151.30	2091.23	2140.18	2115.70
54	2122.38	2144.62	2155.75	2126.83	2060.09	2111.25	2077.88
55	2095.68	2120.15	2131.28	2097.91	2028.94	2080.11	2053.41
56	2064.53	2091.23	2102.36	2066.76	2002.24	2055.64	2024.49
57	2037.84	2060.09	2073.43	2042.29	1973.32	2031.16	2000.02
58	2015.59	2040.06	2051.19	2024.49	1946.63	2002.24	1975.55
59	1993.34	2015.59	2024.49	2000.02	1922.15	1975.55	1946.63
60	1971.10	1986.67	2000.02	1971.10	1895.46	1951.07	1917.70
61	1946.63	1962.20	1973.32	1946.63	1873.21	1919.93	1891.01
62	1922.15	1939.95	1953.30	1922.15	1848.74	1895.46	1866.54
63	1902.13	1924.38	1933.28	1897.68	1826.49	1875.43	1846.51
64	1877.66	1897.68	1906.58	1870.98	1802.02	1853.19	1822.04
65	1855.41	1870.98	1882.11	1848.74	1777.55	1833.16	1799.79

●加入不同濃度硫酸對藍印術的影響 (表格中為 app 測得之光照度)

硫酸濃度	2000LUX 以下 的時間(秒)	速率 (1/秒)
空白(加入蒸餾水)	20	0.050
0.1M	22	0.045
0.2M	29	0.034
0.4M	29	0.034
0.6M	33	0.030
0.8M	36	0.028
1M	42	0.024

時間(秒)	空白	1M	0.8M	0.6M	0.4M	0.2M	0.1M
13	2727.50	4166.89	3908.82	3819.83	3423.84	3492.80	2849.86
14	2605.14	4048.98	3784.24	3661.88	3285.90	3359.32	2725.28
15	2489.46	3935.52	3648.53	3503.93	3159.09	3230.29	2609.59
16	2375.99	3815.39	3530.62	3374.89	3054.53	3105.70	2498.35
17	2271.43	3708.60	3408.26	3256.98	2945.52	2990.02	2382.67
18	2169.10	3601.81	3314.82	3143.52	2843.18	2878.78	2287.01
19	2075.66	3501.70	3216.94	3041.18	2749.75	2776.44	2198.02
20	1984.45	3401.59	3114.60	2943.30	2651.86	2669.66	2120.15
21	1904.36	3292.58	3018.94	2849.86	2565.10	2576.22	2042.29
22	1822.04	3203.59	2921.05	2756.42	2485.01	2485.01	1948.85
23	1739.73	3092.35	2836.51	2665.21	2402.69	2400.47	1879.88
24	1675.21	3012.26	2751.97	2582.89	2327.05	2318.15	1819.82
27	1483.88	2803.14	2520.60	2347.07	2115.70	2091.23	1630.72
28	1434.94	2731.95	2447.19	2278.11	2055.64	2020.04	1572.87
29	1388.22	2669.66	2364.87	2213.59	1980.00	1953.30	1517.26
30	1337.05	2609.59	2300.35	2151.30	1919.93	1888.78	1466.09
31	1285.88	2560.65	2242.51	2095.68	1877.66	1828.72	1417.14
32	1248.06	2493.90	2189.12	2033.39	1826.49	1770.87	1370.42
33	1201.35	2436.06	2133.50	1968.87	1775.32	1717.48	1325.93
34	1161.30	2382.67	2075.66	1913.25	1728.60	1664.09	1285.88
35	1125.71	2329.28	2024.49	1850.96	1679.66	1612.92	1243.62
36	1087.89	2264.76	1975.55	1808.69	1637.39	1561.75	1199.12
37	1052.29	2242.51	1926.60	1757.52	1588.45	1519.48	1163.53
38	1014.47	2175.77	1877.66	1713.03	1546.18	1474.99	1136.83
39	987.77	2122.38	1828.72	1666.31	1510.58	1432.72	1101.23
40	954.40	2077.88	1782.00	1621.82	1470.54	1392.67	1067.86
41	927.71	2033.39	1739.73	1579.55	1437.17	1354.85	1032.27
42	901.01	1995.57	1690.78	1539.50	1397.12	1317.03	1005.57
43	878.76	1944.40	1650.74	1499.46	1354.85	1281.44	981.10
44	852.07	1913.25	1597.34	1463.86	1325.93	1245.84	954.40

● 改變草酸鉀濃度對藍印術的影響 (表格中為 app 測得之光照度)

草酸鉀濃度(M)	2000LUX 以下 的時間(秒)	速率 (1/秒)
0.005	85	0.012
0.01	60	0.017
0.05	31	0.032
0.08	20	0.050
0.1	17	0.059

時間(秒)	0.1	0.08	0.05	0.01	0.005
12	2433.84	2580.67	2769.77	2820.94	2918.83
13	2246.96	2471.66	2698.58	2803.14	2898.80
14	2164.65	2375.99	2609.59	2751.97	2881.01
15	2084.56	2293.68	2538.40	2727.50	2860.98
16	2011.14	2213.59	2525.00	2707.48	2849.86
17	1935.50	2142.40	2501.00	2674.11	2814.26
18	1866.54	2057.86	2499.00	2676.33	2816.49
19	1799.79	2000.02	2480.56	2647.41	2812.04
20	1733.05	1926.60	2424.94	2620.71	2794.24
21	1661.86	1853.19	2364.87	2598.47	2771.99
27	1363.75	1530.60	2162.42	2464.98	2678.56
28	1330.38	1479.44	2115.70	2427.16	2660.76
29	1290.33	1428.27	2060.09	2396.02	2642.96
30	1252.51	1379.32	2013.37	2391.57	2627.39
31	1210.24	1337.05	1966.65	2385.00	2611.81
32	1176.87	1299.23	1919.93	2380.00	2598.47
33	1145.73	1263.64	1864.31	2375.00	2585.12
57	638.49	709.68	1174.65	2031.16	2266.98
58	622.92	696.34	1152.40	2017.82	2251.41
59	609.57	682.99	1127.93	2004.47	2242.51
60	598.45	667.41	1101.23	1982.22	2231.39
61	585.10	656.29	1083.44	1973.32	2222.49
79	418.25	480.54	838.72	1768.65	2044.51
80	413.80	471.64	823.14	1759.75	2033.39
81	404.90	462.74	812.02	1753.07	2013.37
82	396.00	456.07	803.12	1741.95	1993.34
83	391.55	449.39	792.00	1726.38	2008.92
84	384.88	442.72	783.10	1719.70	2015.59
85	380.43	431.59	771.98	1710.81	1984.45
86	373.75	427.15	763.08	1701.91	1968.87

● 改變赤血鹽濃度對藍印術的影響 (表格中為 app 測得之光照度)

赤血鹽濃度(M)	2000LUX 以下 的時間(秒)	速率 (1/秒)
0.005	20	0.050
0.01	18	0.056
0.05	19	0.053
0.08	20	0.050
0.1	19	0.053

時間(秒)	0.1M	0.08M	0.05M	0.01M	0.005M
0	3322.30	5174.69	5430.53	4936.64	5833.20
1	3167.99	4861.00	5063.45	4660.78	5374.91
2	3123.50	4852.10	4729.74	4384.91	4949.99
3	3003.36	4278.13	4471.68	4122.40	4587.36
4	2912.15	4133.52	4233.63	3891.03	4287.02
5	2827.61	3862.10	4002.26	3675.23	4035.63
6	2754.20	3681.90	3777.56	3475.00	3866.55
7	2649.63	3584.01	3572.89	3292.58	3690.80
8	2547.30	3381.57	3379.34	3119.05	3519.50
9	2478.33	3214.71	3179.12	2961.09	3372.67
10	2453.00	3132.40	3032.29	2818.71	3112.38
11	2422.00	2918.83	2867.66	2656.31	2994.47
12	2402.60	2809.81	2720.83	2560.65	2676.33
13	2393.79	2662.98	2591.79	2440.51	2600.69
14	2307.03	2525.05	2462.76	2331.50	2516.15
15	2231.39	2424.94	2338.17	2229.16	2462.76
16	2149.07	2313.70	2229.16	2137.95	2391.57
17	2071.21	2233.61	2122.38	2042.29	2333.73
18	2000.02	2153.52	2024.49	1959.97	2273.66
19	1926.60	2068.98	1937.73	1882.11	2046.74
20	1859.86	1977.77	1850.96	1808.69	1984.45
21	1795.34	1906.58	1768.65	1735.28	1942.18
22	1735.28	1837.61	1686.33	1661.86	1908.80
23	1672.99	1773.10	1610.69	1595.12	1864.31
24	1606.24	1713.03	1548.40	1550.63	1826.49
25	1546.18	1639.61	1481.66	1495.01	1777.55
26	1497.23	1588.45	1430.49	1443.84	1748.63
27	1450.51	1526.15	1372.65	1394.90	1715.25
28	1399.35	1454.96	1323.71	1348.18	1688.56
29	1357.08	1399.35	1270.31	1303.68	1655.19
30	1317.03	1350.40	1225.82	1261.41	1617.37

● 改變硝酸鐵濃度對藍印術的影響 (表格中為 app 測得之光照度)

硝酸鐵濃度(M)	2000LUX 以下的時間(秒)	速率 (1/秒)
0.5	6	0.167
0.4	10	0.100
0.3	14	0.071
0.2	23	0.043
0.1	29	0.034
0.05	31	0.032

時間(秒)	0.5M	0.4M	0.3M	0.2M	0.1M	0.05M
3	2177.66	2415.27	3200.98	4566.07	4832.20	5970.03
4	2129.81	2373.33	3028.68	4292.35	4772.41	5606.63
5	2001.25	2238.23	2924.05	4013.26	4616.52	5329.42
6	1933.85	2175.33	2847.62	3800.36	4273.57	4828.59
7	1888.27	2135.73	2767.34	3415.72	4132.56	4597.97
8	1840.43	2072.83	2543.04	3335.46	3937.12	4369.69
9	1797.13	2016.93	2434.41	3238.60	3746.33	4197.30
10	1760.67	1963.35	2339.06	3063.28	3555.53	4013.28
11	1719.66	1905.11	2298.29	2930.89	3398.65	3843.23
12	1683.19	1835.23	2122.69	2789.56	3374.04	3680.17
13	1637.62	1772.33	2037.04	2658.96	3213.50	3524.09
14	1605.72	1737.39	1947.72	2533.73	3076.23	3384.33
15	1564.71	1686.14	1911.56	2498.55	2934.29	3251.55
16	1530.52	1655.86	1885.32	2413.86	2888.01	3123.42
17	1498.62	1613.92	1841.79	2306.52	2804.00	3006.95
20	1405.20	1492.80	1667.73	2106.15	2683.01	2799.62
21	1371.01	1453.20	1633.71	2016.69	2566.68	2699.46
22	1341.39	1420.58	1574.01	1997.44	2457.32	2599.29
23	1318.61	1385.64	1523.28	1976.45	2397.40	2515.43
24	1288.97	1353.03	1471.67	1934.40	2352.61	2438.56
25	1263.91	1311.10	1424.24	1857.47	2259.55	2359.36
26	1238.85	1287.80	1374.73	1780.54	2168.80	2221.91
27	1218.34	1257.52	1332.43	1703.61	2082.72	2154.37
28	1195.55	1227.24	1294.26	1639.21	2005.93	2100.52
29	1172.76	1196.95	1257.08	1580.17	1924.50	2091.47
30	1147.70	1171.33	1217.92	1519.34	1854.70	2030.91
31	1122.63	1148.03	1294.26	1413.78	1791.87	1968.01
32	1104.40	1127.07	1257.08	1339.78	1729.05	1923.75

【評語】 050206

1. 實驗觀察深入，藉由改變實驗設計，以 App 環境光十字偵測取代圖像 RGB 與分光儀的分析無法量測的缺點頗具實驗探究的精神與創意，值得鼓勵，然實驗結果仍有值得深入探討之處。
2. 文中提到使用分光光度計來測量發現如果改變試劑的濃度會導致實驗的結果有黃、棕、綠、藍，無法固定一個波長記錄其吸光度。若各式深淺不一的顏色代表中間產物，不同顏色出現之過程代表反應速度之快慢，應加以說明。
3. 分光儀因普魯士藍會完全沉澱，因此確定無法以分光光度計進行反應速率的測量之論點值得商榷，普魯士藍本身即是沉澱物，反應初始，因普魯士藍產物較少會懸浮於水中，反而是比較準確的啟始反應量測。
5. 討論六”我們剛開始用肉眼初步觀察了試液的濃度對反應速率的影響時，發現大致上溶液的濃度越濃，混合液體要完全變藍色所需的時間會越長，這個結果相當困擾我們，因為我們原本是假設溶液的濃度越濃，反應粒子碰撞的機會越多，反應速率會越快才對，但是反覆實驗後，其結果與我們的假設始終不符合，後來我們再詳細閱讀有關反應速率的理論後，發現我們測量的是平均速率，也就是反應所需時間，在越多的反應粒子的狀況下，整個反應的確需要更多的時間來完成反應…” 反應速率主要與濃度有關而非總量，觀察的誤差可能是攪拌不均或肉眼靈敏度的不足與誤判

6. 討論七值得商榷”將紫外光燈下的反應試劑已經明顯變藍色，但是 LED 與日光燈下變成綠色，造成此一結果可能是因為我們是在窗簾拉下的實驗室內進行實驗，沒有完全避光而造成”所得差距頗大，應思考不同光源是否影響反應速度，UV 加速反應與速率決定步驟的關聯？
7. 實驗加強對藍印術反應速率的機制了解。
8. 探討不同還原劑效果，應可用其還原電位強弱來解釋。

作品簡報

中華民國第62屆中小學科展博覽會



以手機 APP 研究各
項變因對藍印術反應
速率的影響

高中組。化學科

普魯士藍介紹

普魯士藍即亞鐵氰化鐵，分子式為 $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ ，由一位德國人狄斯巴赫在意外中發現。



鐵離子 Fe^{3+} 與黃血鹽 $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ 反應，會生成深藍色的普魯士藍沉澱；而亞鐵離子 Fe^{2+} 與赤鹽 $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ 的反應，會生成深藍色的滕氏藍沉澱。此兩種產物表現出相似的顏色（藍色），且含有完全相同的化學元素和化學式，因此通稱為普魯士藍。

研究流程



如何以科學日誌app對藍印術進行研究

在白紙上畫十字，同時以手機 app 進行光照度的測量，app每秒會紀錄數據，我們發現當光照度低於 2000 勒克斯時，產生足量的普魯士藍會遮住十字，因此我們後續實驗均以 2000 勒克斯以下的第一個點作為依據，記錄所需的時間 Δt ，則 $1/\Delta t$ 可代表反應速率，再進行各項變因對藍印術反應速率的研究。

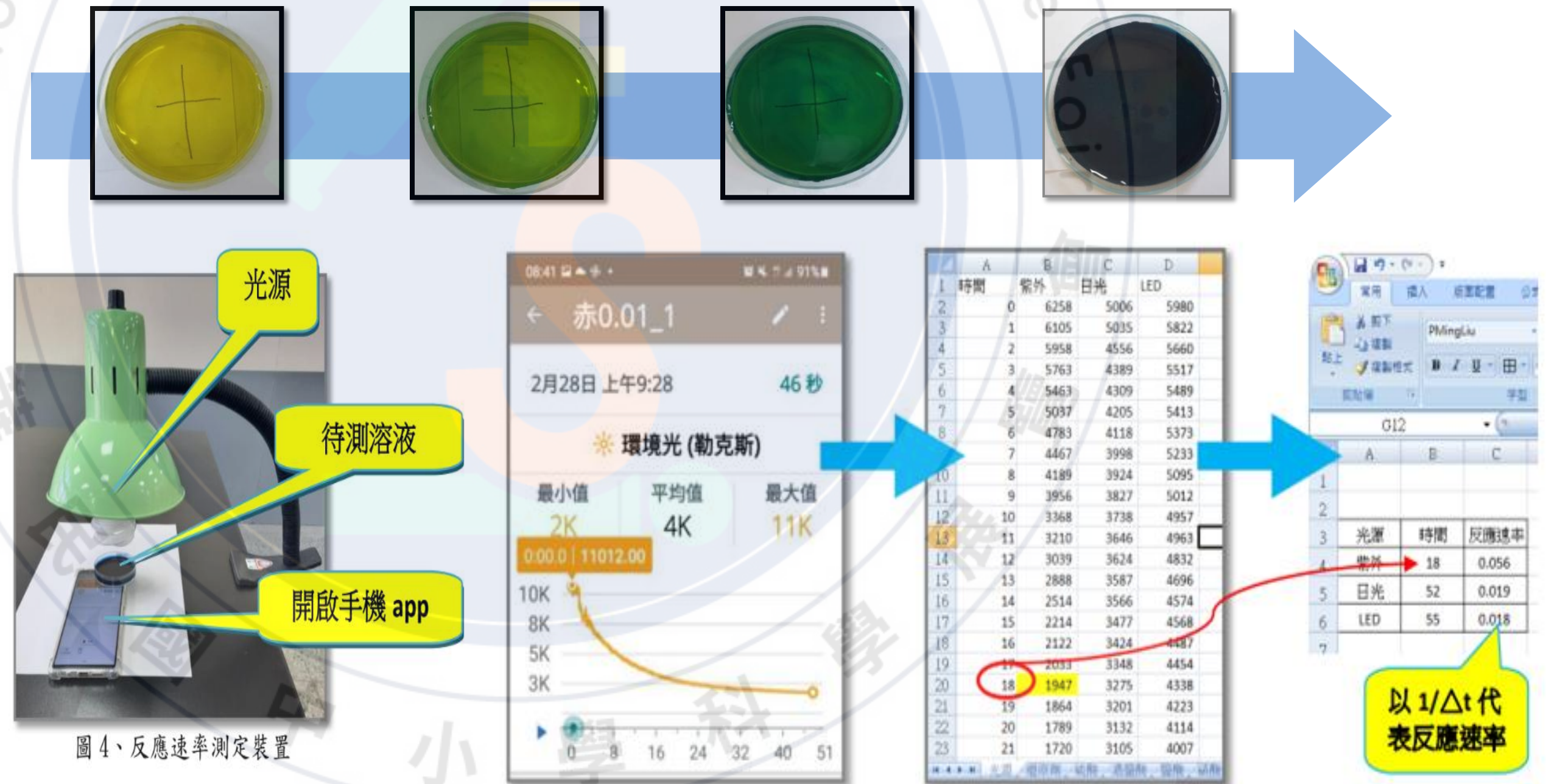
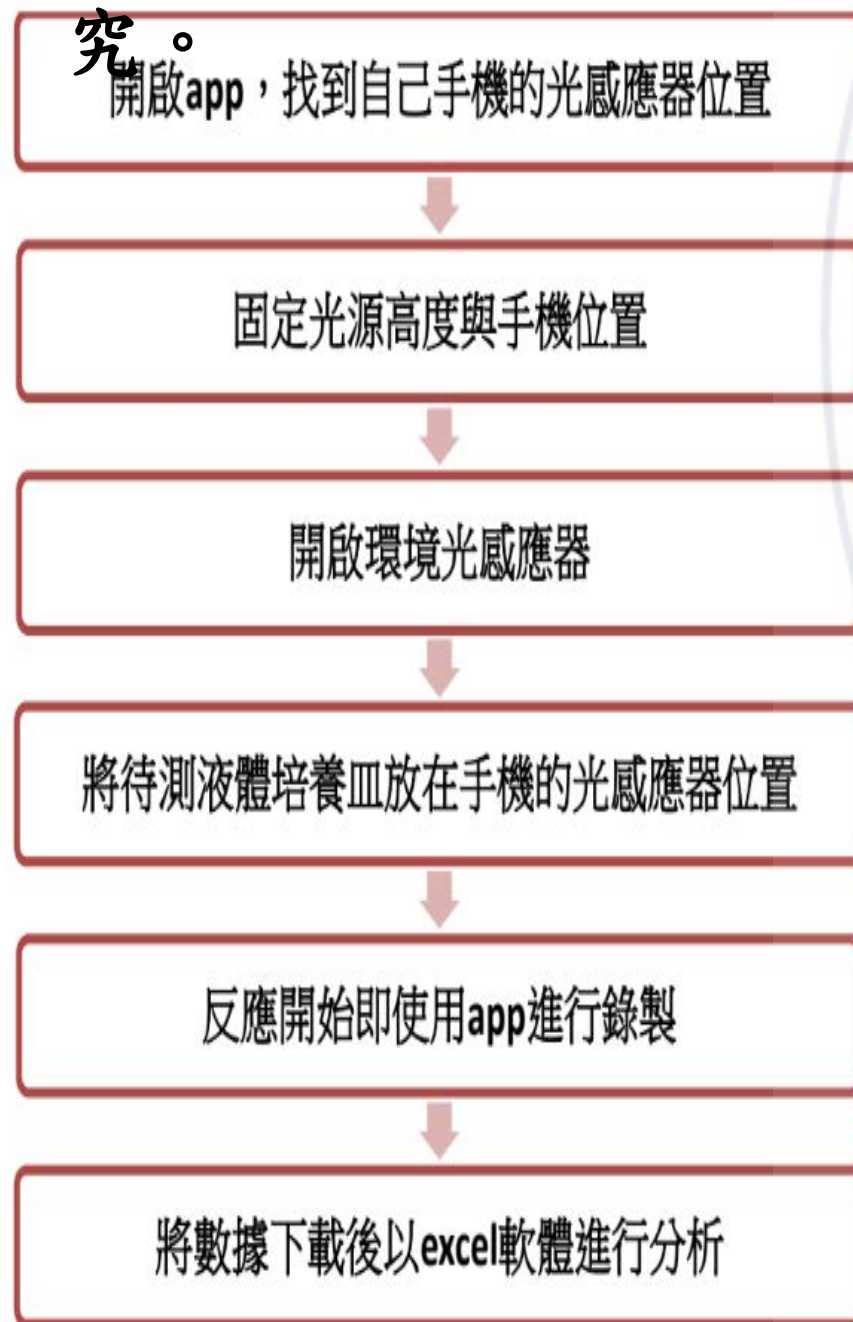
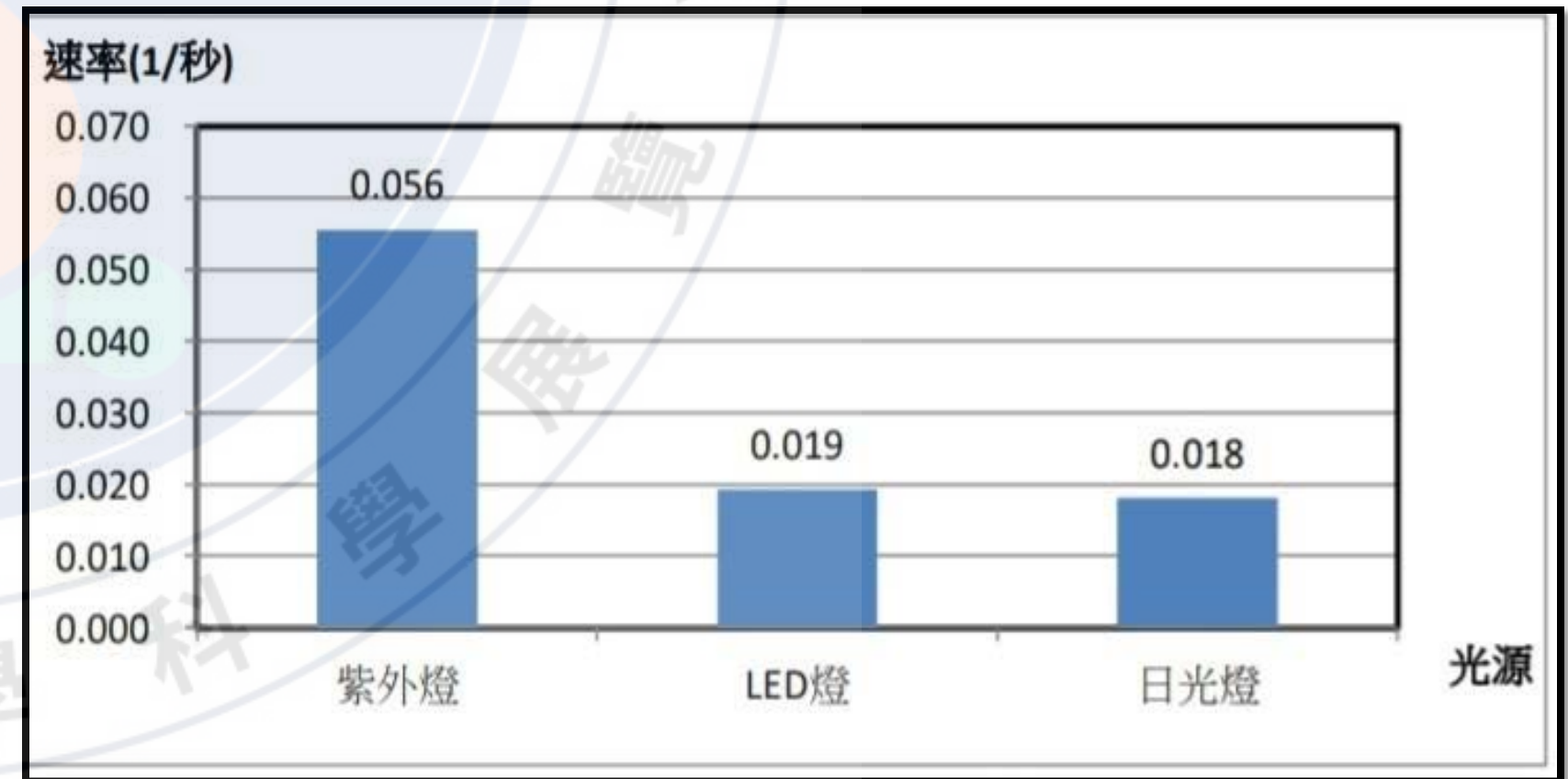
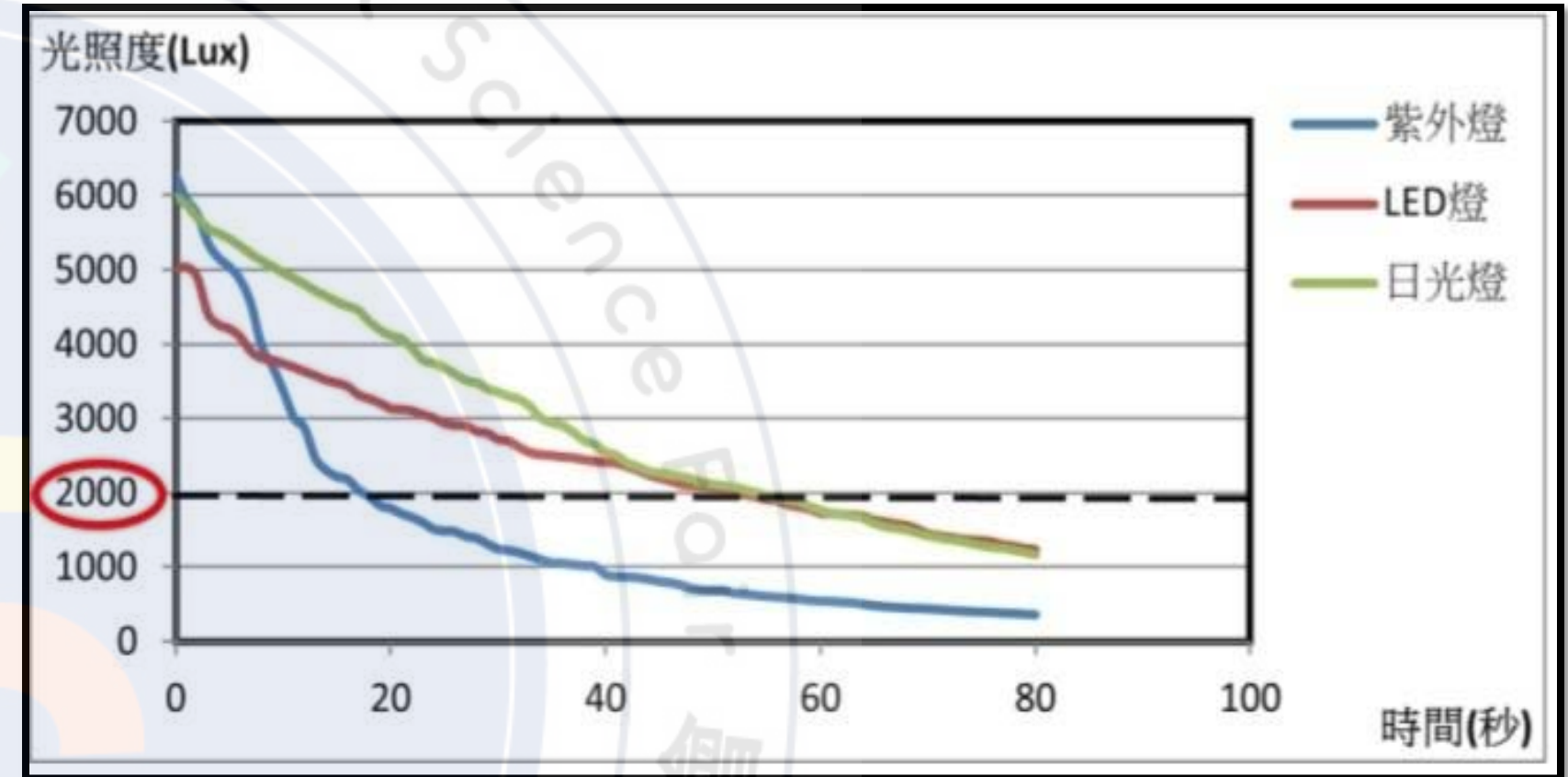


圖 4、反應速率測定裝置

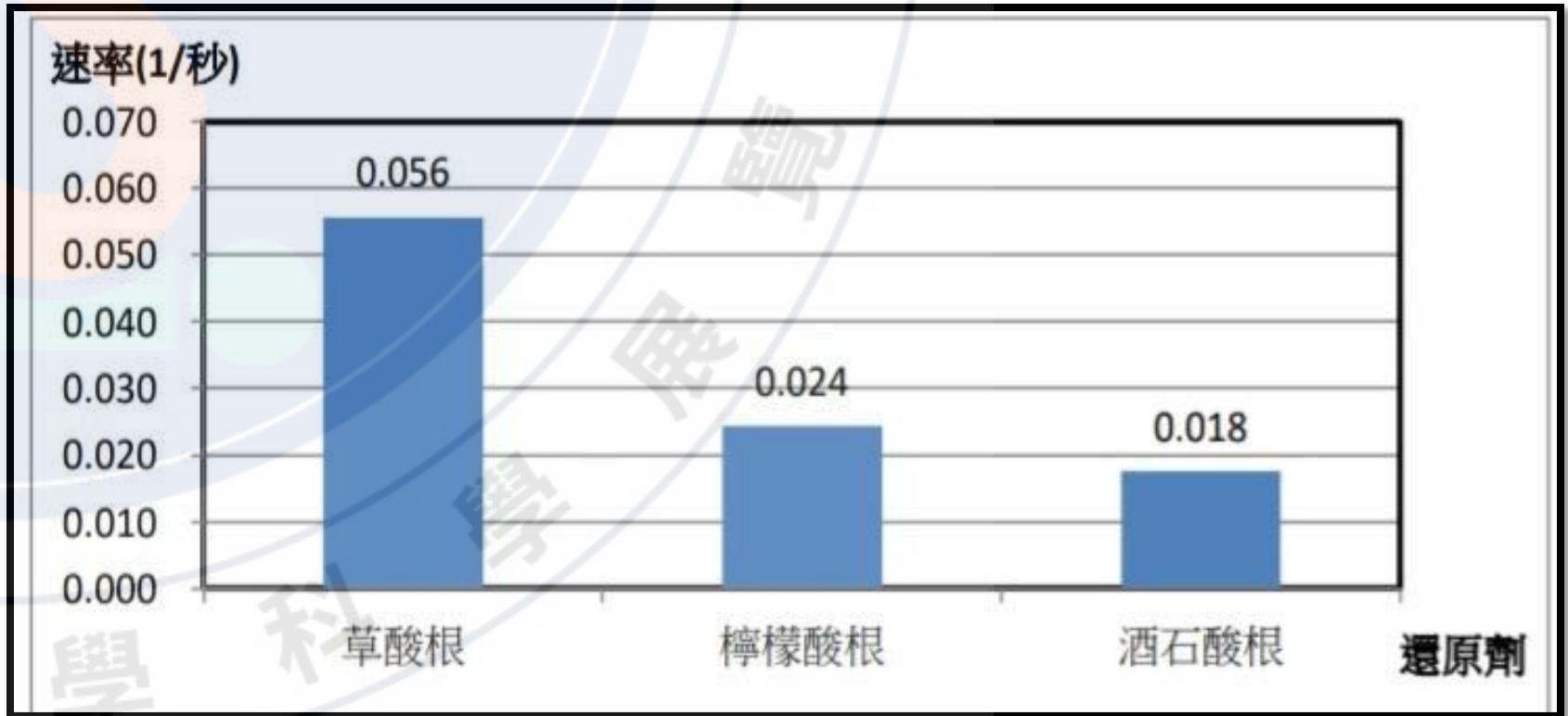
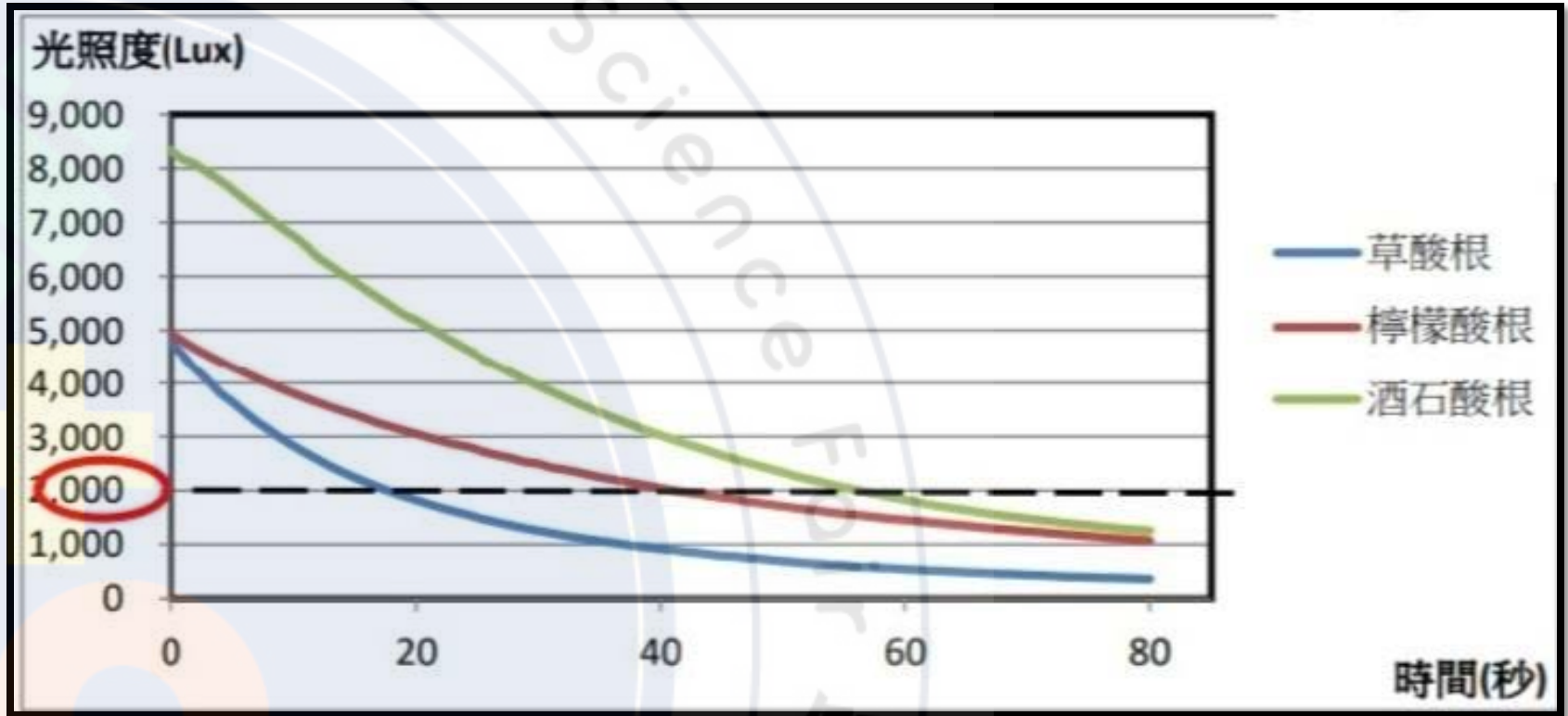
不同光源對藍印術影響的研究結果

光源	起始	4 秒	8 秒	40 秒
UVB 紫外燈				
LED 燈				
日光燈				



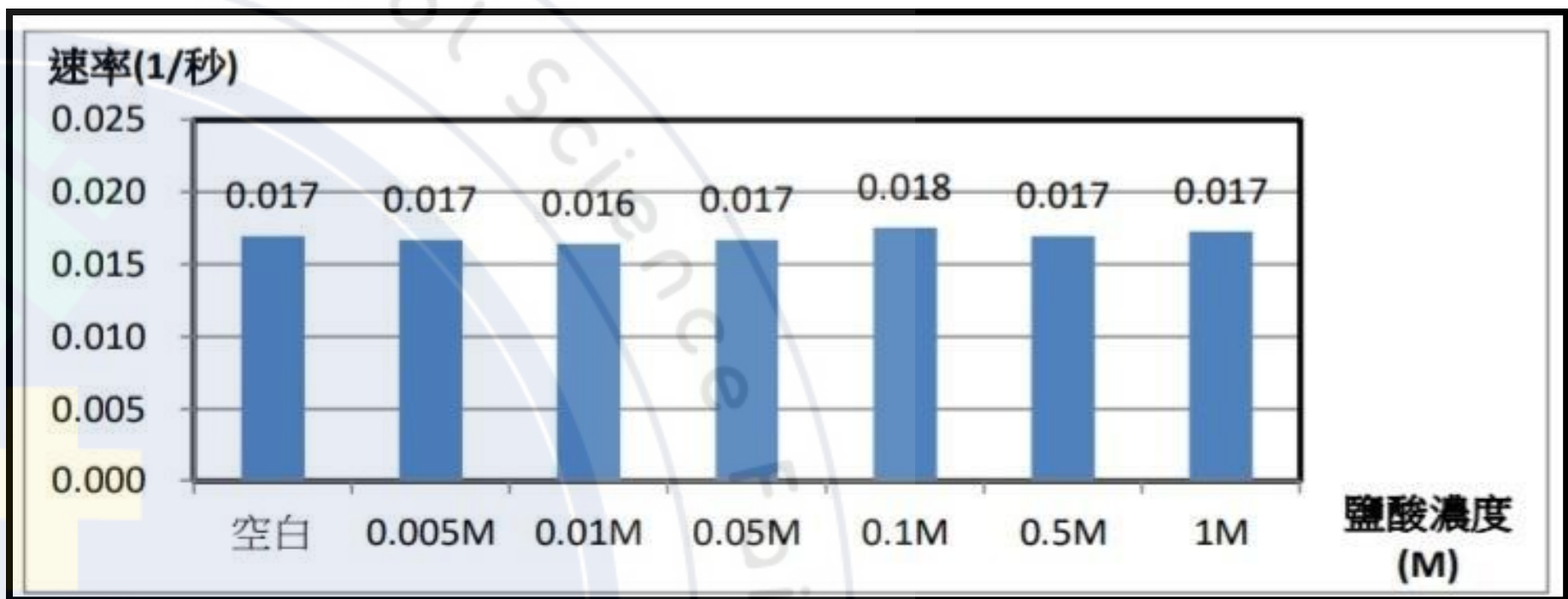
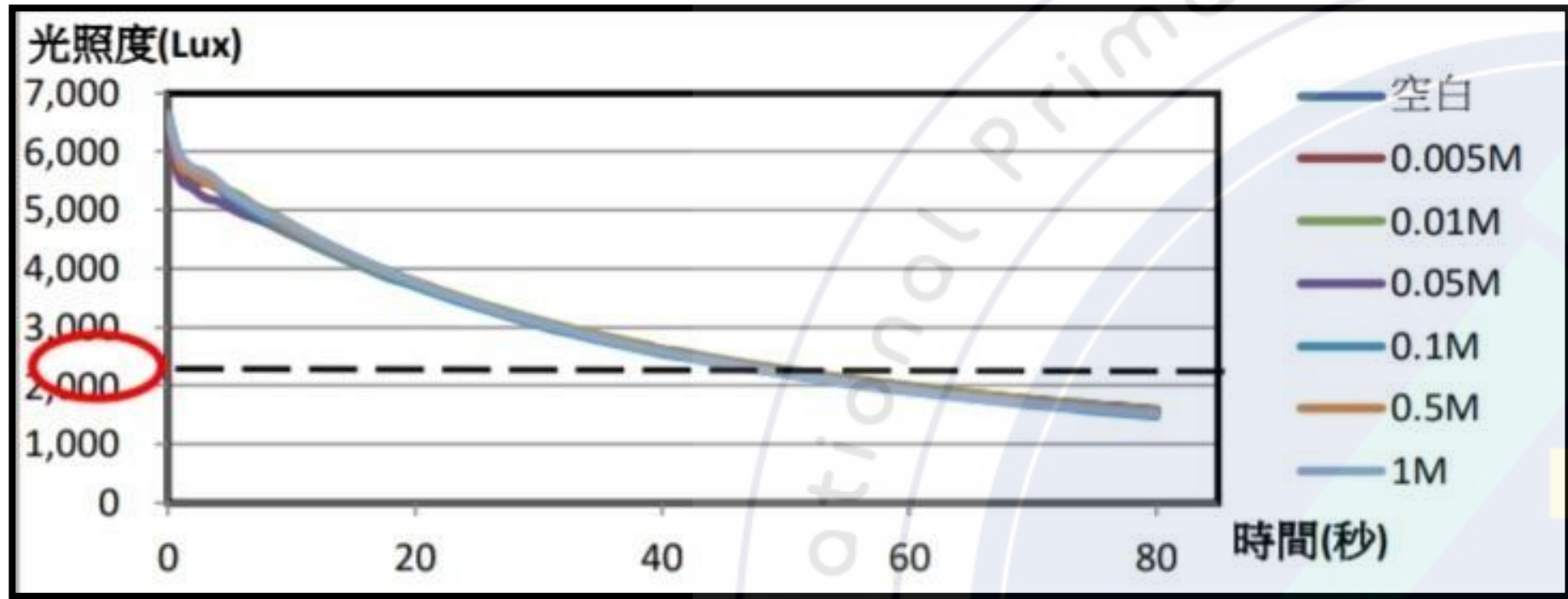
不同還原劑對藍印術影響的研究結果

還原劑	赤血鹽+硝酸鐵	加入還原劑	開始照光	遮住十字
草酸鉀				
檸檬酸				
酒石酸鉀鈉				
硫代硫酸鈉				
雙氧水				

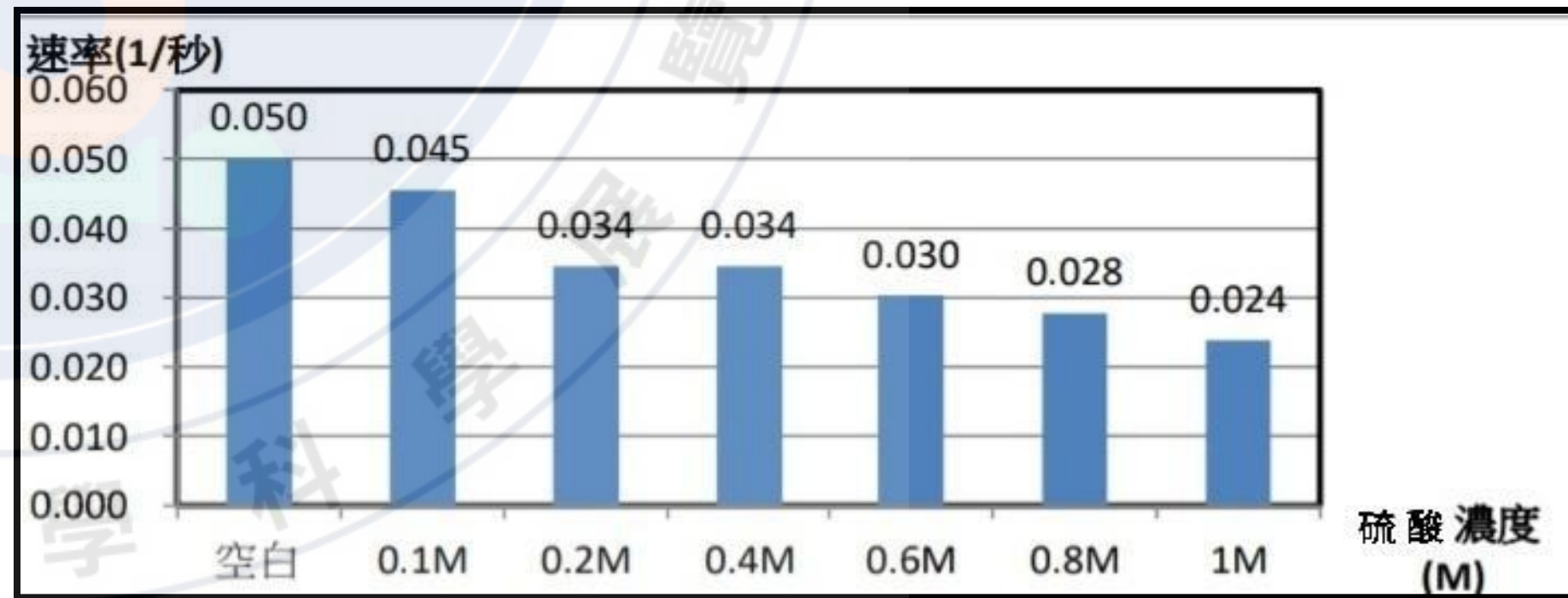
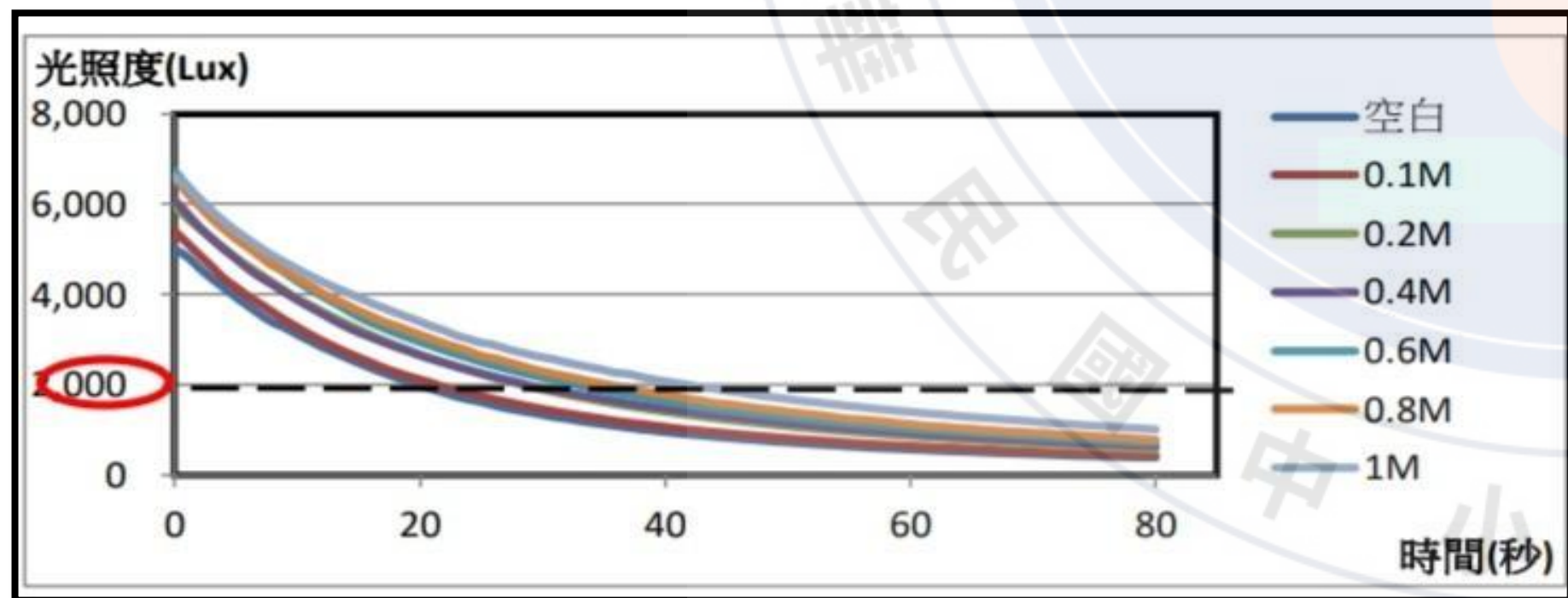


一加入試劑不需照光就馬上反應，因此圖9中沒有此兩種還原劑的數據。


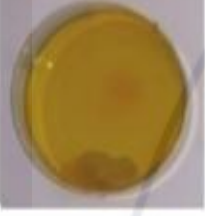




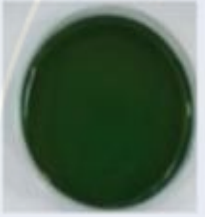











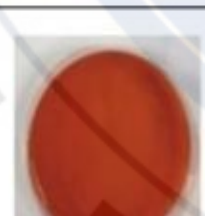
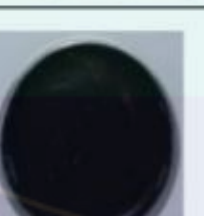
不同濃度鹽酸對藍印術影響的研究結果

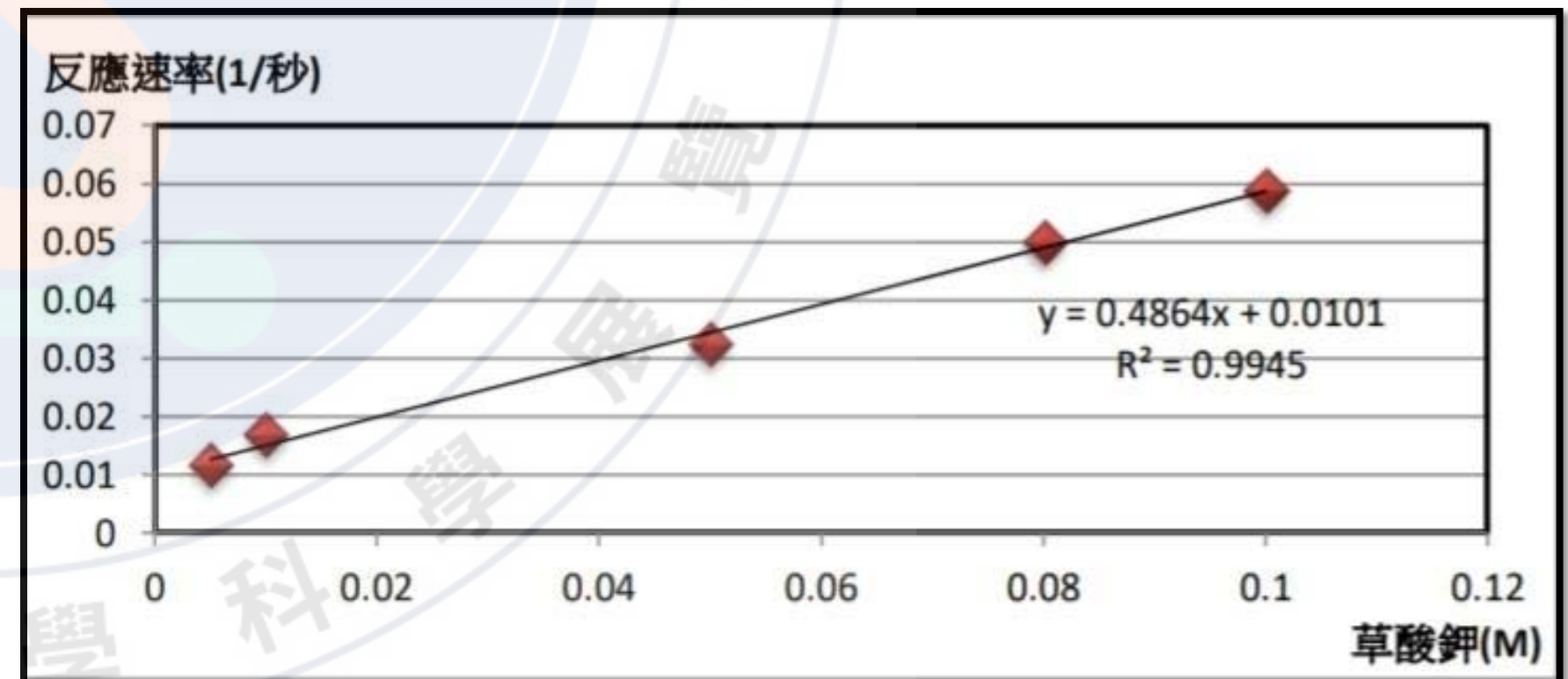
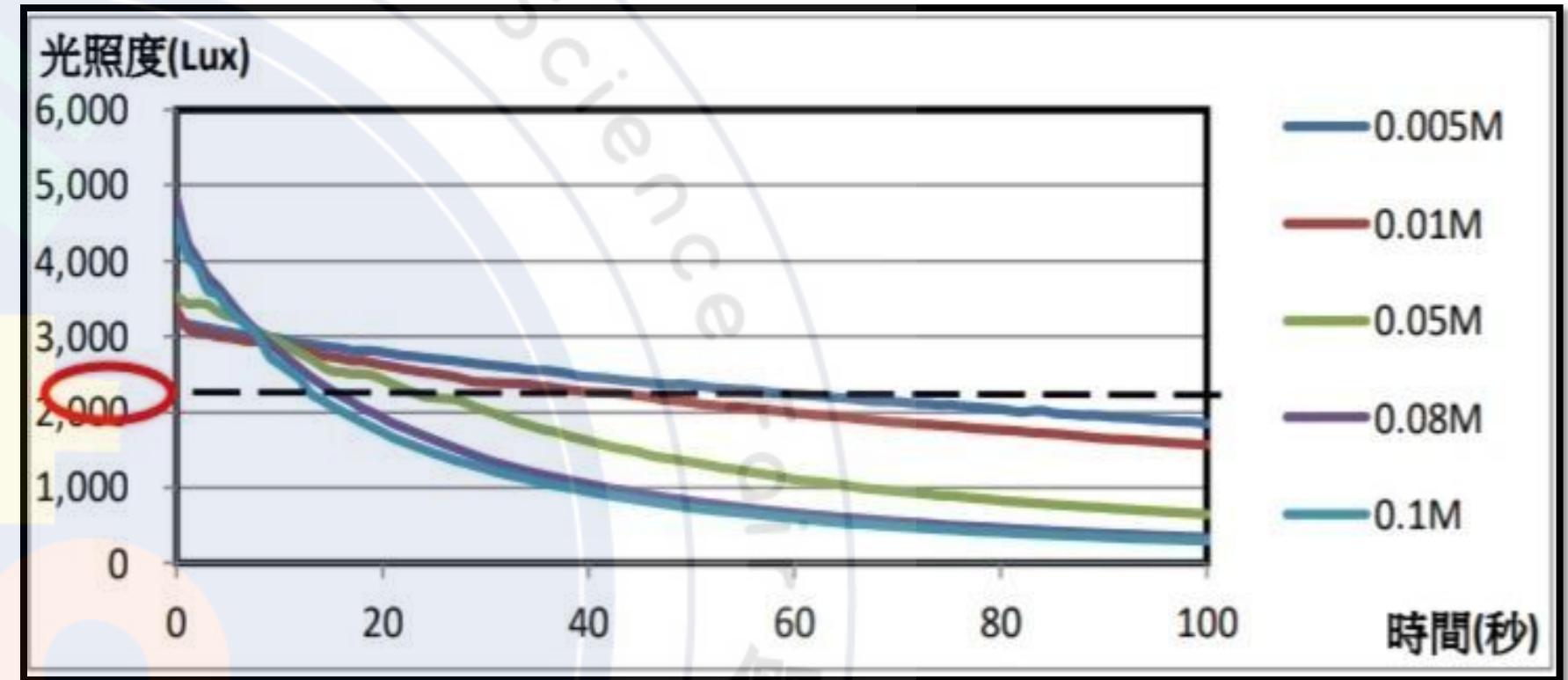


不同濃度硫酸對藍印術影響的研究結果


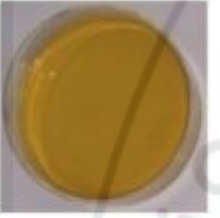
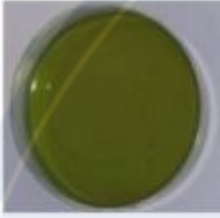



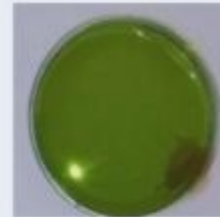
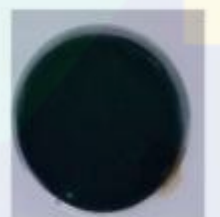


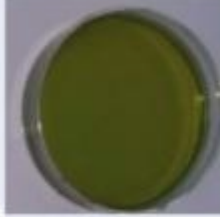

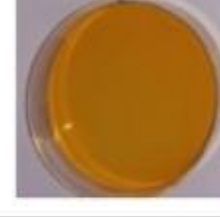

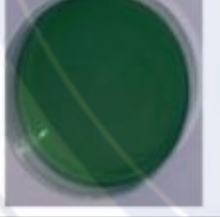







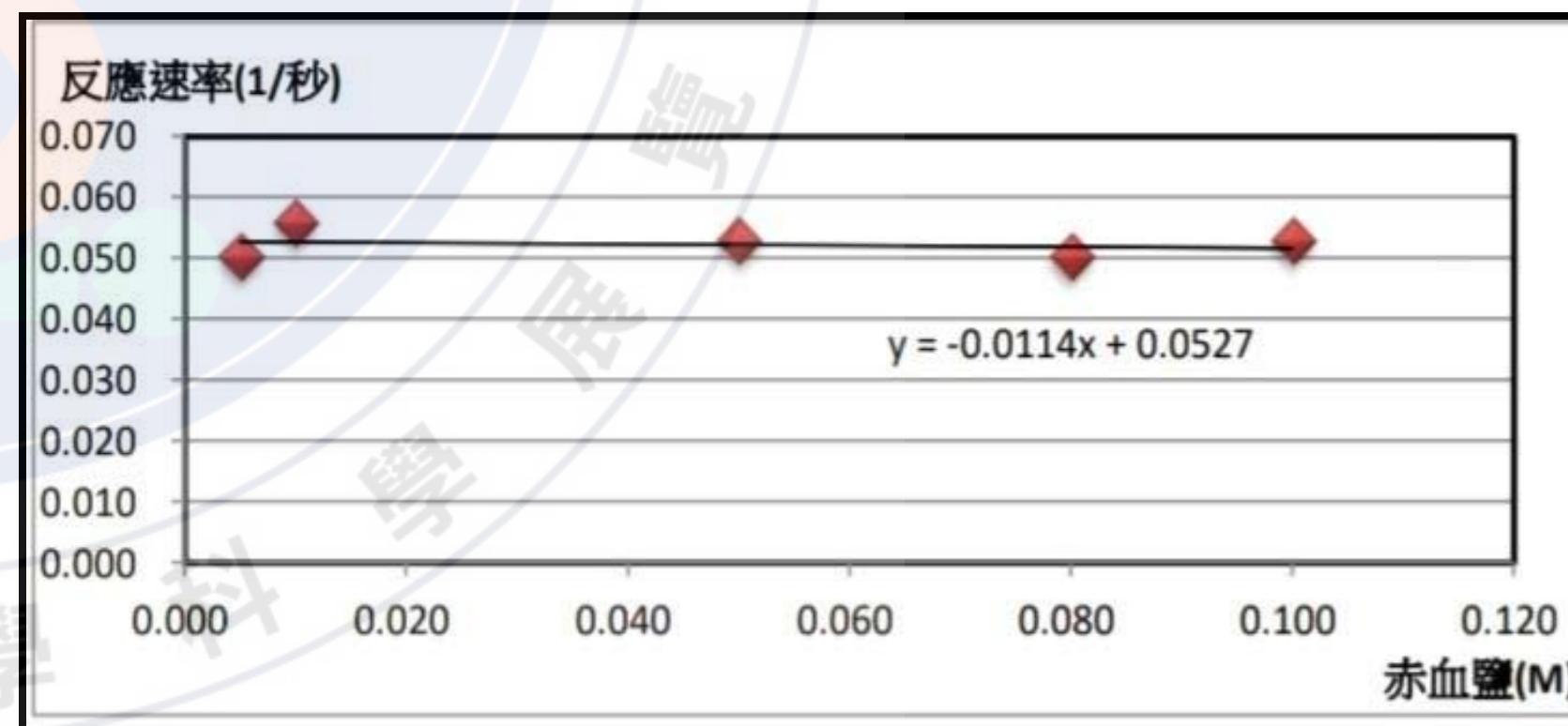
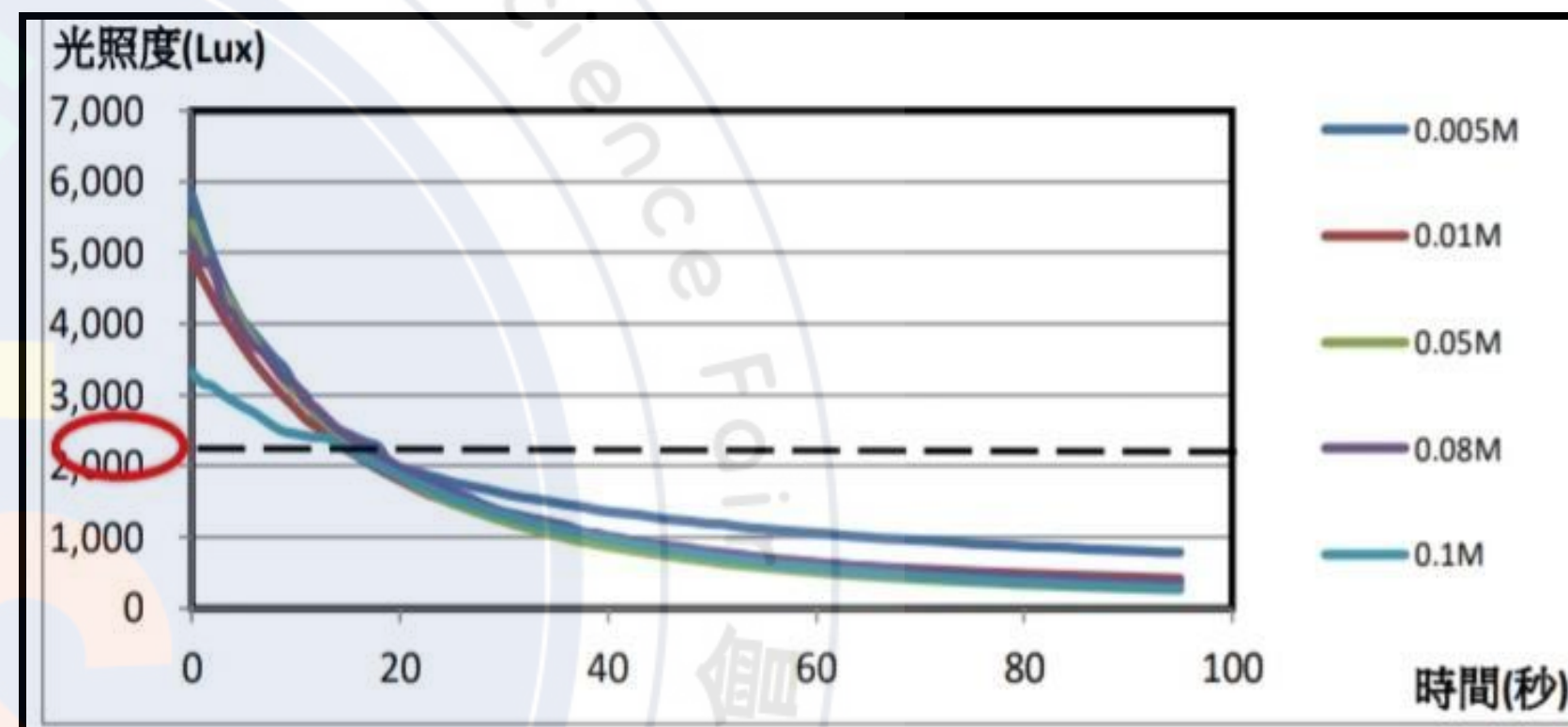
改變草酸鉀濃度對藍印術反應速率影響的研究結果

草酸鉀濃度	赤血鹽+硝酸鐵	加入草酸鉀	開始照光	遮住十字
0.1M				
0.08M				
0.05M				
0.01M				
0.005M				

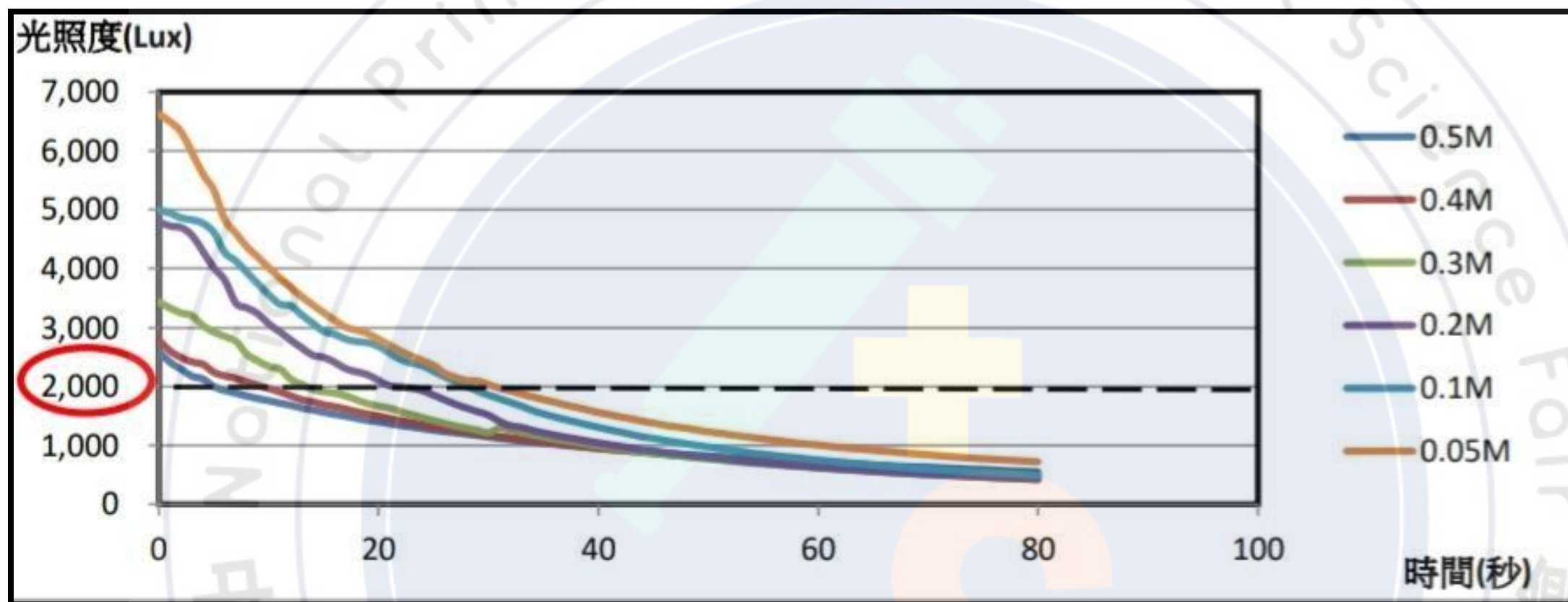


改變赤血鹽濃度對藍印術反應速率影響的研究結果

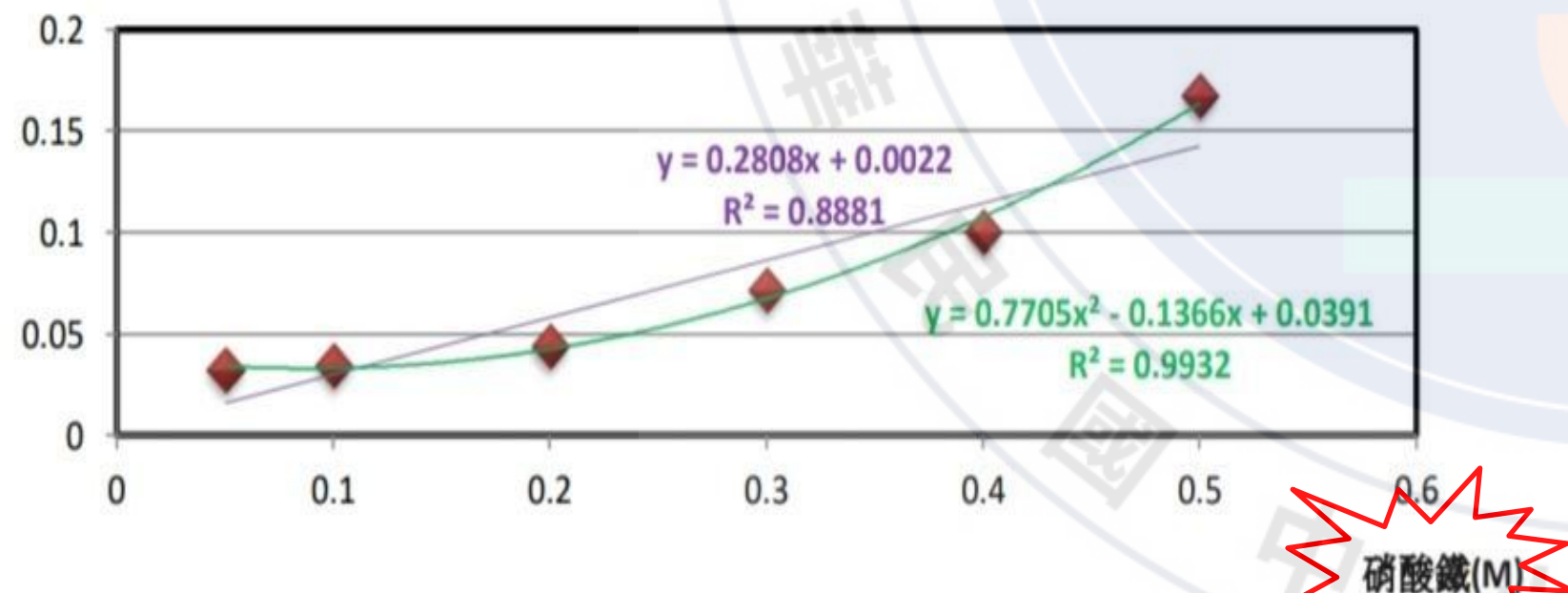
赤血鹽濃度	赤血鹽+硝酸鐵	加入草酸鉀	開始照光	遮住十字
0.1M				
0.08M				
0.05M				
0.01M				
0.005M				



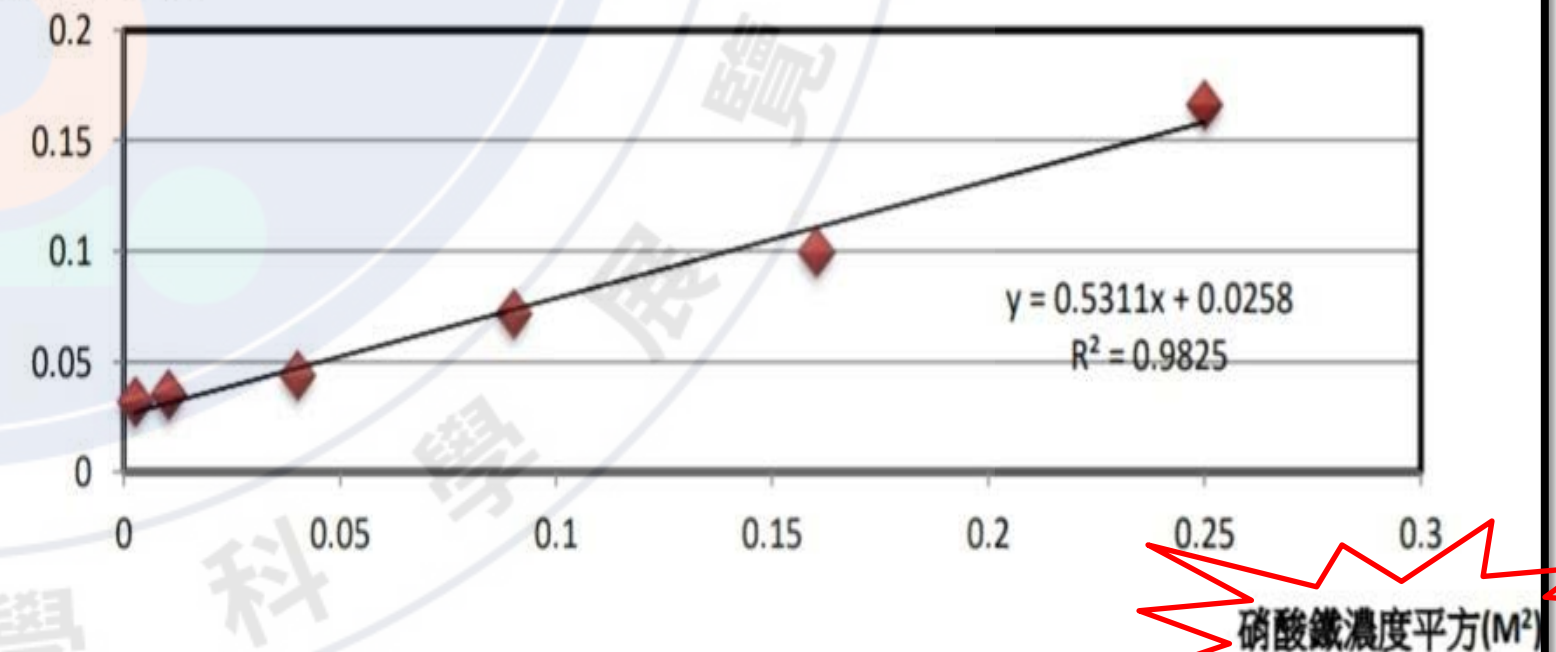
改變硝酸鐵濃度對藍印術反應速率影響的研究結果



反應速率(1/秒)



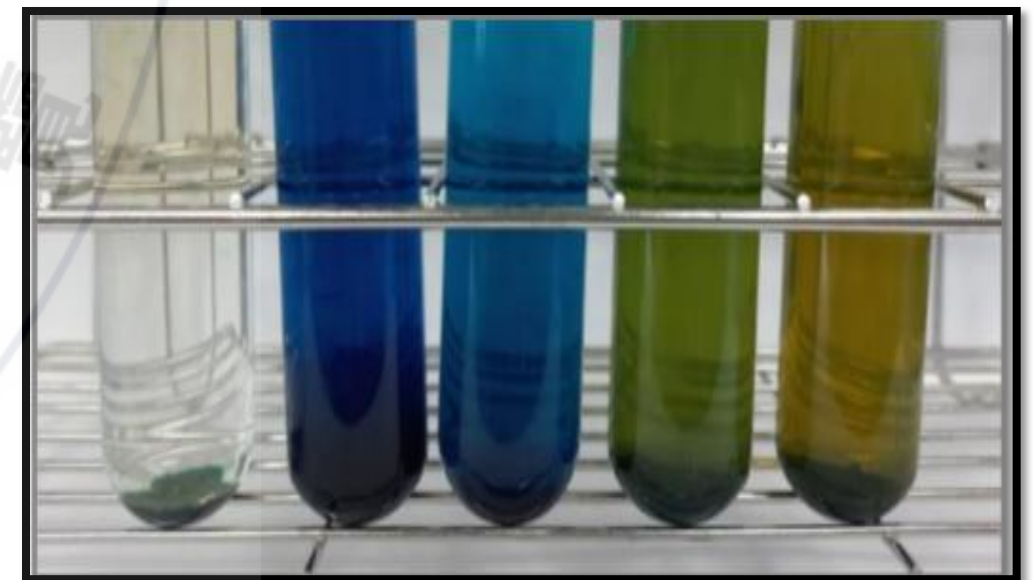
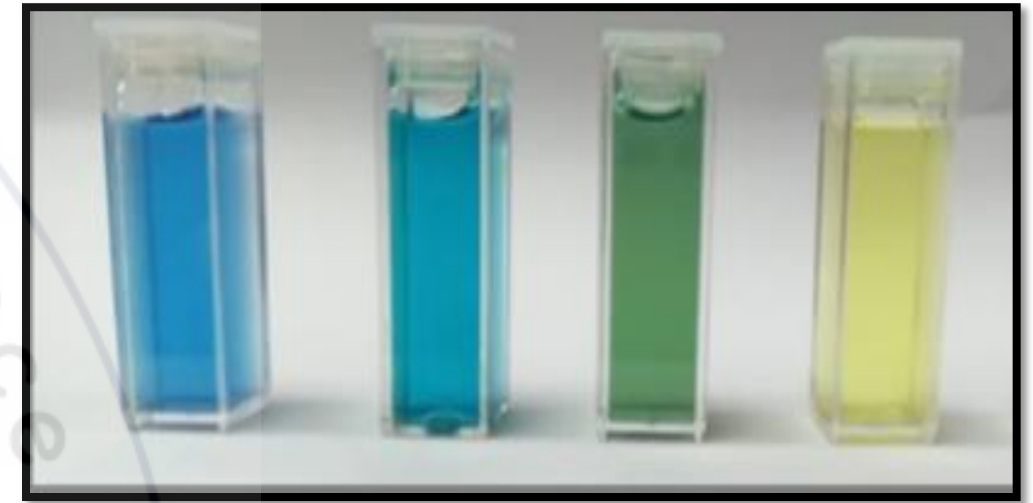
反應速率(1/秒)



結 論

9

- 一. 藍印術反應過程中有不同顏色，不適合以肉眼或RGB判定軟體進行反應速率的研究
- 二. 普魯士藍不溶於水中而是懸浮在溶液中或產生沉澱
- 三. 在測量濃度與反應速率之間的關係時，要測量的是反應初始速率而非平均速率
- 四. 以手機App可以進行藍印術反應速率的定量研究
- 五. UVB紫外光組在反應速率的確高於LED組與日光燈組
- 六. 雙氧水與硫代硫酸鈉不是對光敏感的還原劑
- 七. 對光敏感的還原劑其還原能力順序為：
草酸根 > 檸檬酸根 > 酒石酸根



八. 鹽酸與稀硫酸的濃度對藍印術反應的反應速率沒有明顯影響

九. 硫酸在較高濃度時會參與氧化還原反應，所以使得藍印術的反應變慢

十. 以草酸鉀進行藍印術反應時的反應級數研究，根據實驗結果可得到：



草酸根的濃度對反應速率應為1級反應；赤血鹽的濃度對反應速率應為0級反應；三價鐵離子的濃度對反應速率應為2級反應。

十一. 本研究採用草酸鉀、硝酸鐵與赤血鹽產生普魯士藍的反應機構如下：



十二. 藍印術屬於傳統印相法中的鐵鹽印相，我們未來也想要以『科學日誌』這個app應用在其他印相法的研究，另外對於不同紫外光的波長會如何影響實驗結果也是未來可以研究的方向。

- 一. 張煥宗主編。高中選修化學(二), 物質構造與反應速率。第三章化學反應速率。龍騰書局。
- 二. 劉燕孝、廖家榮(2018)。利用手機及 app 開發化學探究與實作課程—高中奈米硫粒實驗反應速率的測定。台灣化學教育電子期刊。
- 三. 楊莞筠、林盈喬、王聖惠。「印」像中的藍。中學生小論文。
- 四. 胡曼琦、何宗祐、黃宥凌、林柏君。科學「化」面: 古典顯影的秘密。中華民國第 60 屆科學展覽會。
- 五. 黃蒼恩、張采甯、李昕怡、張鈺泓。"藍"住陽光,"晒"出幸福 - 藍晒關鍵揭迷。中華民國第 57 屆科學展覽會。
- 六. 何綺婷、張皓帆(2021)。藍色顏料之藍晒奇旅。南方科技大學化學系。
- 七. 曾俊迪。BLUE 是藍, 普魯士藍—藍印術的反應 機構與紫外線試紙。第 19 屆旺宏科學獎報告書。