

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 化學科

050205

告別眼睛酸痛-比色法的探討

學校名稱：國立中央大學附屬中壢高級中學

| | |
|---|------------------|
| 作者： 高二 管浩均 高二 吳承瑀 高二 戴琮愷 | 指導老師： 黎渝秀 |
|---|------------------|

關鍵詞：RGB、分光光度計、顏色

摘要

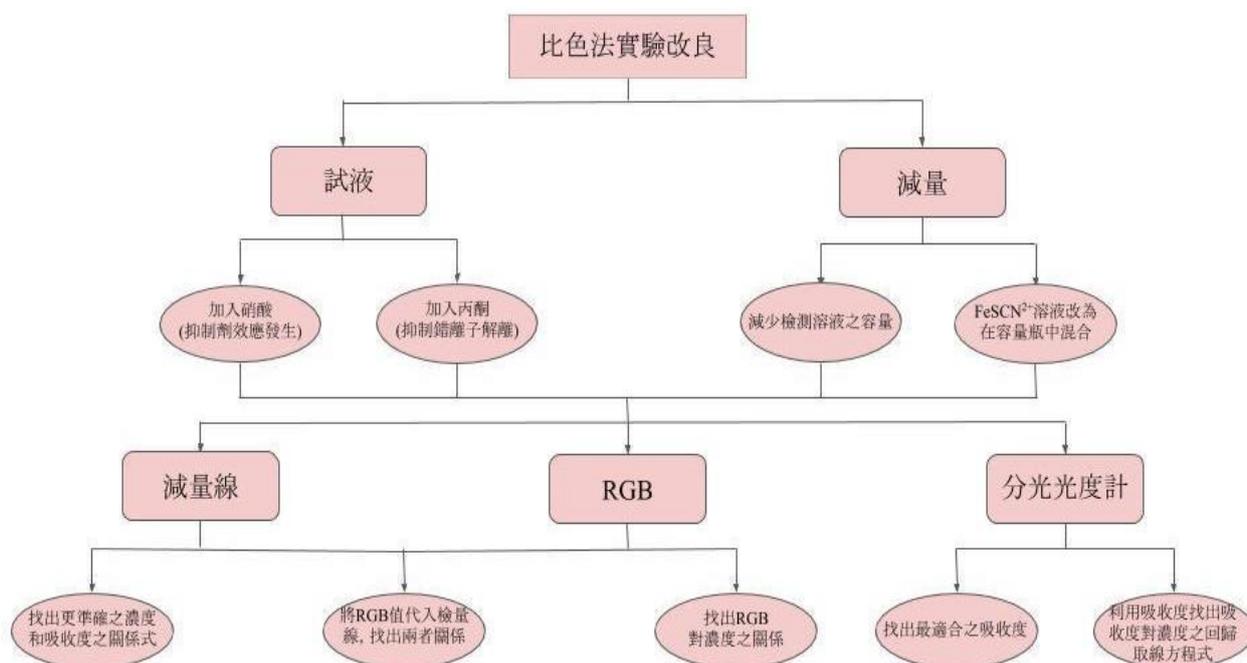
本研究是分別以傳統的比色法及以手機應用程式，互相比較其差異，並以分光光度計檢測RGB，來檢視兩者當中是否有一定的關聯。研究中我們有分別嘗試不同的方法以改良實驗，使實驗否更加環保或是讓實驗數值更穩定等，並繪製出檢量線使實驗更加精準。藉此探究各種方法當中，何種方法能使比色法這個更加簡單上手，以其能否對環境更加友善。

壹、研究動機

由於在上課時老師有讓我們做比色法的實驗，但在實驗過程中，其麻煩及繁瑣的實驗流程讓我們在做實驗時感到無比頭痛。為此我們和老師討論是否有辦法改良這個實驗，讓他可以輕鬆上手，同時簡化許多惱人的步驟。

貳、研究目的

現在的比色法實驗有以下缺點：(1)顏色的判別較為主觀，導致在計算平衡常數時可能會產生蠻大的誤差，(2)會出現對照多管顏色相近的溶液後，導致眼睛疲勞辨色力下降等問題。雖然這實驗能夠用分光光度計來計算其平衡常數，可是分光光度計並不是隨手可得的，因此我們決定將比色法實驗改良為每個高中生都能輕鬆完成的實驗。我們希望這個化學實驗能與現代人生活不可或缺的手機做結合，利用手機應用程式來測量溶液的RGB值，找出RGB值與吸收度與濃度之關係，並加以推算平衡常數值。同時，此實驗需配置各種不同濃度之試液，產生的廢液量也極大，因此我們也想同時能夠降低廢液量的產生，讓此實驗能更加環保。

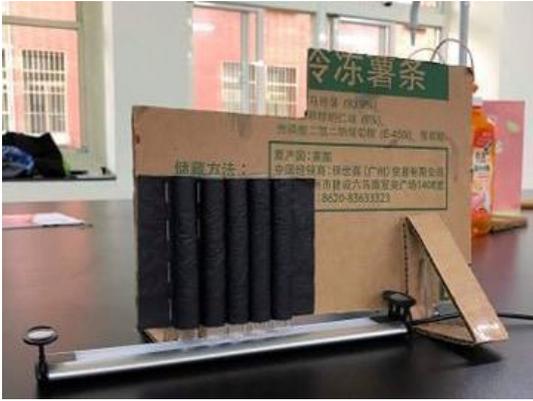
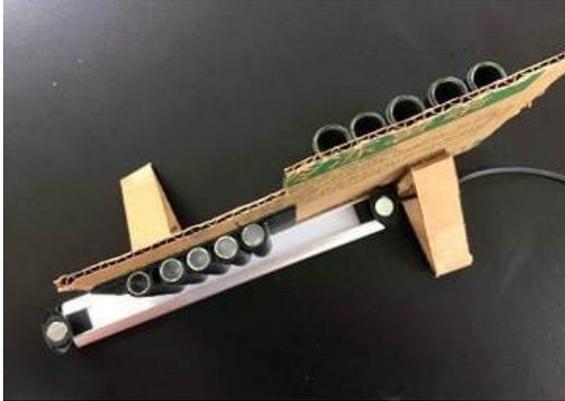


圖一：實驗架構表

參、研究設備及器材

一、實驗器材

表 3-1、實驗器材準備

| 名稱 | 數量 | 名稱 | 數量 |
|---|------|---|------|
| 容量瓶 50mL | 11 個 | 安全吸球 | 數個 |
| 容量瓶 100mL | 2 個 | 試管（大）高 14cm，瓶口寬 1.6cm | 10 支 |
| 容量瓶 250mL | 4 個 | 試管（小）高 10cm，瓶口寬 1.1cm | 10 支 |
| 吸量管（1mL、5mL、10mL） | 數隻 | 試管架 | 2 個 |
| 安卓手機 | 1 隻 | 手機 APP：Color Name | |
|  | |  | |
| 圖二(1)：自製腳架正片圖 | | 圖二(2)：自製腳架鳥瞰圖 | |
|  | | | |
| 圖三：分光光度計（ChromTech CT-1500） | | | |

二、實驗藥品

表 4-1、實驗藥品準備

| 名稱 | 化學式 | 名稱 | 化學式 |
|--------|--|-----------|----------------------------|
| 硝酸鐵 | $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ | 硫氰酸鉀 | KSCN |
| 16M 硝酸 | HNO_3 | 99.87% 丙酮 | CH_3COCH_3 |

三、試液配製

*圖表的燒杯均為表示容量瓶，以下溶液配置都為容量瓶

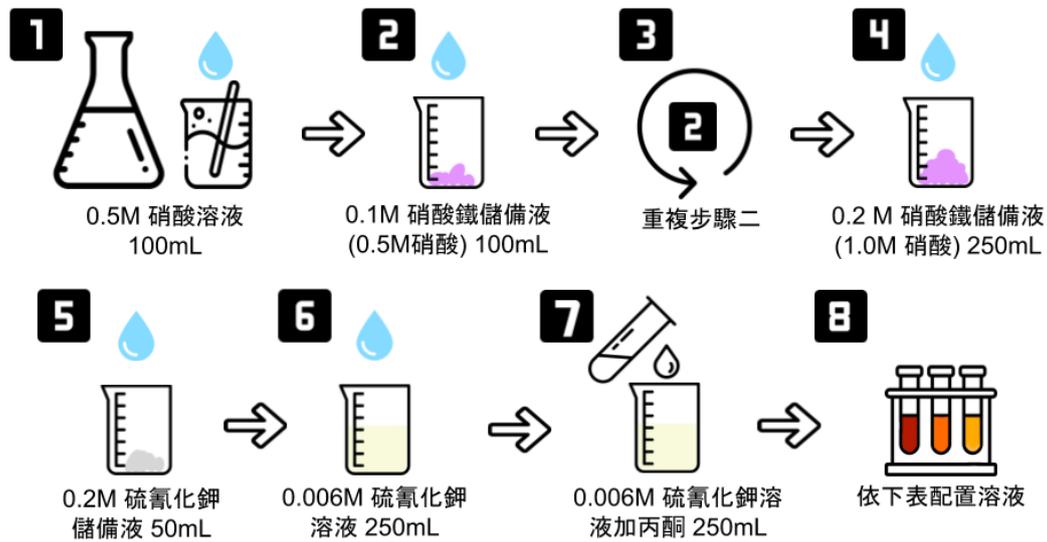
1. 取 3.125 mL 16M 硝酸，以去離子水稀釋成 100 mL
2. 取 4.044 克 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 加入 1.0M 硝酸 25mL 並攪拌均勻後以去離子水稀釋成 100mL
3. 取 0.9700 克硫氰化鉀，以去離子水溶解稀釋成 50mL
4. 取 7.5mL 0.2M 硫氰化鉀儲備液，以去離子水溶解稀釋成 250mL
5. 依下表配製成溶液

表 4-2、不同濃度 50mL 之 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 溶液配置

| 溶液\濃度 | 0.2M | 0.08M | 0.032M | 0.0128M | 0.00512M |
|---------------------------------|------|-------|--------|---------|----------|
| 0.2M $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ | 50mL | 20mL | 8mL | 3.2mL | 1.28mL |
| H_2O | 0mL | 30mL | 42mL | 46.8mL | 48.72mL |

表 4-3、不同濃度 50mL 之 FeSCN^{2+} 溶液配置

| 混合溶液編號 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|------------------|
| $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ | 25mL 0.2M | 25mL 0.08M | 25mL 0.032M | 25mL 0.0128M | 25mL 0.00512M |
| KSCN | 25mL 0.006M | 25mL 0.006M | 25mL 0.006M | 25mL 0.006M | 25mL 0.006M |



圖四：此圖為簡略的比色法實驗流程

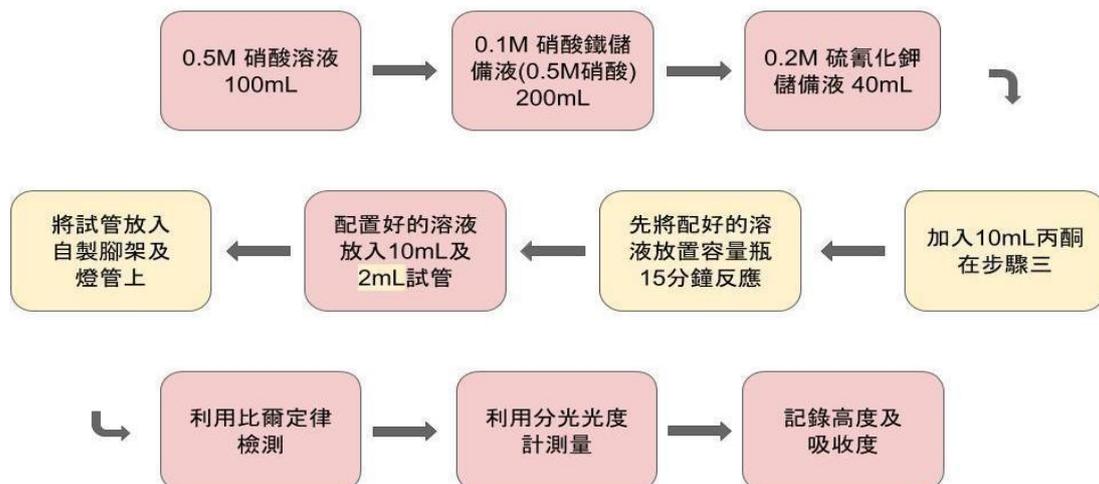
肆、研究過程或方法

一、比色法

常用的目視比色法是標準系列法，採用由質料完全相同的玻璃製成的直徑相等、體積相同的比色管，按順序加入不同濃度待測溶液，稀釋至一定體積，使之成為顏色逐漸遞變的標準色階。將一已知濃度之溶液放在透光板上與另一個待測溶液用黑色布包著並從管口垂直向下觀察，比較兩溶液的深淺。取出已知濃度之溶液，直到由上而下看兩溶液為相同顏色為止。最後利用比爾定律來求出未知溶液的濃度。標準系列法的主要優點是設備簡單和操作簡便，但眼睛觀察存在主觀誤差，準確度較低。

比爾定律 (Beer's Law)。 $C_1 \times H_1 = C_2 \times H_2$ ，C 為溶液濃度，H 為溶液高度

即溶液的濃度和溶液高度成反比，而溶液須為稀薄溶液。



圖五：粉色為原本的實驗步驟，黃色為改良後的步驟。

二、分光光度計

(一) 分光光度計原理

分光光度計利用可見光及紫外光之燈管 (Lamp) 做為光源，通過濾光鏡調整色調後，經聚焦後通過單色光分光稜鏡，再經過狹縫選擇波長，使成單一且特定波長之光線，而後射入樣品管中之水樣中，最後射入光電管中將光能轉換為電器訊號，藉由樣本及空白水樣間所吸收之光能量差，與標準液之能量吸收值相比較，便可律定樣本中之待測物濃度。

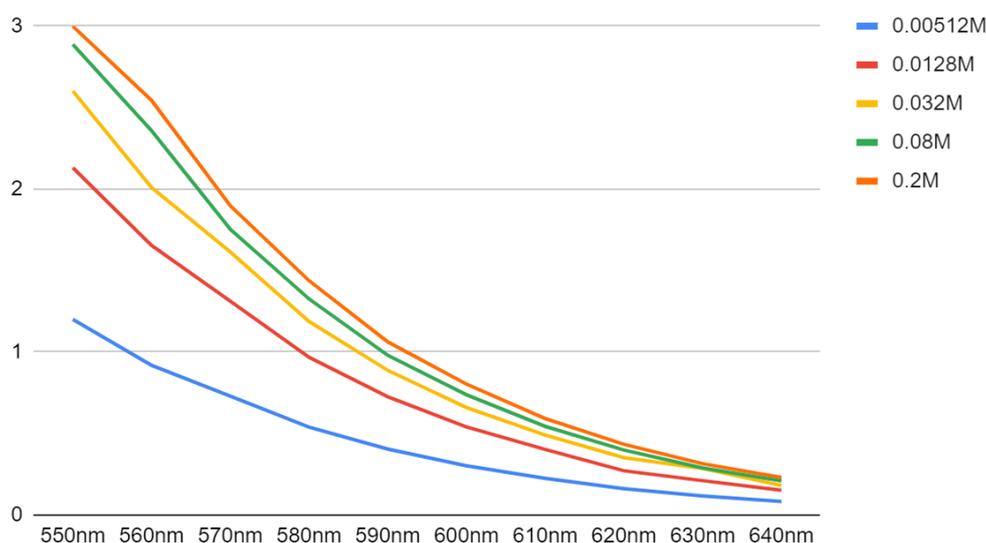
接著再利用比高度的方法，算出每管試算濃度、分光光度測出的吸收度兩種數值，找出之間的回歸曲線方程式，再用最小平方法 (R^2) 找出誤差平方和最小的直線， R^2 必須大於 0.995，才算是一個可用的數值。

表 6-1、 FeSCN^{2+} 水溶液與不同的波長之吸收度關係

| | 550nm | 560nm | 570nm | 580nm | 590nm | 600nm | 610nm | 620nm | 630nm | 640nm |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.00512M | 1.201 | 0.919 | 0.730 | 0.540 | 0.405 | 0.302 | 0.225 | 0.162 | 0.117 | 0.083 |
| 0.0128M | 2.131 | 1.655 | 1.312 | 0.968 | 0.726 | 0.541 | 0.403 | 0.272 | 0.211 | 0.152 |
| 0.032M | 2.602 | 2.010 | 1.614 | 1.188 | 0.888 | 0.660 | 0.491 | 0.352 | 0.285 | 0.182 |
| 0.08M | 2.888 | 2.358 | 1.753 | 1.327 | 0.980 | 0.738 | 0.544 | 0.399 | 0.289 | 0.210 |
| 0.2M | 爆表 | 2.544 | 1.898 | 1.438 | 1.063 | 0.804 | 0.592 | 0.434 | 0.315 | 0.231 |

註 1：吸收光度為 0~3，若超過 3 即爆表。

FeSCN₂⁺ 水溶液與不同的波長之吸收度關係



圖六：FeSCN₂⁺ 水溶液吸收度

表 7-1、FeSCN²⁺ 水溶液的檢量線

| 560 | 校正濃度 2 | 570 | 校正濃度 3 | 580 | 校正濃度 4 | 590 | 校正濃度 5 |
|-------------------------|----------|-------------------------|----------|-------------------------|----------|-------------------------|----------|
| 0.915 | 0.001217 | 0.72 | 0.001258 | 0.542 | 0.001253 | 0.384 | 0.001205 |
| 1.602 | 0.002153 | 1.217 | 0.002147 | 0.9 | 0.002112 | 0.671 | 0.002111 |
| 2.096 | 0.002825 | 1.592 | 0.002818 | 1.176 | 0.002774 | 0.874 | 0.002753 |
| 2.343 | 0.003161 | 1.813 | 0.003213 | 1.355 | 0.003203 | 0.989 | 0.003116 |
| 2.616 | 0.003533 | 2.026 | 0.003594 | 1.518 | 0.003594 | 1.109 | 0.003495 |
| R ² = 0.9999 | | R ² = 0.9999 | | R ² = 0.9997 | | R ² = 0.9999 | |

由以上圖表可知此次溶液用分光光度計可測量波長範圍為 560nm ~ 640nm。從約 600nm 後的數據較無鑑別度，因此將選取結果縮小至 560nm~590nm。雖然數據有鑑別度是件好事，但使用太短的波長來測試，較濃的溶液可能因此爆表。而 R² 值最接近 0.9999 之波長可採用，而波長 580nm 和 590 nm 兩者吸收度值過於接近，較難比較個濃度之間差異，而波長 560 nm 濃度最濃之吸收度數值過大，怕會有爆表的可能，因此判斷波長 570nm 較適合此次實驗。

三、添加丙酮和硝酸之目的

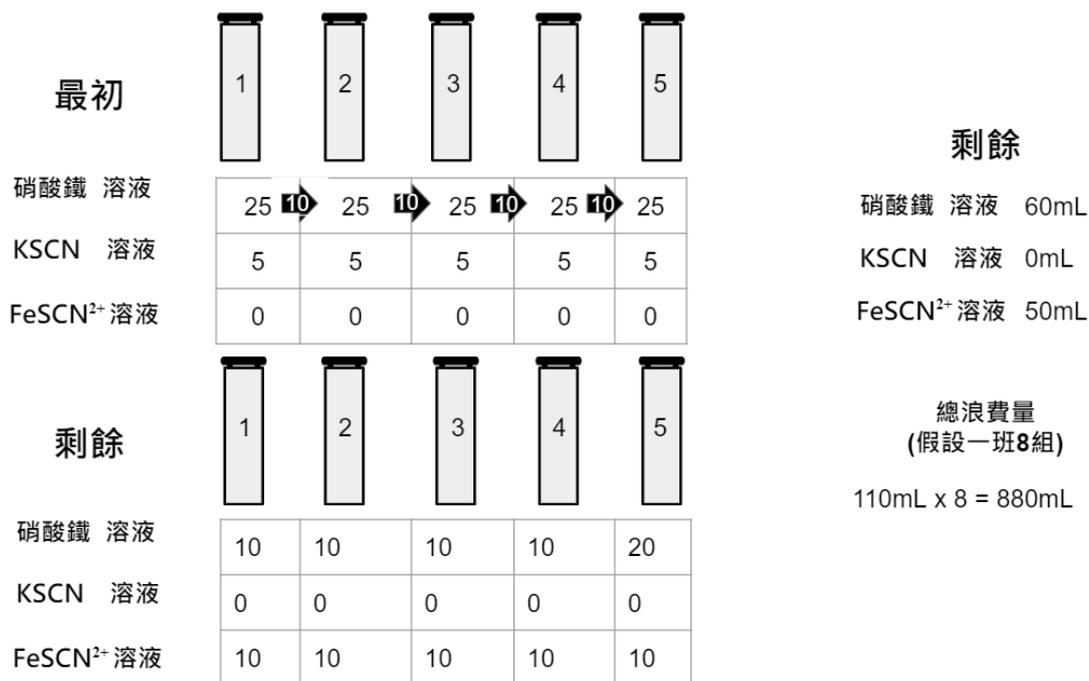
加硝酸是為了抑制溶劑效應的發生。測定 FeSCN²⁺ 錯離子解離平衡常數是高中職主要的化學實驗項目，實驗教材卻沒有提到硝酸鐵水溶液水解生成的 Fe(OH)₂⁺ 會障礙比色操作，也沒有抑制 Fe(OH)₂⁺ 生成的措施。因為 Fe(OH)₂⁺ 為一紅棕色或黃棕色離子，和血紅色的 FeSCN²⁺ 離子有一定的顏色誤差，所以如果出現過量的 Fe(OH)₂⁺ 必定會讓做比色法實驗時出現可觀的偏差度。在看完「硫氰化鐵錯離子之平衡常數測定」的化學類小論文後可以得知，以 0.5M 硝酸酸化硝酸鐵溶液抑制 Fe(OH)₂⁺ 的生成是改進目測法或光電比色法測定硫氰化鐵錯合物平衡常數的必要操作（參考資料六）。

加丙酮是由於以水稀釋試液時，參考資料六中的 [Co(SCN)₄]²⁺ 溶液中 SCN⁻ 的濃度降低，錯合物會解離，無法準確定量鈷離子的含量，因此加入介電常數較低的有機溶液（ex: 丙酮和與水互溶者），以抑制鈷錯合物之解離。因此我們以此大膽設想 FeSCN²⁺ 離子是否也有此效應。

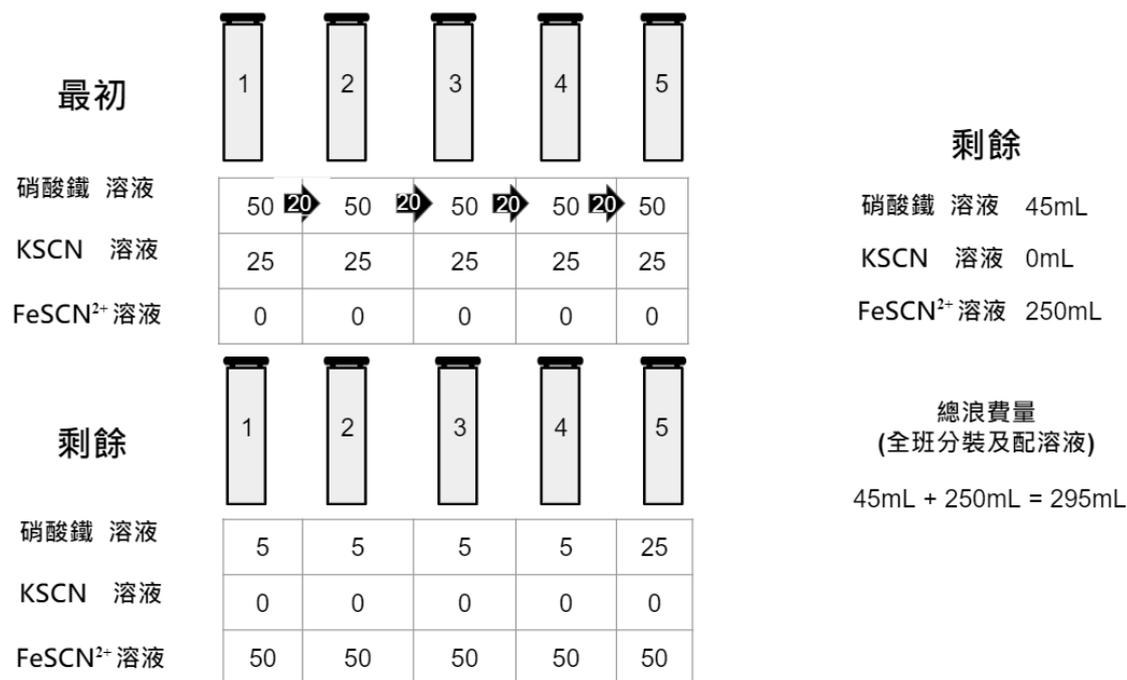
四、減量

傳統比色法的作法本身就會造成大量廢液外，為了讓這實驗能更加環保，我們不只做了以 10 毫升量來檢測其數值的實驗，還將 10 毫升改為 2.5 毫升，測試溶液的多寡是否影響實驗數據。若可以證明 2.5 毫升的實驗並沒有太大的影響，甚至有正向的影響，就能使未來高中實驗課程減少不必要的廢液。

另外，原本的傳統比色法是將硝酸鐵溶液和硫氰化鉀溶液放入試管內進行反應，再直接進行比高度實驗，而我們則是改良為將硝酸鐵溶液和硫氰化鉀溶液先放入 50 毫升之容量瓶中進行反應，靜置 15 分鐘後再將 FeSCN^{2+} 溶液取到試管中進行比高度實驗



圖七：參考 翰林版高中基礎化學(三) 比色法實驗流程的廢液量



圖八：改良實驗流程後的廢液量

從上面兩張圖得比較可得知，若使用我們的改良方法，能節省 66.5% (585mL) 的廢液量，而這僅僅只是一個班節省下來的量，若一個年級 (假設有 20 班) 就會多浪費了 11.7L，使用此改良方法也能讓 FeSCN^{2+} 在容量瓶中充分均勻反應，比起課本中於試管中混合能更加完全的反應。

五、平衡常數之計算

水溶液中的 Fe^{3+} 和 SCN^- 反應生成血紅色的 FeSCN^{2+} ： $\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + \text{SCN}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{FeSCN}^{2+}(\text{aq})$

平衡常數表示法: K_c (平衡常數) = $[\text{FeSCN}^{2+}] / [\text{Fe}^{3+}] \times [\text{SCN}^-]$

用目視比色法來決定 FeSCN^{2+} 的平衡濃度，在已知反應物初始濃度的情況下，若求出平衡時 FeSCN^{2+} 的濃度，就能藉由反應式推算出平衡時 Fe^{3+} 和 SCN^- 的濃度，進而求出平衡常數。

表 9-1、10mL FeSCN^{2+} 溶液利用高度比的平衡常數

| 反應前 | | 硝酸鐵及硫氰化鉀之溶液平衡時(比高度 10ml) | | | |
|---------|---------|--------------------------|----------|----------|-------------|
| Fe3+(M) | SCN-(M) | Fe3+(M) | SCN-(M) | 濃度 | 平衡常數 |
| 0.00256 | 0.001 | 0.00239 | 0.000833 | 0.000167 | 83.77776518 |
| 0.00640 | 0.001 | 0.00592 | 0.000515 | 0.000485 | 159.2134527 |
| 0.01600 | 0.001 | 0.01529 | 0.000288 | 0.000712 | 161.7099831 |
| 0.04000 | 0.001 | 0.03918 | 0.000179 | 0.000821 | 117.0676173 |
| 0.10000 | 0.001 | 0.09900 | 0 | 0.001 | - |

表 9-2、2.5mL FeSCN^{2+} 溶液利用高度比的平衡常數

| 反應前 | | 硝酸鐵及硫氰化鉀之溶液平衡時(比高度 2.5ml) | | | |
|---------|---------|---------------------------|----------|----------|-------------|
| Fe3+(M) | SCN-(M) | Fe3+(M) | SCN-(M) | | 平衡常數 |
| 0.00256 | 0.001 | 0.00241 | 0.000848 | 0.000152 | 74.43740989 |
| 0.00640 | 0.001 | 0.00592 | 0.000523 | 0.000477 | 153.9837733 |
| 0.01600 | 0.001 | 0.01523 | 0.000227 | 0.000773 | 223.6347504 |
| 0.04000 | 0.001 | 0.03903 | 0.000031 | 0.000969 | 800.8522589 |
| 0.10000 | 0.001 | 0.09900 | 0 | 0.001 | - |

六、檢量線

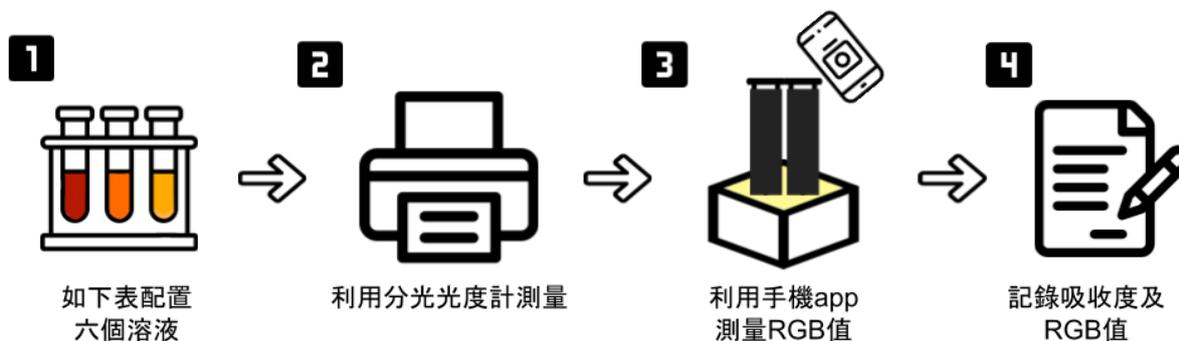
(一) 檢量線原理

檢量線主要是為了得到訊號和濃度確切關係。配置各種不同濃度的標準樣品溶液，並用儀器測得其訊號，若濃度和訊號呈線性關係，則各濃度訊號及濃度的比值應該是完全

相同，但因測量本身就有其誤差，所以比值未必相同，因此常使用「最小平方法」來找出濃度和訊號間的關係式，採用誤差平方和是為了避免正負誤差之間互相抵銷。

最小平方法所找的就是使誤差平方和（或其平均）最小的那條直線。 R^2 （最小平方）必須大於 0.99 甚至 0.995 才算一個可用的檢量線。

（二）實驗步驟



圖九：製作減量線的簡略流程表

表 10-1、 FeSCN^{2+} 溶液檢量線試樣配製

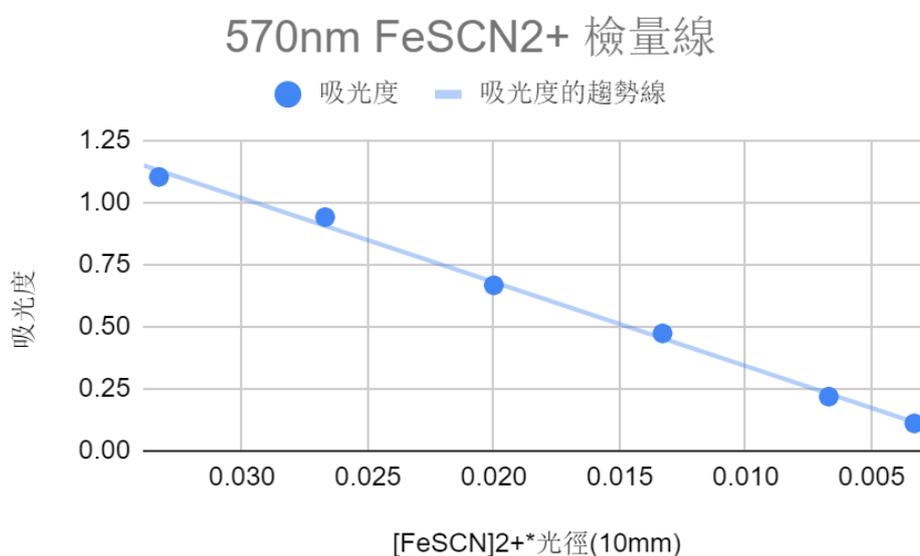
| 溶液編號 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---------------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0.006M KSCN | 10mL | 8mL | 6mL | 4mL | 2mL | 1mL |
| 0.2M $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ | 2mL | 2mL | 2mL | 2mL | 2mL | 2mL |
| 0.5 M $\text{HNO}_3(\text{aq})$ | 6mL | 6mL | 6mL | 6mL | 6mL | 6mL |
| H_2O | 0mL | 2mL | 4mL | 6mL | 8mL | 9mL |

表 10-2、 FeSCN^{2+} 溶液檢量線 ($\lambda_{\text{max}} = 570 \text{ nm}$ ，光徑 = 10mm)

| | | | | | | |
|---------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 0.006M KSCN(mL) | 10 | 8 | 6 | 4 | 2 | 1 |
| 混合後 KSCN(M) | 0.00333 | 0.00267 | 0.00200 | 0.00133 | 0.00067 | 0.00033 |
| 0.2 Fe^{3+} (mL) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 混合後 Fe^{3+} (M) | 0.022222 | 0.022222 | 0.022222 | 0.022222 | 0.022222 | 0.022222 |
| $[\text{FeSCN}]^{2+}$ 光徑 (10mm) | 0.0333 | 0.0267 | 0.02 | 0.0133 | 0.0067 | 0.0033 |
| 光徑(mm) | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 吸光度 | 1.105 | 0.943 | 0.668 | 0.474 | 0.219 | 0.111 |
| 回算值 | 0.019468 | 0.016572 | 0.011654 | 0.008186 | 0.003626 | 0.001695 |
| 回收率 | 0.584632 | 0.620659 | 0.582724 | 0.615464 | 0.541217 | 0.513657 |

註 2：回算值：用迴歸曲線的方程式($y=33.833x+0.042$ ， $R^2 = 0.997$)的 FeSCN^{2+} 濃度

註 3：回收率：用算出來的濃度對應原來完全反應的 FeSCN^{2+} 的濃度之比值（百分比）



圖十：FeSCN²⁺溶液檢量線($\lambda_{\max} = 570 \text{ nm}$)

七、利用R G B

(一) 光譜儀原理原理

過光譜儀對光訊號的讀取、以電腦顯示和分析。光譜儀是應用光學原理，對物質的結構和成分進行觀測、分析和處理的基本設備，具有分析精度高、測量範圍大、速度快和樣品用量少等優點。把手機放在光譜儀架上，用手機手電筒當光源，當光經過比色管時會產生光譜，透過手機應用程式，測量R G B，再轉換成濃度。

(二) R G B 值的變化

溶液的濃度、顏色、高度等等都是會改變其R G B值得因素，為了找到最規律及最適合此研究的搭配，我們做了許多實驗。

在 10mL(表 12-1)及 2.5mL(表 13-1)的實驗，我們發現 R 值大約都保持在 255 (滿值) 上下，G 值在濃度較高時值基本上也都為 0，而 B 值較有變化性。因此我們皆以 B 值來進行討論

(三) 以檢量線推論：

1. 表 12-1、圖十一 (10ml)得知，利用手機的 app 得到的 R、G、B 值，就 R 值而言，變化不大，而 B 值的迴歸曲線方程式($y = 11585x + 8.2218 \text{ } R^2 = 0.7039$)所對應的回算率在 [FeSCN]²⁺濃度為 0.001 M~0.0033 M 回算率 0.8~1.4，而 [FeSCN]²⁺濃度小於 0.001 M 時回算率來到 1.7，甚至-2.13，因此使用手機 app 測得的 RGB 值不適合低濃度的觀測。
2. 表 13-1、圖十二(2ml)觀察，只適合 [FeSCN]²⁺濃度大於 0.00266 M。

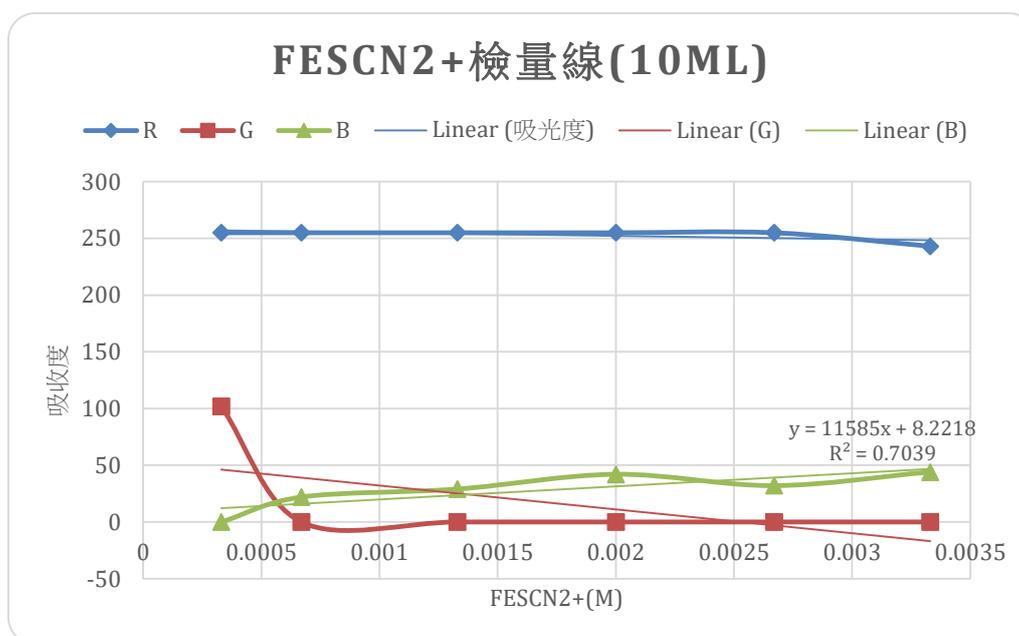
3. 由 FeSCN^{2+} 丙酮水溶液的 10ml RGB 值(表 13-2、圖十三)，我們觀察僅適用 $[\text{FeSCN}]^{2+}$ 濃度大於 0.0018 M；而 2ml RGB 值(表 14-1、圖十四)顯然不適用，應是測 RGB 值時距小試管內液面較大試管遠而造成的誤差。

表 12-1、10mL FeSCN^{2+} 溶液檢量線與 R G B 值

| | | | | | | |
|---------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------|----------|
| 檢量線編號 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 0.006MKSCN (mL) | 10 | 8 | 6 | 4 | 2 | 1 |
| 混合後 KSCN (M) | 0.00333 | 0.00266 | 0.002 | 0.00133 | 0.00066 | 0.00033 |
| 0.2 Fe^{3+} (mL) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 混合後 Fe^{3+} (M) | 0.02222 | 0.02222 | 0.02222 | 0.02222 | 0.02222 | 0.02222 |
| $[\text{FeSCN}]^{2+}$ (M) | 0.00333 | 0.00266 | 0.002 | 0.00133 | 0.00066 | 0.00033 |
| R | 243 | 255 | 255 | 255 | 255 | 255 |
| G | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 102 |
| B | 44 | 32 | 42 | 29 | 22 | 0 |
| 回算值 (B) ^[4] | 0.00308 | 0.00205 | 0.00291 | 0.00179 | 0.00118 | -0.00070 |
| 回算值 (G) ^[5] | 0.00253 | 0.00253 | 0.00253 | 0.00253 | 0.00253 | 0.00253 |
| 回收率 (B) | 0.92681 | 0.76994 | 1.45834 | 1.34561 | 1.78457 | -2.12984 |
| 回收率 (G) | 0.75995 | 0.94996 | 1.26659 | 1.89993 | 3.79990 | 7.60008 |

註 4：回算值(B)：用迴歸曲線的方程式($y = 11585x + 8.2218, R^2 = 0.7039$)的 FeSCN^{2+} 濃度

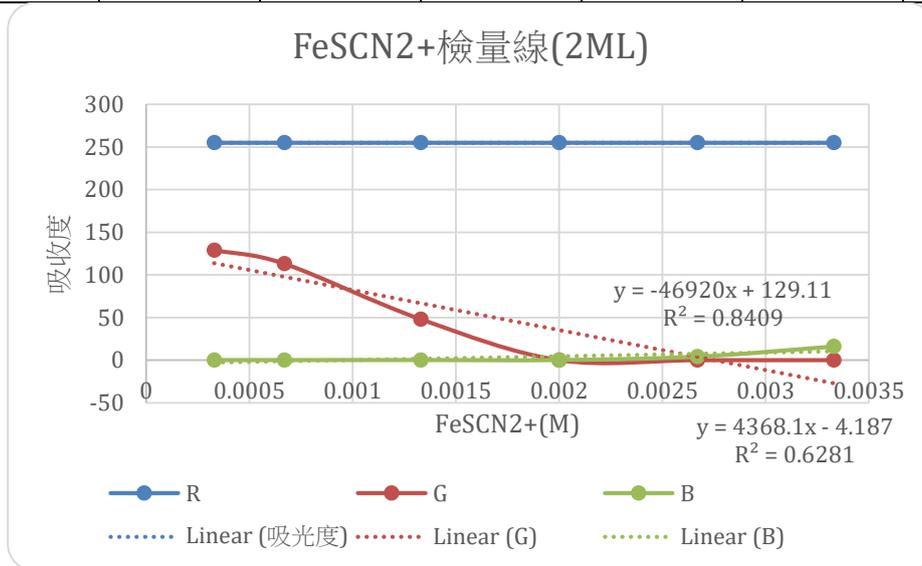
註 5：回算值(B)：用迴歸曲線的方程式($y = -21000x + 53.154, R^2 = 0.3438$)的 FeSCN^{2+} 濃度



圖十一：10mL FeSCN^{2+} 與 R G B 值

表 13-1、2.5mL FeSCN²⁺溶液檢量線與R G B 值

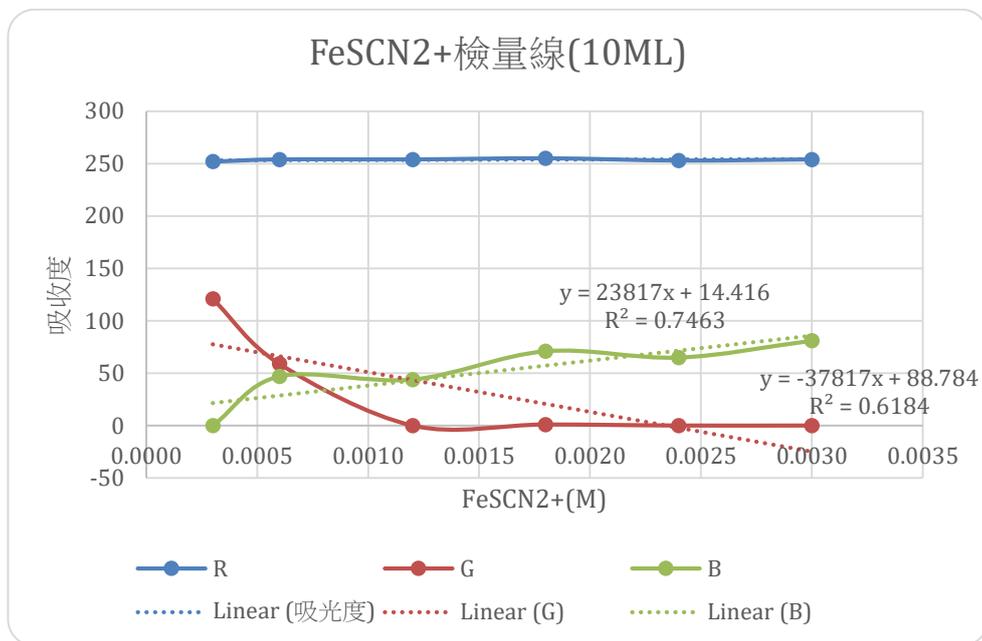
| 檢量線編號 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---------------------------|----------------|----------------|---------|---------|---------|---------|
| 0.006MKSCN (mL) | 10 | 8 | 6 | 4 | 2 | 1 |
| 混合後 KSCN (M) | 0.00333 | 0.00266 | 0.00200 | 0.00133 | 0.00066 | 0.00033 |
| 0.2Fe ³⁺ (mL) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 混合後 Fe ³⁺ (M) | 0.02222 | 0.02222 | 0.02222 | 0.02222 | 0.02222 | 0.02222 |
| [FeSCN] ²⁺ (M) | 0.00333 | 0.00266 | 0.00200 | 0.00133 | 0.00066 | 0.00033 |
| R | 255 | 255 | 255 | 255 | 255 | 255 |
| G | 0 | 0 | 0 | 48 | 113 | 129 |
| B | 16 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 回算值 (B) | 0.00241 | 0.00266 | 0.00275 | 0.00275 | 0.00275 | 0.00275 |
| 回算值 (G) | 0.00096 | 0.00096 | 0.00096 | 0.00096 | 0.00096 | 0.00096 |
| 回收率 (B) | 0.72341 | 1.00018 | 1.37621 | 2.06431 | 4.12863 | 8.25727 |
| 回收率 (G) | 0.28813 | 0.36019 | 0.48026 | 0.72040 | 1.4408 | 2.88161 |



圖十二：2mL FeSCN²⁺與R G B 值

表 13-2、10mL FeSCN²⁺丙酮水溶液檢量線與R G B 值

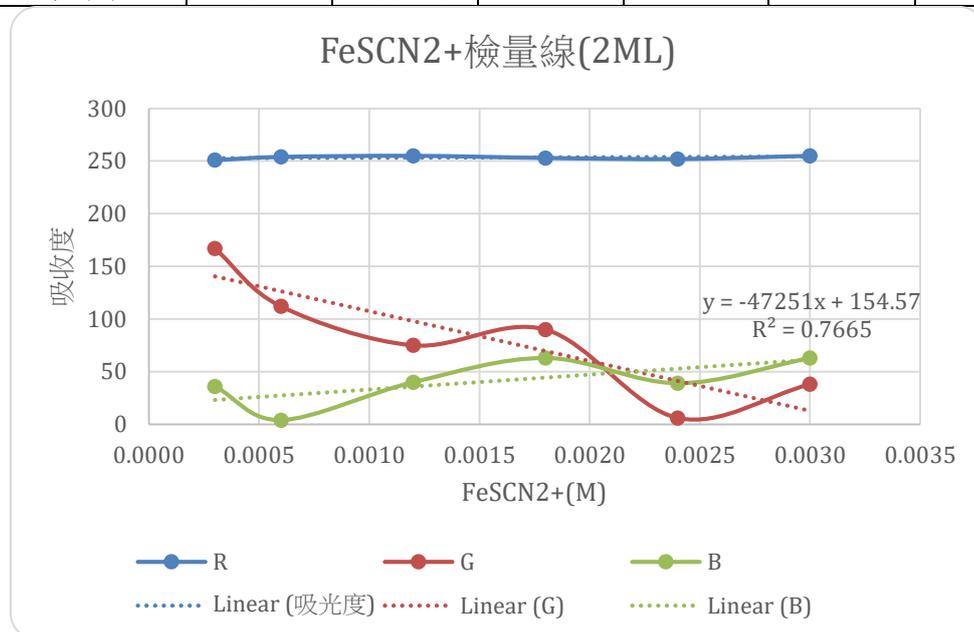
| 檢量線編號 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--------------------------|----------------|----------------|----------------|---------|---------|----------|
| 0.006MKSCN (mL) | 10 | 8 | 6 | 4 | 2 | 1 |
| 混合後 KSCN (M) | 0.003 | 0.0024 | 0.0018 | 0.0012 | 0.0006 | 0.0003 |
| 0.2Fe ³⁺ (mL) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 混合後 Fe ³⁺ (M) | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| R | 254 | 253 | 255 | 254 | 254 | 252 |
| G | 0 | 0 | 1 | 0 | 59 | 121 |
| B | 81 | 65 | 71 | 44 | 47 | 0 |
| 回算值 (G) | 0.00234 | 0.00234 | 0.00234 | 0.00234 | 0.00234 | 0.00234 |
| 回算值 (B) | 0.00279 | 0.00212 | 0.00237 | 0.00124 | 0.00136 | -0.00060 |
| 回收率 (G) | 0.78255 | 0.97819 | 1.30425 | 1.95641 | 3.91281 | 7.82581 |
| 回收率 (B) | 0.93188 | 0.88494 | 1.31987 | 1.03511 | 2.28016 | -2.01760 |



圖十三：10mL 含丙酮 FeSCN²⁺與R G B值

表 14-1、2.5mL FeSCN²⁺溶液加丙酮檢量線與R G B值

| 檢量線編號 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--------------------------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|
| 0.006MKSCN (mL) | 10 | 8 | 6 | 4 | 2 | 1 |
| 混合後 KSCN (M) | 0.003 | 0.0024 | 0.0018 | 0.0012 | 0.0006 | 0.0003 |
| 0.2Fe ³⁺ (mL) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 混合後 Fe ³⁺ (M) | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| R | 255 | 252 | 253 | 255 | 254 | 251 |
| G | 38 | 6 | 90 | 75 | 112 | 167 |
| B | 63 | 39 | 63 | 40 | 4 | 36 |
| 回算值 (G) | 0.00246 | 0.00314 | 0.00136 | 0.00168 | 0.00090 | -0.00026 |
| 回算值 (B) | 0.00311 | 0.00142 | 0.00311 | 0.00149 | -0.00105 | 0.00120 |
| 回收率 (G) | 0.82234 | 1.31011 | 0.75918 | 1.40332 | 1.50155 | -0.87687 |
| 回收率 (B) | 1.03899 | 0.59183 | 1.73166 | 1.24257 | -1.75632 | 4.02775 |



圖十四：2mL 含丙酮 FeSCN²⁺與R G B值

(四) 計算平衡常數：

在 RGB 值中，R 值數值穩定在 255 上下並未有明顯的變化，G 值的數值大部分為 0，因此我們選擇利用 B 值來試著計算平衡常數。

表 15-1、10ml FeSCN²⁺ 溶液利用 RGB 值計算平衡常數(第一組)

| Fe3+ (M)(25mL) | SCN- (M)(25mL) | Fe3+ (M) | SCN-(M) | 試算濃度(B) | 平衡常數 |
|----------------|----------------|----------|-----------|----------|--------------|
| 0.00256 | 0.001 | 0.00327 | 0.00171 | -0.00071 | -126.9191068 |
| 0.00640 | 0.001 | 0.00711 | 0.00171 | -0.00071 | -58.37207864 |
| 0.01600 | 0.001 | 0.01472 | -0.000276 | 0.00128 | -313.8994905 |
| 0.04000 | 0.001 | 0.03786 | -0.00114 | 0.00214 | -49.5972859 |
| 0.10000 | 0.001 | 0.09769 | -0.001311 | 0.00231 | -18.0483285 |

表 15-2、2.5ml FeSCN²⁺ 溶液利用 RGB 值計算平衡常數(第一組)

| Fe3+ (M)(25mL) | SCN- (M)(25mL) | Fe3+(M) | SCN-(M) | 試算濃度(B) | 平衡常數 |
|----------------|----------------|-----------|-----------|----------|--------------|
| 0.00256 | 0.001 | -0.000192 | -0.001752 | 0.002752 | 8180.249447 |
| 0.00640 | 0.001 | 0.00365 | -0.001752 | 0.002752 | -430.5394446 |
| 0.01600 | 0.001 | 0.01340 | -0.001603 | 0.002603 | -121.1859155 |
| 0.04000 | 0.001 | 0.03768 | -0.001325 | 0.002325 | -46.58406822 |
| 0.10000 | 0.001 | 0.09780 | -0.001198 | 0.002198 | -18.75591386 |

表 15-3、10ml FeSCN²⁺ 溶液利用 RGB 值計算平衡常數(第二組)

| Fe3+ (M)(25mL) | SCN- (M)(25mL) | Fe3+(M) | SCN-(M) | 試算濃度(B) | 平衡常數 |
|----------------|----------------|----------|-----------|-----------|--------------|
| 0.00256 | 0.001 | 0.003270 | 0.001710 | -0.000710 | -126.9191068 |
| 0.00640 | 0.001 | 0.00469 | -0.000707 | 0.001707 | -514.5419145 |
| 0.01600 | 0.001 | 0.01378 | -0.001225 | 0.002225 | -131.8647921 |
| 0.04000 | 0.001 | 0.03752 | -0.001484 | 0.002484 | -44.61872544 |
| 0.10000 | 0.001 | 0.09726 | -0.001743 | 0.002743 | -16.18135924 |

表 15-4、2.5ml FeSCN²⁺ 溶液利用 RGB 值計算平衡常數(第二組)

| Fe3+ (M)(25mL) | SCN- (M)(25mL) | Fe3+(M) | SCN-(M) | 試算濃度(B) | 平衡常數 |
|----------------|----------------|-----------|-----------|----------|--------------|
| 0.00256 | 0.001 | -0.000192 | -0.001752 | 0.002752 | 8180.249447 |
| 0.00640 | 0.001 | 0.00365 | -0.001752 | 0.002752 | -430.5394446 |
| 0.01600 | 0.001 | 0.01325 | -0.001752 | 0.002752 | -118.5543398 |
| 0.04000 | 0.001 | 0.03740 | -0.001603 | 0.002603 | -43.41331417 |
| 0.10000 | 0.001 | 0.09750 | -0.001496 | 0.002496 | -17.11125847 |

伍、研究結果

(一)加入硝酸後與傳統比色法

單就 RGB 值來看，未加入硝酸的 FeSCN^{2+} 溶液之 R 值較不穩定，而加入硝酸之 FeSCN^{2+} 溶液之 R 值就較為平穩，基本都在 255 左右，在不同濃度之 FeSCN^{2+} 溶液配置中也能很明顯的發現未加入硝酸之顏色差異較大，就直接用肉眼觀察，最淡的那管顏色已經偏淡黃色了，反觀加入硝酸之顏色差異就很小，最淡的那管顏色依然偏血紅色，而吸收度、比高度等實驗加入硝酸溶液數值也較穩定，因此也確認了 $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ 確實會影響實驗結果

(二)加入丙酮後與傳統比色法

從此次實驗中 RGB 配合檢量線來看，檢量線之 R^2 值也都在 0.9999 左右，但加入丙酮之數據較飄忽不定，但就以比高的方法計算平衡常數來看，兩者資料數值接近，並無明顯差異，因此我們推測加入丙酮並無增進實驗數據，其原因應該是 FeSCN^{2+} 相較於 $[\text{Co}(\text{SCN})_4]^{2+}$ 於穩定，不易於水溶液中解離，因此加入介電常數較小的丙酮影響不大。

(三)RGB 值對吸收度、濃度、檢量線和平衡常數之關係

- 1.由於此實驗其實有很多誤差，而出來的數值也並非特別準確，檢量線對 RGB 值的數值之趨勢並非是準確的一條線，因此我們以手機的 APP 得到的 RGB 值不適合低濃度(<0.1 M)，而文獻中的資料 11 以數位相機所拍攝利用軟體換算的 RGB 值是可適用低濃度的探討。
- 2.由 RGB 值來計算出的平衡常數值由於大部分計算的結果均為負值，但我們發現若將 RGB 所算出來的數值加上絕對值後取其平均數（數值差距與其他者差距過大者無計算在內），其數值基本上都落在 150 左右

表 16-1、將平衡常數取絕對值

| | 0.1M 平衡常數 | 0.04M 平衡常數 | 0.016M 平衡常數 | 0.0064M 平衡常數 | 0.00256M 平衡常數 | 平均數 |
|----------------|--------------|---------------|----------------|-----------------|------------------|------------|
| 第一次數據 10mL | -126.979706 | -58.372078 | -313.899491 | -49.597285 | -18.048328 | 113.379378 |
| 第一次數據 2.5mL | 8180.249447 | -430.539446 | -121.185915 | -46.584068 | -18.755913 | 154.266336 |
| 第二次數據 10mL | -126.919106 | -514.541914 | -131.864792 | -44.618725 | -16.181359 | 166.831779 |
| 第二次數據 2.5mL | 8180.249447 | -430.539444 | -118.554339 | -43.413314 | -17.111258 | 152.404589 |

通過此種校正方法能得到接近的理論數值之平衡常數，我們認為就此次實驗，這種校正方式能得出 RGB 值和平衡常數之間的正關係

陸、討論

- (一) 計算平衡常數時仍需要透過肉眼觀察，會有無法避免的問題。這個實驗主旨是將繁雜的比色法透過 R G B 值簡化，但仍須透過比色法來取平衡常數，因此依然存在著一些矛盾的誤差
- (二) 廢液使用量過大。將實驗液體減量後，即便廢液量確實有減少。由於實驗次數龐大，並且每做一次實驗都必定有大量的廢液，所以將實驗溶液減量，是個必然解決的問題
- (三) 自製的腳架及 LED 燈管在利用溶液的高度比色，較原實驗精準，而利用 RGB 值計算平衡常數，無法直接用 app 本身來計算，仍需人為校正才能得出其正確數值，因此仍有改進的空間

柒、結論

- 1、 添加硝酸可抑制比色法實驗中因硝酸鐵水溶液水解生成的 $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ 障礙比色操作，以此配製的 FeSCN^{2+} 溶液呈現的檢量線均於可信範圍。
- 2、 添加介電常數較小的丙酮對於 FeSCN^{2+} 並無太大影響，因此 FeSCN^{2+} 較 $[\text{Co}(\text{SCN})_4]^{2-}$ 穩定，不易解離，因此非常適用於比色法計算平衡常數。
- 3、 利用手機的 app 對於形成 FeSCN^{2+} 的 RGB 值而換算平衡常數是可能的，但在檢量線中較看不出其之間的正關係，而用手機 app 拍攝也不如數位相機，因此未來 APP 的研發及手機再進階是可行的。
- 4、 改由「50ml 容量瓶」進行比色法實驗，同時以小試管比色，既可減量，又可降低多次溶液混合時的人為誤差。

捌、參考資料

1. 每日生物評論(2018)。比色法的原理和發展歷程。每日頭條——資訊。2020年1月24日，取自 <https://kknews.cc/news/9z8vxpl.html>
2. 華人百科(2017)。目視比色法：用眼睛比較溶液顏色。華人百科。2020年1月29日，取自 <https://www.itsfun.com.tw/目視比色法/wiki-87443001-6228869>
3. 陳志昌、林哲仁、張馨云(2016)。微量鈷離子的定量。國立臺灣大學化學系。
4. 陳秋炳（編輯招集人）(108)。基礎化學(三)。韓林出版。
5. 余瑞伶（責任編輯）(104)。普通化學實驗。國立台灣大學出版中心。
6. 鍾沛璇、江名宏、林育仁(104)。硫氫化鐵錯離子之平衡常數測定。國立東勢高級工業職業學校。<https://www.shs.edu.tw/works/essay/2015/03/2015032523104298.pdf>
7. 林容安、劉瑋婕(104)。探討可逆反應及檢量線之關係。國臺北市立百齡高級中學。
8. 陳杰鴻、林冠德、魏意銘(93)。探-數位相機與溶液濃度的探討及應用平衡常數測定。國臺中縣立后綜高級中學。
9. 邱秀玲、李妍禎(95)。設計、色計-自行設計微型比色計改良比色法實驗。高雄市立左營高級中學。
10. 陳彥佑、張珈昕、黃宇康、魏名智(95)。連廣用試劑也數位化了。彰化縣立田尾國民中學。
11. 陳杰鴻、林冠德、魏意銘(93)。R、G、B-數位相機與溶液濃度的探討及應用平衡常數測定。臺中縣立后綜高級中學。

【評語】 050205

平衡常數誤差太多，且無 control，用 RGB 方式的標準差線的線性相依性也不夠好，較難實際應用，要注意 AI 大數據應用的範圍。

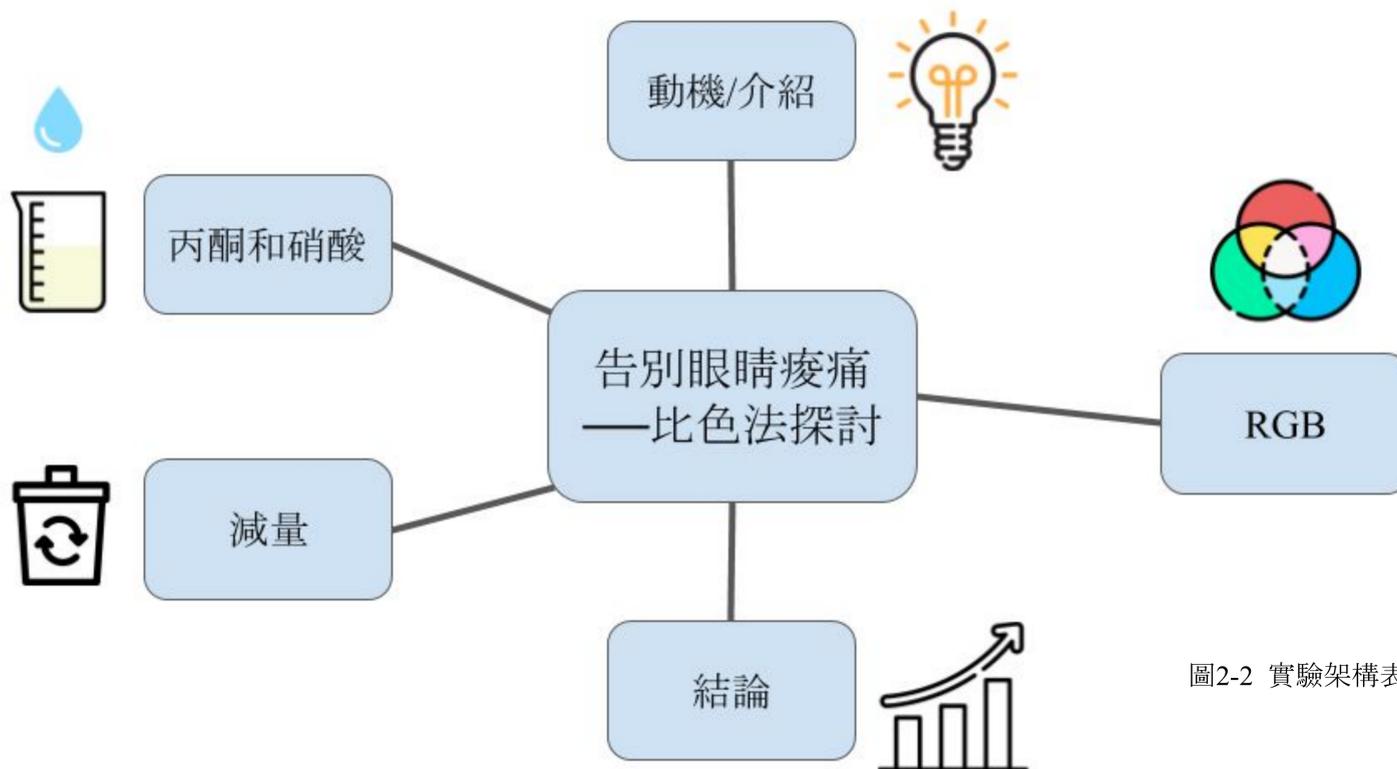
實驗動機 & 介紹

比色法實驗是高中課程之一，而在上課實驗過程中，其麻煩及繁瑣的實驗流程讓我們感到無比頭痛。為此我們和老師討論是否有辦法改良這個實驗，簡化惱人的步驟。

而我們發現比色法的缺點有以下幾點：(1) 顏色判斷較主觀。(2) 廢液量過大。(3) 不同濃度之試管顏色相近，難以判斷因此我們針對上述幾點對此實驗進行改良，我們利用手機app來測量溶液的RGB值，嘗試找出RGB值和平衡常數之間的關係，而關於廢液量的問題，我們透過改良實驗步驟，以全班分工的方式來達到減量的效果。

| | 舊 | 新 |
|------|---------|------------|
| 混合方式 | 試管中混合 | 容量瓶中混合 |
| 毫升數 | 10mL | 2.5mL |
| 比色器具 | 燈板 | 自製腳架及LED燈管 |
| 平衡常數 | 利用比色法計算 | 利用RGB計算 |
| 廢液量 | 880mL | 295mL |

圖2-1 比色法實驗改良前後比較



結論

1. 添加硝酸可抑制比色法實驗中因硝酸鐵水溶液水解生成的 $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ 障礙比色操作，以此配製的 FeSCN^{2+} 溶液呈現的檢量線均於可信範圍。
2. 添加介電常數較小的丙酮對於 FeSCN^{2+} 並無太大影響，因此 FeSCN^{2+} 較 $[\text{Co}(\text{SCN})_4]^{2+}$ 穩定，不易解離，非常適用於比色法計算平衡常數。
3. 利用手機的app對於形成 FeSCN^{2+} 的RGB值能透過校正數據以求出平衡常數。
4. 改由「50ml容量瓶」進行比色法實驗，同時以小試管比色，既可減量，又可降低多次溶液混合時的人為誤差。

加入丙酮&硝酸

加丙酮是由於以水稀釋試液時，參考資料六中的 $[\text{Co}(\text{SCN})_4]^{2+}$ 溶液中 SCN^- 的濃度降低，錯合物會解離，無法準確定量鈷離子的含量，因此加入介電常數較低的有機溶液(ex: 丙酮和與水互溶者)，以抑制鈷錯合物之解離。

加入硝酸的目的是為了抑制溶劑效應的發生。因硝酸鐵水溶液水解生成的 $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ 會障礙比色操作，而 $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ 為一紅棕色或黃棕色離子，和血紅色的 FeSCN^{2+} 離子有一定的顏色誤差，所以若出現過量 $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ 必定會讓做比色法實驗時出現可觀的偏差度。

結論

1. 從RGB觀點來看，加入硝酸的確有抑制 $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ 生成，R值幾乎都維持在255附近，而平衡常數的計算相較之下也比較穩定
2. 加入丙酮較無法觀察出有何差異性，不論是從檢量線或是從RGB都看不出區別，推測應該是因為 FeSCN^{2+} 較 $[\text{Co}(\text{SCN})_4]^{2+}$ 穩定，不易解離，因此非常適用於比色法計算平衡常數。

減量

除了傳統比色法的作法本身就會造成大量廢液，為了讓這實驗能更加環保，我們將 10 毫升的檢測容量改為 2.5 毫升，測試溶液的多寡是否影響實驗數據。若能證明 2.5 毫升的實驗並無太大的影響，甚至有正向的影響，就能使未來高中實驗課程減少不必要的廢液。

另外，原本的傳統比色法是將硝酸鐵溶液和硫氰化鉀溶液放入試管內進行反應，再進行比高度實驗，而我們則是將硝酸鐵溶液和硫氰化鉀溶液先放入 50 毫升之容量瓶中進行反應，靜置 15 分鐘後再將 FeSCN^{2+} 溶液取到試管中進行比高度實驗。

結論

經由全年級使用我們的減量方法來做實驗，我們從每班的實驗報告中能看出利用此種減量法來計算的平衡常數並不會有影響，依然能正確求出，而也成功的達到減量的效果。



各班實驗數據超連結

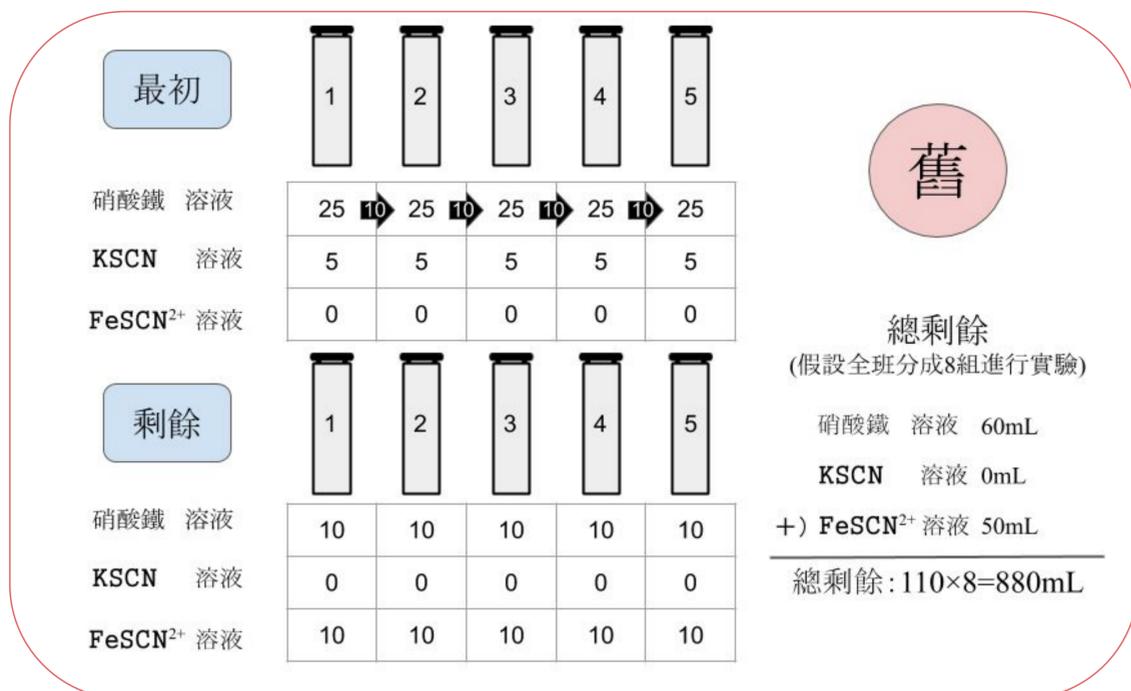


圖1-1 比色法實驗廢液量改善前 p.7

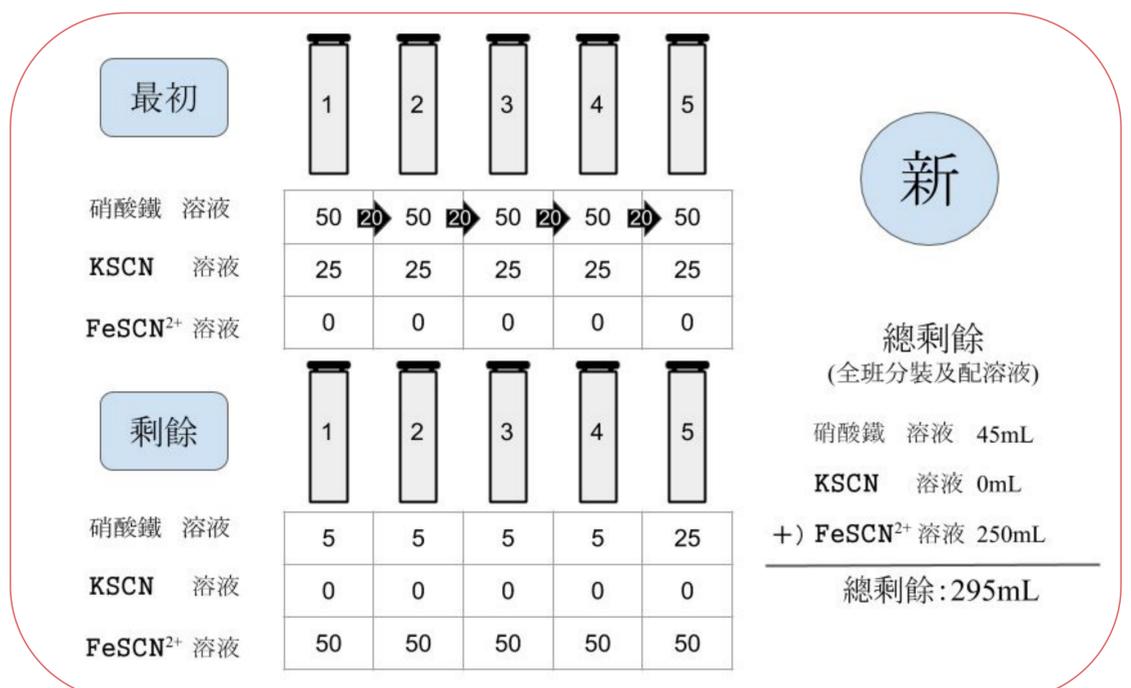


圖1-2 比色法實驗廢液量改善後 p.7

RGB

我們利用手機程式拍照來偵測不同濃度之 FeSCN^{2+} 溶液的RGB值，並結合檢量線數據來探討RGB值是否和濃度及吸收度有正關係。我們發現R值近乎不變，幾乎維持在255左右，而G值大部分幾乎都是0，因此我們將B值換算成濃度後，利用檢量線和校正數據兩種方式來探討其關係。

檢量線的部分，先將B值代入檢量線中觀測結果，之後再將B的濃度代入計算平衡常數之計算中，我們發現從檢量線來看，在高濃度的溶液數值還算可靠，但低濃度之值就開始跑掉了，而從平衡常數來看，因計算出來之值基本上均為負值，和此實驗室溫下的平衡常數值相差很大。

至於校正數據，由RGB值來計算出的平衡常數值由於大部分計算的結果均為負值，但我們發現若將RGB所算出來的數值加上絕對值後取其平均數（數值差距與其他者差距過大者無計算在內），其數值大多落在150左右，通過此種校正方法能得到接近的理論數值之平衡常數，因此我們認為就此次實驗，這種校正方式能得出RGB值和平衡常數之間的正關係。

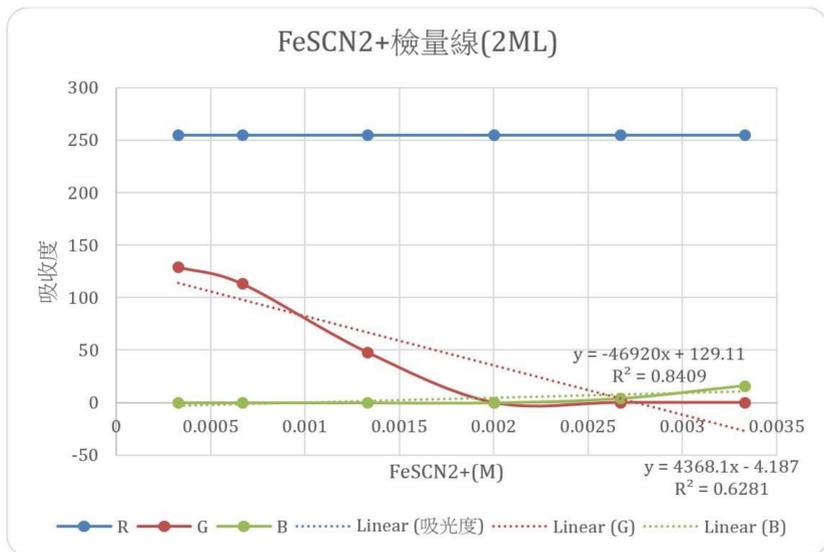


圖3-1: 2mL FeSCN^{2+} 與RGB值
p.12

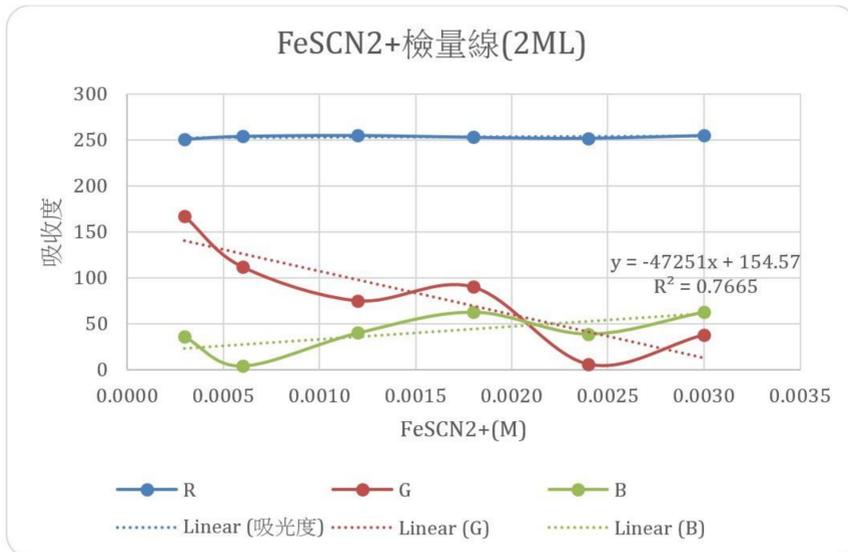


圖3-2: 2mL 含丙酮 FeSCN^{2+} 與RGB值
p.13

| Fe^{3+} (M)(25mL) | SCN^- (M)(25mL) | Fe^{3+} (M) | SCN^- (M) | 試算濃度(B) | 平衡常數 |
|----------------------------|--------------------------|----------------------|--------------------|-----------|--------------|
| 0.10000 | 0.001 | 0.09726 | -0.001743 | 0.002743 | -16.18135924 |
| 0.04000 | 0.001 | 0.03752 | -0.001484 | 0.002484 | -44.61872544 |
| 0.01600 | 0.001 | 0.01378 | -0.001225 | 0.002225 | -131.8647921 |
| 0.00640 | 0.001 | 0.00469 | -0.000707 | 0.001707 | -514.5419145 |
| 0.00256 | 0.001 | 0.003270 | 0.001710 | -0.000710 | -126.9191068 |

圖3-3、10mL FeSCN^{2+} 溶液利用RGB值計算平衡常數 p.14

| Fe^{3+} (M)(25mL) | SCN^- (M)(25mL) | Fe^{3+} (M) | SCN^- (M) | 試算濃度(B) | 平衡常數 |
|----------------------------|--------------------------|----------------------|--------------------|----------|--------------|
| 0.10000 | 0.001 | 0.09750 | -0.001496 | 0.002496 | -17.11125847 |
| 0.04000 | 0.001 | 0.03740 | -0.001603 | 0.002603 | -43.41331417 |
| 0.01600 | 0.001 | 0.01325 | -0.001752 | 0.002752 | -118.5543398 |
| 0.00640 | 0.001 | 0.00365 | -0.001752 | 0.002752 | -430.5394446 |
| 0.00256 | 0.001 | -0.000192 | -0.001752 | 0.002752 | 8180.249447 |

圖3-4、2.5ml FeSCN^{2+} 溶液利用RGB值計算平衡常數 p.15

| | 0.1M 平衡常數 | 0.04M 平衡常數 | 0.016M 平衡常數 | 0.0064M 平衡常數 | 0.00256M 平衡常數 | 平均數 |
|----------------|--------------|---------------|----------------|-----------------|------------------|------------|
| 第一次數據 10mL | -126.979706 | -58.372078 | -313.899491 | -49.597285 | -18.048328 | 113.379378 |
| 第一次數據 2.5mL | 8180.249447 | -430.539446 | -121.185915 | -46.584068 | -18.755913 | 154.266336 |
| 第二次數據 10mL | -126.919106 | -514.541914 | -131.864792 | -44.618725 | -16.181359 | 166.831779 |
| 第二次數據 2.5mL | 8180.249447 | -430.539444 | -118.554339 | -43.413314 | -17.111258 | 152.404589 |

圖3-5、將平衡常數取絕對值

結論

利用RGB來求出平衡常數是可行的，但須先將數據校正後才能得到其關係，若果能夠直接找出RGB和平衡常數間的正關係，可能就要透過改用數位相機等硬體設備方面改良，或能設計出程式直接校正數據也是一種未來能改良的方式。



實驗數據超連結