

【2021 科學探究競賽-這樣教我就懂】

高中 (職) 組 成果報告表單

題目名稱：比色法的簡化與改良

一、摘要：

現今社會上人手一台智慧型手機，若能順應此趨勢，運用手機 APP 與比色法的結合，以簡易的方式取代傳統光電比色計或滴定法等，檢測未知物質的濃度，將會對高中化學實驗或探究實作課程有所助益。

本實驗的裝置設計為將待測溶液配製於 24 孔盤中，放置於手機提供的光源(MyLight) 上方後，以手機 APP(ColorPicker)檢測 RGB 值。經實驗後得知， KI_3 溶液在不同濃度範圍時，使用適當的光源(白光或互補光)，在特定濃度範圍，可繪製出 R^2 皆在 0.9 以上的檢量線。再以此檢量線測量未知 $[KI_3]$ ，測量出的濃度與滴定法結果比較，誤差分別為 1.47%和 2.89%。

二、探究題目與動機

在一次與學姊聊天的過程中，得知高中化學有個實驗叫做「比色法」。在好奇心的驅使下我們照著步驟嘗試，卻發現結果與理想差異極大。分析了實驗中可能出現誤差的原因後，認為最大的問題在於目測的不精確。於是上網查找文獻，並發現多數改善準確性的方法都是利用光電比色計。但是光電比色計價格昂貴且不普及，難以進行日常運用，於是我們想以較簡單但有效的方法，取代光電比色計測量物質濃度。

三、探究目的與假設

光電比色計的原理是利用比爾定律：

一束平行單色光垂直通過某一均勻非散射的吸光物質時，光的強度會下降。吸光物質的濃度愈大、光通過的距離愈長，則光強度的減弱愈顯著，其關係式可表示如下：

$$A = -\log T = -\log(I_1/I_0) = \alpha lc$$

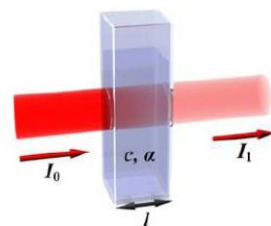
A：吸光度

l：光徑長

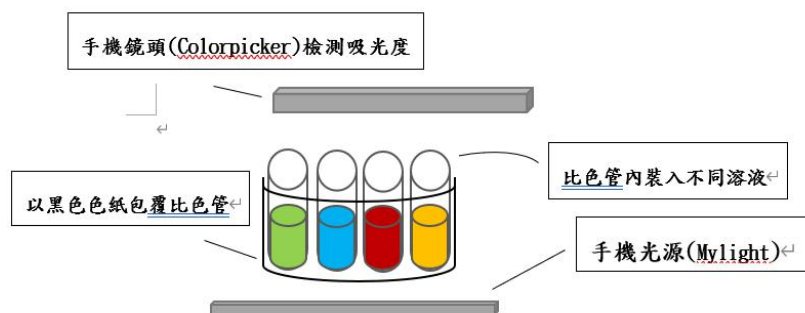
c：濃度

α ：吸收係數($\text{cm}^{-1} \cdot \text{M}^{-1}$)，和物質特性有關

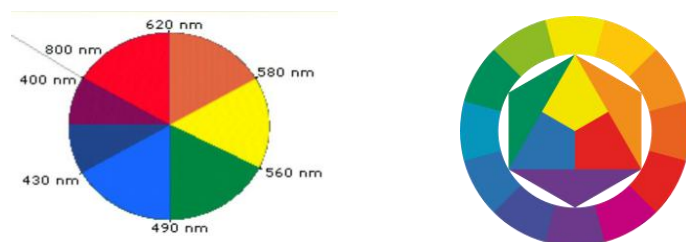
T：透光率，是指透射光 I_1 和入射光 I_0 的光強比： $T = I_1/I_0$ 。



本實驗設計即是利用上述比爾定律的原理為基礎進行發想，以手機的光源(APP：MyLight)取代鎢絲燈，以 RGB 值取代光強度，以儀器取代眼睛，改良現有比色法。實驗設計概念如下：



顏色與波長的關係，約略如左下圖。而從十二色環的互補色關係，可以找到物質的互補色，例如黃色的 KI_3 ，互補色為藍綠色，實驗時先以手機 APP - Mylight，儘可能調整出溶液的吸收光源波長(溶液顏色互補光)。



光強度則以測量物質的 RGB 值取代，RGB 色彩模式是工業界的一種顏色標準，是通過對紅(R)、綠(G)、藍(B)三個顏色通道的變化，三種顏色相互疊加可得到各式各樣的顏色，且幾乎包含了人類視力所能感知的所有顏色，是運用最廣的顏色系統之一。且因光源垂直通過不同濃度的溶液，經過吸光後顯現出的顏色 RGB 值會發生變化，可以透過分析此色光的 RGB 組成和變化，來推論溶液的濃度變化。

根據以上推論，實驗目的如下：

1. 做出簡便可行的實驗裝置，以取代現有的比色法。
2. 針對常見的有色物質進行檢驗，以測試其可行性
3. 與傳統的分析法(例如：滴定)進行比較，以確認實驗裝置的可行性。

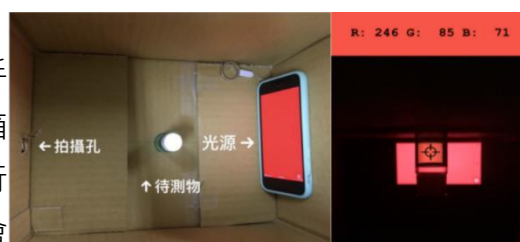
四、探究方法與驗證步驟

1. 做出簡便可行的實驗裝置，以取代現有的比色法。

第一代實驗裝置：

參考物理教育學刊的文章「智慧手機在比色法濃度檢驗的應用」(曾耀寰, 2018)，裝置如下圖。

先取一紙箱並在紙箱左側打洞，當作觀測用手機的拍攝孔，將待測物裝在樣品瓶並放在紙箱的中間，光源則放在紙箱右側，比色實驗進行時，須將紙箱上蓋關上，以確定環境光源不會干擾實驗。

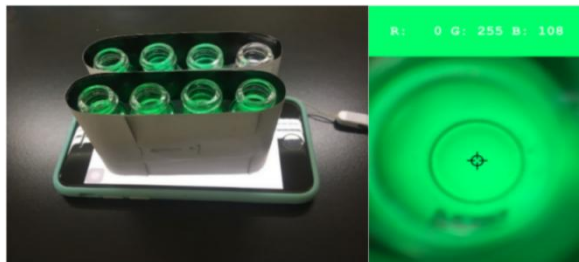


圖一：第一代裝置圖

但是實測結果發現前後兩次照光 RGB 數值結果差異大，顯示穩定度太低，推測是光源和待測溶液距離太遠，導致光源太過發散且強度不均；樣品瓶瓶身為圓弧狀，會有光線折射；且檢測 RGB 值手機攝影孔和待測液距離太遠，也可能造成數值不穩定，故針對上述問題，所以進行第二代裝置改良。

第二代實驗裝置：根據第一代實驗裝置發生的問題，修改實驗裝置如下圖。

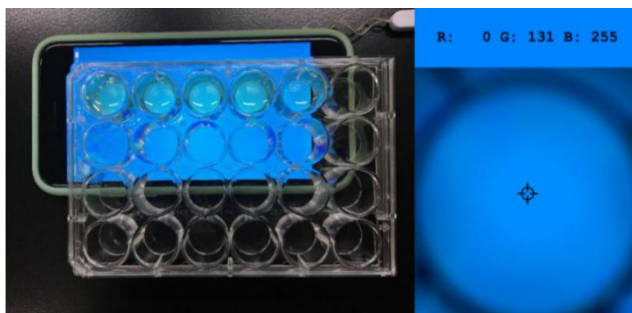
- 樣品瓶包覆黑紙，以防外界光源進入
- 將樣品瓶至於光源上方，避免光源發散或不穩定，且可避免樣品瓶弧度造成的光線散射。溶液高度需一致均為 2 cm。
- 手機直接放置於樣品瓶上方拍攝，以保持拍攝距離的一致性。



圖二：第二代裝置圖

以第二代裝置進行實驗測量 RGB 值時，數值較第一代裝置穩定。但第二代裝置使用樣品瓶實驗，溶液用量較多，且因樣品瓶瓶底仍稍呈圓弧狀且厚薄似乎不太均勻，可能會影響照光路徑和吸收度等，所以繼續尋找最佳的實驗材料。

第三代實驗裝置：狀置如下圖，以 24 孔盤取代樣品瓶，以改善樣品瓶用量多，且有弧度或厚薄不均的問題，由右邊的拍攝圖即可發現，所得到的照片均勻度較上一代裝置提高許多。

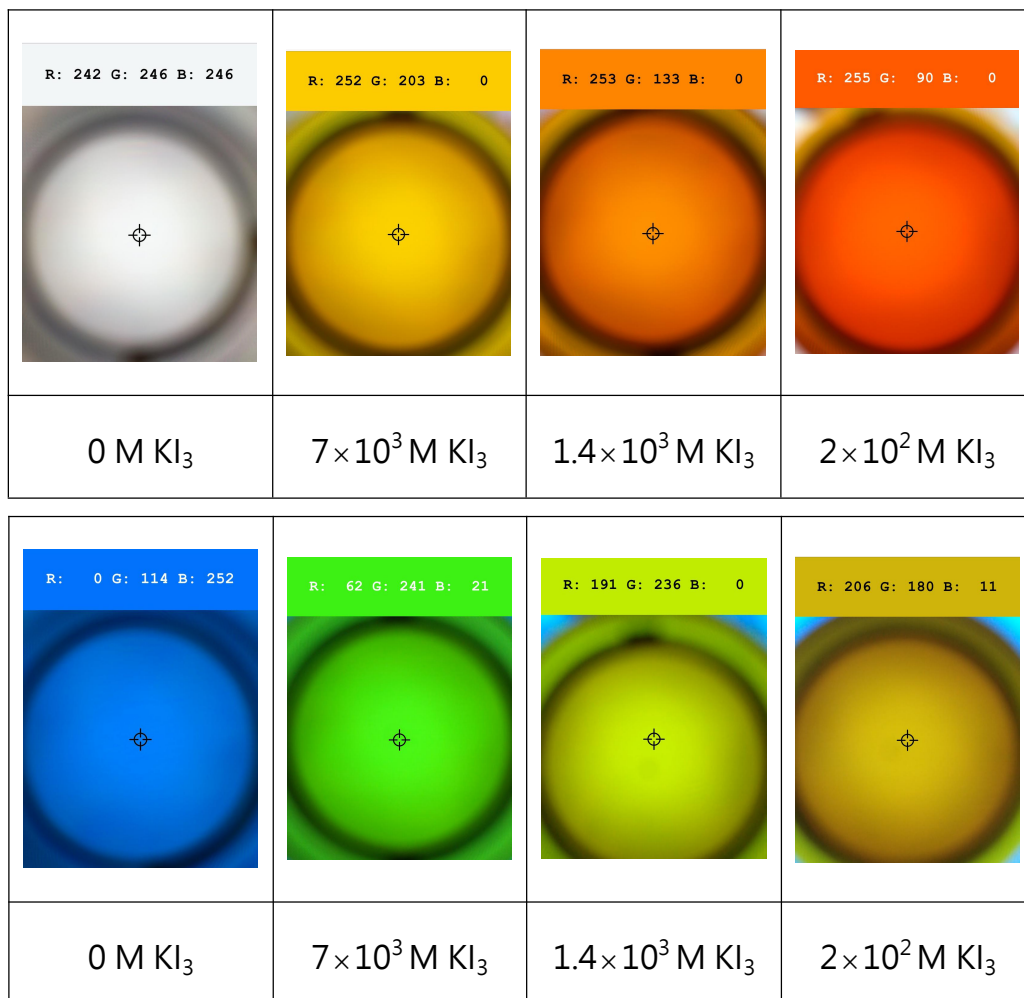


圖三：第三代裝置圖

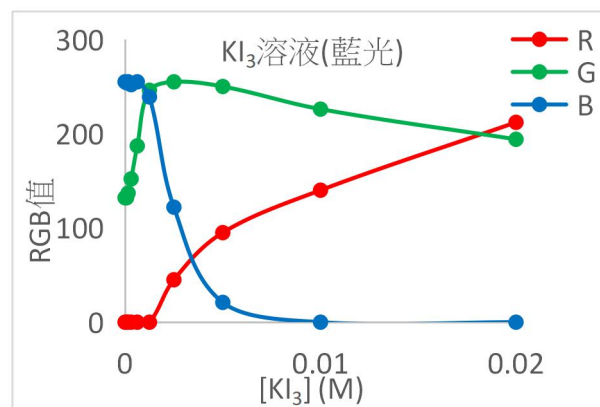
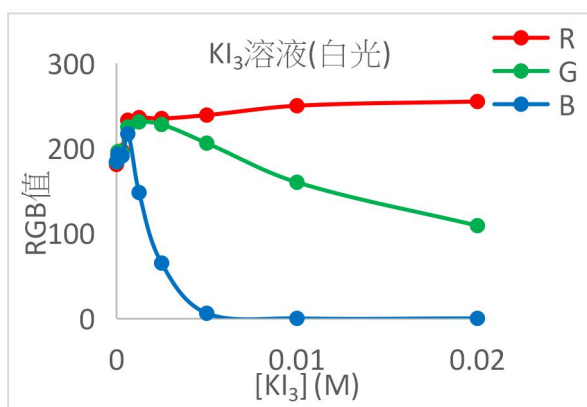
2. 對常見的有色物質進行檢驗，以測試其可行性

許多氧化劑或還原劑都可以用直接或間接碘滴定進行定量測量，甚至於日常生活中的汙水汙染物、食品添加劑也都可以用這樣的方法來檢測，所以我們決定先利用碘三化鉀(KI_3)溶液作為本裝置的測試對象。

(1) 定性實驗：首先先以白光和碘酒的互補藍光，分別拍攝並檢測不同濃度碘三化鉀(KI_3)溶液的 RGB 值，呈色如下圖：



(2) 定量實驗：將 RGB 的數值對 KI_3 濃度作圖如下：



圖四(A)：以 $[KI_3]$ 對 RGB 數值分別作圖

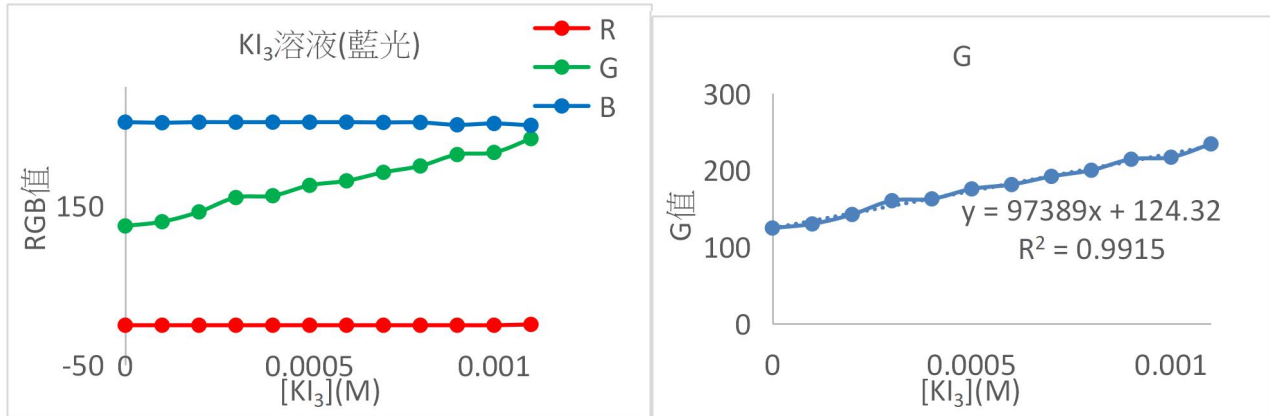
圖四(B)：以 $[KI_3]$ 對 RGB 數值分別作圖

因為上圖的藍光在低濃度時，R 值和 B 值幾乎不變，但 G 值有明顯的變化；白光則是在較高濃度時，R 值和 B 值幾乎不變，但 G 值有明顯的變化。所以進一步以上述結果，做出高、低濃度兩種範圍的 KI_3 檢量線。

(3)繪製檢量線

0 M~0.0011 M，以藍光為光源的檢量線，和 0.001 M~0.02 M，以白光為光源的檢量線分別如下：

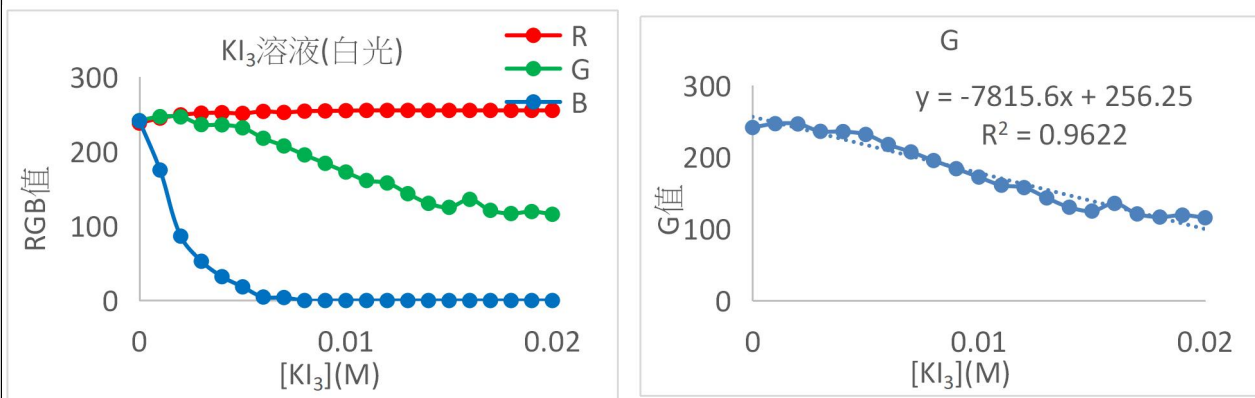
0 M~0.0011 M，以藍光為光源的檢量線



圖五(A)：以[KI₃]對 RGB 數值分別作圖

圖五(B)： [KI₃]對 G 值關係圖

0.001 M~0.02 M，以白光為光源的檢量線



圖六(A)：以[KI₃]對 RGB 數值分別作圖

圖六(B)： [KI₃]對 G 值關係圖

由實驗結果可知，以藍光作為光源在 0 M~0.0011 M 時 G 值有上升的趨勢，畫出檢量線發現相關係數高達 0.9915；而以白光作為光源在 0.001 M~0.02 M 時 G 值有下降的趨勢，畫出檢量線發現相關係數亦有 0.9622。

3. 與傳統的分析法(例如：滴定)進行比較，以確認實驗裝置的可行性。

針對上述的實驗結果，配製兩種未知濃度的 KI₃ 溶液，分別以滴定和測試 RGB 值的方式確認濃度，以測試此方法的應用性。

(1) KI₃(0 M~0.002 M)

- 配製未知 KI_3 溶液：
取濃度為 0.002 M 的 KI_3 9 mL，加大量 H_2O 稀釋，使溶液呈現黃色，外觀顏色大約介於 0 M~0.002 M 之間，並以第三代實驗裝置，測其 RGB 值。
 - 以 0.002 M 的標準硫代硫酸鈉溶液滴定，確認 $[KI_3]$
滴定後可測得 $[KI_3] = 2.7010^{-4}$ M
 - 以 RGB 值確認濃度
取上述溶液 2 mL 放入多孔盤後，以藍色光源照射後，測量得到(R, G, B)值分別為 (0,151,255)。
以第二部份圖十二(B)的趨勢線 $G = 97389[KI_3] + 124.32$
可以求出 $[KI_3] = 2.7410^{-4}$ M，誤差值為 = 1.47 %
- (2) KI_3 (0.001 M~0.02 M)
- 配製未知 KI_3 溶液：
取濃度為 0.02 M 的 KI_3 7 mL，加大量 H_2O 稀釋，使溶液呈現黃色，並以第三代實驗裝置，測其 RGB 值。
 - 以 0.02 M 的標準硫代硫酸鈉溶液滴定，確認 $[KI_3]$
滴定後可測得 $[KI_3] = 2.7710^{-3}$ M
 - 以 RGB 值確認濃度：
取上述溶液 2 mL 放入多孔盤後，以白色光源照射後，測量得到(R, G, B)值分別為 (247,234,38)
以第二部份圖十三(B)的趨勢線 $G = - 7815.6[KI_3] + 256.25$ ，可以求出 $[KI_3] = 2.8610^{-3}$ M，誤差值為 = 2.89 %

五、結論與生活應用

由實驗結果得知以第三代實驗裝置進行實驗時準確性高且適合用來進行後續的實驗。除此之外，本實驗的操作方式簡便，亦可使用於分析水中污染物的成分、測量食品添加劑的濃度與取代滴定法測定廢液濃度。

參考資料

- RGB 轉 HSV · HSL(線上色碼轉換 HSL · HSV · RGB · HEX). (無日期).
三原色光模型. (無日期). 擷取自 維基百科.
- 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. 第 46 屆全國中小學科展, 高雄市.
- 陳竹亭 (編者). (104). 基礎化學實驗成果紀錄簿. 新北市.
- 曾耀寰. (2018). 智慧手機在比色法濃度檢驗的應用. 物理教育學刊.
- 廖旭茂、林翊菲、陳淳煜. (2019 年 2 月 5 日). 利用簡易光電比色法測定溴瑞香草酚藍的解離. 綠色化學實驗 [Leave a comment](#).