

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

050202

威錳先生—從錳來看反應速率

學校名稱：新北市立新莊高級中學

作者： 高二 鄭安愉 高二 吳庭妤 高二 謝佩筠	指導老師： 游珮均
-----------------------------------	--------------

關鍵詞：反應速率、過錳酸鉀、化學變色龍

摘要

在本研究中我們觀察化學變色龍反應，藉由反應時間長短適中、材料易準備及顏色明顯易觀察的優點，我們以化學變色龍來觀察反應速率。我們設計了一套微量實驗，利用滴瓶及 24 孔盤，使用的溶液體積大幅縮小，至少相差 50 倍，達到減少環境汙染、減毒減廢，實現綠色化學的目標。另一方面我們利用手機紀錄實驗的顏色變化，並以 RGB 色彩分析反應速率，利用 RGB 相對吸收值公式，將誤差值降到最低，結果發現與過錳酸鉀濃度計算的反應速率結果一致。且我們比較利用微量移液管操作與利用滴瓶操作，發現兩種方法的結果接近，證明我們利用滴瓶操作實驗也可達到利用專業器材的準確度因此，我們推薦化學變色龍實驗代替高中化學反應速率。

壹、前言

一、研究動機及目的

某天老師帶我們去化學教室做有關過錳酸鉀的氧化還原實驗，五顏六色的顏色變化讓我回想起以前，高一上學期我們所學的過錳酸鉀實驗，顏色只有紫色和無色，沒想到能有那麼多種的顏色呈現，在好奇心驅使之下，我們決定研究化學變色龍這項實驗。我們分別在酸性、中性、鹼性溶液中各滴入等量的過錳酸鉀，發現過錳酸鉀在不同的溶液中會有五顏六色的變化。之後將濃度提高再做反應，發現每種溶液的濃度，也會影響顏色的變化。另外我們進行第二組實驗，分別改變氫氧化鈉、糖水、過錳酸鉀滴數，結果發現滴數會影響顏色變化的快慢，而這個現象是否和反應速率有所關連？

另外，手機是一個便利的工具，加上反應中的顏色變化明顯且鮮豔，我們想嘗試利用手機 APP 來進行 RGB 色彩分析，是否可以利用這個方法找出反應速率及濃度級數關係。

我們的實驗目的為：

(一) 反應種類的觀察找出適合微量反應的種類及方式

1. 探討過錳酸鉀與雙氧水在酸性中性鹼性溶液中的顏色變化
2. 探討過錳酸鉀與草酸鈉在酸性中性鹼性溶液中的顏色變化
3. 探討過錳酸鉀在高濃度氫氧化鈉水溶液中的顏色變化
4. 探討過錳酸鉀在化學變色龍反應中的顏色變化

(二) 化學變色龍與不同反應物濃度間的反應速率探討

1. 探討氫氧化鈉濃度改變對反應速率的影響
2. 探討蔗糖水溶液濃度改變對反應速率的影響
3. 探討過錳酸鉀濃度改變對反應速率的影響

(三) RGB 色彩分析化學變色龍的反應速率變化可行性探討

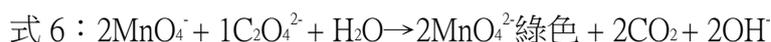
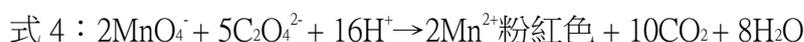
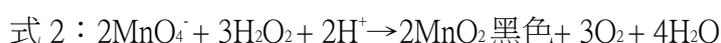
1. 使用滴瓶與微量移液管對實驗結果的差異與影響
2. 由過錳酸鉀與酸性過氧化氫水溶液來進行單一顏色變化反應的 RGB 色彩探討
3. 由化學變色龍來進行兩種顏色變化反應的 RGB 色彩探討反應速率

二、原理及文獻探討

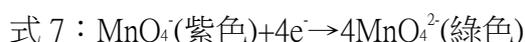
我們的研究是藉由過錳酸鉀發生氧化還原的顏色變化來探討反應速率並建立 RGB 色彩分析方法，其相關原理分為二點來說明。

(一) 高中課程與過錳酸鉀相關的化學反應介紹：

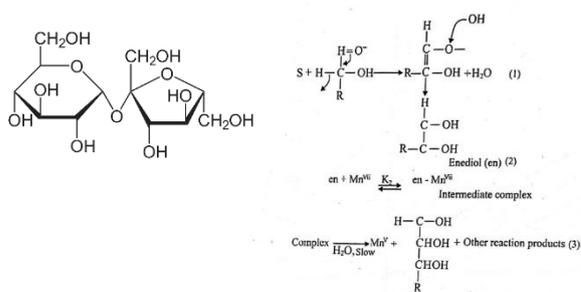
我們在高中課程學到過錳酸鉀可作為強氧化劑，在氧化還原反應中會有明顯的顏色變化，因此也常作為氧化還原滴定的指示劑，其在酸性、中性、鹼性的環境下，會有不同顏色的產物。高中最常見它與過氧化氫作用，反應式如式 1、式 2、式 3，也常見它與草酸鈉作用，反應式如式 4、式 5、式 6， Mn^{2+} 是淡粉紅色， MnO_2 是黃棕色沉澱， MnO_4^{2-} 是綠色，化學變色龍的反應如式 7，可以觀察到紫色變為綠色再變為黃棕色。我們想利用顏色變化來觀察反應速率。



化學變色龍：蔗糖是雙糖具有 -OH 羥基及不飽和鍵，過錳酸鉀 $KMnO_4$ 會氧化蔗糖，本身進行還原反應如下：



由於反應過程較慢，可以觀察到紫色變成綠色(快)，綠色變成棕色(慢)的過程(圖一)



圖一 蔗糖結構式及化學變色龍可能的機制

(二) 反應速率及反應速率定律式：

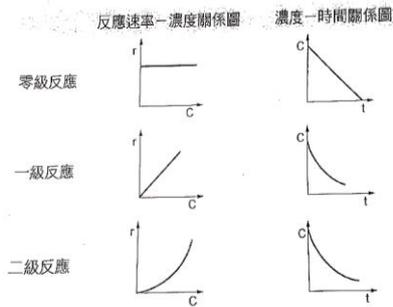
由上六式 $KMnO_4$ 由紫色變成 Mn^{2+} 淡紅或 $MnO_2(s)$ 黃棕色沉澱，即褪色。由於紫色變黃棕色較易判讀，我們紀錄紫色變黃棕色的時間為 Δt ，反應速率如下：

$$r = \frac{-\Delta[KMnO_4]}{\Delta t}$$

我們也可由反應物的濃度來探討反應速率，其關係式為反應速率定律式如下：

$$r = k[\text{反應物}]^m, \quad r \propto [\text{反應物}]^m$$

m 代表級數， $m=0$ 為零級反應， $m=1$ 為一級反應， $m=2$ 為二級反應



圖二 反應速率－濃度關係圖

由於化學變色龍的反應物有 NaOH、KMnO₄、蔗糖 C₁₂H₂₂O₁₁ 三種，反應速率定律式可表示為 $r=k[\text{KMnO}_4]^a[\text{NaOH}]^b[\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}]^c$ ，若以固定濃度的兩種反應物進行實驗，則上式可改寫為 $r=k[\text{反應物}]^n$ ，便可找出第三種反應物的反應級數，進而推得反應的總級數 $a+b+c$ ， $r=k[\text{KMnO}_4]^a[\text{NaOH}]^b[\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}]^c$

將反應速率取對數計算：

$$r=k[\text{反應物}]^n, \log r=\log(k[\text{反應物}]^n)=\log k+\log([\text{反應物}]^n)$$

$$\log r=\log k+n \cdot \log[\text{反應物}]$$

(此為直線方程式 $y=b+ax$) 斜率= n ， n 就是反應級數

y 軸的截距= $\log k$ ， $k=10^{\text{y 軸的截距}}$

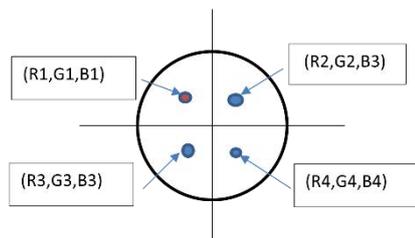
(三) RGB 色彩與分析：

我們也想探討 RGB 色彩分析在反應速率的應用，其相關原理如下：

1. 選取顏色方法：圓心十字法

RGB 是一種色彩表示的方式，也是一種顏色或紅綠藍模型，若將三原色的光用不同比例增加，即可合成各種顏色的色彩光。因人類對於顏色的感知，使 RGB 有理論支持。

RGB 是三維的直角座標系統，它適用於我們的分析方式，為了能夠有準確顏色的 RGB 值，我們想出在圓心十字法，圓心十字法是將反應槽影像，平均分成四個區塊，每個區塊各取一個顏色點，可得四組 RGB 值，分別記錄為 (R1,G1,B1)、(R2,G2,B2)、(R3,G3,B3)、(R4,G4,B4)，而我們希望減少顏色取樣的誤差，所以將四組 RGB 求出平均值，見圖三。



圖三 圓心十字法取色示意圖

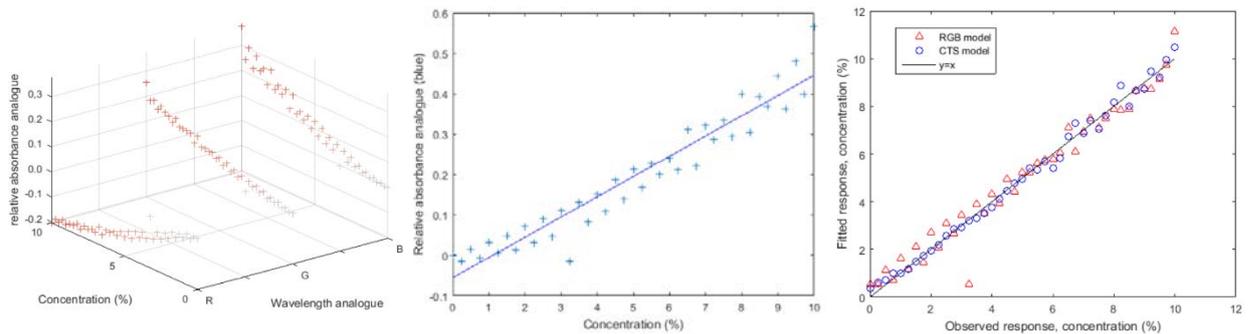
平均值 $((R1 + R2 + R3 + R4)/4, (G1 + G2 + G3 + G4)/4, (B1 + B2 + B3 + B4)/4)$

2. RGB 理論

根據瑞典隆德大學丹尼爾教授利用覆盆子果汁做實驗，他將冷凍的覆盆子解凍，然後搗碎並過濾以去除較大的固體，如種子和大部分果皮，再使用咖啡濾紙過

濾剩餘固體得到濾液，以進行透射測量。接著，取 1 公分寬的聚苯乙烯比色管裝入不同濃度的覆盆子汁，將覆盆子汁的樣品和蒸餾水的空白樣品排列在白色屏幕前照燈光，使用照相機在樣品前面固定距離平行於樣品移動及拍照，記錄照片圖像的平均 RGB 值進行分析。

他將實驗記錄的 RGB 波長對覆盆子汁濃度及 RGB 相對吸收值作圖（圖四），發現溶液覆盆子汁的濃度與 RGB 相對吸收值有正相關，其中 RGB 中的 B 值相對吸收值影響最大，使用線性迴歸方法分析其相關係數值為 0.9208(圖四)。接著他把 RGB 測量值與分光光度計測量值對覆盆子汁的濃度進行偏最小平方法迴歸分析(圖四)，兩種模型的相關係數值分別為 0.9603 與 0.9917，顯示這兩種測量值的模型對覆盆子汁濃度是很好的指標。



圖四 RGB 值分別對濃度與相對吸收值關係圖(左圖)、B 值的濃度對相對吸收值關係圖(中圖) 及利用 RGB 值測量與利用分光光度計測量的測量值與配置濃度值關係圖(右圖)

因此，我們使用的數位影像裝置，像是 CCD 或 CMOS 這些感應器普遍用在手機或數位相機裡，它可以表示跟眼睛看到相近的色彩，也可以把 RGB 色彩用標準化的方式對濃度及 RGB 值建立關係。根據文獻相對吸收值跟我們要測目標的濃度呈線性變化，所以我們就以顏色當作濃度做反應速率的估算。

$$(1) R,G,B \text{ 標準化值} = \frac{r,g,b}{\sqrt{r^2+g^2+b^2}}$$

R,G,B：RGB 標準化值；r,g,b：圓心十字法的 RGB 值平均

$$(2) A_{R/G/B} \text{ 相對吸收值} = -\log_{10} \frac{R_s/G_s/B_s}{R_c/G_c/B_c}$$

A：相對吸收值代表濃度，Rs/Gs/Bs：實驗的 RGB 標準化值，Rc/Gc/Bc：背景的 RGB 標準化值

我們利用數位影像裝置來照相選取呈色的 RGB 值，並對 RGB 相對吸收值公式進行校正，再由 RGB 標準值跟相對吸收值代表濃度來計算反應速率，討論化學變色龍反應速率的級數，並利用 RGB 相對吸收值進一步推測反應速率以達到我們的目的。

貳、研究設備及器材

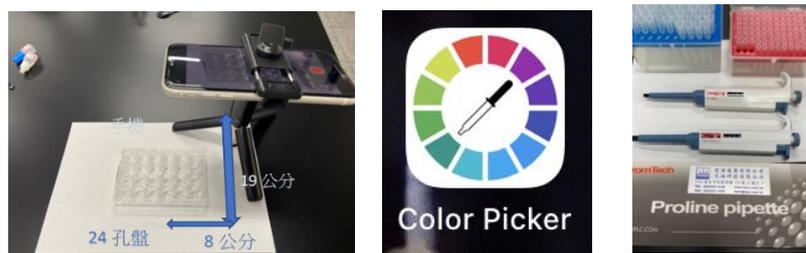
一、藥品

藥品名稱				
過錳酸鉀， KMnO_4	硫酸， H_2SO_4	草酸鈉， $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$	過氧化氫， H_2O_2	氫氧化鈉， NaOH
蔗糖， $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$	硫酸錳， MnSO_4	蒸餾水， H_2O	硫酸亞鐵， FeSO_4	氯化氫， HCl

二、器材：電子秤、刮勺、燒杯、玻棒、滴瓶、容量瓶、24 孔盤、計時器、手機、腳架等

器材名稱		
Tissue Culture Plate 24well 	滴瓶與容量瓶 KMnO_4 	手機 iphone11 MWM22TA/A 

三、實驗裝置圖與手機 APP



圖五 實驗裝置圖、Color Picker 手機 APP 與微量移液管

參、研究過程或方法

一、過錳酸鉀氧化還原反應觀察

(一) 觀察 0.02M 過錳酸鉀與 37%過氧化氫在酸性 (1M H_2SO_4 水溶液)、中性 (H_2O)、鹼性 (1M NaOH 水溶液) 中的反應實驗步驟：

1. 在 24 孔盤上的 3 個位置依序滴入 8 滴 H_2SO_4 水溶液、 H_2O 、 NaOH 水溶液，再分別滴入 10 滴 H_2O_2 水溶液，輕輕地搖晃 24 孔盤，使溶液均勻混合。
2. 分別在步驟 1 的 3 個位置依序滴入 5 滴 KMnO_4 水溶液，快速且輕輕地搖晃 24 孔盤，使溶液均勻混合，觀察其顏色變化並用手機錄影紀錄之。

(二) 觀察 0.02M 過錳酸鉀與 0.1M 草酸鈉在酸性 (1M H_2SO_4 水溶液)、中性 (H_2O)、鹼性 (1M NaOH 水溶液) 中的反應實驗步驟：

1. 在 24 孔盤上的 3 個位置依序滴入 8 滴 H_2SO_4 水溶液、 H_2O 、 NaOH 水溶液，再分別滴入 10 滴草酸鈉水溶液，輕輕地搖晃 24 孔盤，使溶液均勻混合。
2. 分別在步驟 1 的 3 個位置依序滴入 5 滴 KMnO_4 水溶液，快速且輕輕地搖晃 24 孔盤，使溶液均勻混合，觀察其顏色變化並用手機錄影紀錄之。

- (三) 觀察 0.02M 過錳酸鉀、0.1M 草酸鈉與 1.0M 硫酸亞錳在酸性 (1M H₂SO₄ 水溶液)、中性 (H₂O)、鹼性 (1M NaOH 水溶液) 中的反應實驗步驟：
1. 在 24 孔盤上的 3 個位置依序滴入 8 滴 H₂SO₄ 水溶液、H₂O、NaOH 水溶液，再分別滴入 10 滴草酸鈉水溶液，輕輕地搖晃 24 孔盤，使溶液均勻混合。
 2. 分別在步驟 1 的 3 個位置依序滴入 5 滴 KMnO₄ 水溶液，輕輕地搖晃 24 孔盤，使溶液均勻混合。
 3. 分別在步驟 2 的 3 個位置依序滴入 2~3 滴硫酸亞錳水溶液，快速且輕輕地搖晃 24 孔盤，使溶液均勻混合，觀察其顏色變化並用手機錄影紀錄之。
- (四) 觀察 0.02M 過錳酸鉀與在高濃度鹼性溶液 (6M NaOH 水溶液) 中的反應實驗步驟：
1. 在 24 孔盤上的 1 個位置依序滴入 10 滴 6M NaOH 水溶液，再分別滴入 10 滴 KMnO₄ 水溶液，快速且輕輕地搖晃 24 孔盤，使溶液均勻混合，觀察其顏色變化並用手機錄影紀錄之。
- (五) 觀察化學變色龍的反應變化：
1. 化學變色龍的反應是由 0.02M 過錳酸鉀(KMnO₄)+1M 氫氧化鈉(NaOH)+0.094M 蔗糖(C₁₂H₂₂O₁₁)產生變化實驗步驟：
 - (1) 在 24 孔盤上的 1 個位置依序滴入 10 滴 1M NaOH 水溶液和 10 滴蔗糖，輕輕地搖晃 24 孔盤，使溶液均勻混合。
 - (2) 分別在步驟 1 的 1 個位置依序滴入 2 滴 0.02M KMnO₄，快速且輕輕地搖晃 24 孔盤，使溶液均勻混合，觀察其顏色變化並用手機錄影紀錄之。
 2. 體積測定：
 - (1) 利用滴瓶在 24 孔盤中的三個位置，分別滴入 20、30、40、50 滴蒸餾水，進行水平搖晃，觀察其搖晃情形。我們發現 20 滴的蒸餾水體積太小，側面觀察低於孔盤 1/2 高，反應可能不均，不易搖勻。30 滴的蒸餾水，側面觀察恰於孔盤 1/2 高，反應體積太小，不易觀察。40 滴的蒸餾水側面觀察高於孔盤 1/2 高，觀察較方便，反應體積大。而 50 滴的蒸餾水則會溢出孔盤，不適合此次實驗。
 - (2) 我們在 10 毫升量筒中滴入 40 滴蒸餾水，紀錄量筒刻度。
 3. 由過錳酸鉀與酸性的過氧化氫水溶液來進行單一顏色變化反應的 RGB 色彩探討實驗步驟：
 - (1) 在 24 孔盤上的 5 個位置依序加入 1M H₂SO₄ 溶液、0.02M KMnO₄ 溶液和蒸餾水，輕輕地搖晃 24 孔盤，使溶液均勻混合。
 - (2) 分別在步驟 1 的 5 個位置依序加入雙氧水，快速且輕輕地搖晃 24 孔盤，使溶液均勻混合，觀察其顏色變化並用手機錄影紀錄之。
 - (3) 重複步驟 1、2 二次，分析過錳酸鉀 RGB 變化。

孔盤位置	A1	A2	A3	A4	A5
37%雙氧水(mL)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
1M H ₂ SO ₄ (mL)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.02M KMnO ₄ (mL)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
蒸餾水(mL)	1.85	1.75	1.65	1.55	1.45

(六) 觀察 KMnO_4 、 NaOH 、 $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ 濃度對化學變色龍反應速率的影響

1. 以不同 KMnO_4 濃度進行化學變色龍反應實驗步驟：

(1) 在 24 孔盤上的 5 個位置依序滴入 1M NaOH 水溶液、蒸餾水和蔗糖溶液 (8g/250mL)，輕輕地搖晃 24 孔盤，使溶液均勻混合。滴入的 NaOH 水溶液和蔗糖溶液滴數如下：

孔盤位置	A1	A2	A3	A4	A5
1M NaOH 滴數	20	20	20	20	20
蔗糖(8g/250mL)滴數	20	20	20	20	20
0.02M KMnO_4 滴數	1	2	3	4	5
蒸餾水滴數	4	3	2	1	0

(2) 分別在步驟 1 的 5 個位置依序滴入 KMnO_4 溶液，快速且輕輕地搖晃 24 孔盤，使溶液均勻混合，觀察其顏色變化並用手機錄影紀錄之。

(3) 重複步驟 1、2 二次，並記錄之。

(七) 以 NaOH 不同濃度進行化學變色龍反應實驗步驟：

1. 在 24 孔盤上的 5 個位置依序滴入 1M NaOH 水溶液、蒸餾水和蔗糖 (8g/250mL)，輕輕地搖晃 24 孔盤，使溶液均勻混合。滴入的 NaOH 水溶液和蔗糖溶液滴數如下：

孔盤位置	B1	B2	B3	B4	B5
1M NaOH 滴數	4	8	12	16	20
蔗糖(8g/250mL)滴數	20	20	20	20	20
0.02M KMnO_4 滴數	2	2	2	2	2
蒸餾水滴數	16	12	8	4	0

2. 分別在步驟 1 的 5 個位置依序滴入 KMnO_4 溶液，快速且輕輕地搖晃 24 孔盤，使溶液均勻混合，觀察其顏色變化並用手機錄影紀錄之。

3. 重複步驟 1、2 二次，並記錄之。

(八) 以蔗糖不同濃度進行化學變色龍反應實驗步驟：

1. 在 24 孔盤上的 5 個位置依序滴入 1M NaOH 水溶液、蒸餾水和蔗糖溶液 (8g/250mL)，輕輕地搖晃 24 孔盤，使溶液均勻混合。滴入的 NaOH 水溶液和蔗糖溶液滴數如下：

孔盤位置	C1	C2	C3	C4	C5
1M NaOH 滴數	20	20	20	20	20
蔗糖(8g/250mL)滴數	4	8	12	16	20
0.02M KMnO_4 滴數	2	2	2	2	2
蒸餾水滴數	16	12	8	4	0

2. 分別在步驟 1 的 5 個位置依序滴入 KMnO_4 溶液，快速且輕輕地搖晃 24 孔盤，使溶液均勻混合，觀察其顏色變化並用手機錄影紀錄之。

3. 重複步驟 1、2 二次，並記錄之。

(九) 上述步驟 (六) ~ (八) 更換為微量移液管進行實驗，溶液的體積如下。

1. 使用微量移液管
2. 配製藥品 0.02M KMnO_4 (0.316g/100mL) 1M NaOH (10g/250mL)

0.094M $C_{12}H_{22}O_{11}$ (8g/250mL) H_2O ，共 2.25mL

(1)改變 $KMnO_4$ 濃度

孔盤位置	A1	A2	A3	A4	A5
$KMnO_4$ (mL)	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25
NaOH(mL)	1	1	1	1	1
$C_{12}H_{22}O_{11}$ (mL)	1	1	1	1	1
H_2O (mL)	0.2	0.15	0.1	0.05	0

(2)改變 NaOH 濃度

孔盤位置	B1	B2	B3	B4	B5
$KMnO_4$ (mL)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
NaOH(mL)	0.2	0.4	0.6	0.8	1
$C_{12}H_{22}O_{11}$ (mL)	1	1	1	1	1
H_2O (mL)	0.95	0.75	0.55	0.35	0.15

(3)改變 $C_{12}H_{22}O_{11}$ 濃度

孔盤位置	C1	C2	C3	C4	C5
$KMnO_4$ (mL)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
NaOH(mL)	1	1	1	1	1
$C_{12}H_{22}O_{11}$ (mL)	0.2	0.4	0.6	0.8	1
H_2O (mL)	0.95	0.75	0.55	0.35	0.15

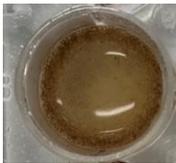
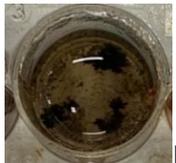
肆、研究結果

一、 $KMnO_4$ 氧化還原反應觀察

(一) 觀察 0.02M $KMnO_4$ 與 37% 過氧化氫在酸性 (1M H_2SO_4 水溶液)、中性 (H_2O)、鹼性 (1M NaOH 水溶液) 中的反應：

1. $KMnO_4$ 與 37% 過氧化氫在 H_2SO_4 水溶液、 H_2O 和 NaOH 水溶液反應會產生 O_2 。剛開始滴入 $KMnO_4$ 時在酸中不明顯(圖六 A-1)，在中性時產生較多的氣泡(圖六 B-1)，則在鹼性時產生的氣泡最多(圖六 C-1)。
2. $KMnO_4$ 與 37% 過氧化氫 H_2SO_4 水溶液反應後會呈現透明 (圖六 A-2)，其產物為淡粉紅色的 Mn^{2+} ；與 H_2O 反應後會呈黃棕色沉澱 (圖六 B-2)，其產物為 MnO_2 ；與 NaOH 水溶液反應後溶液呈黃綠色且有沉澱 (圖六 C-2)，推測產物有 MnO_4^{2-} 使溶液呈綠色，且產生黃棕色 MnO_2 沉澱。
3. 我們發現 $KMnO_4$ 與 37% 過氧化氫反應皆在數秒內完成，在中性環境下的速率最快，鹼性其次，酸性最慢。

	酸性 (1M H_2SO_4 水溶液)	中性 (H_2O)	鹼性 (1M NaOH 水溶液)
剛滴入 $KMnO_4$ 溶液	 圖 A-1	 圖 B-1	 圖 C-1

反應後	 圖 A-2	 圖 B-2	 圖 C-2
-----	---	---	---

圖六 KMnO_4 與 H_2O_2 在酸性、中性、鹼性中的反應

(二) 觀察 0.02M KMnO_4 與 0.1M 草酸鈉在酸性 ($1\text{M H}_2\text{SO}_4$ 水溶液)、中性 (H_2O)、鹼性 (1M NaOH 水溶液) 中的反應：

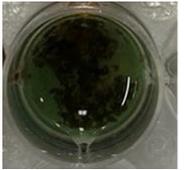
- 0.02M KMnO_4 與 0.1M 草酸鈉在 H_2SO_4 水溶液、 H_2O 和 NaOH 水溶液皆沒有觀察到氣泡 (圖七)。
- 0.1M 草酸鈉在 H_2SO_4 水溶液、 H_2O 、 NaOH 水溶液下，滴入 0.02M KMnO_4 後超過 10 分鐘，溶液仍然呈現紫色，與一開始滴入 KMnO_4 時相同 (圖七)。

	酸性 ($1\text{M H}_2\text{SO}_4$ 水溶液)	中性 (H_2O)	鹼性 (1M NaOH 水溶液)
滴入 KMnO_4 後經過 10 分鐘	 圖 A	 圖 B	 圖 C

圖七 KMnO_4 、 $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 在酸性、中性、鹼性中的反應

(三) 觀察 0.02M KMnO_4 、 0.1M 草酸鈉與 1.0M 硫酸亞錳在酸性 ($1\text{M H}_2\text{SO}_4$ 水溶液)、中性 (H_2O)、鹼性 (1M NaOH 水溶液) 中的反應：

- 呈數據分析(二)，我們在溶液中繼續添加 2-3 滴 1.0M 硫酸亞錳，我們開始看到溶液發生變化，紫紅色褪至無色 (圖八 A)，紫紅色變化呈深棕色 (圖八 B)，紫紅色變化呈綠色且有沉澱 (圖八 C)。

	酸性 ($1\text{M H}_2\text{SO}_4$ 水溶液)	中性 (H_2O)	鹼性 (1M NaOH 水溶液)
再加入 2-3 滴 硫酸亞錳	 圖 A	 圖 B	 圖 C

圖八 KMnO_4 、 $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 及 MnSO_4 在酸性、中性、鹼性中的反應

(四) 觀察 0.02M KMnO_4 在高濃度鹼性溶液 (6M NaOH 水溶液) 中的反應：

- 0.02M KMnO_4 在 6M NaOH 水溶液中反應緩慢，無氣泡產生。
- 0.02M KMnO_4 與 6M NaOH 水溶液在 6M NaOH 水溶液反應顏色變化如圖九。

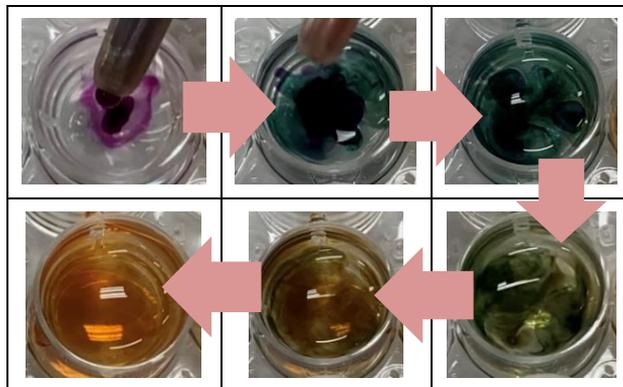
	一開始滴入 KMnO_4 呈深紫色	15 分鐘後溶液呈綠色且有沉澱
0.02M KMnO_4 與 6M NaOH 水溶液反應的顏色變化	 圖 A	 圖 B

圖九 KMnO_4 在 6M NaOH 水溶液中的反應

(五) 觀察化學變色龍的反應變化：

化學變色龍的反應是由 $\text{KMnO}_4 + \text{NaOH} + \text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ 產生變化

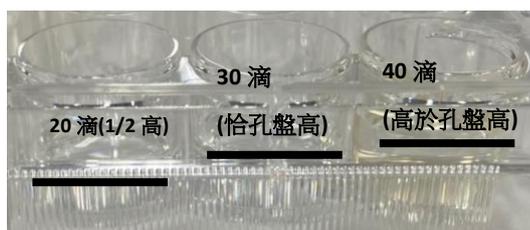
1. KMnO_4 水溶液+ NaOH 水溶液+ $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ 反應顏色變化依序為紫、藍、藍綠、綠、黃綠、黃棕(如圖十)。
2. KMnO_4 水溶液+ NaOH 水溶液+ $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ 反應時間由紫色變為黃色約花費 30 秒。
3. 將溶液靜置一陣子，在黃棕色的溶液中可觀察到溶液褪成清澈透明且有沉澱產生，推測產物為 MnO_2 。



圖十 化學變色龍的反應紀錄

二、體積測定

(一) 以不同滴數的蒸餾水測試適合觀察的體積大小



圖十一 不同體積的蒸餾水在 24 孔盤高度

我們發現 20 滴的蒸餾水體積太小，側面觀察低於孔盤 1/2 高，反應可能不均，不易搖勻。30 滴的蒸餾水，側面觀察恰於孔盤 1/2 高，反應體積太小、不易觀察。40 滴的蒸餾水側面觀察高於孔盤 1/2 高，觀察較方便，反應體積大。而 50 滴的蒸餾水將會溢出孔盤，不適合此次實驗。

(二) 測量 40 滴蒸餾水的體積我們在 10 毫升量筒中滴入 40 滴蒸餾水，觀察量筒刻度為 2 毫升。

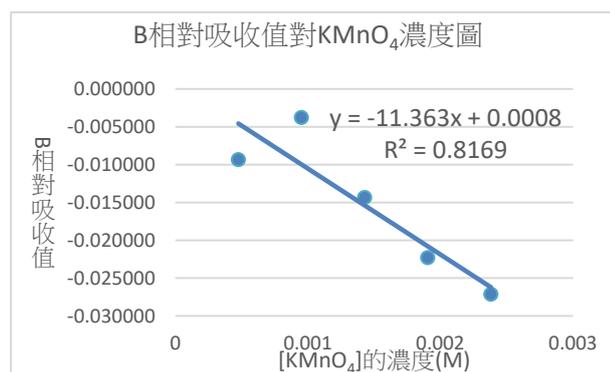
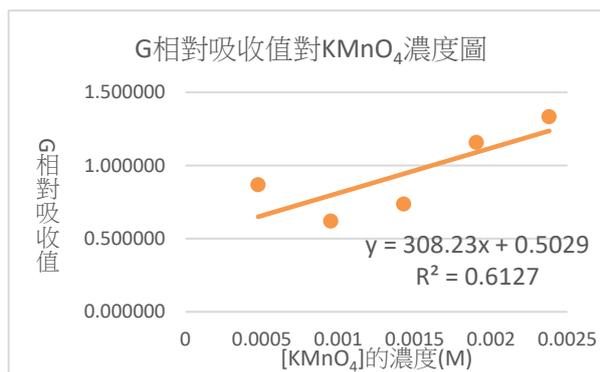
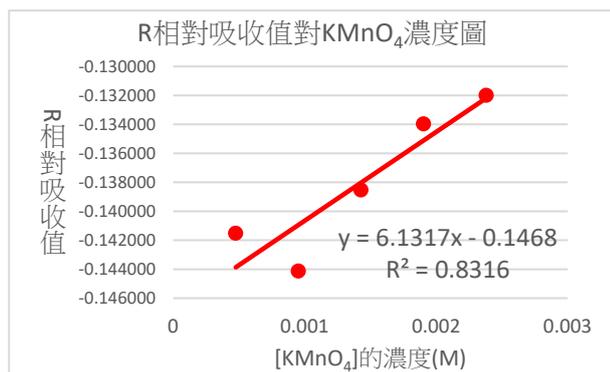
三、由過錳酸鉀與酸性的過氧化氫水溶液來進行單一顏色變化反應的 RGB 色彩探討
分別在反應槽中滴入不同濃度的過錳酸鉀，並觀察其反應前反應後的顏色變化(如圖十二)，並以 RGB 色彩分析法分析其 RGB 平均值與 RGB 相對吸收值。

	反應前：剛滴入過錳酸鉀	反應後：過了數秒後
錳酸鉀與酸性的過氧化氫水溶液反應	 圖 A	 圖 B

圖十二 過錳酸鉀與酸性的過氧化氫水溶液反應紀錄

表一 反應前的 RGB 平均值與相對吸收值

圖例	實驗組別	KMnO ₄ (M)	RGB 平均值			RGB 相對吸收值		
			R	G	B	R	G	B
●	第一組	0.00047619	135.0833	0.0833	93.3333	-0.1415	0.8689	-0.009361
●	第二組	0.00095238	100.0000	0.3333	67.7500	-0.1441	0.6196	-0.003783
●	第三組	0.00142857	67.9167	3.0000	47.9167	-0.1385	0.7362	-0.01437
●	第四組	0.00190476	51.0000	3.3333	37.0000	-0.1339	1.1578	-0.02232
●	第五組	0.00238095	46.6667	1.8333	34.2500	-0.1319	1.3337	-0.02714



圖十三

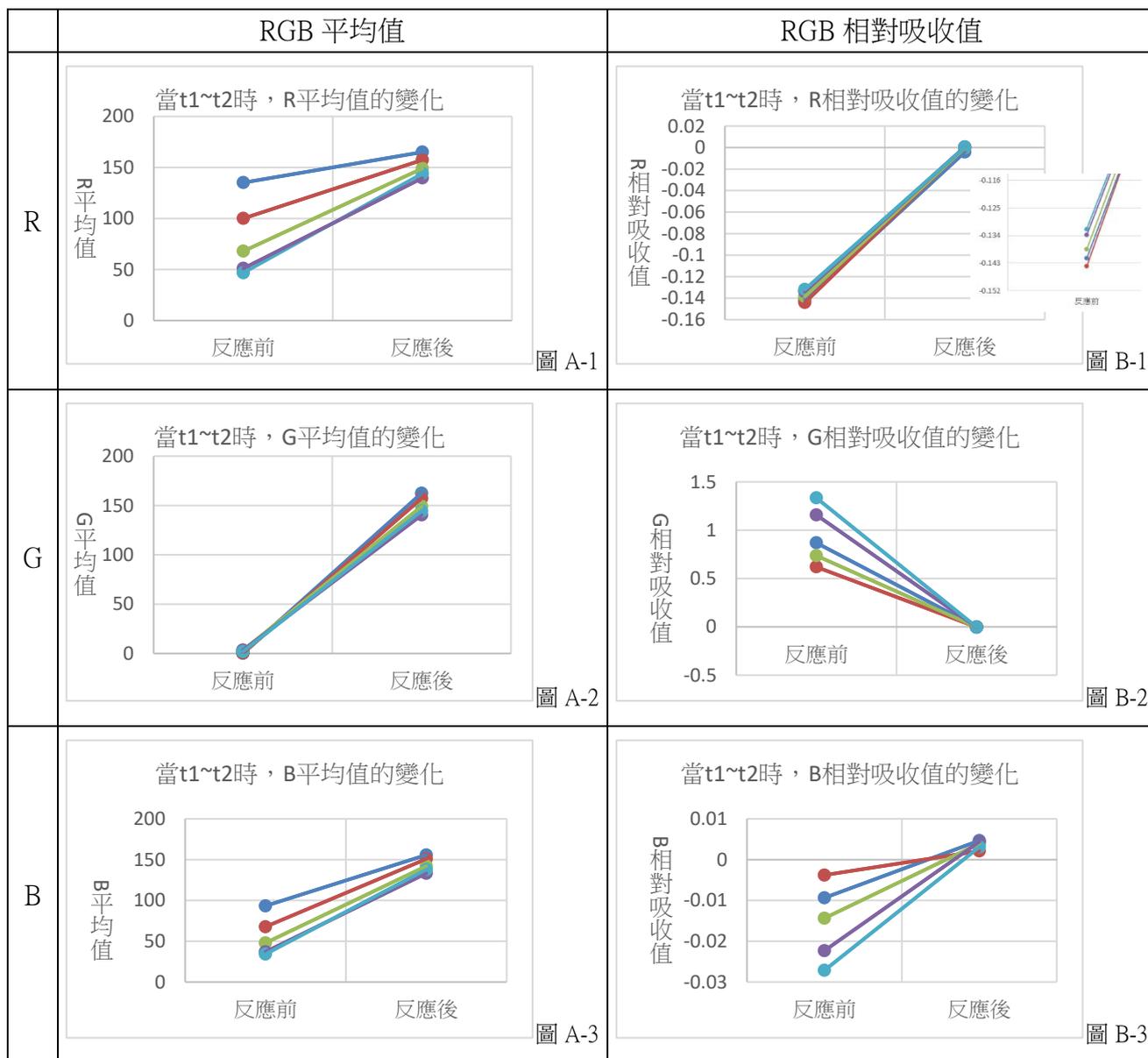
反應前 R 相對吸收值對 KMnO₄ 濃度圖(左上圖)、
反應前 G 相對吸收值對 KMnO₄ 濃度圖(右上圖)
及反應前 B 相對吸收值對 KMnO₄ 濃度圖(左圖)

由於過錳酸鉀濃度成梯度變化，因此 RGB 相對吸收值對 KMnO₄ 濃度圖也會成梯度變化。左上圖可知 R 相對吸收值的 R 平方值為 0.8216 屬於高度正相關，B 相對吸收值的 R 平方值為 0.8169，斜率為負屬於高度負相關，而 G 相對吸收值的 R 平方值只有 0.6127，和反應前的過錳酸鉀濃度相關性不高，因此可以用 R 值和 B 值觀察濃度變化。

根據反應前的 RGB 值和反應後的 RGB 值比較它們的平均值和相對吸收值整理成下方六個圖表。

表二 反應後的 RGB 平均值與相對吸收值

圖例	實驗組別	KMnO ₄ (M)	RGB 平均值			RGB 相對吸收值		
			R	G	B	R	G	B
●	第一組	0.000476	165.0000	162.4167	155.7500	0.5914	0.5821	0.5581
●	第二組	0.000952	157.3333	157.1667	150.8333	0.5855	0.5849	0.5614
●	第三組	0.001429	149.0000	149.0833	142.0833	0.5862	0.5864	0.5590
●	第四組	0.001905	139.5833	140.3333	133.2500	0.5850	0.5882	0.5584
●	第五組	0.002381	144.0833	144.4167	137.9167	0.5851	0.5865	0.5601



圖十四 反應前後 RGB 平均值的變化(左圖)及 RGB 相對吸收值的變化(右圖)

我們比較 R 平均值反應前後圖(圖 A-1)與經過相對吸收值公式運算後得到 R 相對吸收值反應前後圖(圖 B-1)，發現 R 相對吸收值反應前後圖(圖 B-1)的五組實驗成等差排列與 KMnO_4 濃度呈正相關。同理，我們發現 G 平均值反應前後圖(圖 A-2)與 G 相對吸收值反應前後圖(圖 B-2)、B 平均值反應前後圖(圖 A-3)與 B 相對吸收值反應前後圖(圖 B-3)也都有相同現象，G 相對吸收值與 B 相對吸收值與 KMnO_4 濃度也呈正相關。

四、觀察 KMnO_4 、 NaOH 、 $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ 濃度對化學變色龍反應速率的影響

(一) 以不同 KMnO_4 濃度進行化學變色龍反應

1. 在相同的 NaOH 水溶液及 $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ 水溶液進行反應，由下表知，當 KMnO_4 水溶液滴數越多時， $t_2-t_0(\text{s})$ 越長。
2. 計算反應時 NaOH 水溶液、 KMnO_4 水溶液和 $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ 水溶液的濃度：

$$[\text{NaOH}] = \frac{1\text{M} \times \text{滴入 NaOH 溶液滴數}}{\text{蒸餾水滴數} + \text{NaOH 水溶液滴數} + \text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}\text{滴數} + \text{KMnO}_4\text{水溶液滴數}}$$

$$[\text{KMnO}_4] = \frac{0.02\text{M} \times \text{滴入 KMnO}_4\text{溶液滴數}}{\text{蒸餾水滴數} + \text{NaOH 水溶液滴數} + \text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}\text{滴數} + \text{KMnO}_4\text{水溶液滴數}}$$

$$[C_{12}H_{22}O_{11}] = \frac{0.094M \times \text{滴入} C_{12}H_{22}O_{11} \text{ 溶液滴數}}{\text{蒸餾水滴數} + \text{NaOH 水溶液滴數} + C_{12}H_{22}O_{11} \text{ 滴數} + \text{KMnO}_4 \text{ 水溶液滴數}}$$

3. 反應速率計算，以實驗組別 11 為例：

$$r = \frac{-\Delta[\text{KMnO}_4]}{\Delta t}, r = \frac{0.000476}{11.0} = 4.35 \times 10^{-5} \left(\frac{M}{s}\right) \quad r \propto (\text{KMnO}_4 \text{ 水溶液滴數}/t)$$

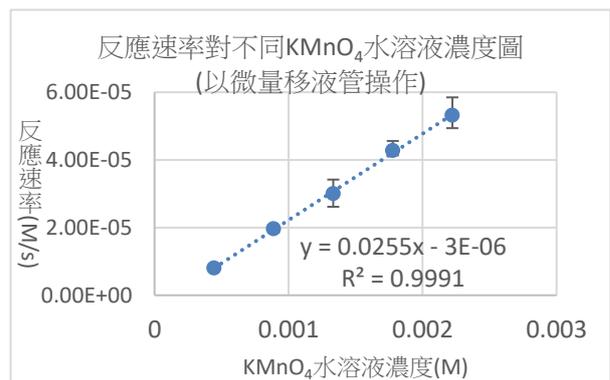
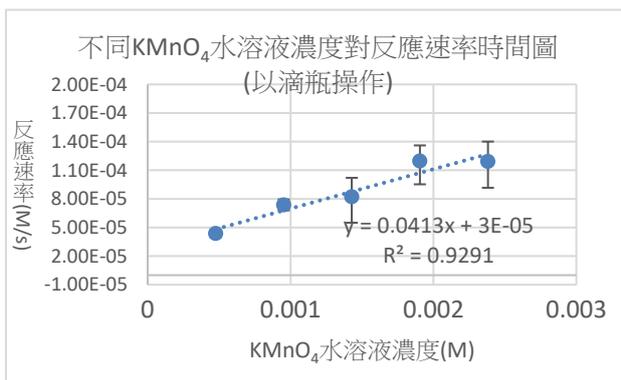
4. 由表三可知，我們發現 KMnO₄ 濃度越濃，雖然反應時間變長，但經由反應速率計算，我們可以知道反應速率其實是越快。

表三 不同 KMnO₄ 濃度的化學變色龍反應速率(以滴瓶操作，上表)及不同 KMnO₄ 濃度的化學變色龍反應速率(以微量移液管操作，下表)

我們將 KMnO₄ 的滴數轉化成濃度，對反應速率作圖。我們發現反應速率會正比於 KMnO₄ 濃度，並呈現直線關係。

實驗組別	KMnO ₄ 水溶液 (滴數)	t ₂ -t ₀ (s)	r α (KMnO ₄ 水溶液滴數/t)	NaOH(M)	KMnO ₄ (M)	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁ (M)	r(M/s)
11	1	11.0	0.091	0.476	0.000476	0.0447	4.35E-05
12	2	13.0	0.154	0.476	0.000952	0.0447	7.36E-05
13	3	18.7	0.172	0.476	0.001429	0.0447	8.21E-05
14	4	16.3	0.251	0.476	0.001905	0.0447	1.19E-04
15	5	20.7	0.250	0.476	0.002381	0.0447	1.19E-04

實驗組別	KMnO ₄ 水溶液 (mL)	t ₂ -t ₀ (s)	r(mL/t)	NaOH(M)	KMnO ₄ (M)	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁ (M)	r(M/s)
1	0.05	56	0.00090	0.444	0.000444	0.0418	8.02E-06
2	0.1	45	0.00221	0.444	0.000889	0.0418	1.96E-05
3	0.15	45	0.00337	0.444	0.001333	0.0418	3.00E-05
4	0.2	41	0.00481	0.444	0.00178	0.0418	4.28E-05
5	0.25	42	0.00598	0.444	0.002222	0.0418	5.32E-05



圖十五 反應速率對不同 KMnO₄ 水溶液濃度圖 (以滴瓶操作，左圖)及反應速率對不同 KMnO₄ 水溶液濃度圖 (以微量移液管操作，右圖)

根據上圖，比較利用滴瓶操作與利用微量移液管操作，我們發現左圖及右圖的反應速率皆與溶液的濃度呈高度正相關，不過右圖 R 值的反應速率相關係數較左圖高，由此得知使用微量移液管的準確度較高。

(二) 以 NaOH 不同濃度進行化學變色龍反應

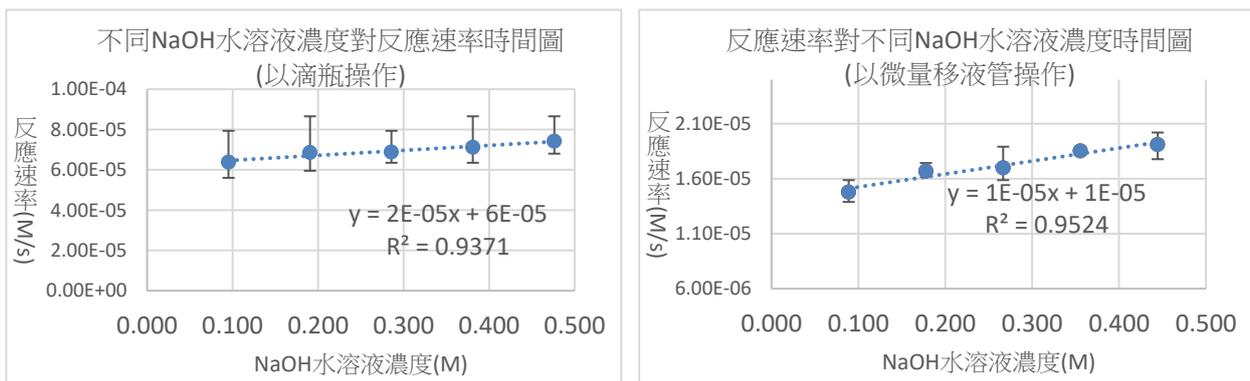
1. 在相同的 KMnO_4 水溶液及 $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ 水溶液進行反應，由下表知，當 NaOH 水溶液滴數越多時， $t_2-t_0(\text{s})$ 越短。
2. 計算反應時 NaOH 水溶液、 KMnO_4 水溶液和 $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ 水溶液的濃度反應速率同第三部分的(一)2. (2)計算
3. 由表知，我們發現 NaOH 濃度越濃，反應時間變短，經由反應速率計算，我們可以知道反應速率也越來越快。

表四 不同 NaOH 濃度的化學變色龍反應速率(以滴瓶操作，上表)及不同 NaOH 濃度的化學變色龍反應速率(以微量移液管操作，下表)

實驗組別	NaOH 水溶液 (滴數)	$t_2-t_0(\text{s})$	$1/t$	NaOH(M)	$\text{KMnO}_4(\text{M})$	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}(\text{M})$	$r(\text{M/s})$
1	4	15.3	0.067	0.095	0.000952	0.0447	6.38E-05
2	8	14.3	0.072	0.190	0.000952	0.0447	6.85E-05
3	12	14.0	0.072	0.286	0.000952	0.0447	6.88E-05
4	16	13.7	0.075	0.381	0.000952	0.0447	7.12E-05
5	20	13.0	0.078	0.476	0.000952	0.0447	7.42E-05

實驗組別	NaOH 水溶液 (mL)	$t_2-t_0(\text{s})$	$r(1/t)$	NaOH(M)	$\text{KMnO}_4(\text{M})$	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}(\text{M})$	$r(\text{M/s})$
6	0.2	60.3	0.017	0.089	0.000889	0.0418	1.48E-05
7	0.4	53.3	0.019	0.178	0.000889	0.0418	1.67 E-05
8	0.6	52.7	0.019	0.267	0.000889	0.0418	1.70 E-05
9	0.8	48.0	0.021	0.356	0.000889	0.0418	1.85E-05
10	1	46.7	0.021	0.444	0.000889	0.0418	1.91E-05

我們將 NaOH 的滴數轉化成濃度，對反應速率作圖。我們發現反應速率會正比於 NaOH 濃度，並呈現直線關係。



圖十六 反應速率對不同 NaOH 水溶液濃度圖 (以滴瓶操作，左圖)及反應速率對不同 NaOH 水溶液濃度圖 (以微量移液管操作，右圖)

(三) 以 $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ 不同濃度進行化學變色龍反應

1. 在相同的 KMnO_4 水溶液及 NaOH 水溶液進行反應，由下表知，當 $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ 水溶液滴數越多時， $t_2-t_0(\text{s})$ 越短。
2. 計算反應時 NaOH 水溶液、 KMnO_4 水溶液和 $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ 水溶液的濃度及反應速率的方式同第三部分(一)2.(2)

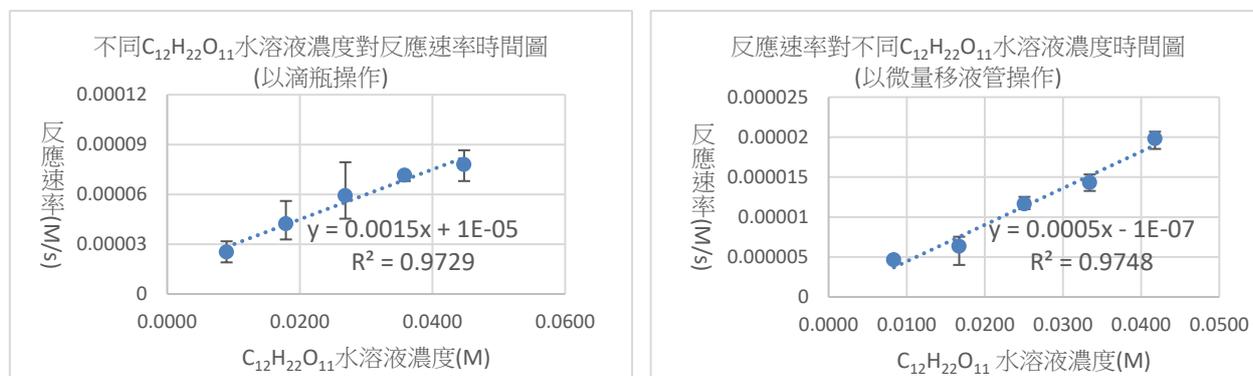
3. 由表知，我們發現 $C_{12}H_{22}O_{11}$ 濃度越濃，反應時間變短，經由反應速率計算，我們可以知道反應速率會越來越快。

表五 不同 $C_{12}H_{22}O_{11}$ 濃度的化學變色龍反應速率(以滴瓶操作，上表)及不同 $C_{12}H_{22}O_{11}$ 濃度的化學變色龍反應速率(以微量移液管操作，下表)

實驗組別	$C_{12}H_{22}O_{11}$ 水溶液 (滴數)	t=t2-t0(s)	1/t	NaOH(M)	KMnO ₄ (M)	$C_{12}H_{22}O_{11}$ (M)	r(M/s)
6	4	39.3	0.027	0.476	0.000952	0.0090	2.53E-05
7	8	23.7	0.044	0.476	0.000952	0.0179	4.23E-05
8	12	17.0	0.062	0.476	0.000952	0.0269	5.92E-05
9	16	13.3	0.075	0.476	0.000952	0.0358	7.15E-05
10	20	12.3	0.082	0.476	0.000952	0.0448	7.8E-05

實驗組別	$C_{12}H_{22}O_{11}$ 水溶液 (mL)	t=t2-t0(s)	r(1/t)	NaOH(M)	KMnO ₄ (M)	$C_{12}H_{22}O_{11}$ (M)	r(M/s)
11	0.2	191.3	0.005	0.444	0.000889	0.0084	4.65E-06
12	0.4	153.0	0.007	0.444	0.000889	0.0167	6.34E-06
13	0.6	76.7	0.013	0.444	0.000889	0.0251	1.16E-05
14	0.8	62.3	0.016	0.444	0.000889	0.0334	1.43E-05
15	1	45.0	0.022	0.444	0.000889	0.0418	1.98E-05

我們將 $C_{12}H_{22}O_{11}$ 的滴數轉化成濃度，對反應速率作圖。我們發現反應速率會正比於 $C_{12}H_{22}O_{11}$ 濃度，並呈現直線關係。



圖十七 反應速率對不同 $C_{12}H_{22}O_{11}$ 水溶液濃度圖 (以滴瓶操作，左圖)及反應速率對不同 $C_{12}H_{22}O_{11}$ 水溶液濃度圖 (以微量移液管操作，右圖)

根據上圖，比較利用滴瓶操作與利用微量移液管操作，我們發現左圖及右圖的反應速率皆與溶液的濃度呈高度正相關，不過右圖 R 平方值的反應速率相關係數較左圖高，由此得知使用微量移液管的準確度較高。

五、過錳酸鉀在化學變色龍中 RGB 之探討

(一) 我們以「不同 KMnO₄ 濃度進行化學變色龍反應實驗」中的第 11 至 15 組實驗進行探討，分別分析 t₀、t₁、t₂ 時溶液顏色的 RGB 值，根據圓形十字法及 RGB 理論的公式如下：

$$\text{公式一、平均值}((R1 + R2 + R3 + R4)/4, (G1 + G2 + G3 + G4)/4,$$

$$(B1 + B2 + B3 + B4)/4)$$

$$\text{公式二、R,G,B 標準化值} = \frac{r,g,b}{\sqrt{r^2+g^2+b^2}}$$

R,G,B：RGB 標準化值；r,g,b：圓心十字法的 RGB 值平均

$$\text{公式三、} A_{R/G/B} \text{ 相對吸收值} = -\log_{10} \frac{R_s/G_s/B_s}{R_c/G_c/B_c}$$

A：相對吸收值代表濃度，Rs/Gs/Bs：實驗的 RGB 標準化值，Rc/Gc/Bc：背景 RGB 標準化值

我們計算出背景 RGB 值及 RGB 標準化值：

表六：背景的 RGB 及 RGB 標準化值

	R	G	B
背景值	194	194	185
RGB 標準化值	0.292381	0.071773	0.231941

並計算出第 11 至 15 組實驗的 RGB 值、RGB 標準化值及 RGB 相對吸收值，第 11 組的結果如表七所示。

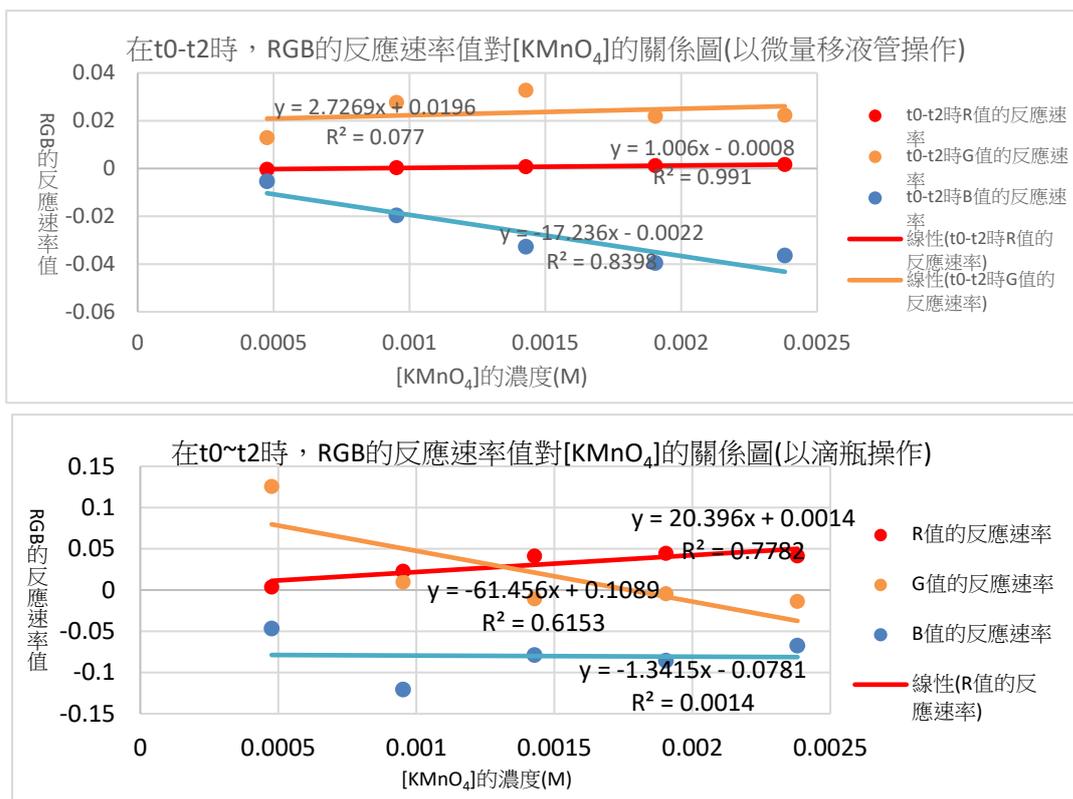
表七 第 11 組 RGB 值、RGB 標準化值及 RGB 相對吸收值

圓心十字法取 RGB 值	t0			t1			t2		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
第一組	49	0	45	110	103	47	156	139	102
第二組	52	0	41	102	94	34	145	85	8
第三組	65	8	59	83	78	20	134	95	36
第四組	60	2	52	128	120	71	184	153	101
平均值	56.5	2.5	49.3	105.8	98.8	43.0	154.8	118.0	61.8
RGB 標準化值	0.753	0.033	0.657	0.701	0.654	0.285	0.758	1.041	0.545
RGB 相對吸收值	-0.411	0.333	-0.452	-0.380	-0.960	-0.089	-0.414	-1.162	-0.371

(一) 由第 11 至 15 組的 RGB 相對吸收值，計算 t0-t2 RGB 的反應速率，並做出 RGB 的反應速率值對[KMnO₄]的關係圖，見表八及圖十八。

表八 第 11 至 15 組在 t0-t2 時 RGB 值反應速率(以滴瓶操作，左表)及第 1 至 5 組在 t0-t2 時 RGB 值反應速率(以微量移液管操作，右表)

實驗組別	KMnO ₄ (M)	t0-t2 時 R 值的反應速率	t0-t2 時 G 值的反應速率	t0-t2 時 B 值的反應速率	實驗組別	KMnO ₄ (M)	t0-t2 時 R 值的反應速率	t0-t2 時 G 值的反應速率	t0-t2 時 B 值的反應速率
11	0.000476	0.0034	0.1254	-0.0469	1	0.000444	-0.000356	0.01286	-0.005400
12	0.000952	0.0227	0.0095	-0.1208	2	0.000889	0.000317	0.02763	-0.019666
13	0.001429	0.0411	-0.0109	-0.0790	3	0.001333	0.000660	0.03270	-0.032791
14	0.001905	0.0443	-0.0046	-0.0858	4	0.00178	0.001138	0.02183	-0.039603
15	0.002381	0.0412	-0.0139	-0.0676	5	0.002222	0.001627	0.02225	-0.036473



圖十八 在 t0~t2 時，RGB 的反應速率值對[KMnO₄]的關係圖(以滴瓶操作，上圖) 及在 t0~t2 時，以微量移液管測得 RGB 的反應速率值對[KMnO₄]的關係圖(以微量移液管操作，下圖)

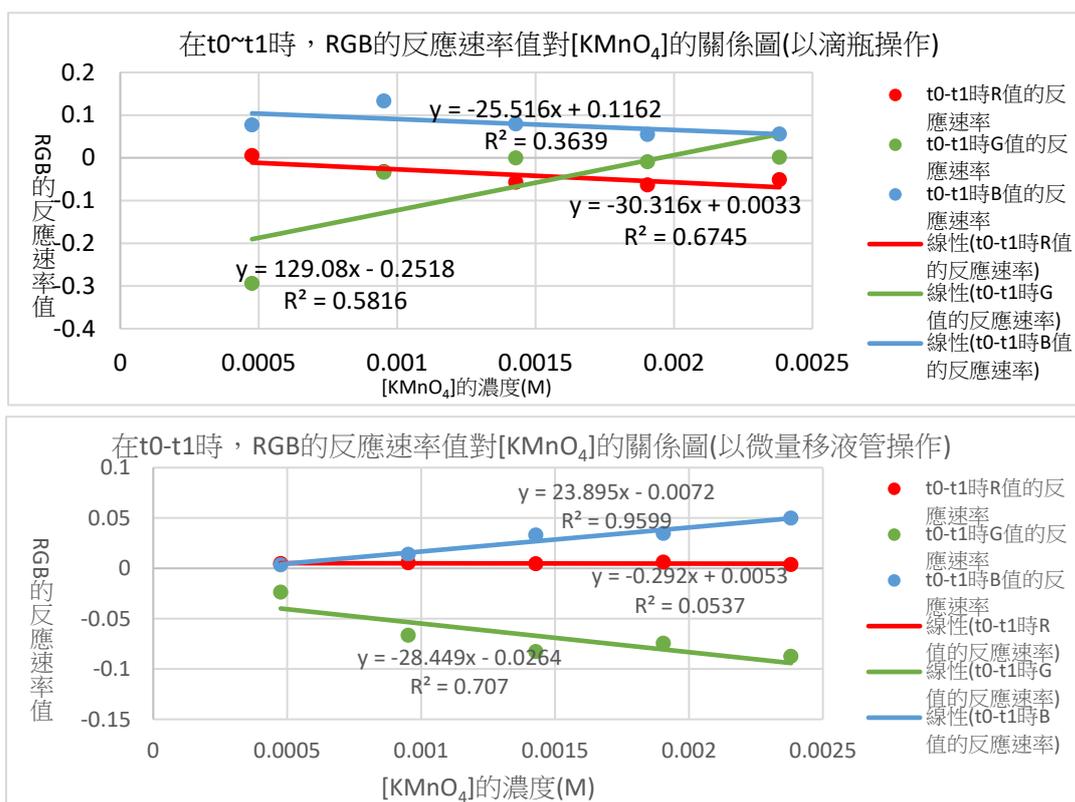
由上表可知在 t0-t2 時，使用滴瓶進行的實驗如上圖，當[KMnO₄]越高時 R 值也會增高。使用微量移液管的實驗如下圖，當[KMnO₄]越高時 R、G 值也會增高。比較以微量移液管進行實驗的 R 值與 G 值，我們發現 R 值的反應速率相關係數較 G 值高，因此以觀察 R 值為準。比較以滴瓶進行實驗的 R 值與以微量移液管進行實驗的 R 值，我們發現以微量移液管進行實驗的 R 值反應速率相關係數較以滴瓶進行實驗的 R 值高，由此得知使用微量移液管的準確度較高。

由以滴瓶進行實驗可知在 t0-t2 時，當[KMnO₄]越高時 R 值也會增高。

(二) 由第 11 至 15 組的 RGB 相對吸收值，計算 t0-t1 RGB 的反應速率，並做出 RGB 的反應速率值對[KMnO₄]的關係圖，如下：

表九 第 11 至 15 組在 t0~t1 時的 RGB 值反應速率(以滴瓶操作，左表)及第 1 至 5 組在 t0~t1 時的 RGB 值反應速率(以微量移液管操作，右表)

實驗組別	KMnO ₄ (M)	t0-t1 時 R 值的反應速率	t0-t1 時 G 值的反應速率	t0-t1 時 B 值的反應速率	實驗組別	KMnO ₄ (M)	t0-t1 時 R 值的反應速率	t0-t1 時 G 值的反應速率	t0-t1 時 B 值的反應速率
11	0.000476	0.00517	-0.29399	0.07703	1	0.000476	0.00463	-0.02378	0.00331
12	0.000952	-0.03251	-0.03422	0.13280	2	0.000952	0.00541	-0.06660	0.01383
13	0.001429	-0.05738	-0.00036	0.07908	3	0.001429	0.00453	-0.08276	0.03298
14	0.001905	-0.06368	-0.00960	0.05429	4	0.001905	0.00610	-0.07447	0.03460
15	0.002381	-0.05142	0.00102	0.05554	5	0.002381	0.00359	-0.08758	0.04982



圖十九 在 t0~t1 時，RGB 的反應速率值對 [KMnO₄] 的關係圖(以滴瓶操作，上圖) 及在 t0~t2 時，以微量移液管測得 RGB 的反應速率值對 [KMnO₄] 的關係圖(以微量移液管操作，下圖)

由上表可知在 t0-t1 時，使用滴瓶進行的實驗如上圖，當 [KMnO₄] 越高 G 值也會增高。使用微量移液管的實驗如下圖，當 [KMnO₄] 越高時 B 值也會增高。比較上圖的 G 值與下圖的 B 值，我們發現下圖的 B 值反應速率相關係數較上圖的 G 值高，由此得知使用微量移液管的準確度較高。

由上表可知在 t0-t1 時利用滴瓶操作，當 [KMnO₄] 越高 G 值也會增高，則在 t0-t1 時利用微量移液管操作，當 [KMnO₄] 越高 B 值也會增高。

五、利用對數推論反應速率常數

分別以 KMnO₄、NaOH、C₁₂H₂₂O₁₁ 當操縱變因，比較以滴數計算出的反應速率取 log，與以體積計算出的反應速率取 log，並分析反應速率常數。

表十 利用滴瓶測得不同濃度的 KMnO₄ 化學變色龍反應速率

實驗組別	KMnO ₄ 水溶液 (滴數)	t2-t0(s)	NaOH(M)	KMnO ₄ (M)	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁ (M)	r(M/s)	log r	log[KMnO ₄]
11	1	55.7	0.444	0.000444	0.0418	7.98E-06	-5.09804	-3.352182518
12	2	50.0	0.444	0.000888	0.0418	1.78E-05	-4.75012	-3.051152522
13	3	44.0	0.444	0.00133	0.0418	3.03E-05	-4.51851	-2.875061263
14	4	45.0	0.444	0.00178	0.0418	3.95E-05	-4.40334	-2.750122527
15	5	50.7	0.444	0.00222	0.0418	4.38E-05	-4.35822	-2.653212514

表十一 利用微量移液管測得不同濃度的 KMnO_4 化學變色龍反應速率

實驗組別	KMnO_4 水溶液 (mL)	t_2-t_0 (s)	NaOH (M)	KMnO_4 (M)	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ (M)	r (M/s)	$\log r$	$\log[\text{KMnO}_4]$
1	0.05	56.0	0.476	0.000476	0.444	8.50E-06	-5.07058	-3.322393047
2	0.1	45.3	0.476	0.000952	0.444	2.10E-05	-4.67778	-3.021363052
3	0.15	45.0	0.476	0.001429	0.444	3.18E-05	-4.49818	-2.844967771
4	0.2	41.7	0.476	0.001905	0.444	4.57E-05	-4.33989	-2.720105021
5	0.25	42.0	0.476	0.002381	0.444	5.67E-05	-4.24649	-2.623240605

表十二 利用滴瓶測得不同濃度的 NaOH 化學變色龍反應速率

實驗組別	NaOH 水溶液 (滴數)	t_2-t_0 (s)	NaOH (M)	KMnO_4 (M)	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ (M)	r (M/s)	$\log r$	$\log[\text{NaOH}]$
1	4	60.3	0.08889	0.000889	0.0418	1.47E-05	-4.83171	-1.051152522
2	8	53.3	0.17778	0.000889	0.0418	1.67E-05	-4.77815	-0.750122527
3	12	52.7	0.26667	0.000889	0.0418	1.69E-05	-4.77269	-0.574031268
4	16	48.0	0.35556	0.000889	0.0418	1.85E-05	-4.73239	-0.449092531
5	20	46.7	0.44444	0.000889	0.0418	1.90E-05	-4.72016	-0.352182518

表十三 利用微量移液管測得不同濃度的 NaOH 化學變色龍反應速率

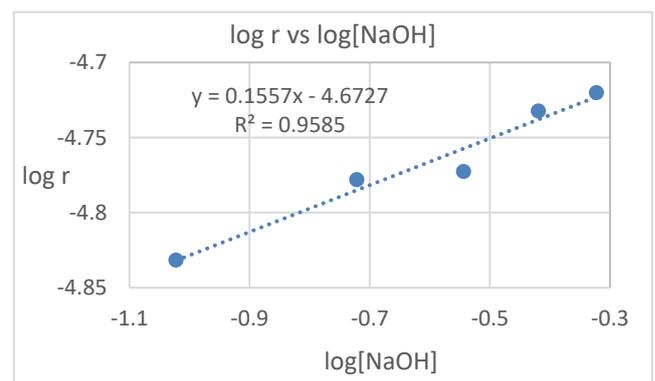
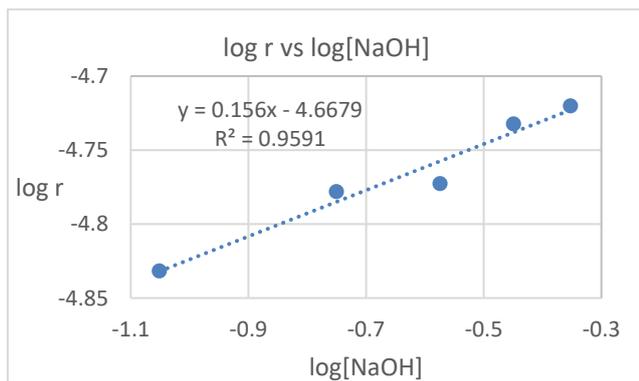
實驗組別	NaOH 水溶液 (mL)	t_2-t_0 (s)	NaOH (M)	KMnO_4 (M)	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ (M)	r (M/s)	$\log r$	$\log[\text{NaOH}]$
6	0.2	60.3	0.095	0.000889	0.444	1.47E-05	-4.83171	-1.022276395
7	0.4	53.3	0.19	0.000889	0.444	1.67E-05	-4.77815	-0.721246399
8	0.6	52.7	0.29	0.000889	0.444	1.69E-05	-4.77269	-0.543633967
9	0.8	48.0	0.39	0.000889	0.444	1.85E-05	-4.73240	-0.419075024
10	1	46.7	0.48	0.000889	0.444	1.90E-05	-4.72016	-0.322393047

表十四 利用滴瓶測得不同濃度的 $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ 化學變色龍反應速率

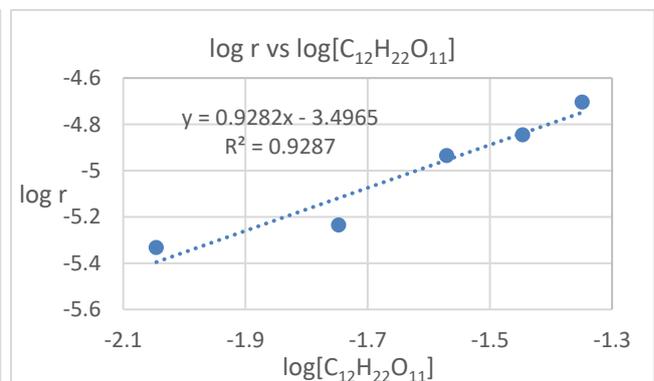
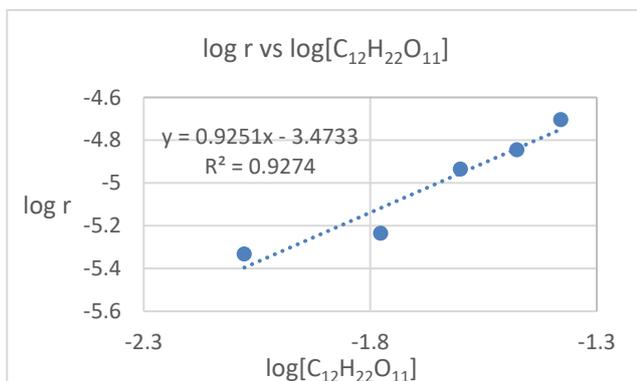
實驗組別	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ 水溶液 (滴數)	t_2-t_0 (s)	NaOH (M)	KMnO_4 (M)	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ (M)	r (M/s)	$\log r$	$\log[\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}]$
6	4	191.3	0.444	0.000889	0.008356	4.65E-06	-5.3329	-2.078024669
7	8	153.0	0.444	0.000889	0.016711	5.81E-06	-5.2358	-1.776994673
8	12	76.7	0.444	0.000889	0.025067	1.16E-05	-4.9358	-1.600903414
9	16	62.3	0.444	0.000889	0.033422	1.43E-05	-4.8459	-1.475964678
10	20	45.0	0.444	0.000889	0.041778	1.98E-05	-4.7044	-1.379054665

表十五 利用微量移液管測得不同濃度的 $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ 化學變色龍反應速率

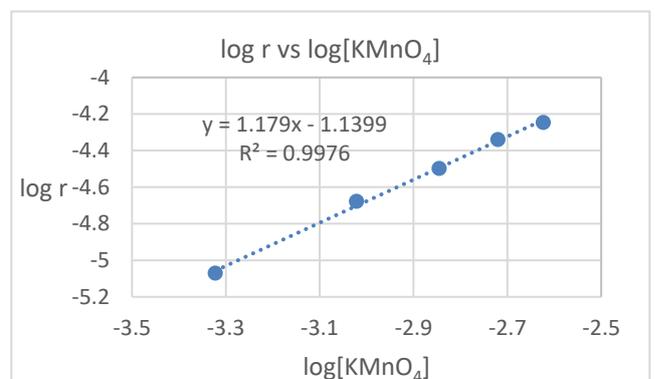
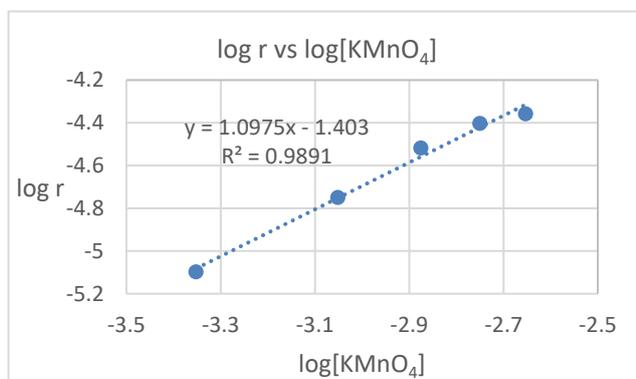
實驗組別	$C_{12}H_{22}O_{11}$ 水溶液 (mL)	$t=t_2-t_0$ (s)	NaOH(M)	$KMnO_4$ (M)	$C_{12}H_{22}O_{11}$ (M)	r(M/s)	log r	$\log[C_{12}H_{22}O_{11}]$
11	0.2	191.3	0.476	0.000889	0.0090	4.65E-06	-5.332943	-2.0457575
12	0.4	153.0	0.476	0.000889	0.0179	5.81E-06	-5.235844	-1.7471469
13	0.6	76.7	0.476	0.000889	0.0269	1.16E-05	-4.935759	-1.570247
14	0.8	62.3	0.476	0.000889	0.0358	1.43E-05	-4.845873	-1.4461169
15	1	45.0	0.476	0.000889	0.0448	1.98E-05	-4.704365	-1.3487219



圖二十 $\log r$ 對 $\log[NaOH]$ 圖(以滴瓶操作，左圖)及 $\log r$ 對 $\log[NaOH]$ 圖 (以微量移液管操作，右圖)



圖二十一 $\log r$ 對 $\log[C_{12}H_{22}O_{11}]$ 圖(以滴瓶操作，左圖)及 $\log r$ 對 $\log[C_{12}H_{22}O_{11}]$ 圖 (以微量移液管操作，右圖)



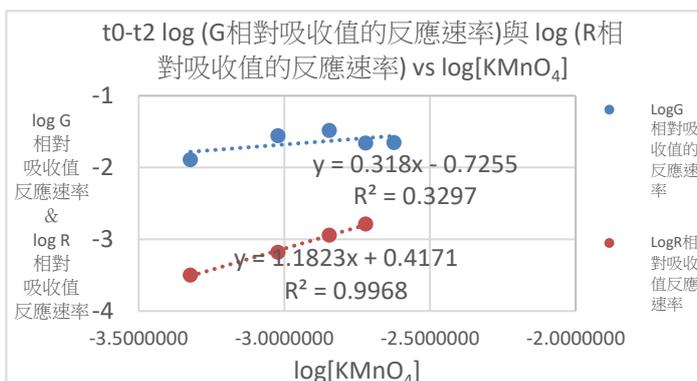
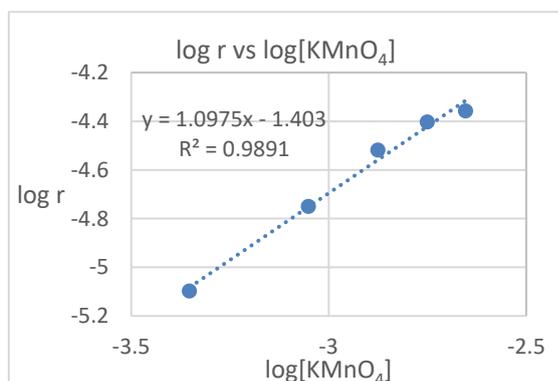
圖二十二 $\log r$ 對 $\log[KMnO_4]$ 圖(以滴瓶操作，左圖)及 $\log r$ 對 $\log[KMnO_4]$ 圖(以微量移液管操作，右圖)

由上圖可知利用滴瓶計算出的反應速率取 log 對過錳酸鉀濃度取 log，與利用體積計算出的反應速率取 log 對過錳酸鉀濃度取 log 的方程式反應級數相近，且 R 平方值皆為高度相關。

表十六 利用微量移液管測第 1~5 組在 t0~t2 時的 RGB 值反應速率

實驗組別	t2-t0(s)	NaOH(M)	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁ (M)	KMnO ₄ (M)	t0-t2 時 R 值的反應速率	t0-t2 時 G 值的反應速率	t0-t2 時 B 值的反應速率	Log R 相對吸收值的反應速率	Log G 相對吸收值的反應速率	Log B 相對吸收值的反應速率	log[KMnO ₄]
1	56.0	0.476	0.0447	0.0004762	-0.00036	0.0129	-0.00543	-註 1	-1.89056	-註 1	-3.3222193
2	45.3	0.476	0.0447	0.0009524	0.00032	0.0276	-0.0197	-3.49865	-1.55859	-註 1	-3.0211893
3	45.0	0.476	0.0447	0.0014286	0.00066	0.0327	-0.0328	-3.18067	-1.48545	-註 1	-2.8450980
4	41.7	0.476	0.0447	0.0019048	0.0011	0.0218	-0.0396	-2.94372	-1.66089	-註 1	-2.7201593
5	42.0	0.476	0.0447	0.0023809	0.0016	0.0223	-0.0365	-2.78850	-1.65251	-註 1	-2.6232493

註 1：反應速率無法取對數以-號表示



圖二十三 log r 對 log[KMnO₄]圖(以微量移液管操作，左圖)及 t0-t2 RGB 相對吸收值 log (G 值的反應速率) 與 log (R 值的反應速率)對 log[KMnO₄]圖(以微量移液管操作，右圖)

上圖中右圖 RGB 相對吸收值的 log 相對吸收值反應速率對 log[KMnO₄]的 R 平方值為 0.9968 呈高度相關，且斜率為正呈正相關。由上方兩張圖可得利用濃度計算的反應速率與利用 RGB 相對吸收值計算的 R 相對吸收值反應速率，兩者級數皆約等於 1.18。

伍、討論

一、過錳酸鉀氧化還原反應觀察

(一) 探討過錳酸鉀的反應作為反應速率觀察的適切性

1. 根據第一部分的實驗結果，加入 KMnO₄ 與過氧化氫在酸中鹼環境中的反應皆在數秒內完成，反應速率過快，不適合用來討論。
2. 將 KMnO₄ 與草酸鈉在酸中鹼環境中反應後，溶液無明顯反應，在常溫下不適合用來做觀察，但升高溫度可使反應加速，方法較為複雜麻煩。溶液再中加入硫酸亞錳後，加速了溶液進行反應，但反應速率過於快速，且顏色變化少，不利觀察變化，又因為亞錳離子會與 OH 產生沉澱 MnO(OH)₂，在數據分析第一部分(三)，不易判斷沉澱物為 MnO₂ 及 MnO(OH)₂。

3. KMnO_4 與在高濃度鹼性溶液（6M NaOH 水溶液）中的反應過慢，不利於觀察。

（二）探討化學變色龍是否適合用來觀察討論化學變色龍的反應是由 KMnO_4 、NaOH、 $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ 產生變化，實驗的溶液顏色變化多且明顯易觀察，反應物僅三種易準備操作，且反應時間約 30 秒左右，時間長短適中，適合我們做研究觀察使用。

二、體積測定

（一）尋找合適的溶液體積

分別在孔盤中滴入 20、30、40、50 滴蒸餾水觀察其體積

1. 我們發現 20 滴的體積過小，不易搖勻反應易不均，不利觀察。
 2. 滴入 30 滴蒸餾水的體積太小，不利觀察。
 3. 我們發現滴入 40 滴蒸餾水的體積大小較適於我們做觀察，且搖晃時不會溢出。
 4. 滴入 50 滴蒸餾水於反應孔中，溶液將會溢出，不適合用來實驗。
- 我們在 10 毫升量筒中滴入 40 滴蒸餾水，觀察量筒刻度為 2 毫升。

（二）溶液體積微量比較

一般做實驗我們通常會需要將溶液用到 100 毫升來觀察，則我們此次微量實驗只須使用 2 毫升就可觀察其變化。

1. 以第一部分的實驗來看，我們有三組對照組，需要觀察 8 組反應，總共需反應 24 次，約需要使用 48 毫升的溶液。則以一般實驗來執行的話，反應 24 次則需花費 240 毫升的溶液，兩者相差 50 倍。
2. 由 1. 可知，微量實驗可減少許多廢液產生，達到環保、低污染等綠色化學的目的，且使用便利可縮短實驗時間。

三、由過錳酸鉀與酸性的過氧化氫水溶液來進行單一顏色變化反應的 RGB 色彩探討

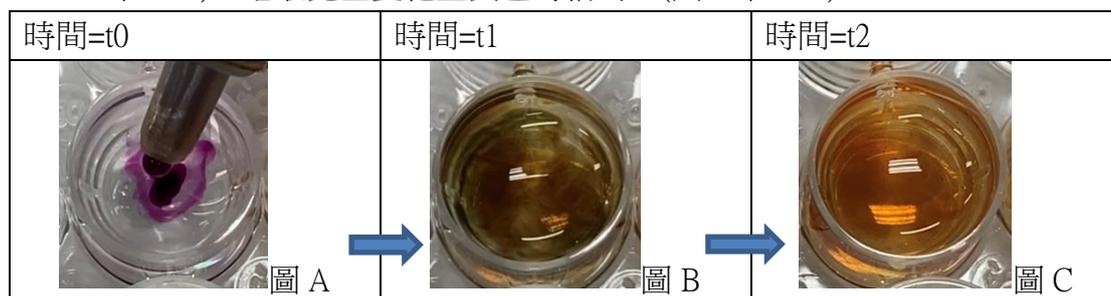
1. 根據第三部分圖十三的數據分析可知，R 值跟 B 值適合觀察過錳酸鉀濃度變化。
2. 根據第三部分圖十四可以發現圖 A-1、A-2、A-3 RGB 平均值，在反應前呈分散狀，而圖 B-1、B-2、B-3 RGB 相對吸收值在反應前會呈等差分布與 KMnO_4 濃度呈正相關，因此可知在分析反應前的 RGB 時，將 RGB 值計算成 RGB 相對吸收值後會更準確。
3. 我們可以從第三部分圖十二中發現反應後的水溶液呈透明，由於 RGB 相對吸收值是 $-\log_{10} \frac{R_s/G_s/B_s}{R_c/G_c/B_c}$ 由 RGB 標準值與背景值透過運算後求得的，根據第三部分圖十四圖 B-1、B-2、B-3 可知，觀察 RGB 相對吸收值在反應後會趨近於 0，等同於背景值，因此與反應後的 RGB 平均值相比觀察反應後的 RGB 相對吸收值較準確。
4. 由於 KMnO_4 紫色反應後變為 Mn^{2+} 淡粉紅色，因為濃度極低，淡粉紅色以肉眼來看接近背景值白紙的顏色，肉眼無法分別濃度變化的差異。但我們發現從圖 A-1、A-2、A-3 中，由 RGB 平均值反應後呈現數值的差異，在不同濃度的 Mn^{2+} 淡粉紅色，相較肉眼觀察，可以分辨出微量且滴濃度的實驗。

四、觀察 KMnO_4 、NaOH、 $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ 濃度對化學變色龍反應速率的影響

由第一部分的實驗可知，利用化學變色龍實驗反應更適合我們進行觀察，因此我們利用此實驗來討論反應物濃度對反應速率的影響。

(一) 計算反應速率

1. 我們以剛滴入的 KMnO_4 時稱為 t_0 (圖二十四 A)，溶液由綠變黃時稱為 t_1 (圖二十四 B)，溶液完全變化呈黃色時稱為 t_2 (圖二十四 C)。



圖二十四 化學變色龍顏色變化

2. 由 1. 可知，在 t_2 時溶液的顏色變化呈全黃色，相較 t_1 更容易辨色、觀察，因此我們在實驗中取 $t_2 - t_0$ 的數據算反應速率變化。 $t_2 - t_0$ 即 Δt ，而 $t_2 - t_0$ 的顏色變化即為 $\Delta[\text{KMnO}_4]$ ，因此我們可以使用 $t_2 - t_0$ 的變化來計算反應速率，如下：

$$r = \frac{-\Delta[\text{KMnO}_4]}{\Delta t}$$

(二) 化學變色龍反應物濃度對反應速率的討論

1. 以 KMnO_4 濃度作為操縱變因，我們發現 KMnO_4 濃度越濃反應時間越長，經由反應速率計算，我們可以知道反應速率是變快，反應速率 $r \propto [\text{KMnO}_4]^a$ 。
2. 以 NaOH 濃度作為操縱變因，我們發現 NaOH 濃度越濃反應時間越短，經由反應速率計算，我們可以知道反應速率是變快，反應速率 $r \propto [\text{NaOH}]^b$ 。
3. 以 $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ 濃度作為操縱變因，我們發現 $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ 濃度越濃反應時間越短，經由反應速率計算，我們可以知道反應速率是變快，反應速率 $r \propto [\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}]^c$ 。
4. 在第五部分中我們把利用滴瓶測得的反應速率取 \log ，由於 $r = k[\text{KMnO}_4]^a[\text{NaOH}]^b[\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}]^c$ ，以 KMnO_4 濃度作為操縱變因時 $r = k_1[\text{KMnO}_4]^a$ ，而 $k_1 = k([\text{NaOH}]^b)([\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}]^c)$ ，其中 a 、 b 、 c 為圖中直線方程式斜率，分別為 1.0975、0.156、0.9251。因此

$$k_1 = k([\text{NaOH}]^b)([\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}]^c) = k([\text{NaOH}]^{0.156})([\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}]^{0.9251}) = 10^{\log k_1} = 0.3953$$

$$k = \frac{10^{\log k_1}}{([\text{NaOH}]^{0.156})([\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}]^{0.9251})} = 0.8462$$

同理可求

$$\begin{aligned} k_2 &= k([\text{KMnO}_4]^a)([\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}]^c) = k([\text{KMnO}_4]^{1.0975})([\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}]^{0.9251}) = 10^{\log k_2} \\ &= 2.14833E - 05k = \frac{10^{\log k_2}}{([\text{KMnO}_4]^{1.0975})([\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}]^{0.9251})} = 0.4748 \end{aligned}$$

同理可求

$$k_3 = k([\text{NaOH}]^b)([\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}]^c) = k([\text{KMnO}_4]^{1.0975})([\text{NaOH}]^{0.156}) = 10^{\log k_3}$$

$$= 0.000336279k = \frac{10^{\log k_3}}{([\text{KMnO}_4]^{1.0975})([\text{NaOH}]^{0.156})} = 0.8516$$

因此用滴瓶進行的實驗 k 值 = $\frac{0.8462+0.4748+0.8516}{3} = 0.7242$

5. 在第五部分中我們把利用微量移液管測得的反應速率取 log，同理 4. 其中 a、b、c 為圖中直線方程式斜率，分別為 1.179、0.1557、0.9282，因此可得

$$k_1 = k([\text{NaOH}]^b)([\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}]^c) = k'([\text{NaOH}]^{0.1557})([\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}]^{0.9251}) = 10^{\log k'_1}$$

$$= 0.07246$$

$$k = \frac{10^{\log k_1}}{([\text{NaOH}]^{0.1557})([\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}]^{0.9282})} = 0.1727$$

同理可求

$$k_2 = k([\text{KMnO}_4]^a)([\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}]^c) = k([\text{KMnO}_4]^{1.179})([\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}]^{0.9282}) = 10^{\log k_2}$$

$$= 2.12471E - 05k = \frac{10^{\log k_2}}{([\text{KMnO}_4]^{1.179})([\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}]^{0.9282})} = 0.1784$$

同理可求

$$k_3 = k([\text{NaOH}]^b)([\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}]^c) = k([\text{KMnO}_4]^{1.179})([\text{NaOH}]^{0.1557}) = 10^{\log k_3}$$

$$= 0.0003188$$

$$k = \frac{10^{\log k_3}}{([\text{KMnO}_4]^{1.179})([\text{NaOH}]^{0.1557})} = 1.4158$$

因此用微量移液管進行的實驗 k 值 = $\frac{0.1727+0.1784+1.4158}{3} = 0.5890$

6. 由上可知，滴瓶操作所得的實驗 k 值與利用微量移液管操作所得的實驗 k 值相近，分別為 0.7242 與 0.5890。且利用滴瓶操作的總級數 a+b+c=2.1786，利用微量移液管操作的總級數為 a+b+c=2.2629，兩者的總級數相近，因此可知利用滴瓶操作可以取代微量移液管操作。

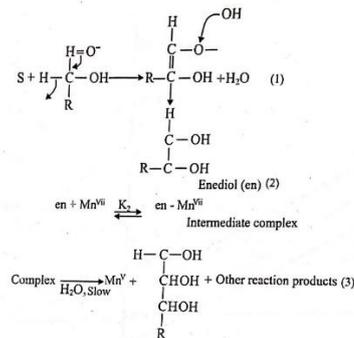
(三) 反應過程中可能的產物

1. 我們發現剛滴入 KMnO_4 時溶液呈紫色，根據原理我們推測可能為 KMnO_4 ，為 KMnO_4 本身的顏色。而滴入 KMnO_4 的溶液逐漸呈綠色時，根據原理我們可以推測為此時是 MnO_4^{2-} 的顏色。溶液呈現黃棕色時，根據原理我們可以推測為此時可能是受到 MnO_2 黃棕色沉澱的影響。將溶液放置一陣子，溶液顏色褪成淡粉紅色，根據原理我們可以推測為此時水中的離子為 Mn^{2+} 。
2. 根據化學變色龍的顏色變化，將 KMnO_4 加入反應槽中，顏色快速的由紫變藍變綠，如圖二十五所示。



圖二十五 化學變色龍的顏色變化

我們查詢文獻，在下列反應(3)中，Mn 的價數由+7 價的化合物(紫色)，轉換成+5 價的物質(藍色)，因此化學變色龍的反應可能進行下列反應流程：



由於我們目前的研究是用顏色觀察，無法進一步地確認溶液中物質的結構，希望以後有機會能用儀器確認它。

五、過錳酸鉀在化學變色龍中 RGB 之探討

(一) 在 t0-t2(溶液顏色由紫色變成棕色)的「RGB 反應速率值對[KMnO₄]的關係」：

1. 由於顏色會受到光線、影子及拍攝角度的影響，我們利用圓形十字法取出溶液色彩的 RGB 的平均值，降低顏色取樣的誤差。
2. 在圖十八「在 t0-t2 時，RGB 的反應速率值對[KMnO₄]的關係圖」中，我們觀察到 R 值反應速率的斜率是正的，G 值與 B 值反應速率的斜率是負的。
3. 依第五部分的數據分析，我們發現反應速率會正比於 KMnO₄ 濃度，並呈現直線關係，因此在色彩分析中 R 值的反應速率與趨勢有一致性，相較 G 值與 B 值而言，R 值更適合作為化學變色龍的實驗觀察。
4. 以微量移液管進行相同的實驗，依第五部分的數據分析，我們發現反應速率會正比於 KMnO₄ 濃度，並呈現直線關係，色彩分析中 R 值和 G 值的反應速率與趨勢有一致性，但 R 值的反應速率相關係數(r²=0.991)較 G 值(r²=0.077)高，因此相較 G 值與 B 值而言，R 值更適合作為化學變色龍的實驗觀察。
5. 比較 3.和 4.，我們發現在 t0-t2 時，滴瓶實驗和微量移液管實驗的反應速率皆正比於 KMnO₄ 濃度，並呈現直線關係，且都適合以 R 值作為觀察。

(二) 在 t0-t1(溶液顏色由紫色變成綠色)的「RGB 的反應速率值對[KMnO₄]的關係」：

1. 在圖十九「在 t0-t1 時，RGB 的反應速率值對[KMnO₄]的關係圖」中，我們發現到 G 值反應速率的斜率是正的，R 值與 B 值反應速率的斜率是負的。
2. 依第五部分的數據分析，我們發現反應速率會正比於 KMnO₄ 濃度，並呈現直線關係，因此在色彩分析中 G 值的反應速率與趨勢有一致性，相較 R 值與 B 值而

言，G 值更適合作為化學變色龍的實驗觀察。

3. 以微量移液管進行相同的實驗，依圖第五部分的數據分析，我們發現反應速率會正比於 KMnO_4 濃度，並呈現直線關係，因此在色彩分析中 B 值的反應速率與趨勢有一致性，相較 R 值與 G 值而言，B 值更適合作為化學變色龍的實驗觀察。
4. 比較 3. 和 4.，我們發現在 t_0-t_1 時，滴瓶實驗和微量移液管實驗的反應速率皆正比於 KMnO_4 濃度，並呈現直線關係，不過在顏色值觀察的部分，滴瓶實驗適合以 G 值作為觀察，而微量移液管實驗適合以 B 值作為觀察。

(三) 根據(一)與(二)，我們比較 t_0-t_1 與 t_0-t_2 的反應速率，發現兩者適合觀察的顏色值是不同的：

1. 以滴瓶進行實驗時， t_0-t_2 的「R 值的反應速率」趨勢線的相關係數 ($r^2=0.778$) 較 t_0-t_1 的「G 值的反應速率」趨勢線的相關係數 ($r^2=0.582$) 大，因此在色彩分析的結果來說，滴瓶實驗採用 t_0-t_2 的「R 值的反應速率」較佳。
2. 以微量移液管進行實驗時， t_0-t_2 的「R 值的反應速率」趨勢線的相關係數 ($r^2=0.991$) 較 t_0-t_1 的「B 值的反應速率」趨勢線的相關係數 ($r^2=0.959$) 大，因此在色彩分析的結果來說，微量移液管實驗採用 t_0-t_2 的「R 值的反應速率」較佳。
3. 綜合上述兩點進行討論，我們發現利用滴瓶操作實驗可得到和微量移液管相近的結果，兩種實驗差異不大。

(四) RGB 計算方法和 $[\text{KMnO}_4]$ 計算方法比較：

1. 根據第五部分 $\log r$ 對 $\log[\text{KMnO}_4]$ 圖及 t_0-t_2 RGB 相對吸收值 $\log(G \text{ 值的反應速率})$ 與 $\log(R \text{ 值的反應速率})$ 對 $\log[\text{KMnO}_4]$ 圖，可以看到利用微量移液管操作的方程式級數為 1.179，與 $\log(R \text{ 值的反應速率})$ 的方程式級數 1.1823 相近，且皆為高度正相關。
2. 根據 1. 討論，透過取對數的運算方式，我們發現以 RGB 計算的結果和以 $[\text{KMnO}_4]$ 計算的結果相近，由此得知 RGB 色彩分析，因此我們可以知道在 t_0-t_2 時可以藉由 RGB 色彩分析代替分光光度計計算反應速率。

(五) 我們推測 RGB 值指的是顏色變化，並非以化合物來直接觀察反應速率，這是一種間接觀察的方法，所以才會產生分析上的誤差，建議不要以 RGB 值觀察，利用分光光度計觀察過錳酸鉀的吸收值才能真正的追蹤到反應過程的濃度變化，得到更加準確的結果。

(六) 根據論瑞典隆德大學丹尼爾教授的研究，他發現以分光光度計的結果與 RGB 色彩分析的結果有高度相關性，但 RGB 色彩分析是以 $(R,G,B)=(0\sim 225,0\sim 225,0\sim 225)$ 來記錄色彩，屬直角坐標系的向量來記錄色彩。由於色彩的只分成 $0\sim 255$ ，共 256 種，RGB 的組合為 $256*256*256=16777216$ ，即色彩組合約有一千六百多萬種，無法再分更細，因此在色彩解析度上是有極限的。

(七) 因為高中實驗室中，多不具備分光光度計，在高中實驗中手機是一個簡便且容易操作的設備，依據我們 RGB 分析方法與濃度計算的方法結果一致，我們建議本研究適合在高中實驗室做為反應速率觀察的實驗。

(八) 我們找了第四十八屆全國中小學科學展覽會國中組「探討『化學鐘擺』週期變化之變因」作品說明書中的實驗數據，進行反應速率的數據誤差比較，發現他們的數據誤差百分比最高達到-8.65%~8.56%，而我們的實驗誤差則介於-12.04%~12.9%，略大於此實驗。但相比之下，我們的實驗更簡便、易操作，他們使用到了示波器、光敏電阻、磁石攪拌器等平時我們使用不到的儀器進行觀察，而我們的實驗器材只需要實驗室就可取得的 24 孔盤、滴瓶及隨手可得的手機就可以得到一樣的結果。因此相比之下本研究更適合在高中實驗室做為反應速率觀察的實驗。

陸、結論

我們在這次化學變色龍的實驗中發現了以下結論。我們發現使用滴瓶操作的反應總級數為 2.1786，與使用微量移液管的反應級數 2.2629 相近，實驗 k 值也分別為 0.7242 與 0.5890，兩者相近。因此可知我們的實驗不需昂貴的器材，只需要利用具有便利性、易取得，且可以同時分成好幾組來進行實驗的滴瓶也可以達到微量移液管的精準度，得到一樣的效果。

我們利用 RGB 色彩分析來推算反應速率，由討論第三點可知利用 RGB 相對吸收值進行分析會比 RGB 平均值來得更準確，而在討論第五點中，在化學變色龍 t₀-t₂ 的過程中，R 值會呈現高度正相關，且利用微量移液管操作的方程式級數為 1.179，與 log (R 值的反應速率)的方程式級數 1.1823 相近，因此藉由用手機就能使用的 RGB 色彩分析法並不比具有高精密度的分光光度計來的遜色，反而更貼近我們化學變色龍的實驗。我們的色彩分析法藉由我們用公式求得相對吸收值後，比起直接使用 RGB 值去計算來的更加準確。

我們的實驗較精簡，設備方面也較便利，但相較其他反應實驗，我們的誤差百分率比別人用精準的儀器做出來也是相近的。由於 RGB 色彩是利用手機去感應，又比人眼來的更加靈敏精確，且藉由手機的錄影與 RGB 的取色，我們可以反覆地找到精準的數據。我們綜合以下四項優點，可適用於高中化學實驗。

- 一、綠色化學：反應物用量少，可減少消耗量。反應後的生成物皆為無害物質，可降低對環境的衝擊
- 二、便利性：不需繁瑣的實驗設計及過程，原料易取得、種類不繁雜且用量少，便於攜帶。
- 三、易操作：不需操作精密的儀器或龐大的容器，只需滴瓶和可進行反應的小型容器即可。進行實驗時只要把原料按設計滴數做混合即可反應，得到實驗結果。
- 四、用手機攝影：方便且可反覆觀察實驗過程，也可以放慢影片速度獲得更詳細的觀察及分析。

我們對於本次研究的未來與展望如下：

這次實驗我們觀察了化學變色龍的顏色變化、討論其反應速率，但對化學變化所發生的物質轉變沒有深入探討，以後有機會希望可以進一步的去分析化學變色龍裡面的反應機制與結構。

在觀察顏色變化時，我們發現 KMnO₄ 溶液中有藍色出現，推測溶液中一定不只有 KMnO₄ 變成 Mn²⁺，但在現在的設備上我們無法拆解這個結構，希望未來有機會可以做這方面的研究。

藉由本次實驗我們證明 RGB 色彩分析法可以替代高精密儀器來計算反應速率，因此可以將我們的實驗推廣使用在碘離子滴定、酸鹼滴定及高中化學課本上的比色法測定平衡常數等實驗。

我們運用手機來觀察化學變色龍的顏色變化與分析 RGB，雖然手機在準確度上會有一定的限制，無法堪比專業器材，但在科技的發展下，有了手機這項方便取得的器材，極有助於便利我們觀察實驗，在結果上我們也得到手機是一個簡單觀測的儀器，透過手機人人都可以成為科學家。

柒、參考文獻資料

- (一) 蔡易州、葉名倉 (2021 年 8 月)。選修化學 4。南一書局，22-23，90。
- (二) 曾定章。色彩概要學。深度學習電腦視覺實驗室。國立中央大學，13。
- (三) Daniele C. Rodman(2009). Lund University. Spectroscopy and RGB-Colorimetry for Quantification Of Plant Pigment and Fruit Content In Fruit Drinks (pp.10–12).
- (四) 三原色光模式 (2021 年 9 月)。維基百科-自由百科全書。取自 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E4%B8%89%E5%8E%9F%E8%89%B2%E5%85%89%E6%A8%A1%E5%BC%8F>
- (五) 張一知 (2012)。美國 華盛頓 DC。化學反應動力學，9-11。
- (六) 自催化反應 (2011 年 1 月 25 日)。科學 Online 高瞻自然科學教學資源平台。取自 <https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=20009>
- (七) The Chemical Chameleon(2011-2012),from <https://www.junyiacademy.org/junyi-science/junyi-chemistry/v926-new-topic-2/v/bzxedKtFi-s>
- (八) 臺北縣立錦和高級中學高薇雯、劉淑慧 (2008)。探討「化學鐘擺」週期變化之變因。中華民國第四十八屆中小學科學展覽會作品說明書。

【評語】 050202

在本研究使用微量實驗裝置，利用滴瓶及 24 孔盤縮小溶液體積至 50 倍，並利用手機紀錄實驗的顏色變化，並以 RGB 色彩分析反應速率，發現與過錳酸鉀濃度計算的反應速率結果一致。

- (1) 優點:使實驗精省較符合環保概念。
- (2) 縮小反應設備及使用手機紀錄實驗的顏色變化，較像技術改進，較無對現有理論提出測試或挑戰。且用手機 RGB 色彩分析反應速率，過去科展已有此類實驗作品，不算創新。
- (3) 過錳酸鉀發生氧化還原的顏色變化過去也被觀察過。沒有提出創新理論。
- (4) 用 RGB 時，應要考慮懸浮物對量測的影響。

作品簡報

威鎔先生—從鎔來看反應速率

高級中等學校組 化學科

研究目的

一、反應種類的觀察找出適合微量反應的種類及方式

- 過錳酸鉀與雙氧水
- 過錳酸鉀與草酸鈉
- 探討過錳酸鉀在化學變色龍反應中的顏色變化

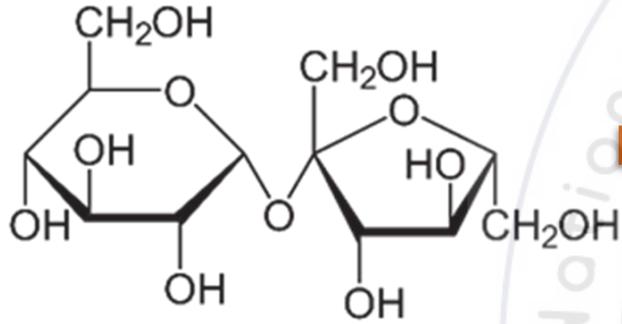
二、化學變色龍與不同反應物濃度間的反應速率探討

- 改變氫氧化鈉濃度
- 改變蔗糖水溶液濃度
- 改變過錳酸鉀濃度

三、RGB色彩分析化學變色龍的反應速率變化可行性探討

- 單一顏色變化反應RGB色彩探討
- 兩種顏色變化反應RGB色彩探討反應速率

原理探討：化學變色龍



MnO_4^- 進行還原反應

MnO_4^- (紫色) + $4e^-$

$\rightarrow 4\text{MnO}_4^{2-}$ (綠色)

MnO_4^{2-} (綠色) + $2\text{H}_2\text{O}$ + $2e^-$

$\rightarrow \text{MnO}_2$ (棕色固體) + 4OH^-

反應速率

$$r = \frac{-\Delta[\text{KMnO}_4]}{\Delta t}$$

反應的總級數 $a+b+c$

$$r = k[\text{KMnO}_4]^a [\text{NaOH}]^b [\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}]^c$$

特色

1. 反應過程較慢，可以觀察
2. 紫色變黃棕色較易判讀

反應速率取對數

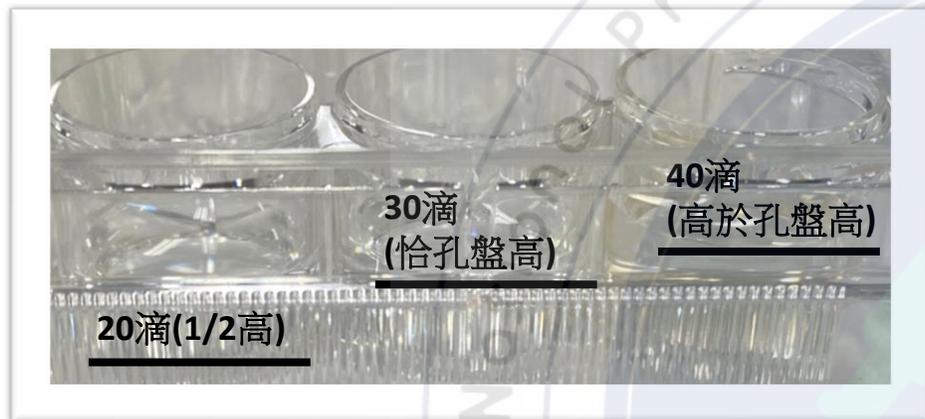
$$r = k[\text{反應物}]^n$$

$$\log r = \log k + n \times \log[\text{反應物}]$$

$$y\text{軸的截距} = \log k$$

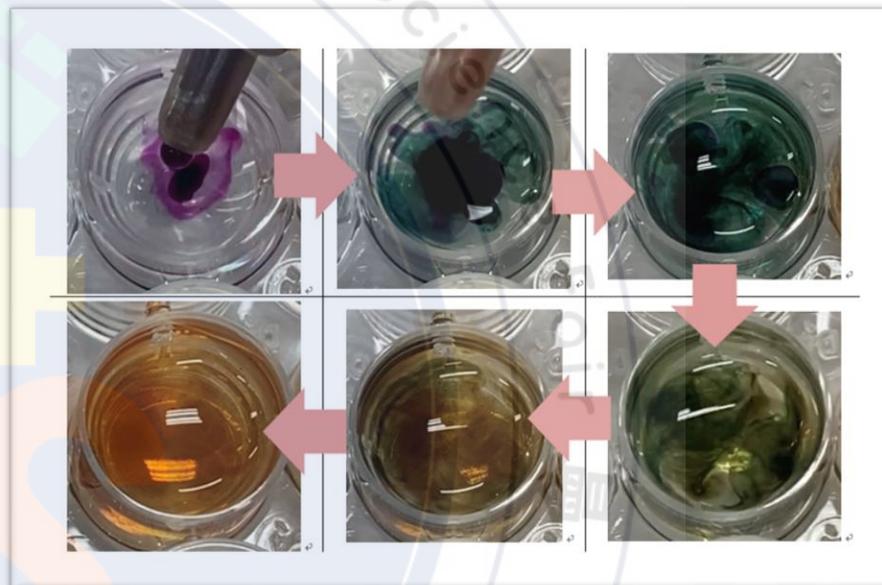
實驗方法與數據分析

體積測定



40滴的蒸餾水側面觀察高於孔盤1/2高，觀察較方便，反應體積大。

化學變色龍顏色變化

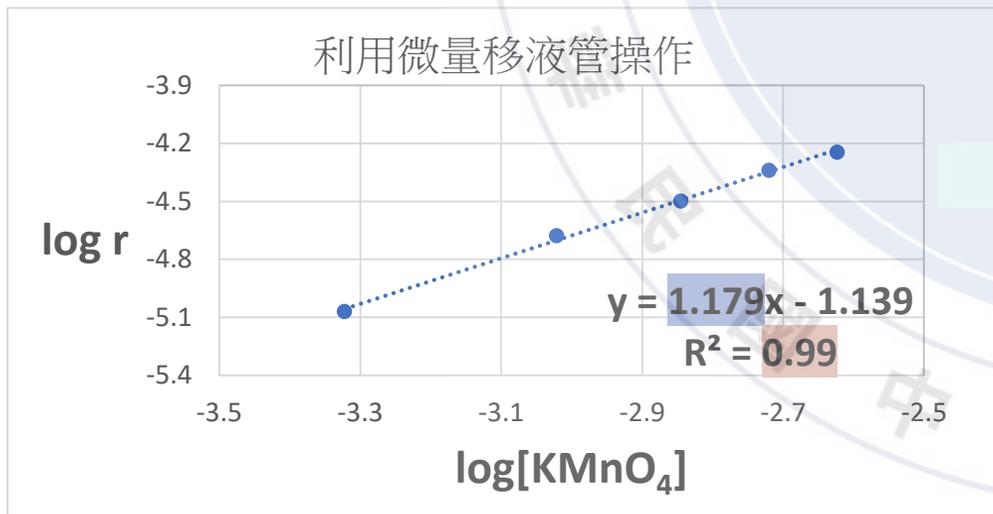
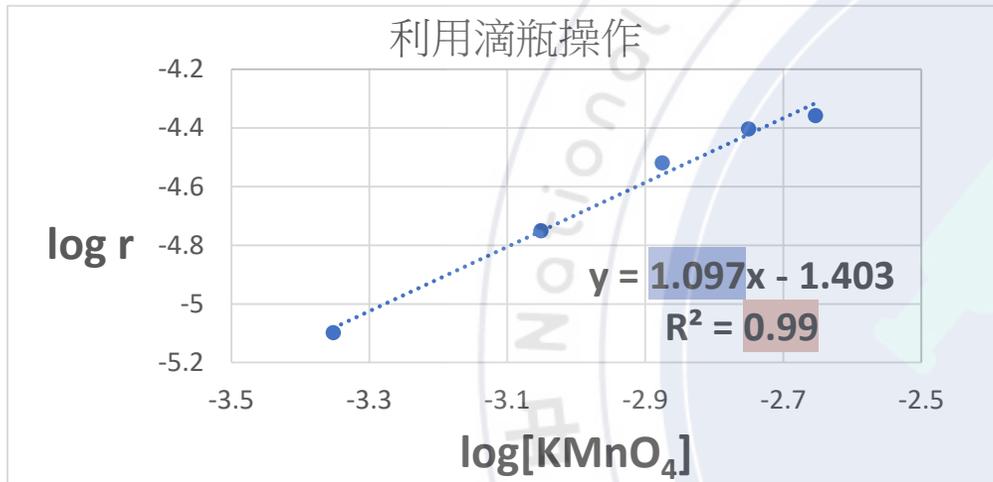


實驗數據： 利用滴瓶操作

實驗組別	KMnO_4 水溶液(滴數)	$t_2 - t_0$ (s)	$r \propto (\text{KMnO}_4 \text{水溶液滴數}/t)$	$\text{NaOH}(\text{M})$	$\text{KMnO}_4(\text{M})$	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}(\text{M})$	$r(\text{M}/\text{s})$
11	1	11.0	0.091	0.476	0.000476	0.0447	4.35E-05
12	2	13.0	0.154	0.476	0.000952	0.0447	7.36E-05
13	3	18.7	0.172	0.476	0.001429	0.0447	8.21E-05
14	4	16.3	0.251	0.476	0.001905	0.0447	1.19E-04
15	5	20.7	0.250	0.476	0.002381	0.0447	1.19E-04

研究結果與討論

以不同KMnO₄濃度進行化學變色龍反應



1. $r \propto [\text{KMnO}_4]^a [\text{NaOH}]^b [\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}]^c$ ，利用滴瓶操作的反應總級數為**2.178級**，利用微量移液管操作的反應總級數為**2.262級**。

2. $r = k[\text{KMnO}_4]^a [\text{NaOH}]^b [\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}]^c$ ，

a、b、c為各圖的斜率

利用滴瓶操作：

$$k = \frac{10^{\log k_1}}{([\text{NaOH}]^{0.156})([\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}]^{0.925})} = 0.846$$

$$k = \frac{10^{\log k_2}}{([\text{KMnO}_4]^{1.097})([\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}]^{0.925})} = 0.474$$

$$k = \frac{10^{\log k_3}}{([\text{KMnO}_4]^{1.097})([\text{NaOH}]^{0.156})} = 0.851$$

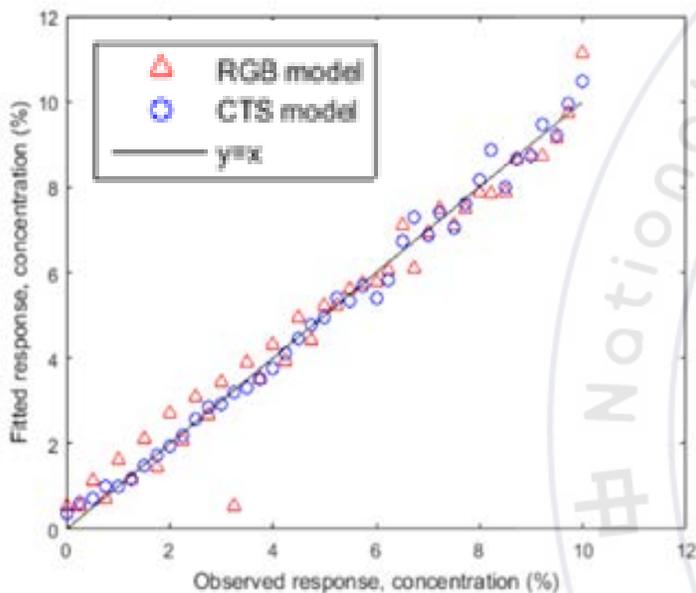
$$\text{實驗}k\text{值} = \frac{0.846 + 0.474 + 0.851}{3} = \mathbf{0.724}$$

利用微量移液管操作：

$$\text{實驗}k\text{值} = \frac{0.172 + 0.178 + 1.415}{3} = \mathbf{0.589}$$

原理探討：RGB色彩分析

RGB理論

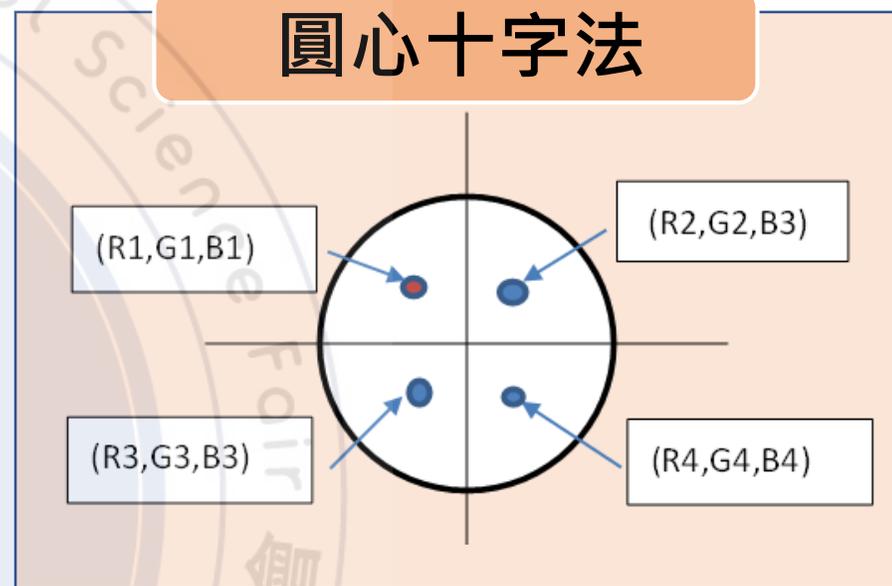


	RGB	CTS
相關係數 數值	0.9603	0.9917



可用RGB值測量代替分光光度計測量

圓心十字法



圓心十字法的RGB值平均

$$R,G,B \text{ 標準化值} = \frac{r,g,b}{\sqrt{r^2+g^2+b^2}}$$

$$A_{R/G/B} \text{ 相對吸收值} = -\log_{10} \frac{\text{實驗值 } R_S/G_S/B_S}{\text{背景值 } R_C/G_C/B_C}$$

(濃度)

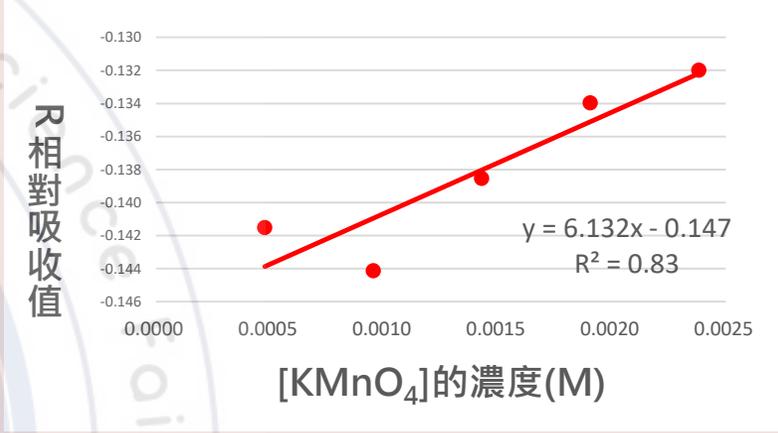
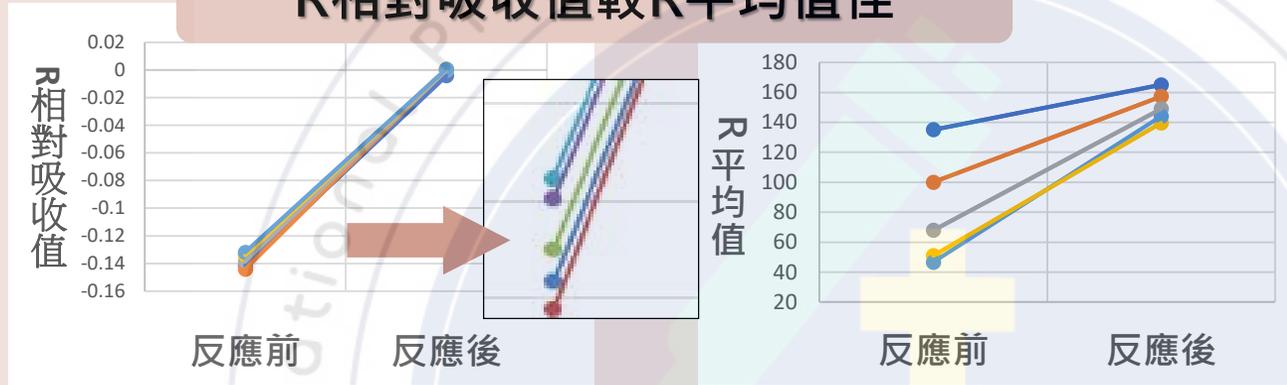
研究結果與數據分析

單一顏色變化反應的 RGB 色彩探討

反應前
反應後



R相對吸收值較R平均值佳



化學變色龍反應的 RGB 色彩探討

背景的RGB及RGB標準值

滴瓶	R	G	B
背景	194	194	185
RGB標準值	0.292	0.0717	0.232

微量移液管	R	G	B
背景	189	185	181
RGB標準值	0.375	0.0413	0.297

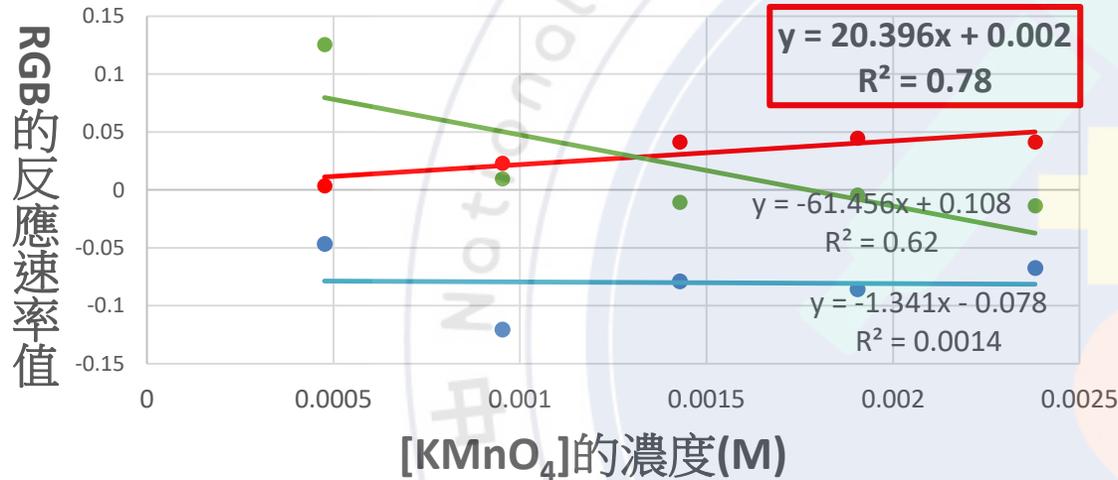
滴瓶	t0			t1			t2		
RGB值	R	G	B	R	G	B	R	G	B
平均值	56.5	2.5	49.3	105.8	98.8	43.0	154.8	118.0	61.8
RGB標準化值	0.753	0.033	0.657	0.701	0.654	0.285	0.758	1.041	0.545
RGB相對吸收值	-0.411	0.333	-0.452	-0.380	-0.960	-0.089	-0.414	-1.162	-0.371

微量移液管	t0			t1			t2		
RGB值	R	G	B	R	G	B	R	G	B
平均值	120.2	13.2	95.2	74	98.8	77	134	109	59
RGB標準化值	0.781	0.086	0.618	0.508	0.679	0.529	0.734	0.597	0.323
RGB相對吸收值	-0.318	-0.318	-0.318	-0.132	-1.216	-0.250	-0.291	-1.160	-0.036

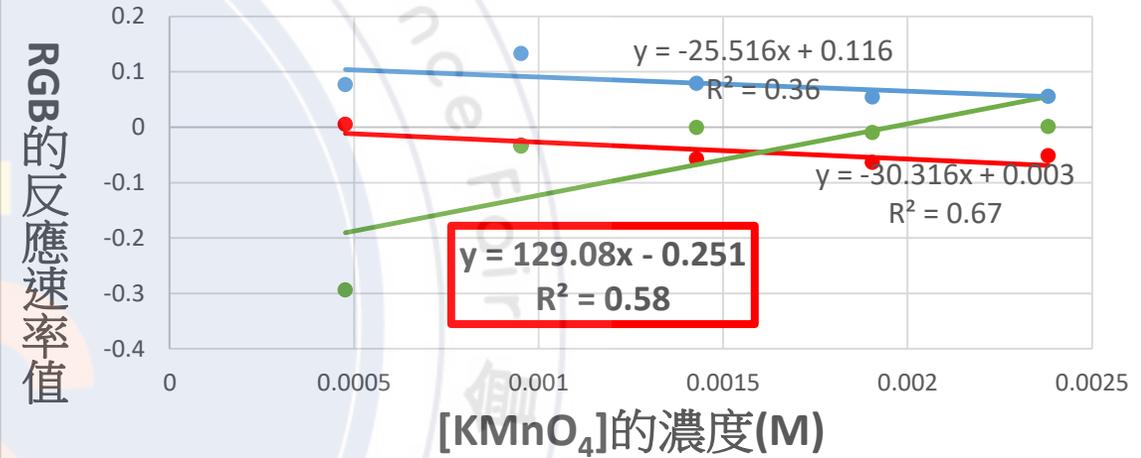
研究結果與討論

在t0-t2時RGB值反應速率

(R值的反應速率相關係數為0.778與0.991)

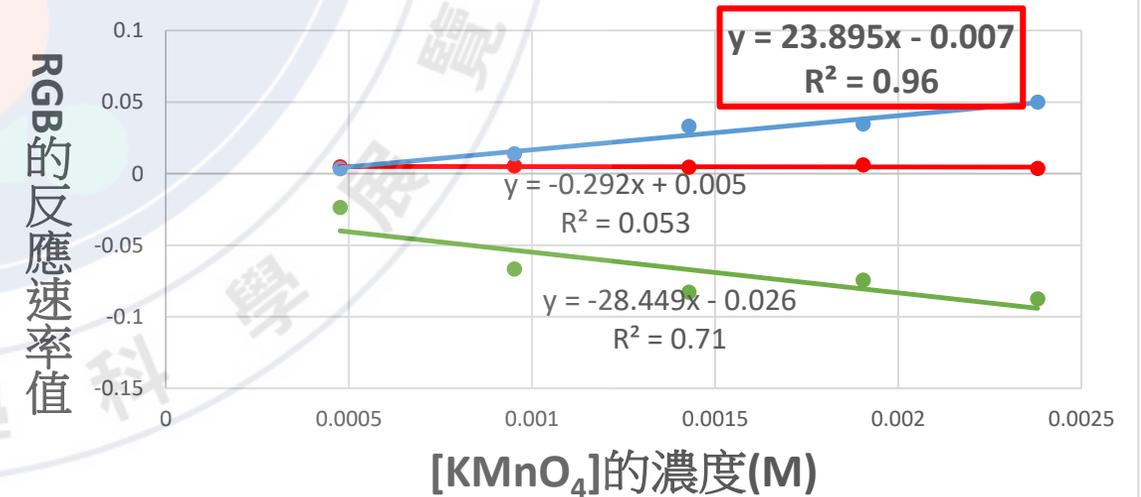
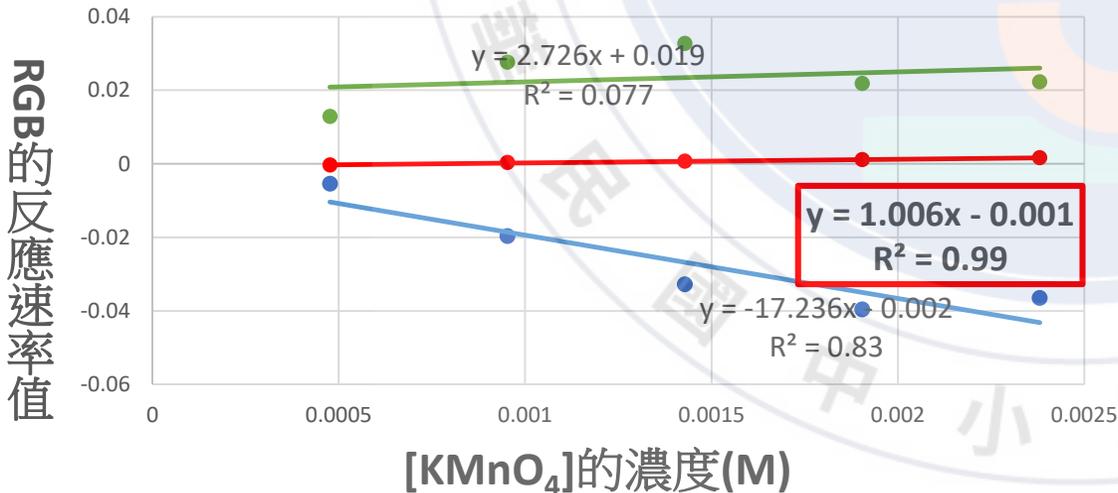


在t0~t1時的RGB值反應速率
(G值的反應速率相關係數為0.5816與
B值的反應速率是0.9599)



利用滴瓶操作

利用微量移液管操作

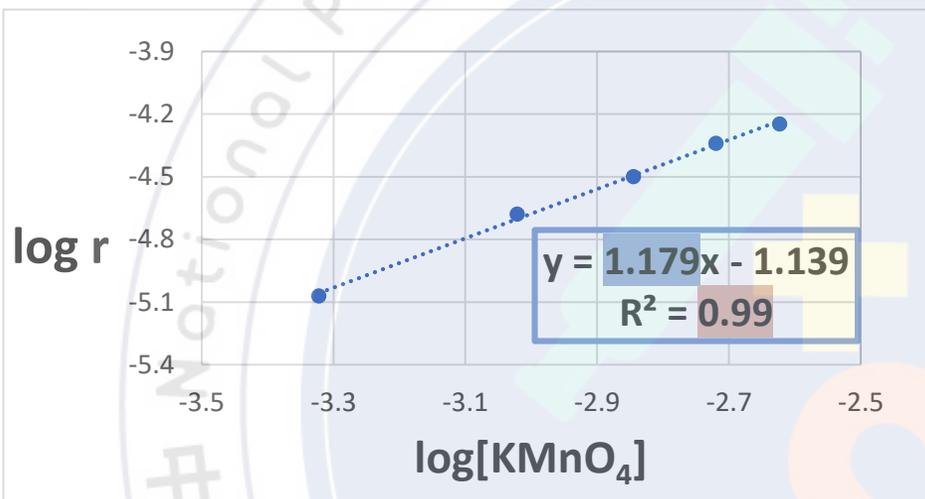


研究結果與討論

以不同反應速率值來探討化學變色龍反應

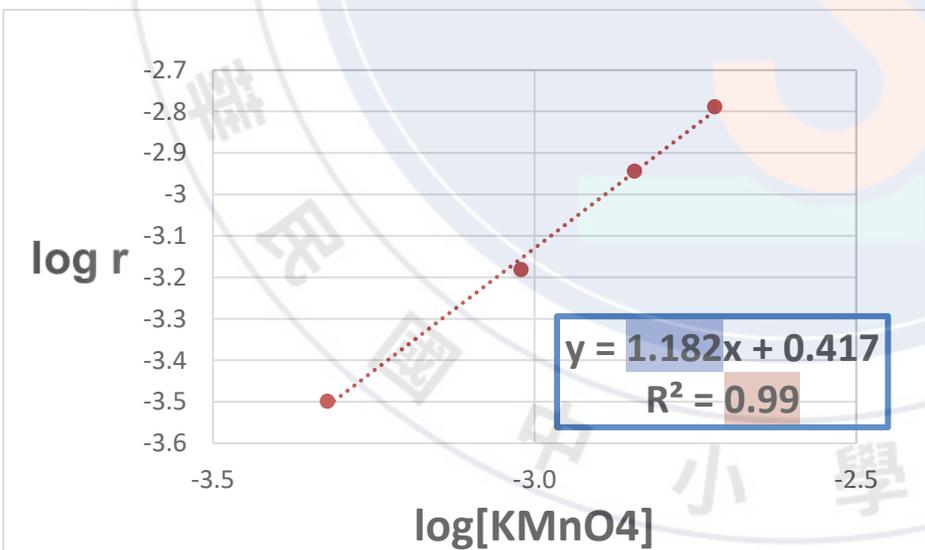
以 $[KMnO_4]$ 計算

$$r = \frac{-\Delta[KMnO_4]}{\Delta t}$$



以R相對吸收值計算

$$r = \frac{-\Delta R \text{ 相對吸收值}}{\Delta t}$$



1. $r \propto [KMnO_4]^a [NaOH]^b [C_{12}H_{22}O_{11}]^c$ ，
以 $[KMnO_4]$ 計算的 $[KMnO_4]$ 級數為**1.179級**，利用以R相對吸收值計算的 $[KMnO_4]$ 級數為**1.182級**。
2. 兩種方法的結果相近，因此我們可以知道在 t_0-t_2 時可以藉由**RGB 色彩分析**代替分光光度計計算反應速率。

研究結果與討論

一、何種分析法相關係數較高

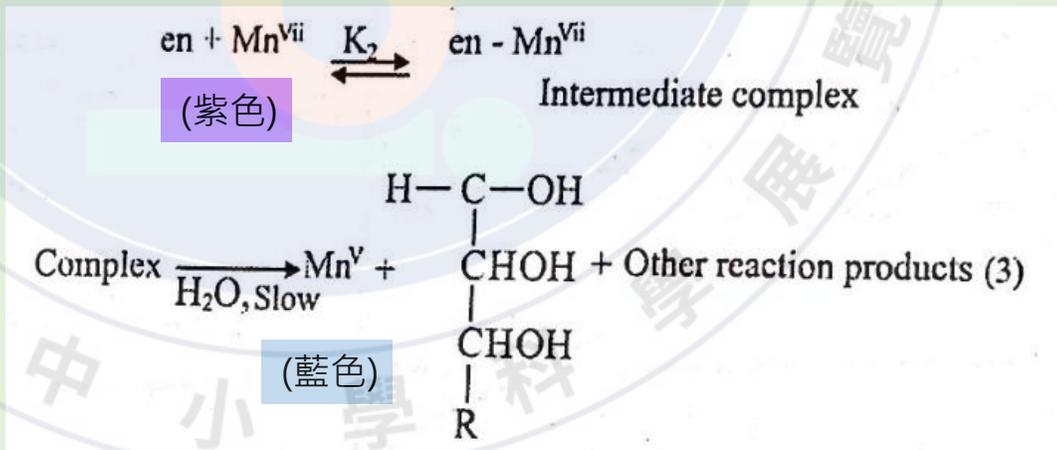
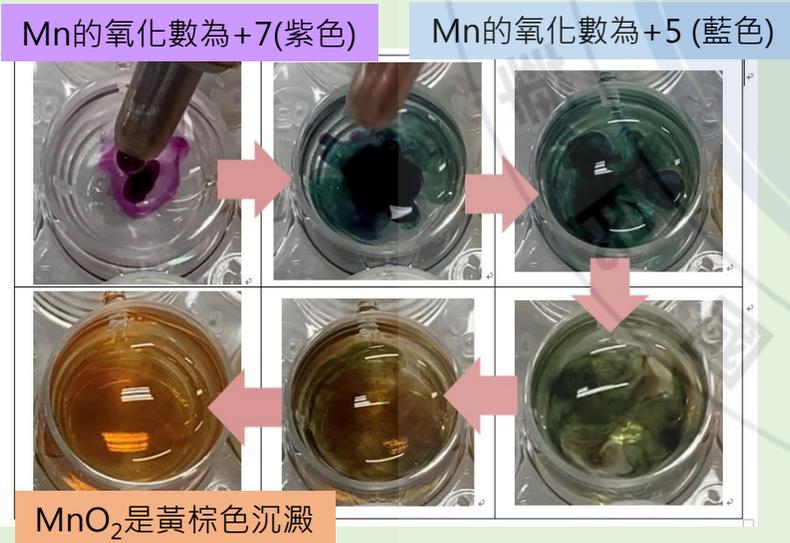
RGB色彩分析法	過錳酸鉀濃度
雖然t0-t2的R值的相關係數屬於高度相關(r ² 介於0.6-0.9之間)	化學變色龍的實驗結果r ² 值為0.929

二、誤差百分比

「探討『化學鐘擺』週期變化之變因」	化學變色龍實驗
-8.65%~8.56%	-12.04%~12.9%

- 我們推測RGB值指的是顏色變化，並非以化合物來直接觀察反應速率，這是一種間接觀察的方法。
- 利用分光光度計觀察過錳酸鉀的吸收值才能真正的追蹤到反應過程的濃度變化，得到更加準確的結果。

三、化學變色龍反應過程中可能的產物



反應時，溶液中有藍色出現，推測溶液中一定不只有KMnO₄變成Mn²⁺或MnO₂

結論與展望

- 1. 微量實驗廢液少
- 2. 環保
- 3. 低汙染

綠色化學

- 1. 實驗時間短
- 2. 原料易取得，種類少
- 3. 便於攜帶

便利性

化學變色龍實驗

- 1. 無精密的儀器
- 2. 無龐大的容器

易操作

用手機攝影

- 1. RGB分析的彩色反應
- 2. 反覆觀察實驗過程
- 3. 獲得更詳細的觀察及分析

過錳酸鉀濃度計算
的反應速率

RGB分析的彩色
反應速率

證明RGB色彩分析法可以替代高精密儀器來計算反應速率

建議可用來
研究高中化學反應速率

推廣使用在具有顏色變化的反應

碘離子滴定

酸鹼滴定

比色法測定
平衡常數

參考文獻

- (一) 蔡易州、葉名倉 (2021年8月) 。選修化學4。南一書局，22-23，90。
- (二) 曾定章。色彩概要學。深度學習電腦視覺實驗室。國立中央大學，13。
- (三) Daniele C. Rodman(2009). Lund University. Spectroscopy and RGB-Colorimetry for Quantification Of Plant Pigment and Fruit Content In Fruit Drinks (pp.10 - 12).
- (四) 三原色光模式 (2021年9月) 。維基百科-自由百科全書。取自 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E4%B8%89%E5%8E%9F%E8%89%B2%E5%85%89%E6%A8%A1%E5%BC%8F>
- (五) 張一知 (2012) 。美國 華盛頓DC。化學反應動力學，9-11。
- (六) 自催化反應 (2011年1月25日) 。科學Online 高瞻自然科學教學資源平台。取自 <https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=20009>
- (七) The Chemical Chameleon(2011-2012),from <https://www.junyiacademy.org/junyi-science/junyi-chemistry/v926-new-topic-2/v/bzxedKtFi-s>
- (八) 臺北縣立錦和高級中學高薇雯、劉淑慧 (2008) 。探討「化學鐘擺」週期變化之變因。中華民國第四十八屆中小學科學展覽會作品說明書。