

第二十屆旺宏科學獎

成果報告書

參賽編號：SA20-389

作品名稱：四色振盪—當 B-R 振盪反應遇到指示劑

姓 名：吳室勳

關 鍵 字：振盪反應、酸鹼指示劑、氧化還原指示劑

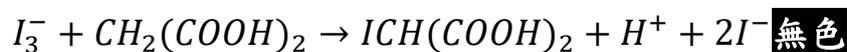
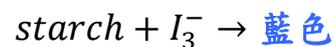
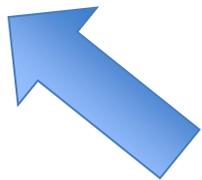
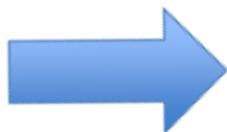
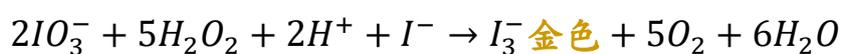
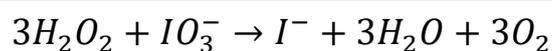
目錄

摘要	第 02 頁
壹、研究動機	第 03 頁
貳、研究目的	第 03 頁
參、研究設備及器材	第 04 頁
肆、研究過程與方法	第 05 頁
伍、研究結果	第 07 頁
陸、討論	第 15 頁
柒、結論	第 19 頁
捌、未來展望	第 21 頁
玖、參考資料	第 21 頁
拾、附錄	第 22 頁

摘要

BR 振盪反應中，需要加入硫酸，使溶液呈酸性，此振盪具有無、金、藍，3 種顏色的變化，而我們想利用指示劑在其中多穿插 1 種顏色。在多次實驗後，在試過多種指示劑後，我們成功的以甲基黃指示劑做到了四色振盪（無→金→藍→紅），非常有趣！

我們進一步利用透光度檢測儀來定量顏色變化，測量四色振盪反應在不同濃度、不同溫度下：波形、振盪速率、振盪次數的變化，並求得振盪速率定律式： $R = k[A]^{0.407}[B]^{0.807}[C]^{-0.15}$ 。



BR 振盪反應示意圖

壹、研究動機

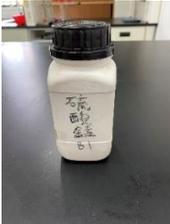
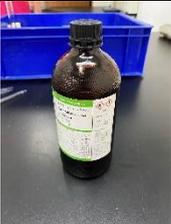
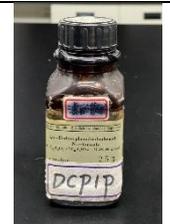
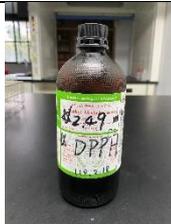
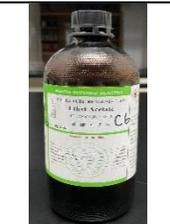
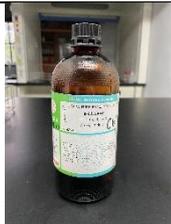
我們在科學雜誌上看到將 3 種溶液加在一起竟然會規律變色，在查詢過 BR 振盪反應的化學方程式之後，發現變色期間溶液中的氫離子濃度有變化(當 I_3^- 生成時會消耗 H^+ 、 I_3^- 消耗時會生成 H^+)，便想以酸鹼指示劑多穿插 1 種顏色於振盪反應中，讓振盪反應更有趣味！

在測量反應中的 pH 值及測試過多種指示劑後，我們將研究重心放在甲基黃指示劑，用作為變色反應的藥品，在實驗過程中也將濃度、溫度對振盪反應的影響作為研究方向。

貳、研究目的

- 一、藉由加入酸鹼(氧化還原)指示劑，讓振盪反應多 1 種顏色，並持續週期性振盪。
- 二、量化反應，並改變各反應物的濃度，觀察其振盪反應的變化。
- 三、探討溫度如何影響振盪反應之振盪速率、振盪次數。
- 四、計算三色振盪及四色振盪反應的級數。

參、研究設備及器材

				
35% H ₂ O ₂ (aq)	CH ₂ (COOH) ₂	MnSO ₄	可溶性澱粉	KIO ₃
				
2M H ₂ SO ₄	C ₂ H ₅ OH	5mL 吸量管	50mL 錐形瓶	恆溫水槽
				
甲基黃	甲基紫	DCPIP	DPPH	250mL 容量瓶
				
筆型 酸鹼度計	溫度計	電子秤	乙醚	樣品瓶
				
滴管	水質監測儀	乙酸乙酯	正己烷	透光度 檢測儀

肆、研究過程與方法

前置作業：

- 一、配置 A 溶液：量取 80mL 35% 的 $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ ，轉移入 250mL 容量瓶裡，用蒸餾水稀釋到刻度，並得 3.6M $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 。
- 二、配置 B 溶液：分別稱取 3.9g $\text{CH}_2(\text{COOH})_2$ 和 0.76g MnSO_4 ，分別溶於適量水中。另稱取 0.075g 可溶性澱粉，溶於 50mL 左右沸水中。把三者轉移入 250mL 容量瓶裡，稀釋到刻度，得到含 0.15M $\text{CH}_2(\text{COOH})_2$ 、0.02M MnSO_4 、和 0.03% 澱粉的混合溶液。
- 三、配置 C 溶液：稱取 10.75g KIO_3 溶於適量熱水中，再加入 20mL 2M H_2SO_4 酸化。轉移入 250mL 容量瓶裡，稀釋到刻度，得到 0.20M KIO_3 和 0.08M H_2SO_4 的混合溶液。

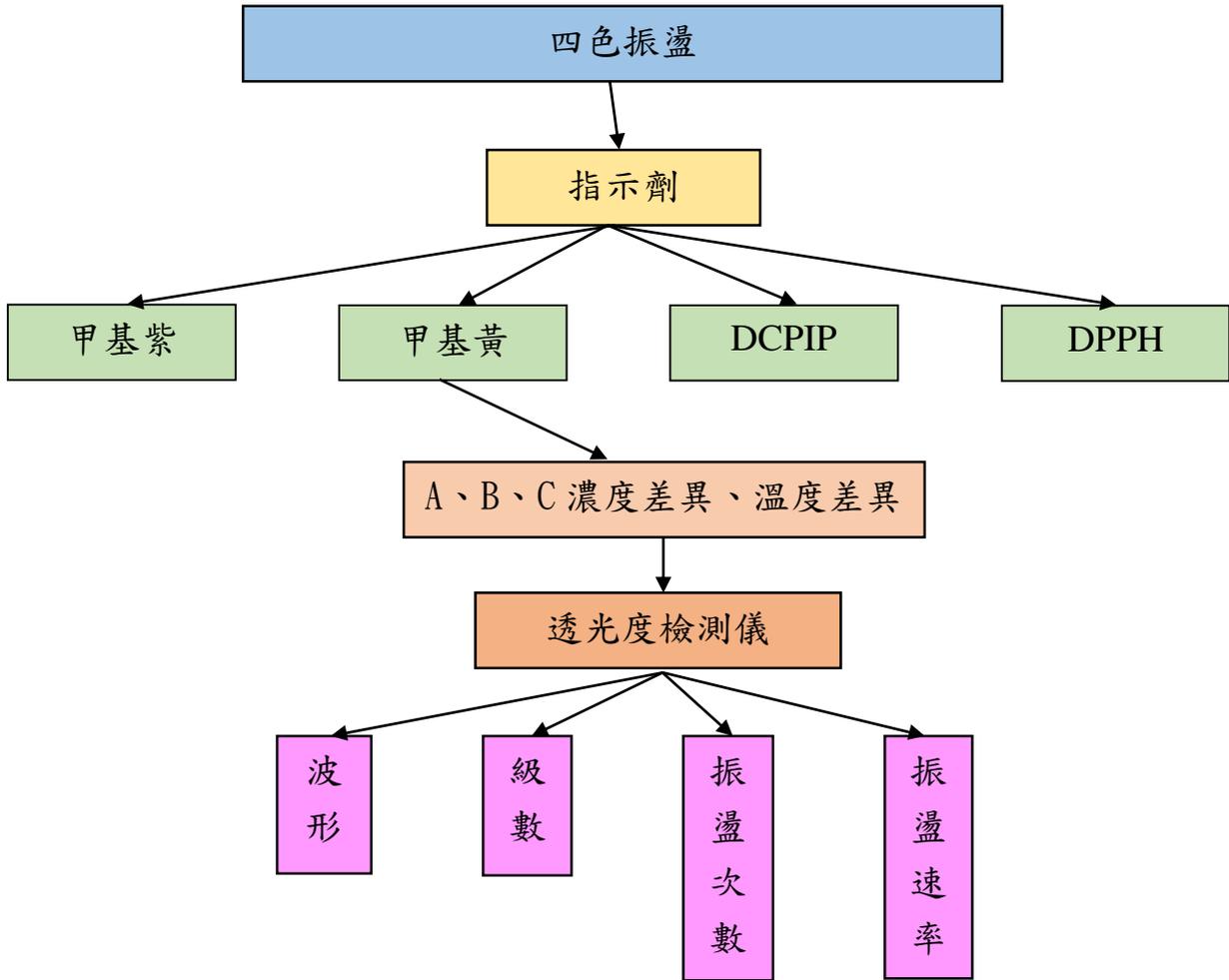
實驗步驟：

- 一、利用恆溫水槽標定溫度。
- 二、將 B、C 二組溶液以等體積混合在樣品瓶中。
- 三、將 B、C 混合溶液置入黑箱，調整透光度檢測儀，並加入等體積 A 溶液這混合溶液分別含 $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 1.2M、 $\text{CH}_2(\text{COOH})_2$ 0.050M、 MnSO_4 0.0067M、 KIO_3 0.067M、0.027M H_2SO_4 、可溶性澱粉 0.01%。
- 四、混合後，在反應 2 個週期過後加入 0.0005M 甲基黃酒精溶液。

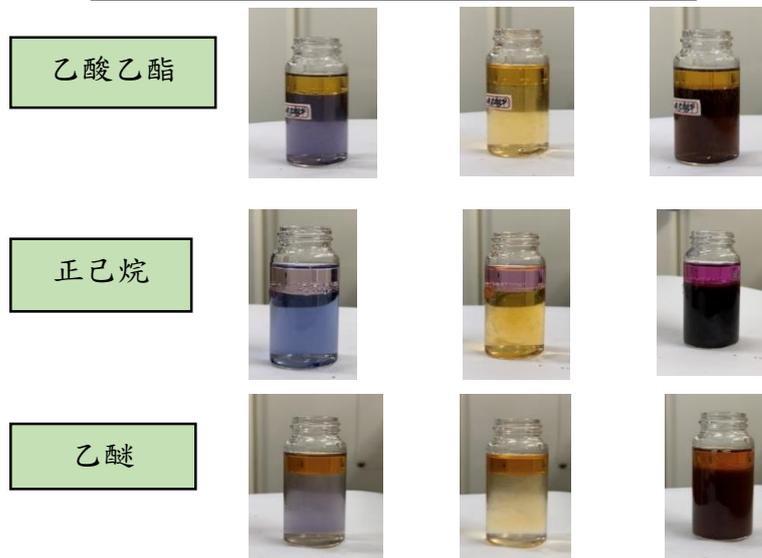


左圖為透光度檢測儀
使用時會關閉箱子遮光

研究流程圖



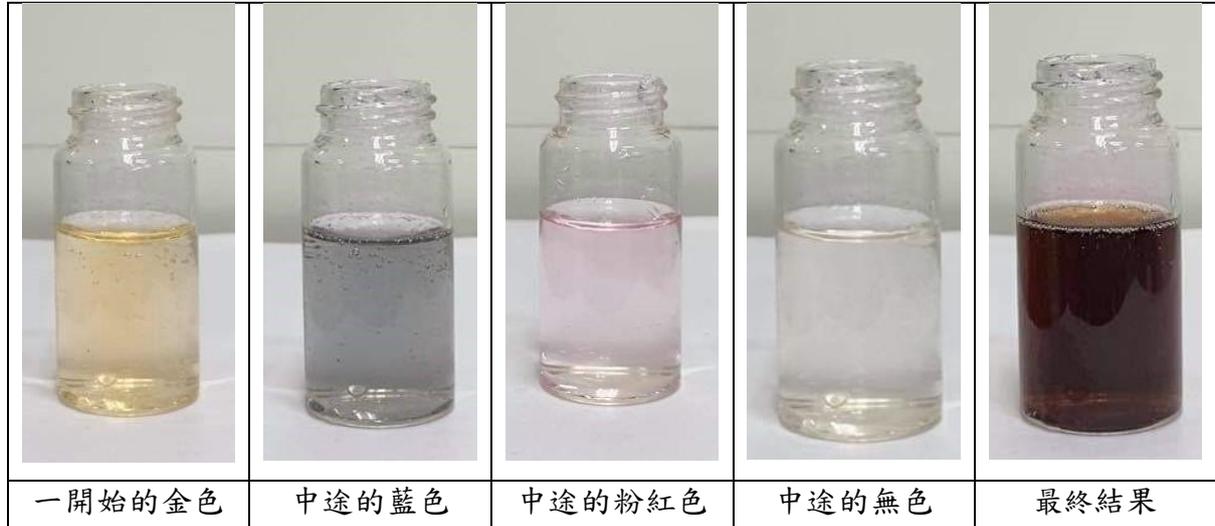
註：另類的四色反應雙層四色



伍、研究結果

一、加入甲基黃酒精溶液：

這個實驗最主要是要藉由 pH 值與指示劑，來測試能否讓振盪反應多 1 個顏色，由下表我們發現如果加入甲基黃酒精溶液，反應中會多出 1 個顏色~粉紅色。



A 溶液	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
B 溶液	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
C 溶液	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
甲基黃	振盪 2 次 加 1 滴 甲基黃 酒精溶液	振盪 2 次 加 1 滴 甲基黃 酒精溶液	振盪 2 次 加 1 滴 甲基黃 酒精溶液	無	無	無
顏色	無→金→ 藍→紅→ 無	無→金→ 藍→紅→ 無	無→金→ 藍→紅→ 無	無→金→ 藍→無 (最終棕)	無→金→ 藍→無 (最終棕)	無→金→ 藍→無 (最終棕)
pH	1.5~1.4	1.5~1.4	1.5~1.4	1.6	1.6~1.5	1.6~1.5
振盪 次數	14	18	11	12	11	11

二、不同振盪次數時加入甲基黃：

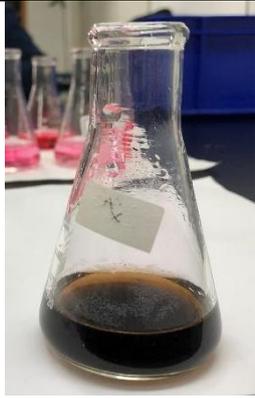
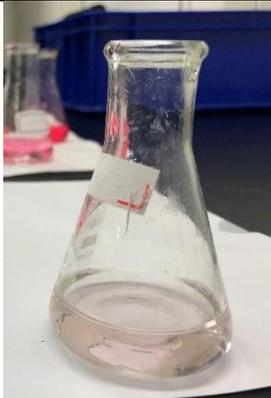
我們想探討在不同的振盪次數時，加入甲基黃對反應結果是否會造成影響，但由實驗可推論，在不同振盪次數時，加入甲基黃對整體反應沒有太大的影響。(註：第 0 週期時加入甲基黃，不會有四色振盪)

A 溶液	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
B 溶液	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
C 溶液	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
甲基黃	振盪 0 次加 1 滴甲基 黃水溶 液	振盪 1 次加 1 滴甲基 黃水溶 液	振盪 2 次加 1 滴甲基 黃水溶 液	振盪 3 次加 1 滴甲基 黃水溶 液	振盪 4 次加 1 滴甲基 黃水溶 液	振盪 5 次加 1 滴甲基 黃水溶 液
顏色	無→金 →藍 →無	無→金 →藍→ 紅→無	無→金 →藍→ 紅→無	無→金 →藍→ 紅→無	無→金 →藍→ 紅→無	無→金 →藍→ 紅→無
pH	1.5~1.4	1.5~1.4	1.5~1.4	1.5~1.4	1.8~1.5	1.5~1.4
振盪 次數	0	14	18	11	14	10

三、不同滴數的甲基黃：

關於甲基黃酒精溶液的濃度和滴數了，我們最後實驗出最適合的濃度是使用 1 滴 0.0005M 的甲基黃酒精溶液，這樣的實驗結果將會讓變色最明顯，且可繼續振盪，而且振盪次數也夠多次，最方便觀察。

A 溶液	5mL	5mL	5mL	5mL
B 溶液	5mL	5mL	5mL	5mL
C 溶液	5mL	5mL	5mL	5mL
甲基黃	振盪 2 次加 0 滴甲基黃酒精溶液	振盪 2 次加 1 滴甲基黃酒精溶液	振盪 2 次加 2 滴甲基黃酒精溶液	振盪 2 次加 3 滴甲基黃酒精溶液
顏色	無→金→藍→無 (最終棕)	無→金→藍→紅→無 (最終棕)	無→金→藍→紅→無 (最終棕)	無→金→藍→(最終紅)
pH	1.5~1.4	1.5~1.4	1.5~1.4	1.5~1.4
振盪次數	31	31	34	2

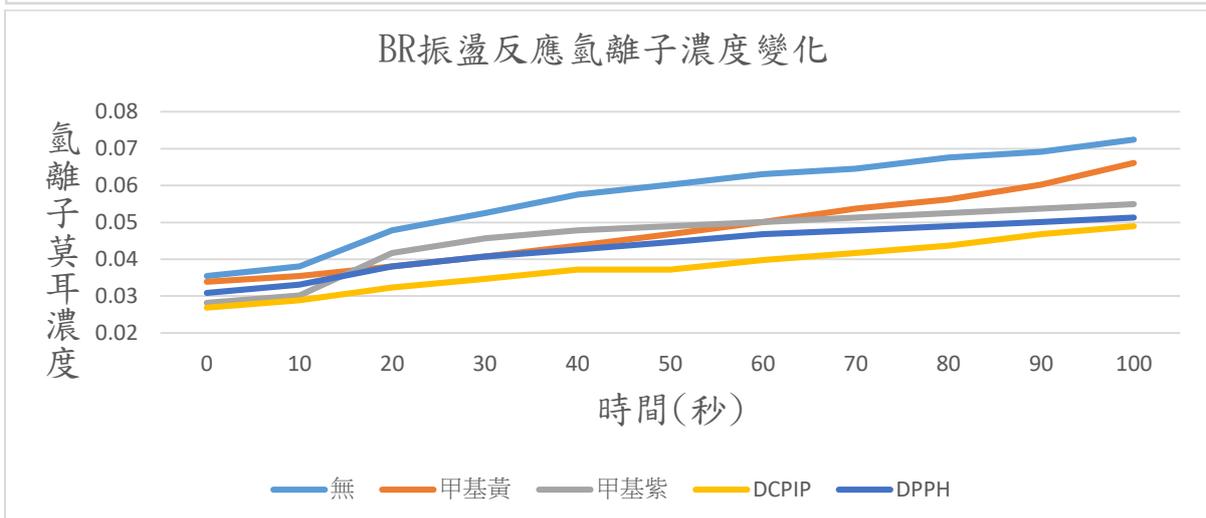
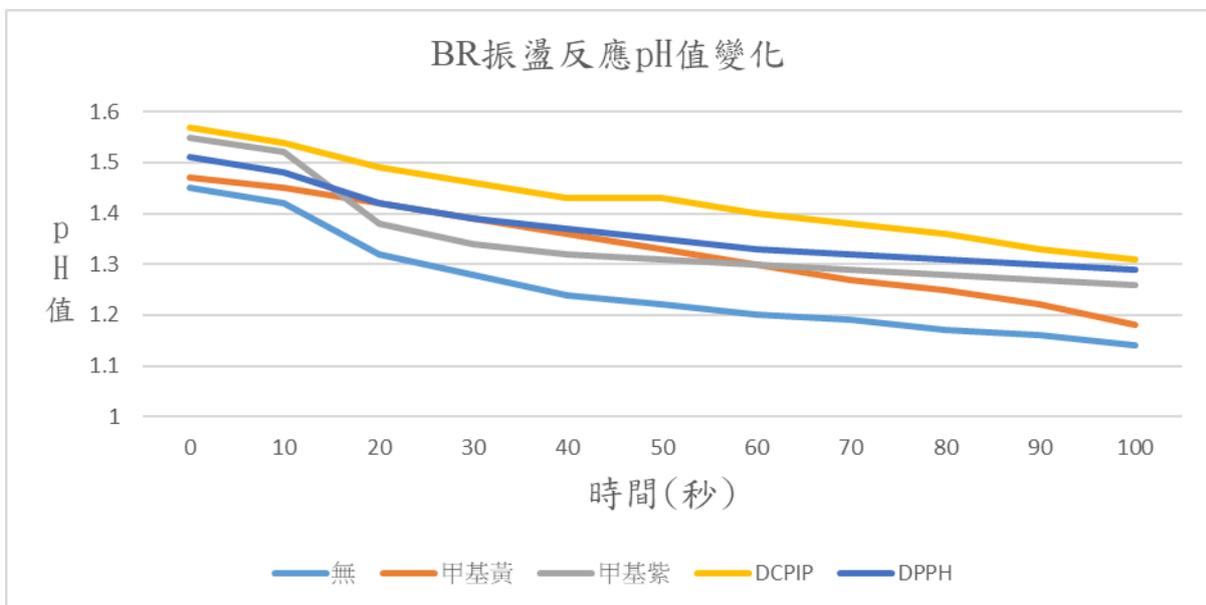
		
上圖是沒加指示劑造成的最終結果(深棕)	上圖是加適當甲基黃振盪中的顏色(淺粉紅)	上圖是加過量甲基黃造成的最終結果(深粉紅)

四、振盪反應時的 pH 值及氫離子濃度：

反應中的 pH 值也相當重要，我們一開始就是針對 pH 值來構想這個實驗，不管是否加**甲基黃**，實驗發現反應中的 pH 值大約都落在 1.4~1.1，氫離子濃度大約都落在 0.3~0.7 左右，且呈現變更酸性的趨勢。

而根據總反應方程式，氫離子應該會被消耗，與實驗結果不合，所以我們推測可能是雙氧水或碘化鉀氧化分解造成。

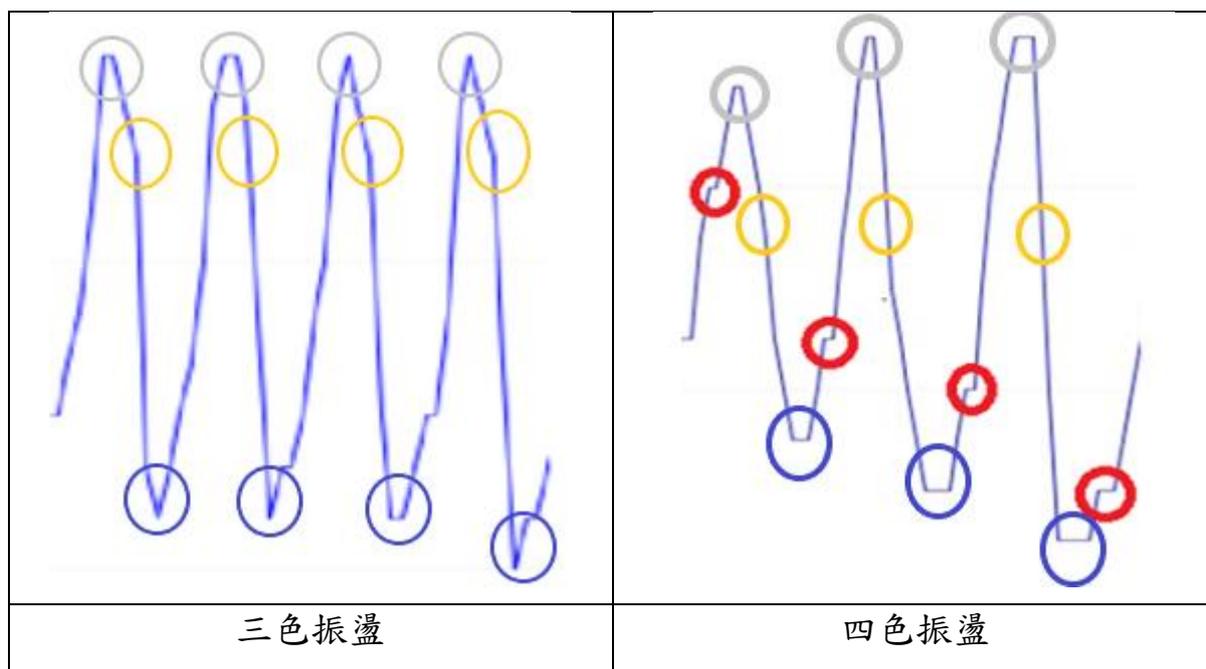
方程式理論上氫離子會有高低起伏的現象，當 I_3^- 生成時會消耗 H^+ 、 I_3^- 消耗時會生成 H^+ ，但是我們的實驗結果，並沒有發現酸鹼值有高低起伏的狀況，推論可能是儀器沒法測到酸性的振盪，只有測到持續變酸的現象，pH 值約由 1.6 降到 1.1。



五、振盪反應時的透光度檢測儀波形分析：

下二圖是取自三色振盪和四色振盪中的部分透光度檢測儀的波形，放大加以比對二者區別，由此二圖可以發現四色振盪明顯多了一個鋸齒狀(紅色圈的部分)，因此我們研判此鋸齒狀為紅色。

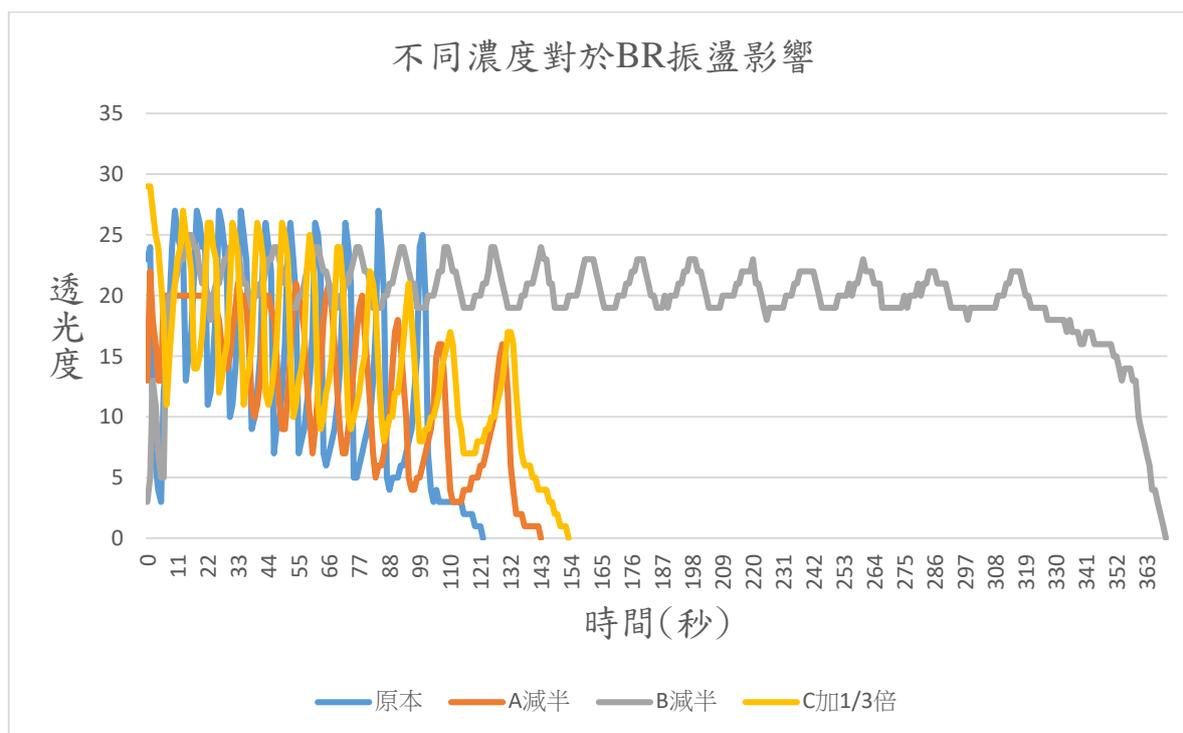
實際操作時因紅色較不明顯，所以較難觀察到，但利用透光度檢測儀可以協助我們觀察到此處的變色。



六、不同濃度的反應物：

改變不同濃度的 A、B、C 溶液時，對反應的結果有明顯影響：降低 A 的濃度時，反應速率也會下降；降低 B 的濃度時，反應的藍色會變淺，藍色變回無色的速率變慢；降低 C 的濃度時，反應的變色會更加不明顯，因此我們改成增加 C 的濃度，順利的算出級數。

A	5mL	2.5mL	5mL	5mL
B	5mL	5mL	2.5mL	5mL
C	5mL	5mL	5mL	5mL*[1.33C]
H ₂ O	0mL	2.5mL	2.5mL	0mL
甲基黃	無	無	無	無
顏色	無→金→藍→ 無 (最終棕)	無→金→藍→ 無 (最終棕)	無→金→淺藍 →無 (最終棕)	無→金→藍→ 無 (最終棕)
振盪次數	10	10	17	11



七、計算級數

在計算級數的部分，我們是每個實驗取前 5 次振盪的秒數計算振盪速率，每個實驗做 3 次以上之後取平均，以減少誤差。再利用級數的算法，求得知各項級數：

$$\text{ABC} \quad \frac{\frac{5}{45+42+45}}{3} = k[A]^x[B]^y[C]^z \dots\dots \textcircled{1}$$

$$\text{A} \rightarrow 0.5\text{A} \quad \frac{\frac{5}{62+58+55}}{3} = k\left[\frac{A}{2}\right]^x [B]^y [C]^z \dots\dots \textcircled{2}$$

$$\text{B} \rightarrow 0.5\text{B} \quad \frac{\frac{5}{80+74+77}}{3} = k[A]^x \left[\frac{B}{2}\right]^y [C]^z \dots\dots \textcircled{3}$$

$$\text{C} \rightarrow 1.33\text{C} \quad \frac{\frac{5}{46+46+46}}{3} = k[A]^x [B]^y \left[\frac{4C}{3}\right]^z \dots\dots \textcircled{4}$$

● $\textcircled{1} / \textcircled{2}$

$$\frac{175}{132} = 2^x \quad \log 175 - \log 132 = x \log 2 \quad x = 0.41$$

● $\textcircled{1} / \textcircled{3}$

$$\frac{231}{132} = 2^y \quad \log 231 - \log 132 = y \log 2 \quad y = 0.81$$

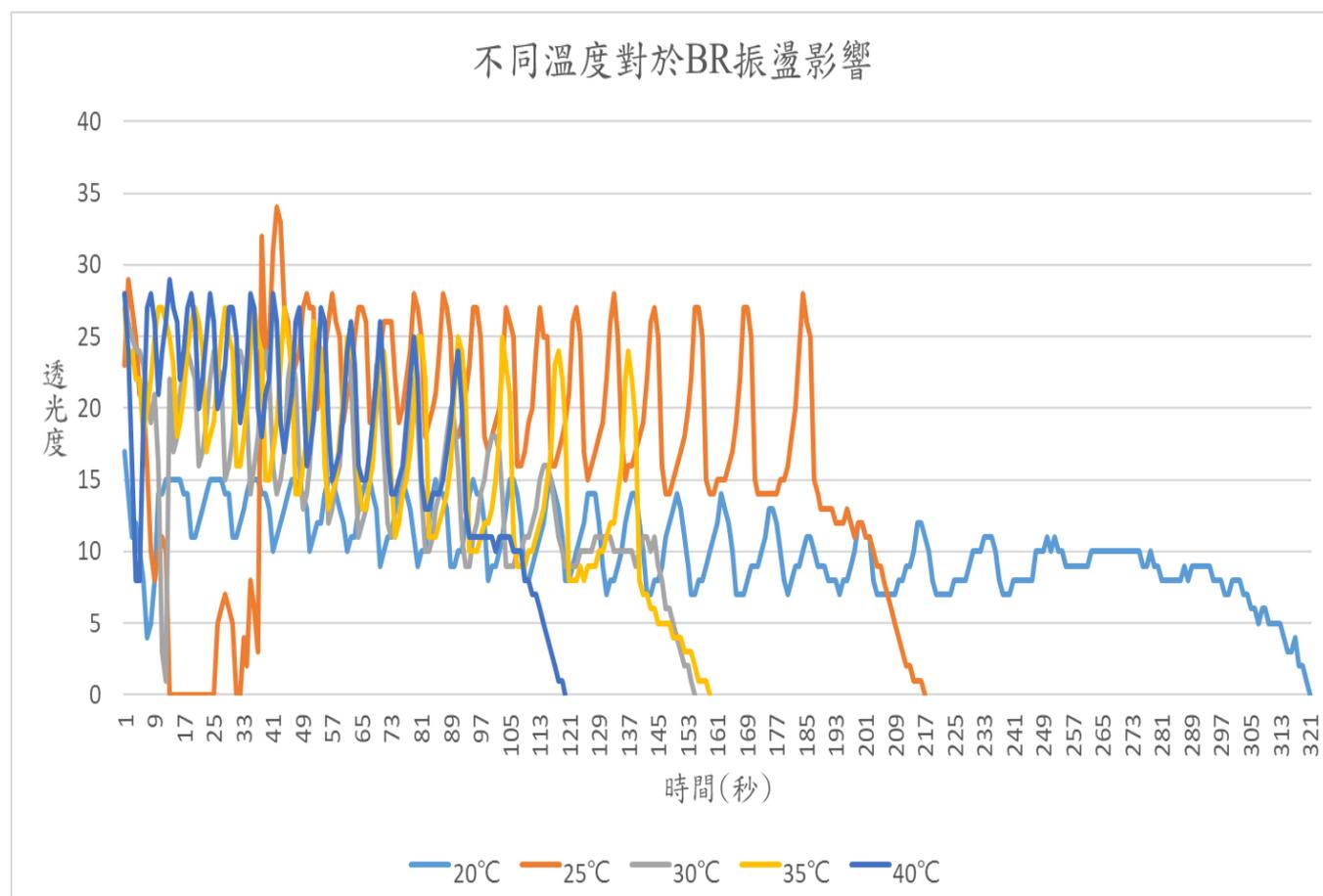
● $\textcircled{1} / \textcircled{4}$

$$\frac{138}{132} = \left(\frac{3}{4}\right)^z \quad \log 138 - \log 132 = z (\log 3 - \log 4) \quad z = -0.15$$

實驗中遇到了一些困難，例如將 C 溶液濃度減半後，無法啟動反應，於是我們該為將 [C] 增加為 [1.33C]，反應即可開始，也順利求得級數。最後實驗求出振盪速率的反應級數，[A] 約為 0.41 級、[B] 約為 0.81 級、[C] 約為 -0.15 級，振盪反應的速率定律式為：

$$R = k[A]^{0.41}[B]^{0.81}[C]^{-0.15}$$

八、不同溫度時的振盪反應：



由不同溫度的實驗，我們測得溫度愈高，振盪次數變少，前 5 次振盪的秒數也變短，總反應的時間也較短。

推測是因為溫度升高，所以反應速率加快，導致振盪速率變快，且促使反應物消耗加快，使振盪次數變少，總反應時間也變短。

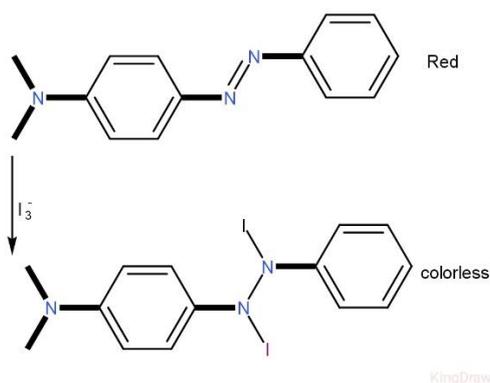
溫度	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C
振盪次數	20	15	14	13	13
前 5 次振盪的秒數	50	38	28	41	26
時間(秒)	321	217	154	161	121

陸、討論

一、此實驗成功的在三色 BR 振盪反應中使用指示劑增加 1 個顏色，指示劑的挑選：剛開始使用甲基橙、甲基黃及甲基紫，在量測 pH 值區間及多次實驗後，**當我們添加甲基黃時，溶液呈現四色振盪，多了 1 個紅色**，推測原因主要可能是指示劑遇到振盪反應中溶液中的氫離子濃度振盪，但在研究 H^+ 莫耳濃度時，並沒有發現氫離子濃度有振盪的狀況。

二、我們朝向**甲基黃參與了氧化還原振盪**的方向去思考，所以我們設計實驗求證，我們將 A、B、C 的各個成分，分別加入甲基黃酒精溶液，靜置一段時間，發現 H_2O_2 及 KIO_3 皆會將酸性的甲基黃氧化，使其由粉紅色變無色，若 $CH_2(COOH)_2$ 可將氧化態的甲基黃，由無色再變回粉紅色，則證明了我們的想法是正確的，但我們還在努力實驗中。

另外，我們發現 I_3^- 也會將酸性的甲基黃氧化，使其由粉紅色變無色，所以我們認為也可能是甲基黃參加了 I_3^- 及 I^- 的循環，推測反應是如下。



三、我們發現加入甲基黃會減少振盪反應的振盪次數，甚至終止振盪，且如果加入的是甲基黃水溶液，那麼難溶的甲基黃粉末會慢慢黏至錐形瓶壁上，導致只有錐形瓶壁有些微紅色出現，而下面繼續振盪反應的情況。如果使用適量的甲基黃酒精溶液，那麼變色就會較為均勻，且根據參考資料和實驗可以發現，酒精有助於讓反應振盪次數變多，於是我們使用甲基黃酒精溶液。

四、甲基黃酒精溶液加入的時間點除了第 0 週期之外和反應並沒有非常明顯的關係，舉例來說，分別在第 2 週期與第 3 週期時加入甲基黃酒精溶液，二者產生的變化僅有變色時間的不同，變色頻率與振盪次數並無太明顯的改變。

五、使用 5mL A 溶液、5mL B 溶液、5mL C 溶液所形成的振盪反應，當加入 **1 滴 0.0005M 的甲基黃酒精溶液時，可較容易觀測四色的變化**，而加入 **2 滴是極限**，當加入到 **第 3 滴時反應會被破壞，無法持續振盪**。

六、方程式理論上氫離子會有高低起伏的現象，當 I_3^- 生成時會消耗 H^+ 、 I_3^- 消耗時會生成 H^+ ，但是我們的實驗結果，並沒有發現酸鹼值有高低起伏的狀況，推論可能是儀器沒法測到酸性的振盪，只有測到持續變酸的現象，pH 值約由 1.6 降到 1.1。

七、加入不同濃度的 A、B、C 溶液，反應的結果也有非常明顯的影響。

1. 降低 A 的濃度時，反應速率會下降。
2. 降低 B 的濃度時，反應的藍色會變淺，藍色變回無色的速率變慢。
3. 降低 C 的濃度時，反應的變色會更加不明顯。
4. 提高 C 的濃度時，反應的變色會變明顯，順利算出級數。

八、與文獻上的級數比較：

我們的數據與文獻接近。

三色 透光度檢測儀	3.6M $H_2O_2(aq)$	0.15M 丙二酸 0.02M $MnSO_4$ 0.03% 澱粉	0.2M KIO_3 0.08M H_2SO_4
透光度檢測儀(自製)	0.41	0.81	-0.15
四色 透光度檢測儀 (甲基黃)	3.6M $H_2O_2(aq)$	0.15M 丙二酸 0.02M $MnSO_4$ 0.03% 澱粉	0.2M KIO_3 0.08M H_2SO_4
透光度檢測儀(自製)	待測中	待測中	待測中
18 屆旺宏	4.9M $H_2O_2(aq)$	0.375M 丙二酸 0.10M $MnSO_4$ 澱粉指示劑	0.20M KIO_3 0.09M H_2SO_4
手機的光感應器	0.621	0.65	0.586 / -0.47

(LTR548 ALSPS LiteOn)			
47 屆全國花女	2.89M H ₂ O ₂ (aq)	0.375M 丙二酸 0.050M MnSO ₄ starch	0.20M KIO ₃ 0.09M H ₂ SO ₄
光感應器 (PASCO-CI6504)	2.38	1.21	0.28

九、反應溫度愈高，所以反應速率加快，且促使反應物消耗加快，使振盪次數變少，總反應時間也變短。

十、我們發現加入不溶於水的乙酸乙酯、正己烷和乙醚到反應中，藉由溶解反應中的碘分子，產生分層四色的結果，但這也是達成四色振盪的方式。
(成果請見研究流程圖)

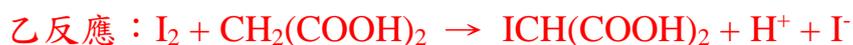
十一、而是否攪拌對反應也是有相當明顯的影響，經過多次實驗我們發現，不論在哪種反應，只要經過攪拌，反應速率就會有明顯的上升，但振盪次數會變少，顏色變化也會變明顯。

十二、

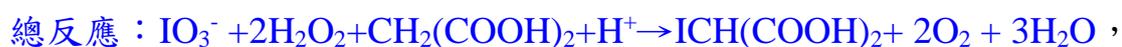
反應結束後加入的溶液	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
有無反應	無	無	無	無	無	無	無

我們很好奇，反應結束後，再加入 A 或 B 或 C，3 種反應物，振盪是否能夠重新啟動，結果發現上表所有狀況，均無法使振盪重啟，推測是因為 A、B、C 的反應物已消耗完，不再反應；甚至加入一組新的 A、B、C 三種反應溶液，也不會反應，我們懷疑是酸性太高造成的。

十三、根據參考文獻

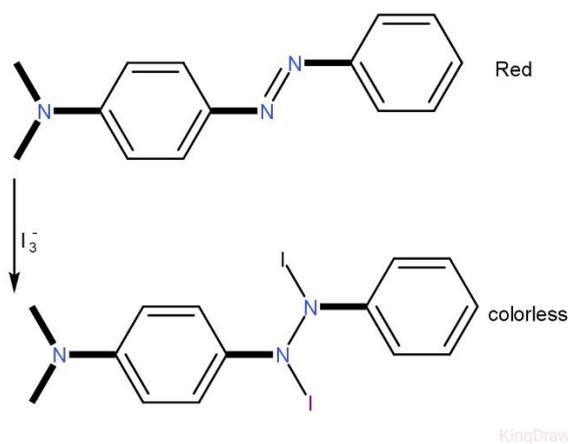


一開始碘離子濃度低，碘分子濃度也低，甲、乙兩反應同時進行，分別生成碘離子及碘分子，但甲反應速率快，很快將乙反應生成的碘離子消耗殆盡，並且累積大量碘分子，缺乏碘離子會使甲反應突然停止，而乙反應則持續進行，持續消耗碘分子生成碘離子，直到碘離子濃度上升、碘分子濃度下降到一定程度後，甲反應又重新啟動，碘分子濃度又開始上升，碘離子濃度下降，如此周而復始，直到過氧化氫、碘酸根或丙二酸有一個完全耗盡為止。



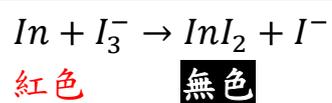
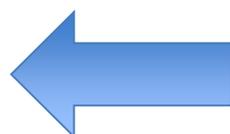
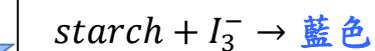
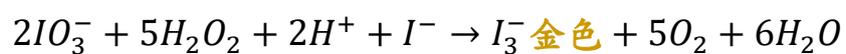
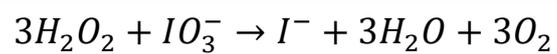
柒、結論

- 一、在 BR 振盪中，將 A、B、C 溶液混合後不攪拌，在第 1 週期加入 1 滴甲基黃酒精溶液，我們做出了 BR 四色振盪（無→金→藍→紅），且利用酒精能夠讓振盪反應振盪次數變多的這個特性，讓加入甲基黃會使振盪次數變少的問題獲得解決。
- 二、我們認為甲基黃參與了氧化還原振盪，我們發現 I_3^- 會將酸性的甲基黃氧化，使其由粉紅色變無色，所以我們認為也可能是甲基黃參加了 I_3^- 及 I 的循環。



- 三、利用透光度檢測儀可以讓我們更了解振盪反應中肉眼無法觀測的微小變化，並利用波形算出振盪速率定律式： $R = k[A]^{0.407}[B]^{0.807}[C]^{-0.15}$ 。
- 四、反應溫度愈高，所以反應速率加快，且促使反應物消耗加快，使振盪次數變少，總反應時間也變短。

五、我們推測 BR 四色振盪的反應循環及方程式：



捌、未來展望

- 一、我們成功做到了預期的**四色振盪**，但甲基黃的 pH 值變色範圍落在 2.8~4.0，且粉紅色出現的時機相當短暫且顏色很淡，導致我們不容易觀察其變色的原因是否為**氧化還原振盪**，希望未來能找出原因並嘗試讓粉紅色出現的時間更長、更深。
- 二、希望利用指示劑加上雙層可以找到更多振盪反應控制顏色的變因，讓振盪反應更加繽紛。
- 三、可檢測四色振盪中導電度的變化。
- 四、希望加入少量的鹼，使振盪重啟反應。

玖、參考資料及其他

- 一、碘鐘反應的維基百科

<https://zh.m.wikipedia.org/wiki/%E7%A2%98%E9%92%9F%E5%8F%8D%E5%BA%94>

- 二、第 18 屆旺宏科學獎 善 Bang 的化學鐘—B-R 震盪反應

https://www.mxeduc.org.tw/scienceaward/history/projectDoc/18th/doc/SA18-424_final.pdf

- 三、中華民國第四十七屆中小學科學展覽會 當我們倒在一起--BR 振盪反應的探討

<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/47/senior/040207.pdf>

拾、附錄

一、實驗原始數據：

A	5mL	5mL	5mL
B	5mL	5mL	5mL
C	5mL	5mL	5mL
甲基黃	無	無	無
顏色	無→金→藍→無 (最終棕)	無→金→藍→無 (最終棕)	無→金→藍→無 (最終棕)
溫度(°C)	20	30	40
振盪次數	16	9	8
反應速率	40°C > 30°C > 20°C		

A	5mL	5mL	5mL
B	5mL	5mL	5mL
C	5mL	5mL	5mL
甲基黃	振盪 2 次加 2 滴甲 基黃酒精溶液	振盪 2 次加 2 滴甲 基黃酒精溶液	振盪 2 次加 2 滴甲 基黃酒精溶液
顏色	無→金→藍→粉紅 →無 (最終棕)	無→金→藍→粉紅 →無 (最終棕)	無→金→藍→粉紅 →無 (最終棕)
溫度(°C)	20	30	40
振盪次數	34	19	16
反應速率	40°C > 30°C > 20°C		

A	5mL	5mL	5mL
B	5mL	5mL	5mL
C	5mL	5mL	5mL
甲基黃	振盪 2 次加甲基黃 水溶液 2 滴	振盪 2 次加甲基黃 水溶液 2 滴	振盪 2 次加甲基黃 水溶液 2 滴
顏色	無→金→藍→粉紅 →無 (最終棕)	無→金→藍→粉紅 →無 (最終棕)	無→金→藍→粉紅 →無 (最終棕)
溫度(°C)	20	30	40
振盪次數	9	7	5
反應速率	40°C > 30°C > 20°C		

A	10mL	10mL	10mL	5mL	5mL	5mL
B	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
C	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
甲基黃	無	無	無	無	無	無
顏色	無→金→ 藍→無 (最終棕)	無→金→ 藍→無 (最終棕)	無→金→ 藍→無 (最終棕)	無→金→ 藍→無 (最終棕)	無→金→ 藍→無 (最終棕)	無→金→ 藍→無 (最終棕)
pH	1.6~1.4	1.8~1.6	1.7~1.6	1.6~1.4	1.6~1.5	1.7
振盪次 數	8	7	9	13	12	11

A	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
B	10mL	10mL	10mL	5mL	5mL	5mL
C	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
甲基黃	無	無	無	無	無	無
顏色	無→金→ 藍→無 棕(最終)	無→金→ 藍→無 棕(最終)	無→金→ 藍→無 棕(最終)	無→金→ 藍→無 棕(最終)	無→金→ 藍→無 棕(最終)	無→金→ 藍→無 棕(最終)
pH	1.7~1.5	1.8~1.6	1.7~1.6	1.6~1.4	1.6~1.5	1.6
振盪次 數	7	8	8	11	11	12

A	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
B	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
C	10mL	10mL	10mL	5mL	5mL	5mL
甲基黃	無	無	無	無	無	無
顏色	無→金→ 藍→無 (最終棕)	無→金→ 藍→無 (最終棕)	無→金→ 藍→無 (最終棕)	無→金→ 藍→無 (最終棕)	無→金→ 藍→無 (最終棕)	無→金→ 藍→無 (最終棕)
pH	1.7~1.4	1.9~1.6	1.6	1.6	1.6~1.5	1.6~1.5
振盪次 數	8	8	7	12	11	11

A	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
B	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
C	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
甲基黃	振盪 2 次 加 1 滴甲 基黃水溶 液	振盪 2 次 加 1 滴甲 基黃水溶 液	振盪 2 次 加 1 滴甲 基黃水溶 液	無	無	無
顏色	無→金→ 藍→紅→ 無	無→金→ 藍→紅→ 無	無→金→ 藍→紅→ 無	無→金→ 藍→無 (最終棕)	無→金→ 藍→無 (最終棕)	無→金→ 藍→無 (最終棕)
pH	1.5~1.4	1.5~1.4	1.5~1.4	1.6	1.6~1.5	1.6~1.5
振盪次 數	14	18	11	12	11	11

(註：第 0 週期時加入甲基黃，不會有四色振盪)

A	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
B	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
C	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
甲基黃	振盪 0 次加 1 滴甲 基黃水溶 液	振盪 1 次加 1 滴甲 基黃水溶 液	振盪 2 次加 1 滴甲 基黃水溶 液	振盪 3 次加 1 滴甲 基黃水溶 液	振盪 4 次加 1 滴甲 基黃水溶 液	振盪 5 次加 1 滴甲 基黃 水溶液
顏色	無→金 →藍 →無	無→金 →藍→ 紅→無	無→金 →藍→ 紅→無	無→金 →藍→ 紅→無	無→金 →藍→ 紅→無	無→金→藍 →紅→無
pH	1.5~1.4	1.5~1.4	1.5~1.4	1.5~1.4	1.8~1.5	1.5~1.4
振盪次 數	0	14	18	11	14	10

A	5mL	5mL	5mL	5mL
B	5mL	5mL	5mL	5mL
C	5mL	5mL	5mL	5mL
甲基黃	振盪 2 次加 0 滴 甲基黃酒精溶液	振盪 2 次加 1 滴 甲基黃酒精溶液	振盪 2 次加 2 滴 甲基黃酒精溶液	振盪 2 次加 3 滴 甲基黃酒精溶液
顏色	無→金→藍→無 (最終棕)	無→金→藍→紅→無 (最終棕)	無→金→藍→紅→無 (最終棕)	無→金→藍→(最終紅)
pH	1.5~1.4	1.5~1.4	1.5~1.4	1.5~1.4
振盪次數	31	31	34	2

A	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
B	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
C	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
指示劑	無	甲基黃	甲基紫	DCPIP	DPPH
振盪次數	17	35	24	16	2
週期	4s	3s 但加入後溶液呈紅色並停止一段時間才繼續反應	3s 且中間有片刻反應暫停	3s	3s 但加入後顏色變化即停止
溫度	25	25	25	25	25
pH 值	1.42 → 1.14	1.45 → 1.16	1.52 → 1.22	1.54 → 1.17	1.48 → 1.22
顏色循環	金→藍→無→金	金→藍→紅→無→金	金→藍→綠(反應暫停)→無→金	金→藍(慢慢漸層)→無→金	金→藍→無→黃
有無攪拌子	無	無	無	無	無

A	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
B	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
C	5mL	5mL	5mL	5mL	5mL
指示劑	無	甲基黃	甲基紫	DCPIP	DPPH
振盪次數	13	27	19	12	2
週期	3s	2s 但加入後溶液呈紅色並停止一段時間才繼續反應	2s 且中間有片刻反應暫停	3s	2s 但加入後顏色變化即停止
溫度	25	25	25	25	25
pH 值	1.42 → 1.14	1.45 → 1.16	1.52 → 1.22	1.54 → 1.17	1.48 → 1.22
顏色循環	金 → 藍 → 無 → 金	金 → 藍 → 無 → 金	金 → 藍 → 綠(反應暫停) → 無 → 金	金 → 藍 (慢慢漸層) → 無 → 金	金 → 藍 → 無 → 黃
有無攪拌子若有影響為和?	有 反應率變快,且振盪次數變少	有 反應速率變快,且振盪次數變少	有 反應速率變快,且振盪次數變少	有 反應速率變快,且振盪次數變少	有 反應速率變快,且振盪次數變少