

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 化學科

030205

「氧」眉吐氣

學校名稱：基隆市立銘傳國民中學

作者： 國二 鍾雅晴 國二 江翊宏 國二 蘇強升	指導老師： 林玉婉
-----------------------------------	--------------

關鍵詞：催化劑

摘要

本研究第一階段在尋找“能夠催化雙氧水反應的陽離子”，結果發現催化雙氧水效果較佳者： $\text{Fe}^{2+} > \text{Fe}^{3+} > \text{Cu}^{2+}$ ，我們進一步討論並比較三者催化的過程與情形。第二階段為直接使用 FeI_3 來催化（將催化效果佳的碘離子與鐵離子直接結合），但發現效果不佳；接著將 FeCl_3 與 KI 混合催化，發現混合催化效果比單獨催化要好。第三階段的實驗我們把反應的量減少，不再使用課本所提的“排水集氣法”，改以量筒內加入反應物及清潔劑，直接拍照記錄反應情形，希望將實驗微量化與簡化，以期符合環保效益，並提供國中課程教材的另一選擇。

「氧」眉吐氣

一、實驗動機

在小學的時候，自然課要進行「催化」的實驗，我們用紅蘿蔔、馬鈴薯來催化雙氧水，老師也向大家說明催化劑的功能。那時對我們來說是件很神奇的事情，把紅蘿蔔丟進裡面就會冒出很多泡泡，真是太厲害了！上了國中，實驗課催化雙氧水的東西變成了陌生的二氧化錳，而它的催化效果比紅蘿蔔更勝一籌，更有爆發力。於是我們想：國小有馬鈴薯、紅蘿蔔；國中有二氧化錳，那麼會不會有反應更快，催化效果更勝過二氧化錳的催化劑呢？答案是肯定的，在查詢相關文獻資料後，發現鹵素也可以拿來催化雙氧水，於是我們決定探討雙氧水這個專題，記錄各種催化劑對雙氧水的催化效果，並探討其相關機制。另外，我們也設計一微量實驗，希望能將此研究教材化。

二、實驗目的

1. 探討並比較各種鹵鹽的催化效果。
2. 探討何種氯化物能催化雙氧水。
3. 比較氯化亞鐵 (FeCl_2)、氯化鐵 (FeCl_3)、氯化銅 (CuCl_2) 之催化曲線
4. 探討碘化鐵 (FeI_3) 催化效果。
5. 探討氯化鐵 (FeCl_3) 與碘化鉀 (KI) 混合催化效果。
6. 微量實驗—將上述實驗教材化的研究。

三、實驗器材及藥品

【器材】水槽、量筒 50ml 兩個、250ml 八個、500ml 一個、1000ml 一個、有側管的錐形瓶、軟木塞、溫度計、碼表、電子秤、秤量紙、燒杯、刮勺、研鉢、針筒。

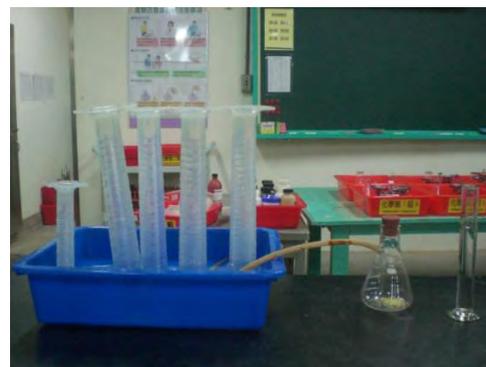
【藥品】過氧化氫(H_2O_2)、氯化鉀(KCl)、溴化鉀(KBr)、碘化鉀(KI)、氯化銨(NH_4Cl)、氯化鈣(CaCl_2)、氯化鎂(MgCl_2)、氯化鈉(NaCl)、氯化鋅(ZnCl_2)、氯化銦(SrCl_2)、氯化銅(CuCl_2)、氯化鐵(FeCl_3)、氯化亞鐵(FeCl_2)、碘化鐵(FeI_3)、清潔劑。

四、實驗步驟

(一) 探討並比較鹵鹽的催化效果

【目的】比較 KCl 、 KBr 、 KI 晶體的催化效果

【步驟】1. 秤取約 0.01mol 的鹵鹽晶體 (KCl 、 KBr 、 KI) 分別置入 250ml 側支錐形瓶中。



- 2.用燒杯及量筒將 25mlH₂O₂ 與 25mlH₂O 混合後倒入瓶中，並以排水集氣法收集氣體，分別記錄反應時間，氣體產生的體積與反應現象。
- 3.重複步驟 3 次，求平均值。

(二) 探討不同氯化物的催化效果

【目的】由實驗一得知，Cl⁻對雙氧水沒有催化能力，而 I⁻催化能力極佳。為了解其他陽離子對雙氧水的催化能力，我們選擇不同氯化物來加以觀察。

- 【步驟】**
- 1.秤取約 0.01mol 的氯化物晶體置入 250ml 側支錐形瓶中。
 - 2.用燒杯及量筒將 25mlH₂O₂ 與 25mlH₂O 混合後倒入瓶中，並以排水集氣法收集氣體，分別記錄反應時間，氣體產生的體積與反應現象。
※每種晶體的反應速率不同，故依情況調整量筒個數。
 - 3.重複步驟 3 次，求平均值。

(三) 比較氯化銅(CuCl₂)、氯化鐵(FeCl₃)、氯化亞鐵(FeCl₂)的反應速率

【目的】由實驗二得知，氯化物中以氯化銅(CuCl₂)、氯化鐵(FeCl₃)、氯化亞鐵(FeCl₂)的催化效果最好，為了製作反應曲線，我們將濃度降至 0.005mol 以方便收集氣體。

- 【步驟】**
- 1.秤取約 0.005mol 的氯化銅(CuCl₂)、氯化鐵(FeCl₃)、氯化亞鐵(FeCl₂)晶體分別置入 250ml 側支錐形瓶中。
 - 2.用燒杯及量筒將 25mlH₂O₂ 與 25mlH₂O 混合後倒入瓶中，並以排水集氣法收集氣體，分別記錄反應時間，氣體產生的體積與反應現象。

(四) 探討碘化鐵 (FeI₃) 催化效果

【目的】由實驗三得知，陽離子反應高峰期的催化速率為 Fe²⁺ > Fe³⁺ > Cu²⁺，所以我們直接觀察碘化鐵 (FeI₃) 催化效果

- 【步驟】**
- 1.秤取約 0.005mol 的碘化鐵 (FeI₃) 晶體置於 250ml 分支錐形瓶中。
 - 2.用燒杯及量筒將 25mlH₂O₂ 與 25mlH₂O 混合後倒入瓶中，並以排水集氣法收集氣體，分別記錄反應時間，氣體產生的體積與反應現象。

(五) 探討氯化鐵(FeCl₃)與碘化鉀(KI)混合催化效果

【目的】在實驗四中我們發現，直接用 FeI₃ 來催化雙氧水，其分解反應速率反而變慢。為探討其原因，我們將 FeCl₃ (含 Fe³⁺) 與 KI (含 I⁻) 做不同比例混合，來觀察反應結果。

- 【步驟】**
- 1.秤取約 0.005mol 的氯化鐵 (FeCl₃) 晶體與 0.005mol 的碘化鉀(KI)晶體置於 250ml 分支錐形瓶中。
 - 2.用燒杯及量筒將 25ml 35% H₂O₂ 與 25mlH₂O 混合後倒入瓶中，並以排水集氣法收集氣體，分別記錄反應時間，氣體產生的體積與反應現象。

- 將步驟 1 改為 0.005mol 的氯化鐵 (FeCl₃) 晶體與 0.01mol 的碘化鉀(KI)晶體混合，重複步驟 2 實驗。
- 將步驟 1 改為 0.005mol 的氯化鐵 (FeCl₃) 晶體與 0.015mol 的碘化鉀(KI)晶體混合，重複步驟 2 實驗。

(六) 微量實驗—將上述實驗教材化的研究

【目的】在上述實驗中我們發現須使用的雙氧水量頗多，實不符合現在環保的概念；在與老師討論後，我們設計另一微量實驗法，將上述幾個顏色變化豐富的實驗加以簡化，作為提供國中催化劑實驗的另一教材選擇。

- 【步驟】
- 秤取約 0.005mol 的碘化鉀 (KI)、氯化銅(CuCl₂)、氯化鐵 (FeCl₃)、氯化亞鐵(FeCl₂)晶體，將其分別溶於 5ml 水中。
 - 將 35% H₂O₂ 與水以 1：3 混合後，取 4ml 倒入 50ml 量筒中，將步驟 1 之溶液以針筒吸取 0.4ml 注入，並同時於反應液面滴上 2 滴清潔劑，開始觀察氣泡產生情形，分別記錄反應時間，氣體產生的體積與反應現象。(如右圖)



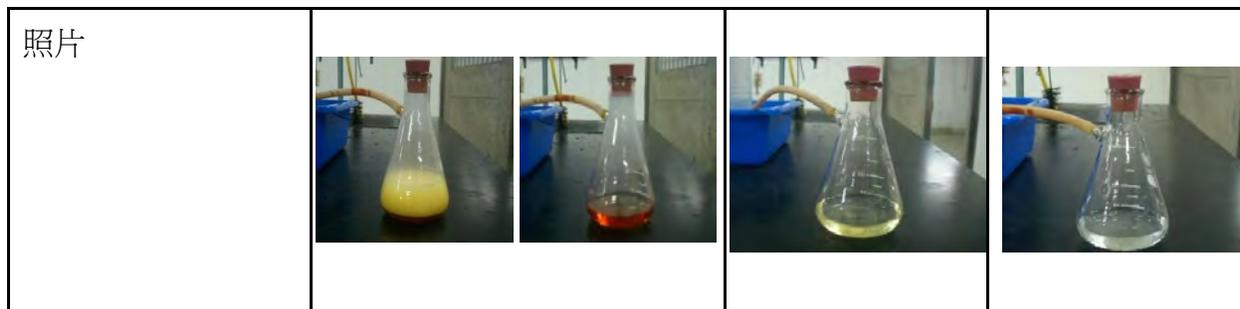
五、研究結果與討論

(一) 探討並比較各種鹵鹽的催化效果。

【結果】

表 1 鹵鹽晶體對 (1：1) H₂O₂ 水溶液的催化效果

鹵鹽晶體種類	KI _(s)	KBr _(s)	KCl _(s)
反應高峰期氧氣產生平均速率(ml/sec)	35.5	無反應	無反應
氣泡產生情形	極快，冒煙且產生高溫	晶體溶解處產生少量氣泡	無反應
末溫(°C)	62	22	22
顏色變化	深褐色→黃色泡泡→橘色	透明→淡黃色	透明無色



【討論】

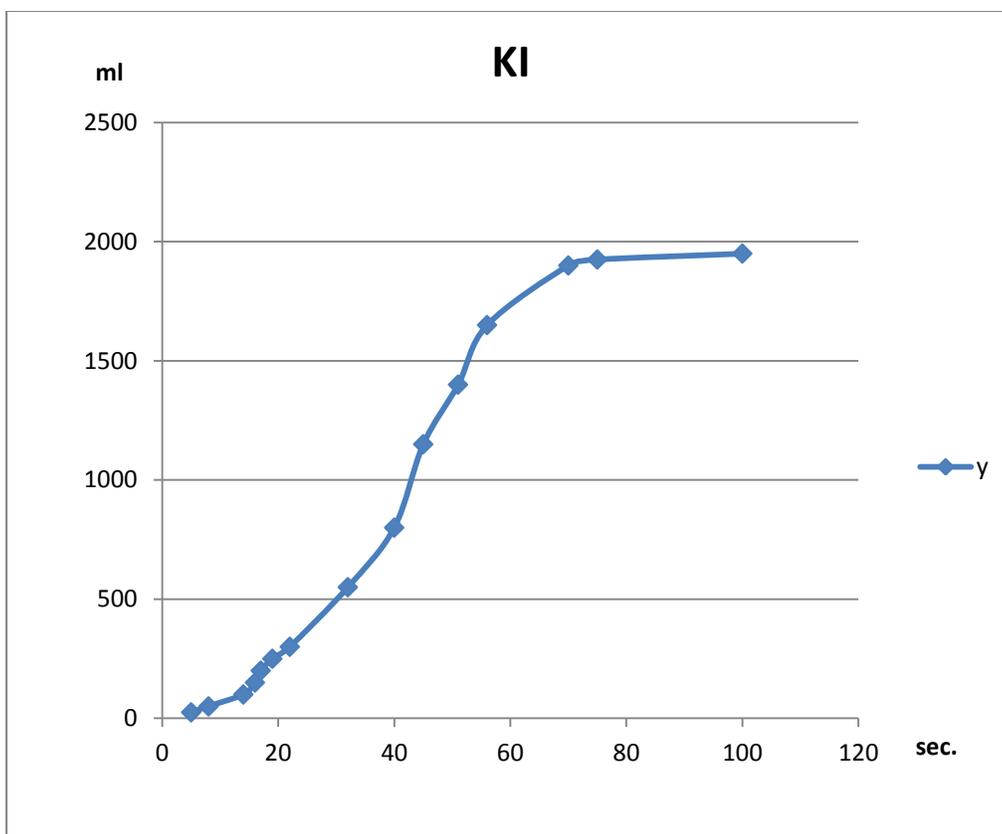
1. 由上表可知，鹵鹽的活性 $KI_{(s)} > KBr_{(s)} > KCl_{(s)}$ ，只有碘化鉀(KI)明顯的與雙氧水反應產生氣體，且氣體產生速率很快，反應曲線如[圖一]。
2. 觀察圖一可發現，KI 的催化反應剛開始時較緩慢，在約 20 秒左右才加快速度，約 60 秒時又逐漸趨緩，反應也隨即結束。我們推測第一階段反應為 $KI_{(s)}$ 溶解伴隨催化分解雙氧水，此過程強烈放熱，使分解反應更加快速；其反應式為： $2I^- \rightarrow I_2 + 2e^-$ ， $2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2$ ，故溶液由無色變成深褐色。接著溶液由深褐色轉橘色，反應也漸趨緩，顯示其正在進行 $I^- + I_2 \rightarrow I_3^-$ 的反應。
3. 另外兩種鹵鹽晶體都無法催化雙氧水，但溴化鉀(KBr)有稍微變色，且在晶體處有少量氣泡，但我們一直沒有收集到氣體。

4. 經查資料可知：

$Cl_2 + 2e^- \rightarrow 2Cl^-$	還原電位 $E^\circ = +1.36V$
$Br_2 + 2e^- \rightarrow 2Br^-$	$E^\circ = +1.087V$
$I_2 + 2e^- \rightarrow 2I^-$	$E^\circ = +0.536V$
$I_3^- + 2e^- \rightarrow 3I^-$	$E^\circ = +1.36V$
$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow 2H_2O$	$E^\circ = +1.78V$

故鹵離子活性 $I^- > Br^- > Cl^-$ 。

5. 由於 Cl^- 沒有催化效果，我們即固定氯離子，改變陽離子種類，觀察何種陽離子具有催化雙氧水分解的能力。



[圖一] KI 晶體催化雙氧水的反應曲線圖

(二) 探討何種氯化物能催化雙氧水

【結果】

表 2 氯化物對 (1 : 1) H₂O₂ 水溶液的催化效果(無反應者)

氯化物	KCl _(s)	NaCl _(s)	CaCl _{2(s)}	NH ₄ Cl _(s)
平均速率 (ml/sec)	無反應	無反應	無反應	無反應
未溫(°C)	22	22	22	22
顏色變化	透明無色	透明無色	透明無色	透明無色
照片				

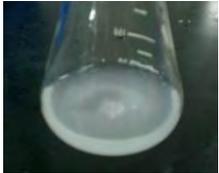
氯化物	$\text{SrCl}_{2(s)}$	$\text{MgCl}_{2(s)}$	$\text{ZnCl}_{2(s)}$	$\text{BaCl}_{2(s)}$
平均速率 (ml/sec)	無反應	無反應	無反應	無反應
末溫(°C)	22	22	22	22
顏色變化	混濁	透明無色(混濁)	白色混濁(膠態)	透明無色
照片				

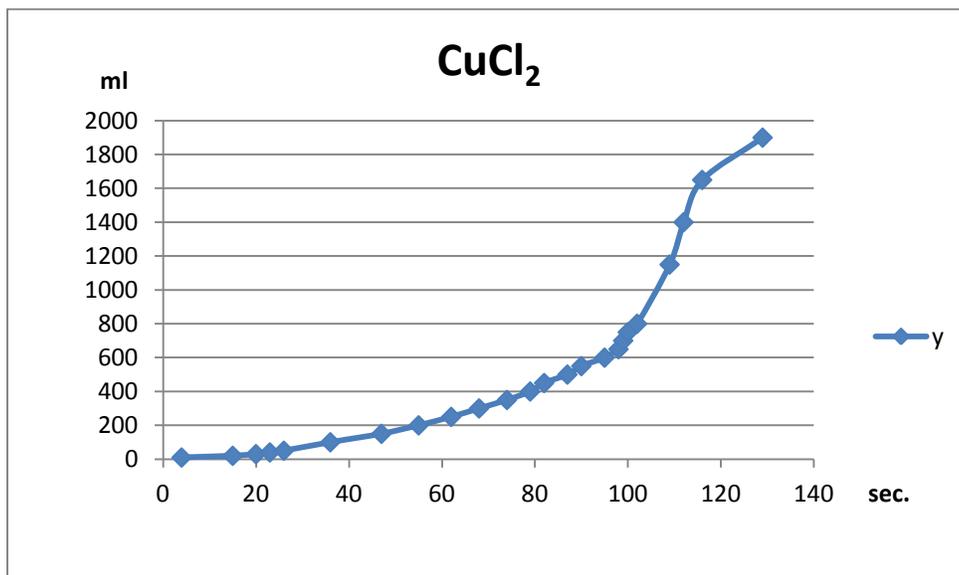
表 3 氯化物對 (1 : 1) H_2O_2 水溶液的催化效果(有反應者)

氯化物	$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
反應高峰期氧氣產生平均速率(ml/sec)	60.7	156.25	93.3
末溫(°C)	64	65	58
顏色變化	藍色晶體→白色 泡泡→藍色	深褐色晶體→深 咖啡色	黃色晶體(磨粉)→深咖啡色→ 淺橘色
照片			

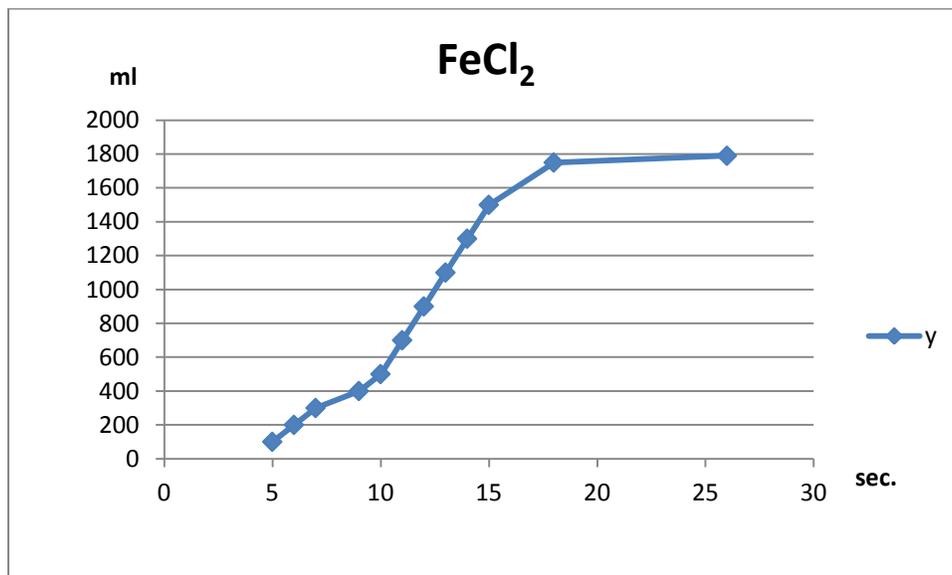
【討論】

1. 經實驗後，我們將有反應及無反應的氯化物分別製表比較（表 2、表 3），無反應的氯化物中，幾乎在溶於雙氧水後便沒有動靜，只有氯化鋅(ZnCl_2)呈白色混濁且稍微膠態狀。
2. 有反應的氯化物包括氯化銅 (CuCl_2)、氯化鐵 (FeCl_3) 及氯化亞鐵 (FeCl_2)，其反應速率與溶液顏色變化如表 3。
3. 為製作反應曲線圖，我們將上述 3 種氯化物濃度降至 0.005 莫耳，使反應速率減緩些，以方便收集氣體來做比較。

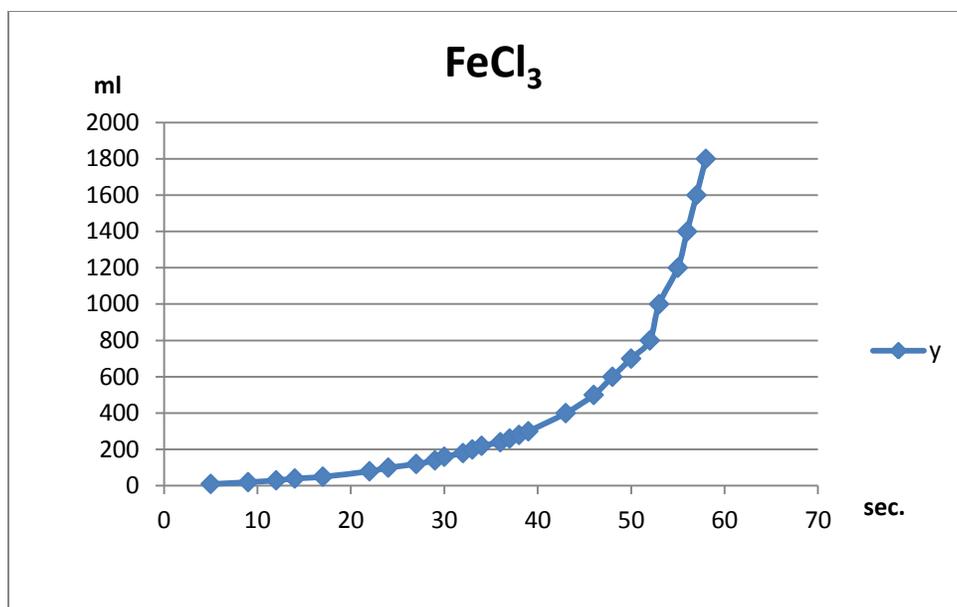
(三) 比較氯化銅 (CuCl_2)、氯化鐵 (FeCl_3)、氯化亞鐵 (FeCl_2) 之催化曲線
【結果】



[圖二] CuCl_2 催化雙氧水的反應曲線圖



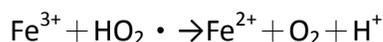
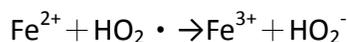
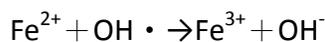
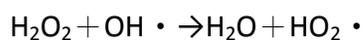
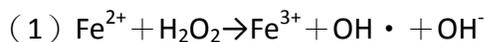
[圖三] FeCl_2 催化雙氧水的反應曲線圖



[圖四] FeCl₃ 催化雙氧水的反應曲線圖

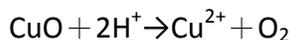
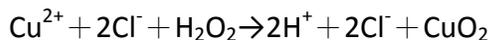
【討論】

1. 氯化銅 (CuCl₂) 一加入雙氧水就一直冒泡泡，且(泡泡層)表面逐漸上升，但產生氣體的速率並不快，反應約 100 秒時，才有明顯的變快，冒泡的情形類似沸騰，在約 110 多秒時就減慢，停止。曲線圖如[圖二]。
2. 氯化亞鐵 (FeCl₂) 催化整體而言非常迅速，屬於爆發型反應；泡泡顏色由深褐色逐漸轉淺(黃)，反應結束後的溶液呈深褐色。曲線圖如[圖三]。
3. 氯化鐵 (FeCl₃) 反應前半段穩定，至約 50 秒時速率直線上升，泡泡(黃色)也不斷衝出，並在達到最快速率後結束反應，溶液最後呈橘黃色。曲線圖如[圖四]。
4. 有關亞鐵離子、鐵離子催化雙氧水分解反應之機制可能為：



由於自由基 (OH·、HO₂·) 的生成，造成連鎖反應，致使影響了過氧化氫的分解速率。

5. 氯化銅 (CuCl₂) 與雙氧水的反應過程為：



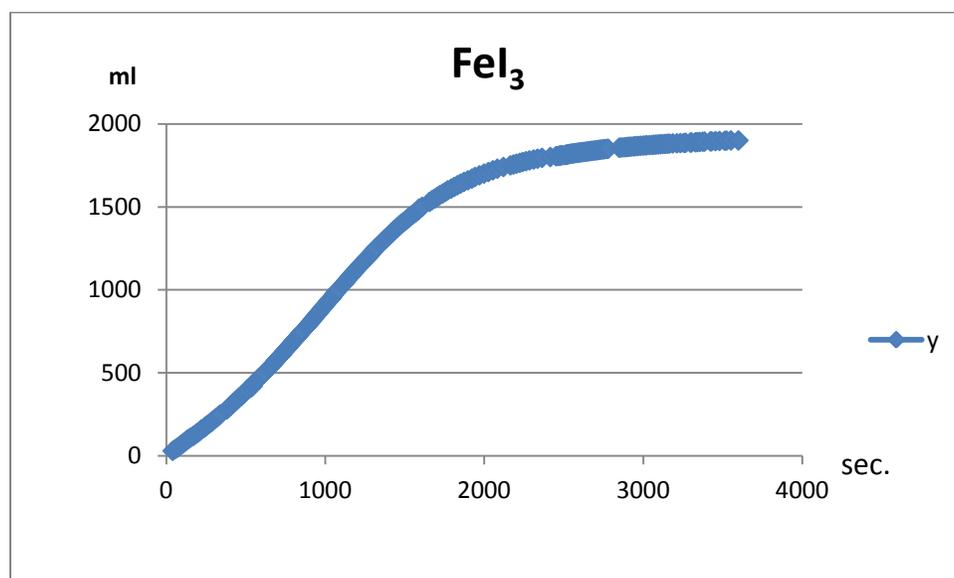
故反應前後溶液顏色一直為藍色。

(四) 探討碘化鐵 (FeI_3) 催化效果

【結果】

表 4 碘化鐵對 (1:1) H_2O_2 水溶液的催化效果

反應物	碘化鐵 (FeI_3)
反應高峰期氧氣產生平均速率 (ml/sec)	0.983
未溫	47
顏色變化	紫(紅)色→咖啡色(泡泡)
照片	



[圖五] FeI_3 催化雙氧水的反應曲線圖

【討論】

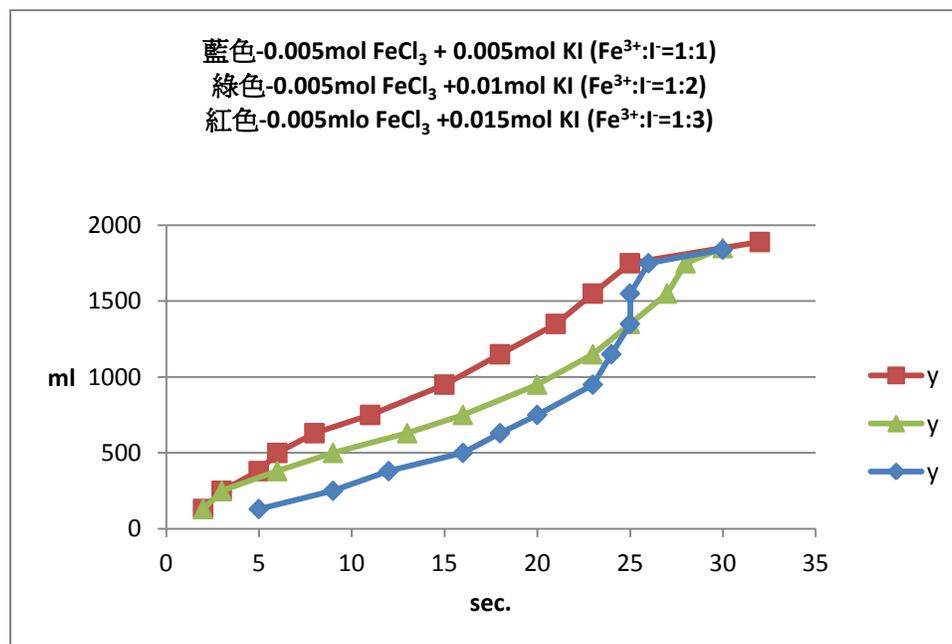
1. 我們將鹵鹽中催化速率最快的 I^- 與 Fe^{3+} 結合後來進行催化，結果發現催化穩定但速率不快，最高速率約 1ml/sec ，和其他有催化效果的氯化物相差甚遠。
2. 反應一開始，溶液呈紫紅色，隨後在表層冒泡泡，並逐漸偏咖啡色，泡泡也由大轉小，最後保持類似沸騰的狀態至反應結束，但其反應前、後段都很慢，因此整個反應時間約 1 小時。

- 3.我們直接將 $\text{FeCl}_3(s)$ 置入水中，發現其溶解度很低，有許多晶體不溶，這應是造成催化效果不佳的主要原因。
- 4.由表 4 照片可知，反應過程產生了碘蒸氣，使瓶內呈現紫紅色現象。
- 5.為觀察 Fe^{3+} 與 I^- 混合催化的效果，我們選擇將氯化鐵(FeCl_3)與碘化鉀(KI)混合後，加入雙氧水，看其混合催化的情形。

(五) 探討氯化鐵(FeCl_3)與碘化鉀(KI)混合催化效果

【結果】 表 5 FeCl_3 與 KI 混合對 (1:1) H_2O_2 水溶液的催化效果

反應物	0.005mol $\text{FeCl}_3(s)$ + 0.005mol $\text{KI}(s)$ ($\text{Fe}^{3+} : \text{I}^- = 1 : 1$)	0.005mol $\text{FeCl}_3(s)$ + 0.01mol $\text{KI}(s)$ ($\text{Fe}^{3+} : \text{I}^- = 1 : 2$)	0.005mol $\text{FeCl}_3(s)$ + 0.015mol $\text{KI}(s)$ ($\text{Fe}^{3+} : \text{I}^- = 1 : 3$)
反應高峰期氧氣產生速率 (ml/s)	116.67	83.33	65.88
末溫(平均)	51°C	65°C	69.38°C
顏色變化	紫(紅)色→深咖啡色(泡泡)→紫色碘蒸氣		
照片			



[圖六] FeCl_3 與 KI 混合催化雙氧水的反應曲線圖

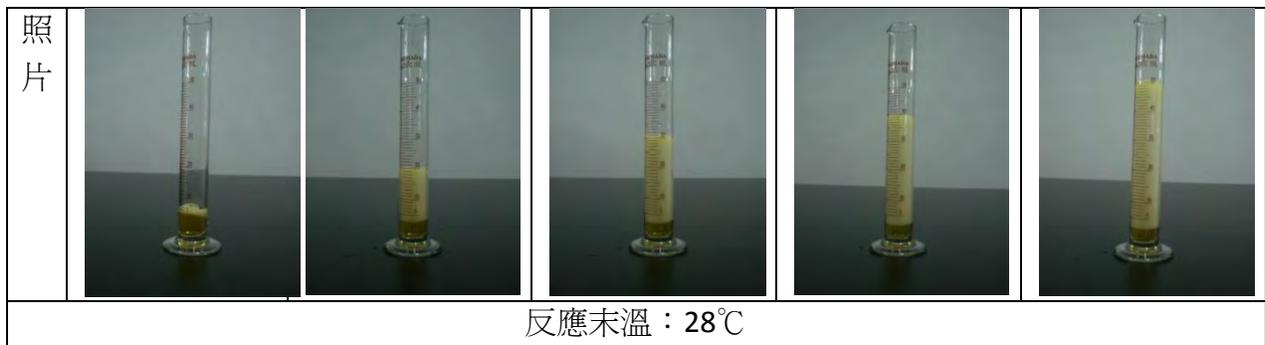
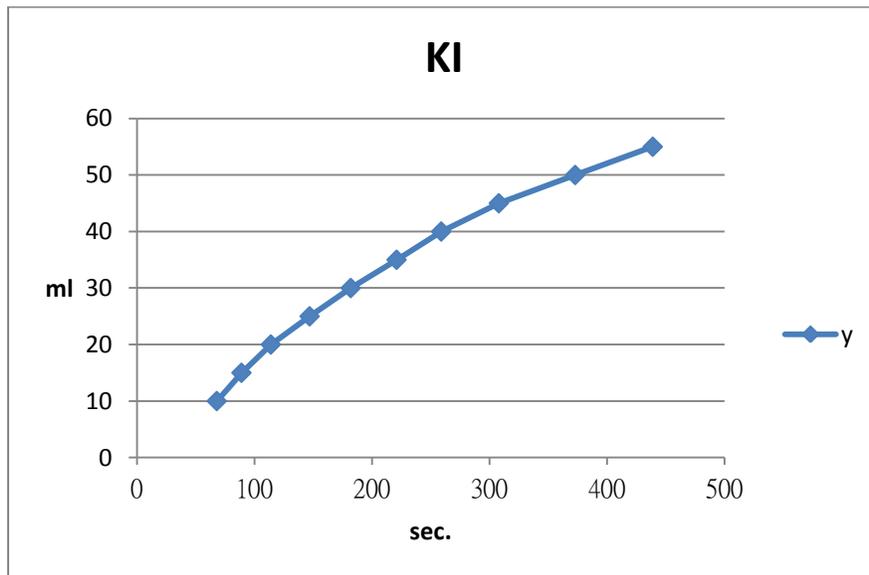
【討論】

1. 將 FeCl_3 與 KI 混合後，我們觀察到出現深紫色晶體，推測應是碘。反應過程中，錐形瓶內壁亦出現深紫色沉積物，打開橡皮塞量測溫度時亦飄出許多碘蒸氣，顯示 FeCl_3 與 KI 混合可能出現如下的反應： $2\text{Fe}^{3+} + 3\text{I}^- \rightarrow 2\text{Fe}^{2+} + \text{I}_3^-$ ； $2\text{Fe}^{3+} + 2\text{I}^- \rightarrow 2\text{Fe}^{2+} + \text{I}_2$
2. 將 Fe^{3+} 與 I^- 以 1:1、1:2、1:3 混合催化雙氧水，隨著碘離子濃度提升，反應高峰期出現時間愈快，放熱情形愈明顯。
3. 由此實驗可知，碘化鐵（ FeI_3 ）催化效果不佳的原因應是我們推測的溶解度不佳所造成。
4. 將 FeCl_3 與 KI 混合催化顯示效果比單獨催化為佳。

（六）微量實驗—將上述實驗教材化的研究

A. 微量實驗— KI 反應情形

【結果】



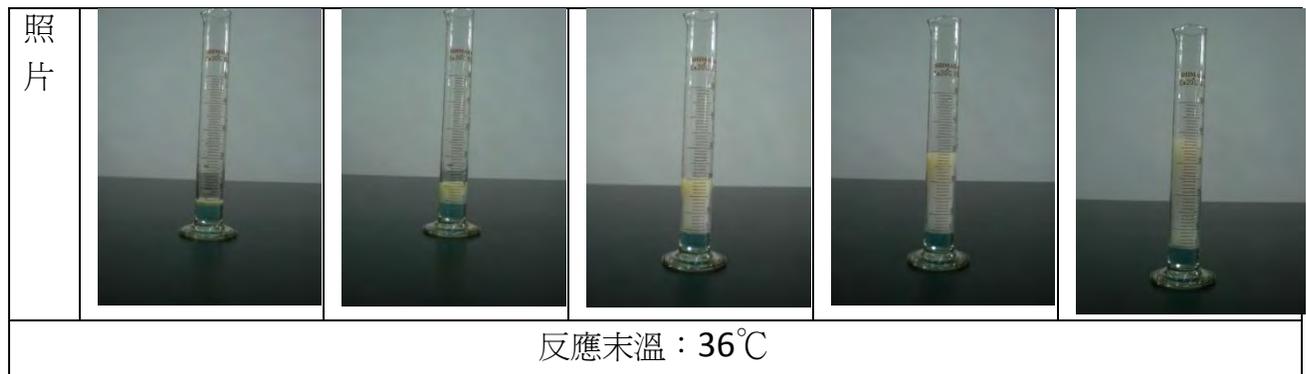
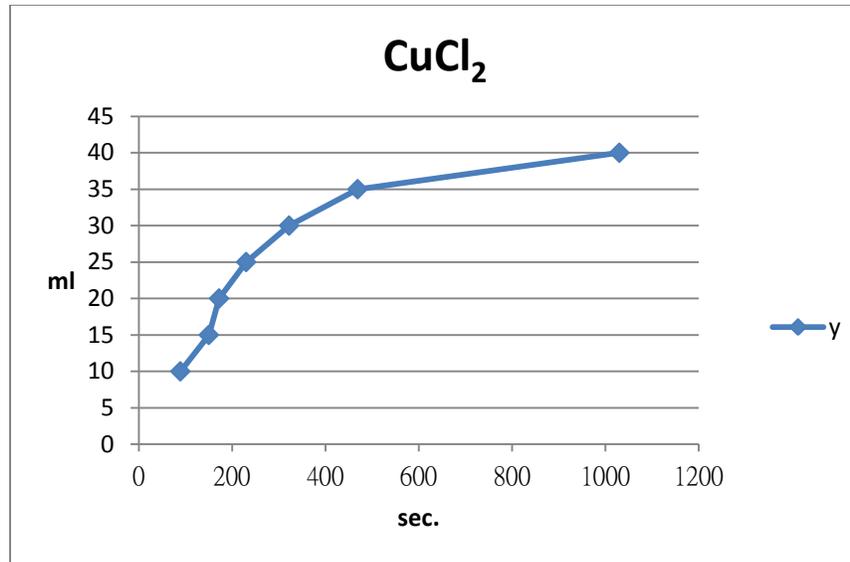
[圖七] 微量實驗-- KI 催化雙氧水曲線圖與對照照片

【討論】

1. 在微量實驗中，我們將氣泡產生的高度所對應的量筒 ml 數做為縱座標，時間為橫座標，繪製出[圖七]，可知此法亦能呈現 KI 對雙氧水的催化情形。
2. 在此實驗中，我們亦可清楚觀察到量筒中反應液的顏色變化，故可做為課堂中示範實驗的選擇。

B. 微量實驗—CuCl₂反應情形

【結果】



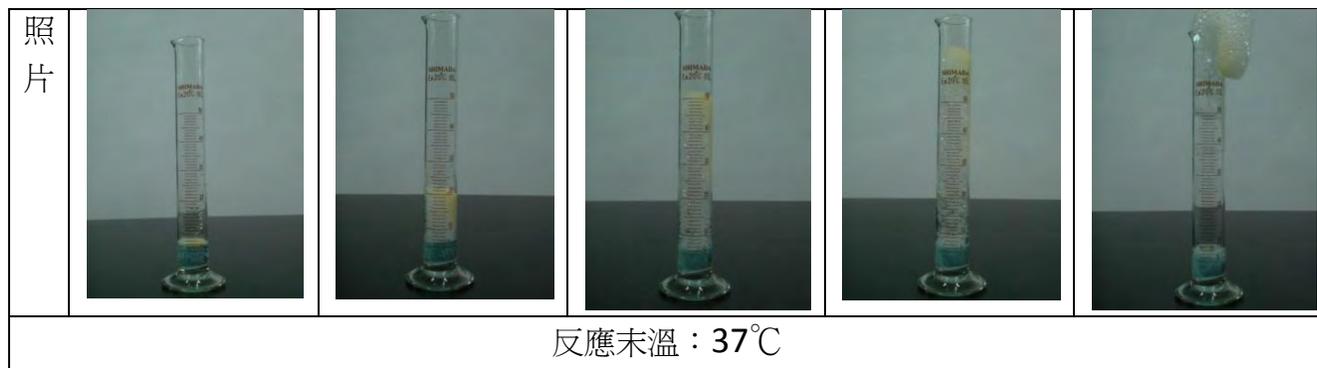
[圖八] 微量實驗--CuCl₂ 催化雙氧水曲線圖與對照照片

【討論】

1. 在 CuCl₂ 微量實驗中，我們發現量筒中的氣泡似乎受重力影響，在 35ml 的高度即很難再上升，我們推測這是因為 CuCl₂ 催化產生氧氣的推力不夠，使氣泡高度無法再升高。
2. 我們試著改變反應條件（提高濃度）：取 0.005mol 的氯化銅(CuCl₂)晶體，將其溶於 5ml 水中→→取 0.5ml 加入 5ml 雙氧水（H₂O₂：H₂O=1：1 稀釋）中；結果發現沒有推力不

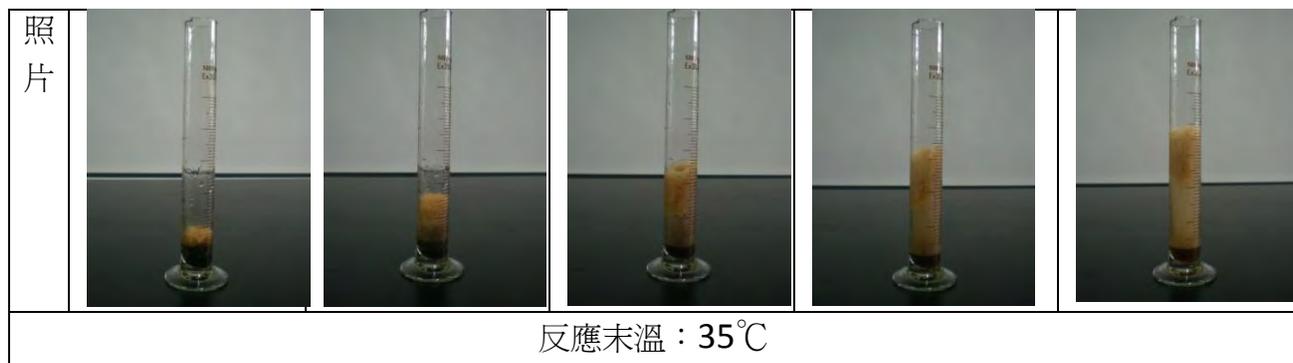
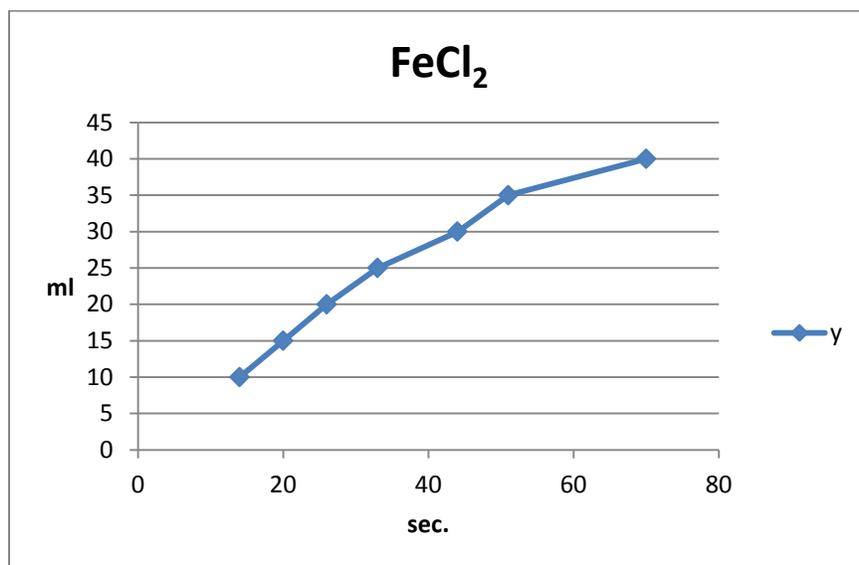
夠的現象，且反應快速而有趣，顯示可適度調整反應條件，展示最佳的催化反應。(下圖)

3. 隨著濃度提升，反應放熱也更多。(未溫提升)



C. 微量實驗—FeCl₂反應情形

【結果】



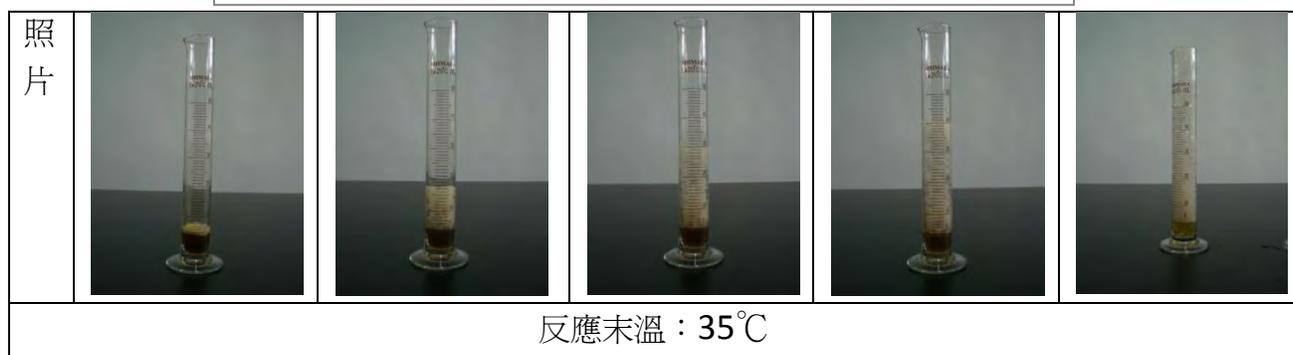
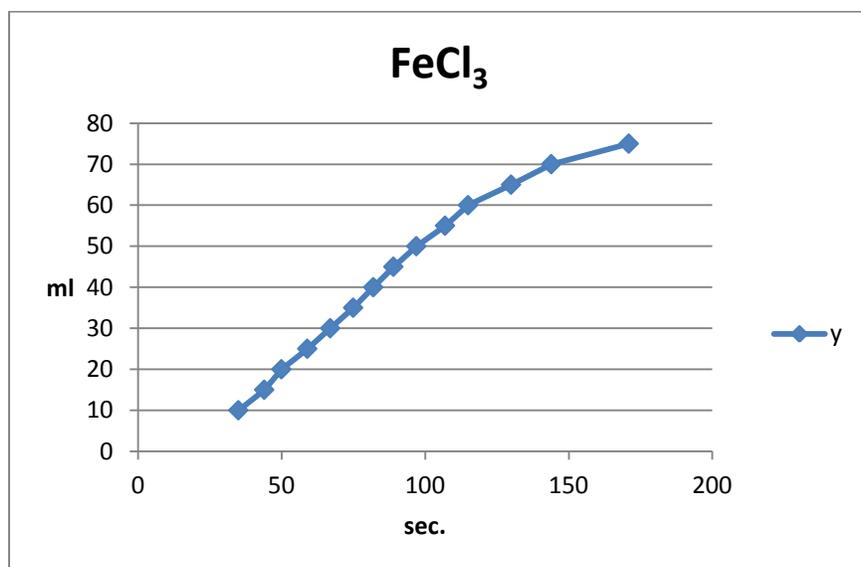
[圖九] 微量實驗--FeCl₂ 催化雙氧水曲線圖與對照照片

【討論】

1. 在 FeCl_2 微量實驗中，我們發現量筒中的氣泡濃稠，深褐色，且推到 40ml 刻度即停止上升，而下層反應液的反應亦趨近結束。
2. 對照微量實驗與排水集氣法反應曲線圖（圖三、圖九），可發現以排水集氣法所製出的反應曲線圖有較明顯的反應高峰期，這可能與排水集氣法較不易有氣體的逸失，也沒有重力的影響有關。
3. 在微量實驗中以 FeCl_2 的催化速率最快，若在課堂中展示，學生可明顯觀察到泡沫上衝現象，是一有趣的實驗選擇。

D. 微量實驗— FeCl_3 反應情形

【結果】



[圖十] 微量實驗— FeCl_3 催化雙氧水曲線圖與對照照片

【討論】

1. 在 FeCl_3 微量實驗中，我們發現量筒中的氣泡結構較稀疏（泡沫較大顆），且容易有氣泡破掉情形，這造成了氣體的逸失。

2. 對照微量實驗與排水集氣法反應曲線圖（圖四、圖十），可發現以排水集氣法所製出曲線圖的反應高峰期集中在反應後期；而在 FeCl_3 微量實驗的反應圖中則呈平穩上升曲線，這應是氣體的逸失所造成的結果。
3. 在此實驗中，我們亦可清楚觀察到量筒中反應液的顏色變化。

六、結論

1. 鹵化鉀與雙氧水的反應速率：碘離子 > 溴離子 > 氯離子；碘化鉀有明顯的催化效果，溴化鉀、氯化鉀則否。
2. 1A、2A 族及 Zn^{2+} 、 NH_4^+ 的氯化物無法催化雙氧水； Cu^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 的催化效果較明顯，其中 $\text{Fe}^{2+} > \text{Fe}^{3+} > \text{Cu}^{2+}$
3. 氯化亞鐵（ FeCl_2 ）催化屬於爆發型，氯化鐵（ FeCl_3 ）和氯化銅（ CuCl_2 ）前慢後快，其中氯化鐵（ FeCl_3 ）比氯化銅（ CuCl_2 ）的反差更大。
4. 碘化鐵催化速率非常均勻，但速率不快。
5. 將 Fe^{3+} 與 I^- 以 1:1、1:2、1:3 混合催化雙氧水，隨著碘離子濃度提升，反應高峰期出現時間愈快，放熱情形愈明顯。
6. 實驗顯示，晶體溶解度會影響催化效果。
7. 過渡金屬的陽離子通常呈多種氧化態，所以其鹽類可為催化劑，而催化速率又與離子種類有關，不同離子的反應速率不同。
8. 一物質可加速反應，而本身並不出現於淨反應方程式中，我們即稱該物質為催化劑；但廣義而言，凡能引發一連鎖反應的物質，在本質上亦可稱為催化劑，本研究之離子即是。
9. 微量實驗的展示，可提供國中課堂上催化劑多樣貌的有趣選擇，亦可展示出不同催化劑催化速率的差異，使學生更瞭解催化劑的多樣性。

七、展望

未來我們希望經過控制雙氧水反應的溫度（水浴法）與濃度，進一步研究其反應的級數，並改良微量實驗，使其能更準確而方便的呈現催化曲線，期能提供國中教材的另一種有趣選擇。

八、參考資料

1. 賴怡潔、洪毅廷、林宏達、林興德，1993，「紫！白！棕？綠？鹵化鉛與雙氧水反應的探討」第 33 屆全國中小學科學展覽會高中組(化學科第三名)
2. 蔡皓羽、謝伊婷、蒙惠玲、劉家慈，2002，「氧樂多—雙氧水的研究及新反應器的研製」第 42 屆全國中小學科學展覽會國中組(化學科第一名 最佳創意獎)
3. 甘嘉祺、劉浚升，2005，「雙氧水被溴水催化的化學動力學」94 年度高級中學基礎科學資優人才培育計畫期末報告

- 4.張兆綸、王鵬懿、王菁漢，2002，「揭開催化劑的神秘面紗-由過氧化氫分解製氧反應談起」第42屆全國中小學科學展覽會國中組
- 5.林莉雯、翁麗雯，2002，「 FeSO_4 催化雙氧水製造氧氣之研究」2002 台灣國際科學展覽會(化學科佳作)
- 6.張毓禎、何金昭、徐宜廷、邱一峰、卓靜哲，2002，「鹵鹽催化雙氧水分解反應的研究」
- 7.中國化學會期刊

【評語】 030205

該團隊尋找雙氧水分解之催化劑，提出氯化鐵、氯化亞鐵、氯化銅，與碘離子效應，並將氯化鐵與碘化鉀共混作為催化劑。

該工作之創新性稍為不足，效果佳的氯化亞鐵，卻未深入探討。
若能繼續鑽研，應有佳績。