中華民國第54屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組　化學科

第二名

最佳團隊合作獎

030208

快氧加鞭－催生一對氧！

學校名稱：雲林縣立斗六國民中學

作者：	指導老師：
國二 賴品任 國二 鐘晨瑋 國二 張慶驊	林雅文

關鍵詞：雙氧水、催化劑、活化能

快氧加鞭---催生一對氧！

摘 要

本研究以科學邏輯的實驗方法與數據分析,探討各種催化劑的催化效率、特性與活化能的關係，從催化劑的用量、溶液的酸鹼性及溫度分析,找出適用於低溫及室溫環境可以快速製造氧氣的催化劑;但是在快速製氧下所產生的臭氧是必須避免的,所以進一步研究發現,在0℃及未照光條件下最不易產生臭氧,於是我們找出在低溫與室溫環境適用的催化劑分別是二氧化鉛及碘化鉀,並搭配適當的酸鹼值溶液使用。至於二次催化效果方面,PbO_2的催化速率明顯下降,但是仍比 MnO_2 來的快,這些研究結果將可應用在作為氧氣急救包瓶設計上的良好催化劑之參考。

壹、研究動機

台灣每年有許多的人，因高山症與工安意外而喪失生命。在爬高山的時候，常常會因為高山的空氣含氧量不足，而得到高山症。可是如果要背一個大氧氣桶上高山，光裝備就已經夠重了，還得背一個大鋼瓶，身體根本吃不消。又或者是在新聞報導中得知，有些工人是因為不慎掉入缺氧的環境中缺氧而死。所以我們有一個氧氣急救瓶的構想，可以方便隨身攜帶、快速產生氧氣的急救瓶，能在缺氧的時候緊急獲得所需的氧氣，或許還能多爭取一些搶救的時間，使傷害降到最低，挽回一條生命。

因此我們利用國中自然與生活科技的第四章「反應速率與平衡」，催化劑與反應速率的關係，以及自然科學補充教材中反應速率與活化能關係，與老師多次討論及收集相關文獻後，我們決定探討各催化劑的催化效果及相關機制,以期找到快速製造氧氣的方法,不只適用低溫的高山環境,而且是收集到安全無臭氧的氧氣，因此我們展開了一連串的實驗及數據分析。

貳、研究目的

一、探討 催化劑的用量對催化作用的影響。
二、探討 在不同溫度時,催化劑的催化效果。
三、探討 在不同 pH 下,催化劑的催化速率。
四、探討 活化能大小對溫度效應產生的速率變化影響。
五、探討 PbO_2、MnO_2的二次催化速率。
六、探討 各催化劑作用下,雙氧水分解產生的氣體中所含臭氧的比率。
七、探討 分別以光照條件及溫度為變因,分析對臭氧產量的影響。

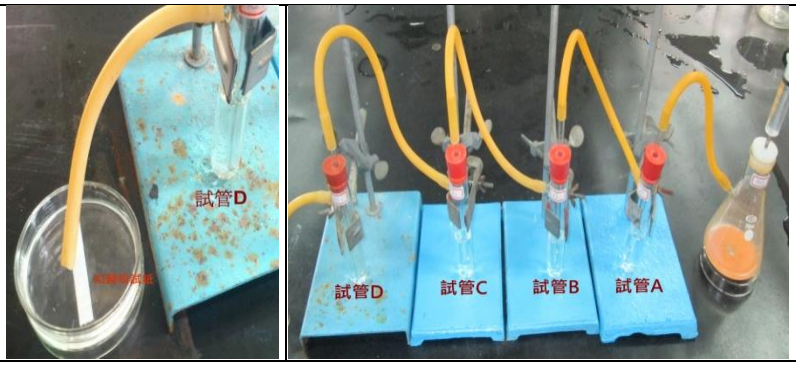
參、研究器材及藥品

一、器材及藥品清單:

量筒（100mL）	電子天平(0.001g)	燒杯	固定夾＋鐵架	PbO_2
過濾瓶（附橡皮管）	電磁攪拌器	量瓶	試管(有側管)	MnO_2
矽膠塞	攪拌子	pH 計	橡皮管	$KCl_{(s)}$
注射針筒(10mL)	溫度計	刮杓	蒸餾水	$KBr_{(s)}$
水槽	碼表	滴管	H_2O_2（35%）	$KI_{(s)}$
$NaOH_{(s)}$	量筒（10、25mL）	$Na_2S_2O_3{\cdot}5H_2O_{(s)}$	$FeSO_4{\cdot}7H_2O_{(s)}$	冰塊
H_2SO_4(98%)	可溶性澱粉	硼砂	$Na_2CO_{3(s)}$	錐形瓶
KI-澱粉試紙	滴定管+固定夾	$(NH_4)_2Cr_2O_{7(s)}$	鑽孔器	橡皮塞

二、實驗裝置

圖(一) 排水集氣法裝置



圖(二)臭氧檢測裝置【註】

【註】:改良參考文獻三，原裝置將澱粉液直接加入試管內(含有 $KI_{(aq)}$)，會造成後續滴定的誤差，本研究改在滴定接近終點時才加入澱粉液，並輔以 KI-澱粉試紙檢測最後已無臭氧從試管 D 釋出。

三、實驗溶液的配製

1.不同 pH 值水溶液:

(1)秤取 2.5g H_2SO_4(98%)加水配成 500mL 溶液，調整溶液 pH 值為 1.0(以 pH 計測得)

(2)取 5mL、pH1 溶液加水稀釋配成 500mL 溶液，調整溶液 pH 值為 3.0

(3)取 5mL、pH3 溶液加水稀釋配成 500mL 溶液，調整溶液 pH 值為 5.0

(4)秤取 0.02g NaOH 溶於水配成 500mL 溶液，調整溶液 pH 值為 11.0

(5)取 5mL、pH11 溶液加水稀釋配成 500mL 溶液，調整溶液 pH 值為 9.0

(6)取 5mL、pH9 溶液加水稀釋配成 500mL 溶液，調整溶液 pH 值為 7.0

2.氧化還原滴定及臭氧檢測:

(1)秤取 $Na_2S_2O_3{\cdot}5H_2O_{(s)}$ 加水(煮沸過)配成 0.05M 溶液，加入少量 $Na_2CO_{3(s)}$靜置、避免照光。

(2)標定:以精準秤取的$(NH_4)_2Cr_2O_{7(s)}$溶於水，並加入過量 $KI_{(s)}$，再加入 10mL、20% H_2SO_4，置於暗處使其充分反應後再加水稀釋，以配置好的 $Na_2S_2O_{3(aq)}$進行滴定，當溶液顏色由棕色變為淡黃色時，加入澱粉液(0.5%、含適量硼砂)，繼續滴定至藍色消失呈淡綠色，紀錄使用的 $Na_2S_2O_{3(aq)}$體積，並計算 $Na_2S_2O_{3(aq)}$的濃度,標定結果:
$[Na_2S_2O_{3(aq)}]$=0.051M

(3)秤取 $KI_{(s)}$加水(煮沸過)配成 0.2M 溶液，做為檢測臭氧之用。

肆、研究過程與結果

❖實驗原理

1.對於只有一個反應物 A 的基本反應來說，其速率定律式為:

rate = k [A]　　k：速率常數 ; [A]: 反應物 A 的濃度

一級反應積分速率式為：

$$\ln[A] = -\mathrm{kt} + \ln[A]_0$$

$$\ln\frac{[A]_0}{[A]} = \mathrm{k}t$$

2.而雙氧水分解的氧氣體積與雙氧水的濃度有以下之關係:

$$\frac{V_{max}}{V_{max}-V_t} = \frac{[H_2O_2]_0}{[H_2O_2]_t}$$

Vmax:分解產生的氧氣體積最大值

Vt　: t 時刻所產生的氧氣體積

$$\ln\frac{V_{max}}{V_{max}-V_t} = \ln\frac{[H_2O_2]_0}{[H_2O_2]_t} = \mathrm{kt}$$

$$\ln\frac{V_{max}}{V_{max}-V_t} = \mathrm{kt}$$

$$\ln V_{max} - \ln(V_{max}-V_t) = \mathrm{kt} \quad \Rightarrow \quad \ln(V_{max}-V_t) = -\mathrm{kt} + \ln V_{max}$$

以$\ln(V_{max}-V_t)$對時間 t 作圖，將得到一條斜率為-k 的直線,依此可求出速率常數,此法不僅克服了檢測雙氧水濃度的困難及檢測中濃度持續下降的誤差,還可以比較在不同溫度下的速率常數,更可求出在不同催化劑作用下的活化能(依據阿瑞尼士方程式)。

❖實驗過程

一、探討以 MnO_2 為催化劑的催化作用

(一)實驗方法

【實驗 A】: MnO_2 的用量對反應速率的影響

1.備妥排水集氣法裝置，如圖(一)。

2.秤取 0.01mole MnO_2 放入裝有 30mL 蒸餾水的過濾瓶中，置入攪拌子。

3.將過濾瓶放入 25℃水浴槽中。

4.在套好矽膠塞的針筒中加入 10mL 的 H_2O_2，將矽膠塞子塞緊過濾瓶並將 H_2O_2 打入過濾瓶中，使其與 MnO_2 反應。

5.以量筒收集 O_2，並紀錄每 100mL 之反應時間。

6.分別以 0.005mole、0.0025mole 的 MnO_2 重複步驟 1~5。

【實驗 B】: MnO_2 在不同溫度下的催化速率

1.備妥排水集氣法裝置。

2.秤取 0.01mole MnO_2 放入裝有 30mL 蒸餾水的過濾瓶中，置入攪拌子。

3.將過濾瓶放入 0℃冰水浴槽中。

4.在套好矽膠塞的針筒中加入 10mL 的 H_2O_2，將矽膠塞子塞緊過濾瓶並將 H_2O_2 打入過濾瓶中，使其與 MnO_2 反應。

5.以量筒收集 O_2，並紀錄每 100mL 之反應時間。

6.分別以 25℃及 50℃的水浴槽重複步驟 1~5。

7.改以 0.0025 mole MnO_2 重複步驟 1~6。

【實驗 C】: MnO_2 在不同 pH 值下的催化效果

1.準備排水集氣法裝置及不同 pH 值的水溶液。

2.秤取 0.0025mole MnO_2 放入裝有 30mL 水溶液的過濾瓶中，置入攪拌子。

3.將過濾瓶放入 25℃水浴槽中。

4.在套好矽膠塞的針筒中加入 10mL 的 H_2O_2，將矽膠塞子塞緊過濾瓶並將 H_2O_2 打入過濾瓶中，使其分別與不同 pH 值的水溶液反應。

5.以量筒收集 O_2，並紀錄每 100mL 之反應時間。

(二)實驗結果

A. MnO_2 的用量對反應速率的影響

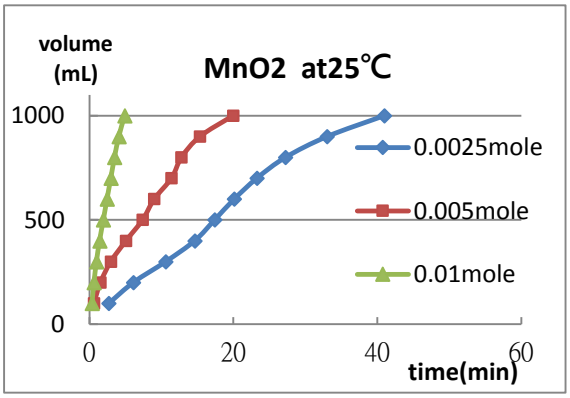


圖 1-1 氧氣體積與時間關係

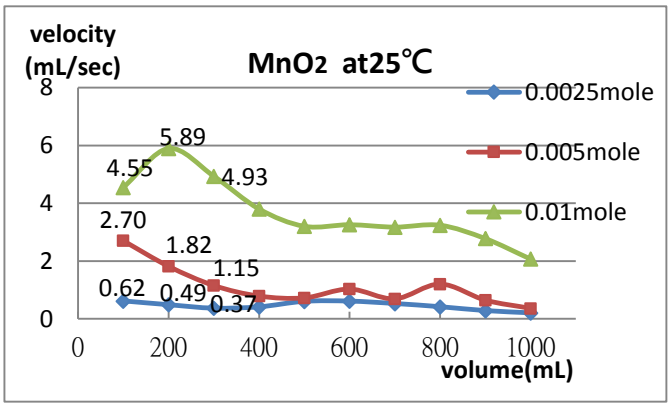
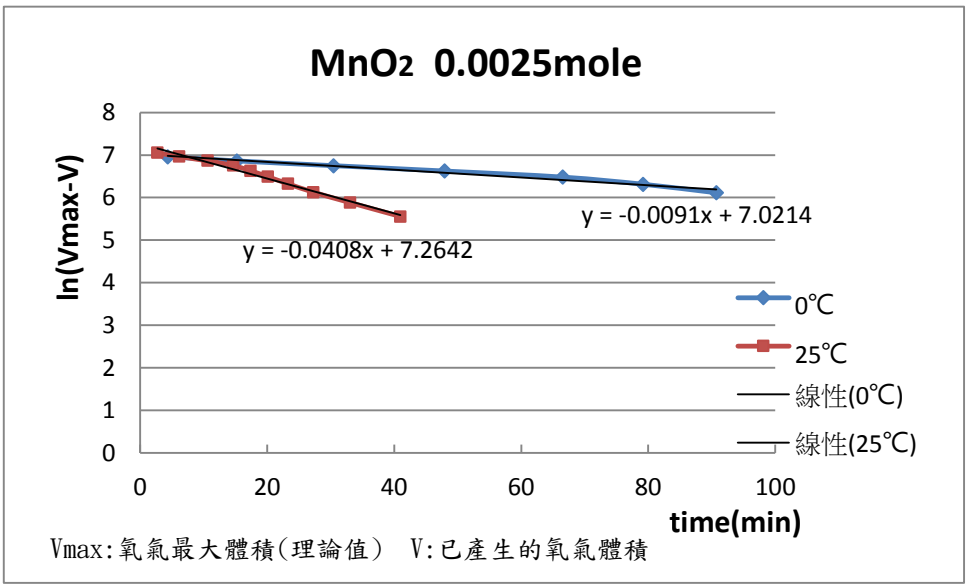


圖 1-2 每產生 100mL 氧氣的平均反應速率

▶莫耳數倍增,初速率亦變大,但平均大於原來兩倍

B.① 0.0025mole MnO_2 在 0℃及 25℃下的催化反應



＊求出在催化劑作用下，雙氧水分解反應的活化能 Ea，方法(一):

根據阿瑞尼士方程式:

$k = A \cdot e^{-Ea/RT}$

A :頻率因數【一般視為常數】

R :氣體常數【8.314 J /k-mole】

Ea:活化能【不受溫度影響】

k :速率常數

根據上圖數據所得k值,代入下列算式:

$$\ln(\frac{k_2}{k_1}) = \frac{Ea}{R}(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2})$$

推算出在 0.0025mole MnO_2 作用下:

Ea=ln(0.0408/0.0091)×8.314÷(1/273-1/298)÷1000=40.59 kJ/mole≒40kJ/mole(標準值)

② 0.01mole MnO_2 在 0℃、25℃及 50℃下的催化速率比較

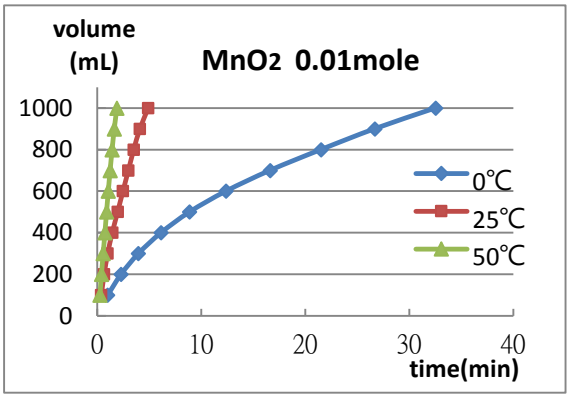


圖 1-3 氧氣體積與時間關係

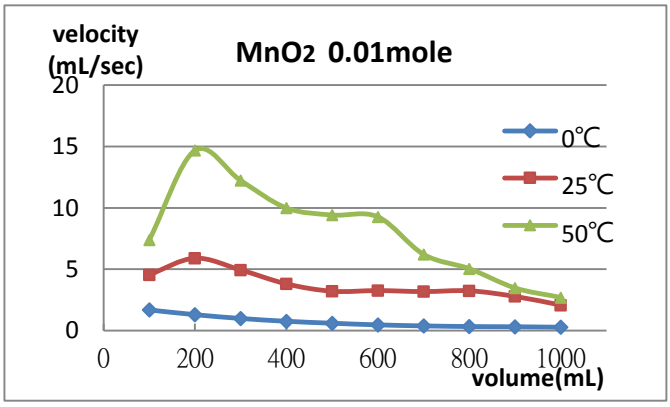


圖 1-4 每產生 100mL 氧氣的平均反應速率

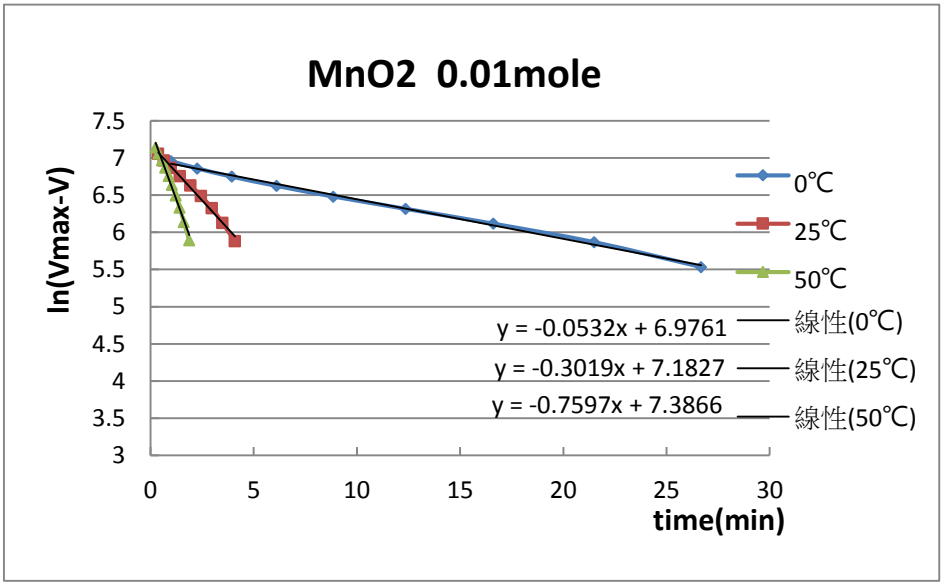


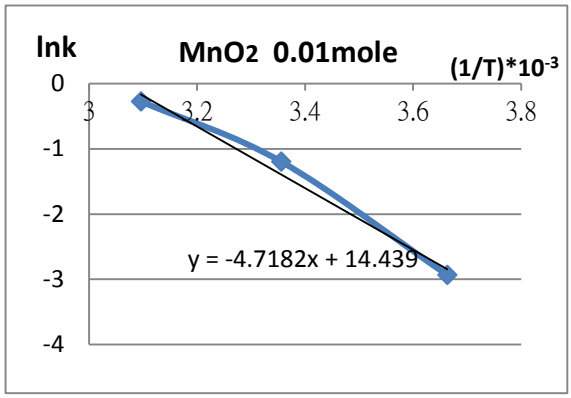
圖 1-5 ln(Vmax-V)對時間關係圖

＊求出在催化劑作用下，雙氧水分解反應的活化能 Ea，方法(二):

利用以下算式及數據,以 lnk 對 1/T 作圖, 將得到一條斜率為-Ea/R 的直線亦可求出 Ea

$$\ln k = \ln A - \frac{Ea}{R} \times \frac{1}{T}$$

T(K)	1/T	k(s^{-1})
273	0.003663	0.0532
298	0.003356	0.3019
323	0.003096	0.7597



推算出在 0.01mole MnO_2 作用下:

Ea=4.7182×10^3×8.314÷1000=39.2271≒40kJ/mole(標準值)

▶經查資料知, H_2O_2 分解反應的活化能標準值為 40kJ/mole(MnO_2 作用下),由此部分實驗可知 ,反應活化能不因加入的 MnO_2 莫耳數改變而有顯著的改變。

C. MnO_2 在不同 pH 值下的催化效果(25℃)

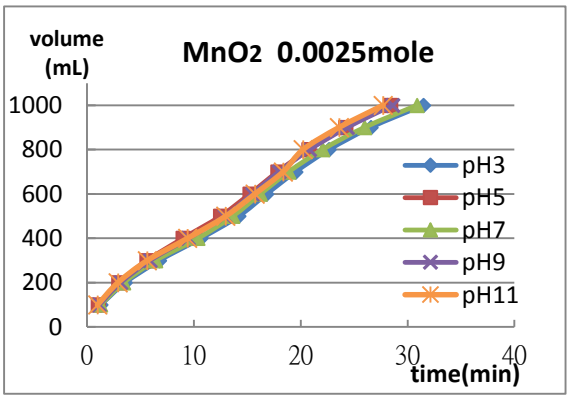


圖 1-6 氧氣體積與時間關係

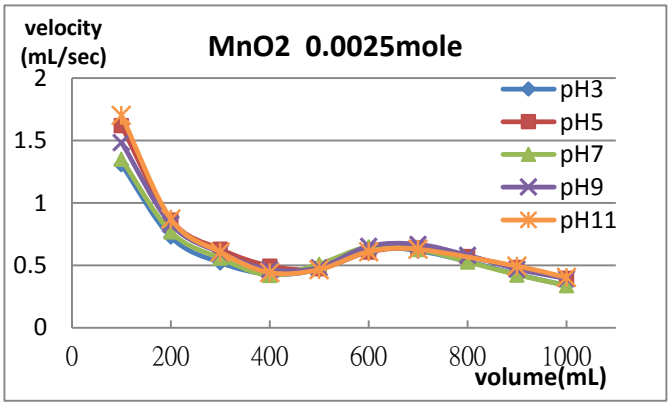


圖 1-7 每產生 100mL 氧氣的平均反應速率

▶根據實驗結果發現,在酸性 pH5 及鹼性 pH11 下,二氧化錳的催化效果較佳,由於二氧化錳會部分溶在濃度大的酸中,所以在 pH3 環境下的催化速率反而小於在 pH5 環境下，不過整體而言，酸鹼值對二氧化錳的影響不大。

二、探討以 PbO_2 為催化劑的催化作用

(一)實驗方法

【實驗 A】: PbO_2 的用量對反應速率的影響

1.備妥排水集氣法裝置。

2.秤取 0.0025mole PbO_2 放入裝有 30mL 蒸餾水的過濾瓶中，置入攪拌子。

3.將過濾瓶放入 10℃水浴槽中。

4.在套好矽膠塞的針筒中加入 10mL 的 H_2O_2，將矽膠塞子塞緊過濾瓶並將 H_2O_2 打入過濾瓶中，使其與 PbO_2 反應。

5.以量筒收集 O_2，並紀錄每 100mL 之反應時間。

6.分別以 0.001875mole、0.00125mole 的 PbO_2 重複步驟 1~5。

【實驗 B】: PbO_2 在不同溫度下的催化速率

1.備妥排水集氣法裝置。

2.秤取 0.00125mole PbO_2 放入裝有 30mL 蒸餾水的過濾瓶中，置入攪拌子。

3.將過濾瓶放入 0℃冰水浴槽中。

4.在套好矽膠塞的針筒中加入 10mL 的 H_2O_2，將矽膠塞子塞緊過濾瓶並將 H_2O_2 打入過濾瓶中，使其與 PbO_2 反應。

5.以量筒收集 O_2，並紀錄每 100mL 之反應時間。

6.分別以 10℃及 25℃的水浴槽重複步驟 1~5

【實驗 C】: PbO_2 在不同 pH 值下的催化效果

1.準備排水集氣法裝置及不同 pH 值的水溶液。

2.秤取 0.0025mole PbO_2 放入裝有 30mL 水溶液的過濾瓶中，置入攪拌子。

3.將過濾瓶放入 25℃水浴槽中。

4.在套好矽膠塞的針筒中加入 10mL 的 H_2O_2，將矽膠塞子塞緊過濾瓶並將 H_2O_2 打入過濾瓶中，使其分別與不同 pH 值的水溶液反應。

5.以量筒收集 O_2，並紀錄每 100mL 之反應時間。

(二)實驗結果

A. PbO_2 的用量對反應速率的影響

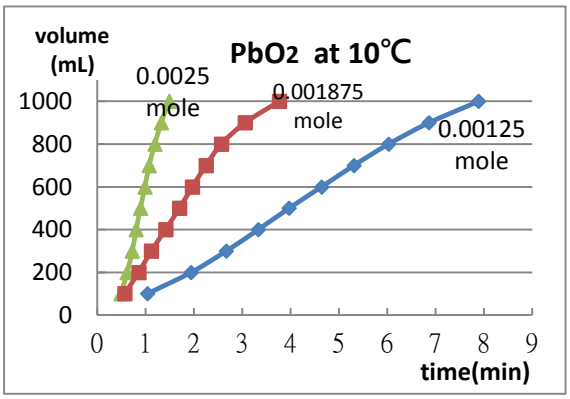


圖 2-1 氧氣體積與時間關係

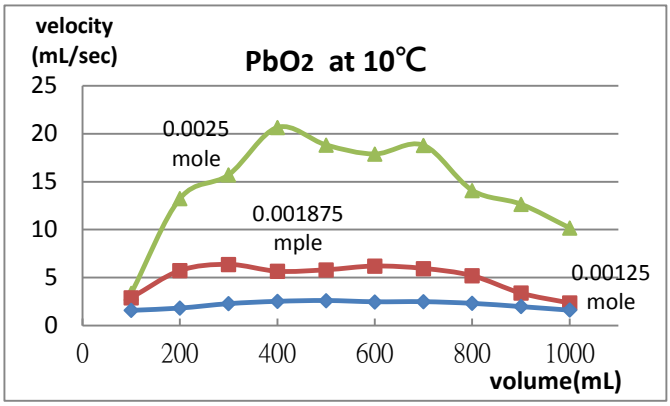


圖 2-2 每產生 100mL 氧氣的平均反應速率

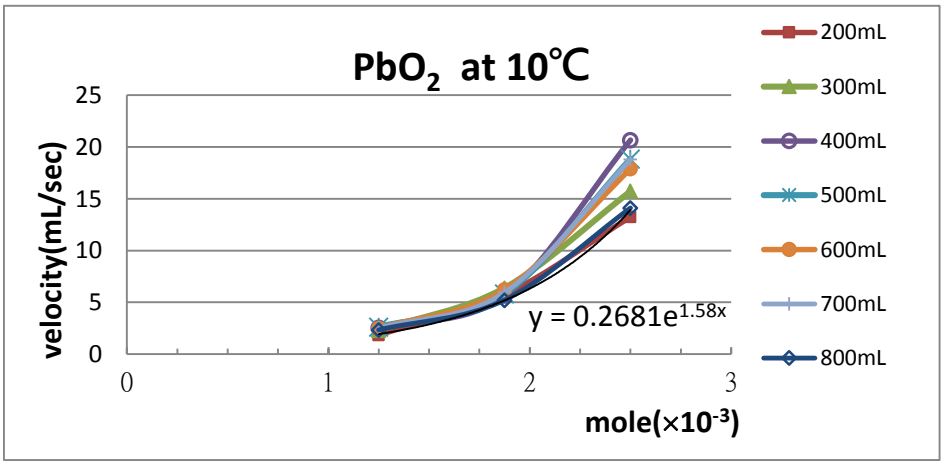


圖 2-3 PbO_2 的用量與收集每 100ml 氧氣時的反應速率關係

B.① PbO_2在 0℃及 10℃下的催化反應

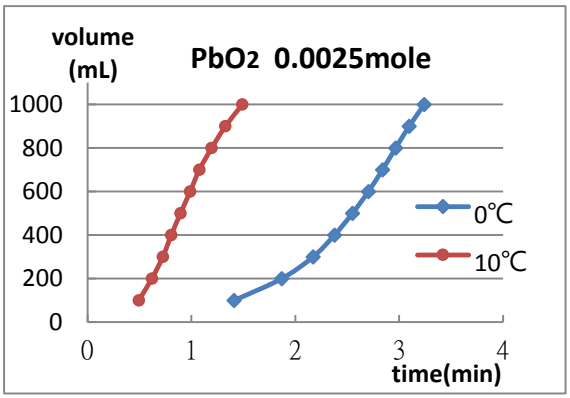


圖 2-4 氧氣體積與時間關係

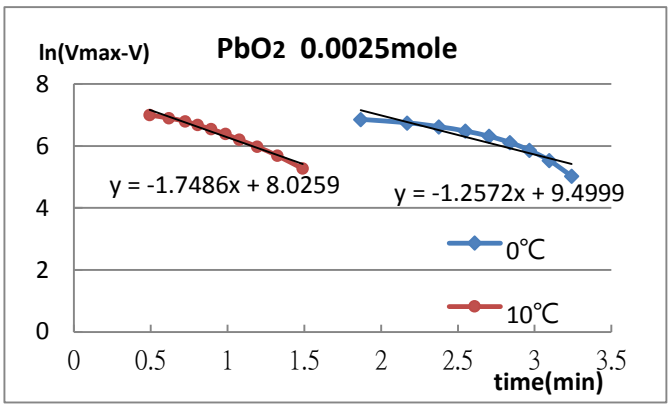


圖 2-5 ln(Vm-V)對時間關係圖

▶推算出 Ea=ln(1.7486/1.2572)×8.314÷(1/273-1/283)÷1000=21.19 kJ/mole

② PbO_2在 0℃、10℃及 25℃下的催化速率比較

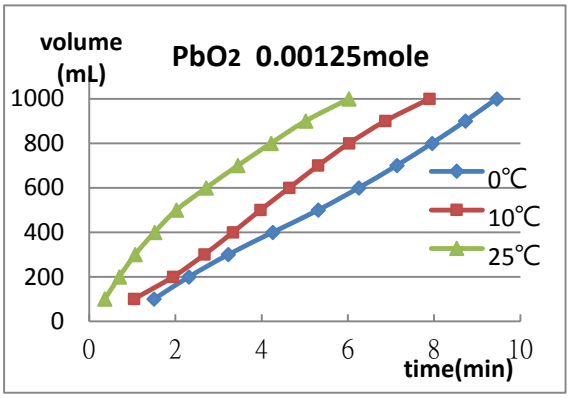


圖 2-6 氧氣體積與時間關係

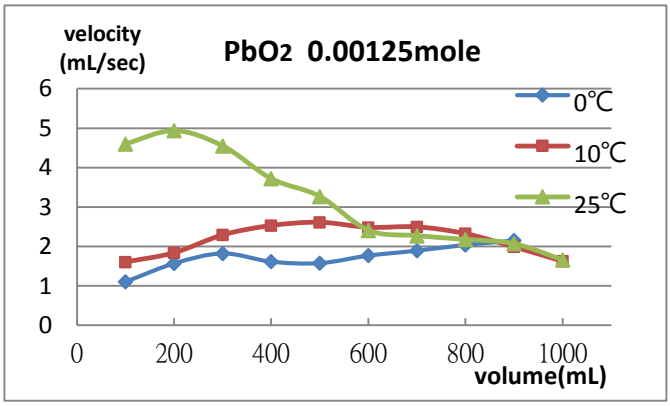


圖 2-7 每產生 100mL 氧氣的平均反應速率

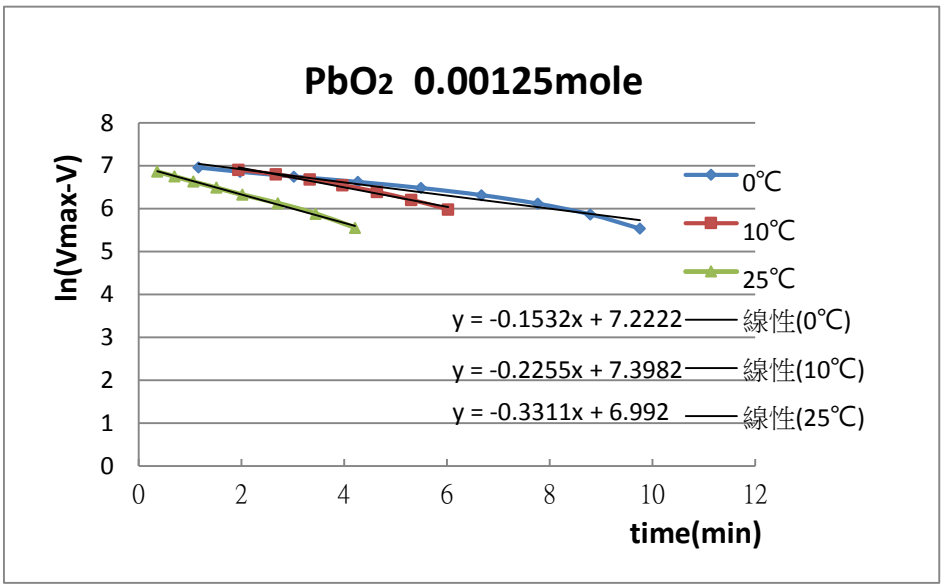
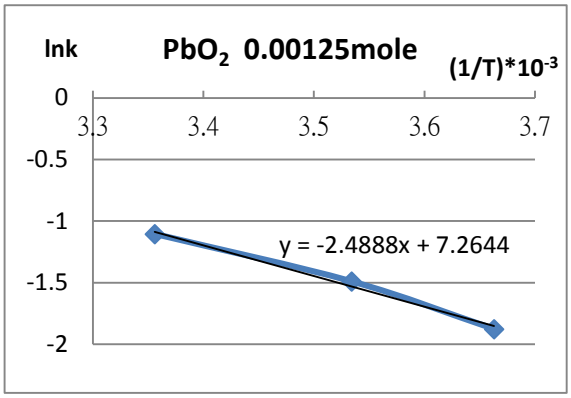


圖 2-8 ln(Vm-V)對時間關係圖

T(K)	1/T	k(s^{-1})
273	0.003663	0.1532
298	0.003534	0.2255
323	0.003356	0.3311

$$\ln k = \ln A - \frac{Ea}{R} \times \frac{1}{T}$$



Ea=2.4888×10^3×8.314÷1000

=20.69≒21 kJ/mole

▶由實驗結果可知溫度的改變對 PbO_2 的催化速率影響不大,這應與其活化能較小有關

C. PbO_2 在不同 pH 值下的催化效果

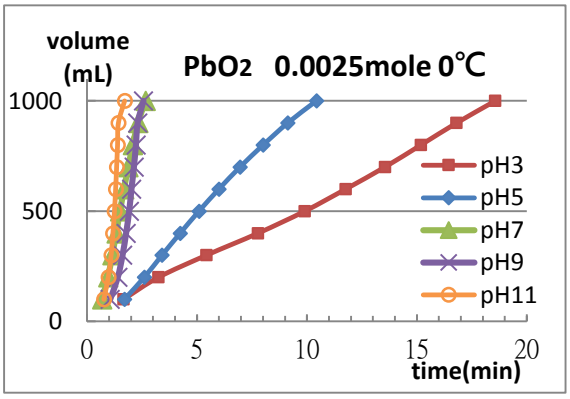


圖 2-9 氧氣體積與時間關係

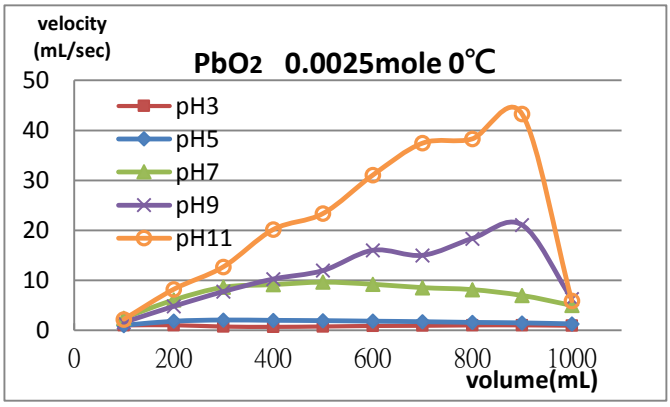


圖 2-10 每產生 100mL 氧氣的平均反應速率

▶根據實驗結果發現, PbO_2 催化速率在鹼性環境下優於中性及酸性,而且反應速率一直飆升;由於二氧化鉛會溶解在酸中,所以在酸性環境下的催化速率相當慢,大約只有 1mL/sec。

三、探討以鹵化鉀為催化劑的催化作用

(一)實驗方法

【實驗 A】:鹵化鉀的用量對反應速率的影響

1.備妥排水集氣法裝置。

2.秤取 0.005mole 鹵化鉀放入裝有 30mL 蒸餾水的過濾瓶中，置入攪拌子使其完全溶解。。

3.將過濾瓶放入 25℃水浴槽中。

4.在套好矽膠塞的針筒中加入 10mL 的 H_2O_2，將矽膠塞子塞緊過濾瓶並將 H_2O_2 打入過濾瓶中，使其與鹵化鉀反應。

5.以量筒收集 O_2，並紀錄每 100mL 之反應時間。

6.分別以 0.0025mole、0.00125mole 的鹵化鉀重複步驟 1~5。

【實驗 B】: $KI_{(aq)}$在不同溫度下的催化速率

1.備妥排水集氣法裝置。

2.秤取 0.0025mole $KI_{(s)}$放入裝有 30mL 蒸餾水的過濾瓶中。

3.置入攪拌子使其完全溶解，再將過濾瓶分別放入 0℃及 25℃水浴槽中。

4.在套好矽膠塞的針筒中加入 10mL 的 H_2O_2，將矽膠塞子塞緊過濾瓶並將 H_2O_2打入過濾瓶中，使其與 $KI_{(aq)}$反應。

5.以量筒收集 O_2，並紀錄每 100mL 之反應時間。

【實驗 C】: $KI_{(aq)}$在不同 pH 值下的催化效果

1.準備排水集氣法裝置及不同 pH 值的水溶液。

2.秤取 0.0025mole $KI_{(s)}$放入裝有 30mL 水溶液的過濾瓶中。

3.置入攪拌子使其完全溶解，再將過濾瓶放入 25℃水浴槽中。

4.在套好矽膠塞的針筒中加入 10mL 的 H_2O_2，將矽膠塞子塞緊過濾瓶並將 H_2O_2打入過濾瓶中，使其分別與不同 pH 值的水溶液反應。

5.以量筒收集 O_2，並紀錄每 100mL 之反應時間。

(二)實驗結果

A.① 0.0025mole KCl 和 KBr 的催化速率很慢，50 分鐘才分別收集 13.5mL 和 17.5mL，所以鹵化鉀分解雙氧水的能力為:KI>>KBr>KCl

② KI 的莫耳數對反應速率的影響

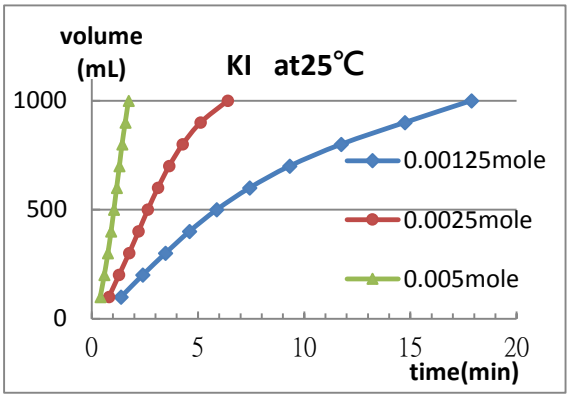


圖 3-1 氧氣體積與時間關係

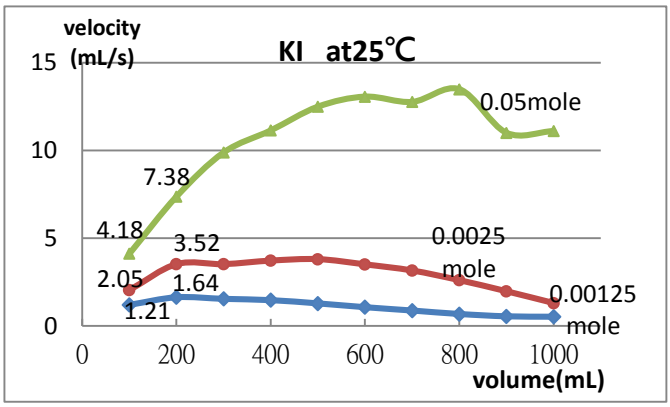


圖 3-2 每產生 100mL 氧氣的平均反應速率

▶由結果可知當 KI 的莫耳數增為二倍,初反應速率約增為二倍

B. KI 在 0℃及 25℃下的催化反應

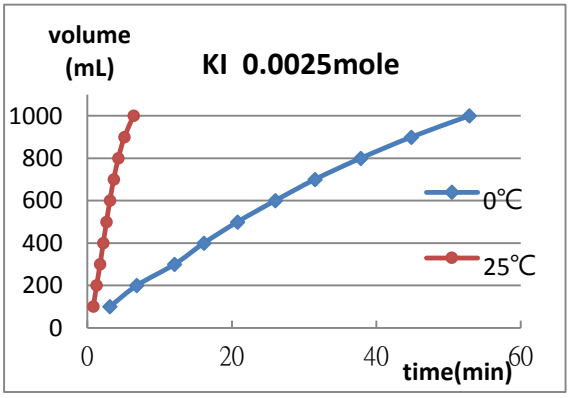


圖 3-3 氧氣體積與時間關係

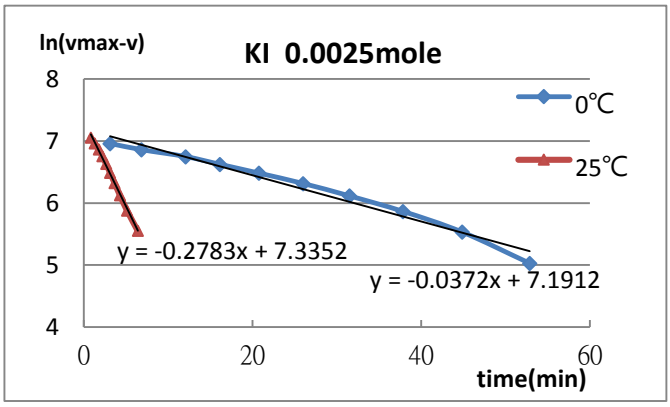


圖 3-4 ln(Vmax-V)對時間關係圖

▶推算出 Ea= ln(0.2783/0.0372)×8.314÷(1/273-1/298)÷1000≒54.45 kJ/mole

C. KI 在不同 pH 值下的催化效果

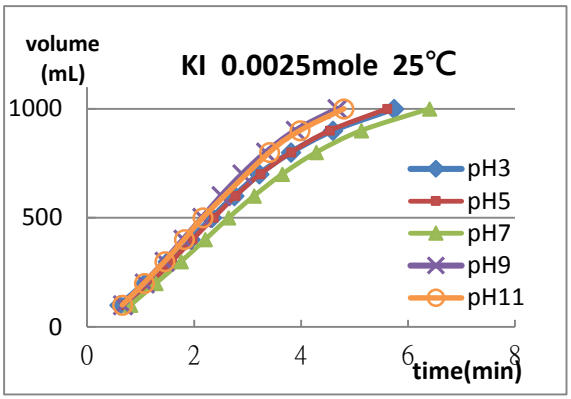


圖 3-5 氧氣體積與時間關係

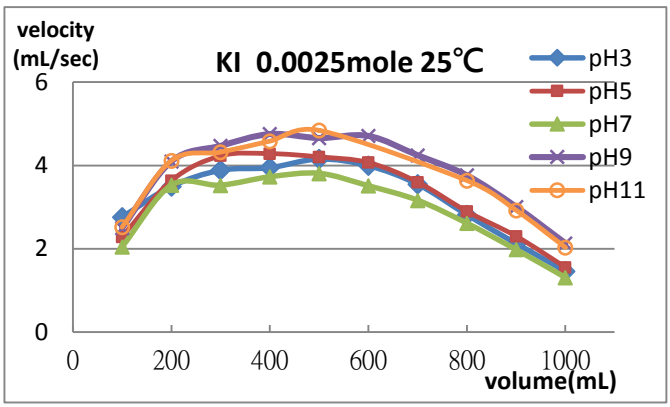


圖 3-6 每產生 100mL 氧氣的平均反應速率

▶根據實驗結果發現,在鹼性環境下,碘化鉀的催化效果最佳,其次為酸性環境下,在中性時最慢。由速率曲線圖顯示,速率先逐漸上升後大約在收集 500mL 體積之後,速率開始逐漸穩定下降。

四、探討以 $FeSO_4$ 為催化劑的催化作用

(一)實驗方法

【實驗 A】: $FeSO_4$ 的用量對反應速率的影響

1.備妥排水集氣法裝置。

2.秤取 0.005mole $FeSO_4$ 放入裝有 30mL 蒸餾水的過濾瓶中。

3.置入攪拌子使其完全溶解，再將過濾瓶放入 25℃水浴槽中。

4.在套好矽膠塞的針筒中加入 10mL 的 H_2O_2，將矽膠塞子塞緊過濾瓶並將 H_2O_2 打入過濾瓶中，使其與 $FeSO_{4(aq)}$ 反應。

5.以量筒收集 O_2，並紀錄每 100mL 之反應時間。

6.分別以 0.0025mole、0.00125mole 的 $FeSO_4$ 重複步驟 1~5。

【實驗 B】: $FeSO_4$ 在不同溫度下的催化速率

1.備妥排水集氣法裝置。

2.秤取 0.0025mole $FeSO_{4\,(s)}$ 放入裝有 30mL 蒸餾水的過濾瓶中。

3.置入攪拌子使其完全溶解，再將過濾瓶分別放入 0℃、10℃及 25℃水浴槽中。

4.在套好矽膠塞的針筒中加入 10mL 的 H_2O_2，將矽膠塞子塞緊過濾瓶並將 H_2O_2 打入過濾瓶中，使其與 $FeSO_{4\,(aq)}$ 反應。

5.以量筒收集 O_2，並紀錄每 100mL 之反應時間。

【實驗 C】: $FeSO_4$ 在不同 pH 值下的催化效果

1.準備排水集氣法裝置及不同 pH 值的水溶液

2.秤取 0.0025mole $FeSO_{4\,(s)}$ 放入裝有 30mL 水溶液的過濾瓶中。

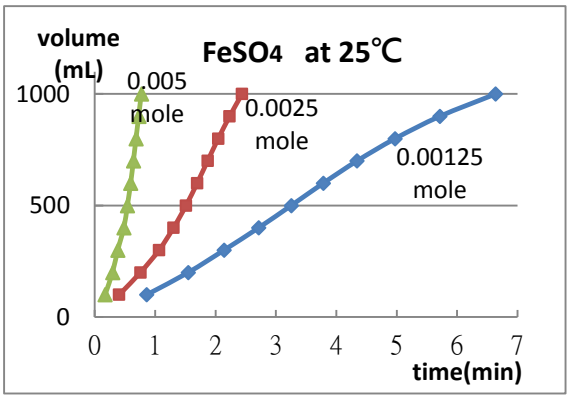
3.置入攪拌子使其完全溶解，再將過濾瓶放入 25℃水浴槽中。

4.在套好矽膠塞的針筒中加入 10mL 的 H_2O_2，將矽膠塞子塞緊過濾瓶並將 H_2O_2 打入過濾瓶中，使其分別與不同 pH 值的水溶液反應。

5.以量筒收集 O_2，並紀錄每 100mL 之反應時間。

(二)實驗結果

A. $FeSO_4$的用量對反應速率的影響



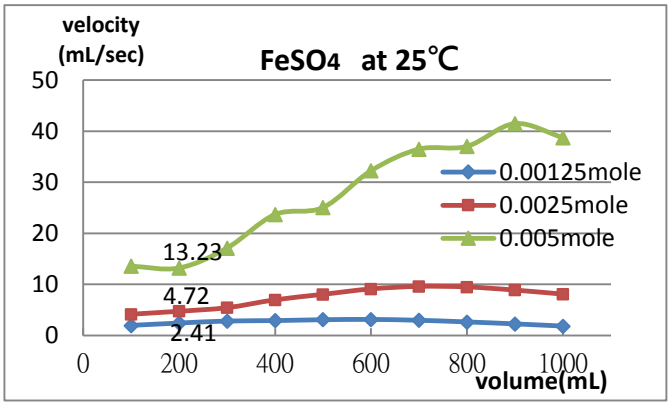
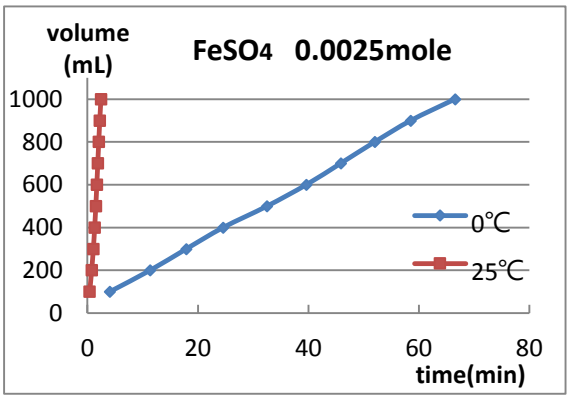


圖 4-1 氧氣體積與時間關係　　圖 4-2 每產生 100mL 氧氣的平均反應速率

▶由結果可知,當 $FeSO_4$的莫耳數由 0.00125mole 增為 0.0025mole(二倍),初反應速率亦約增為二倍,但是莫耳數由 0.0025mole 增為 0.005mole 時,初反應速率快速增加,不是呈二倍關係,而是約呈 3 倍。

B. ① $FeSO_4$在 0℃及 25℃下的催化反應



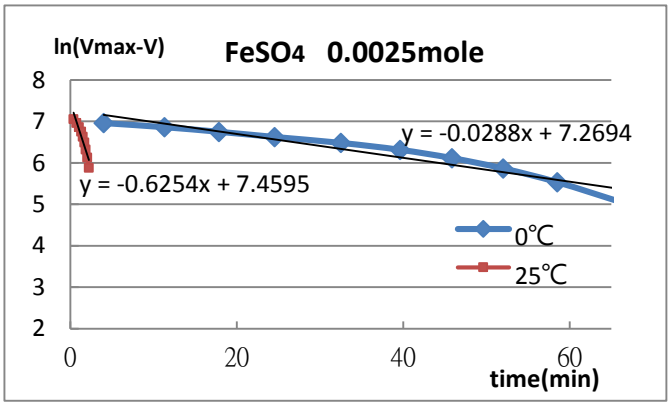
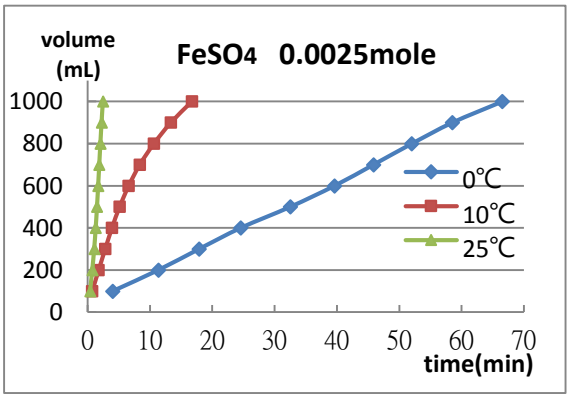


圖 4-3 氧氣體積與時間關係　　圖 4-4 ln(Vmax-V)對時間關係圖

▶推算出 Ea=ln(0.6254/0.0288)×8.314÷(1/273-1/298)÷1000=83.28 kJ/mole

② $FeSO_4$在 0℃、10℃及 25℃下的催化速率比較



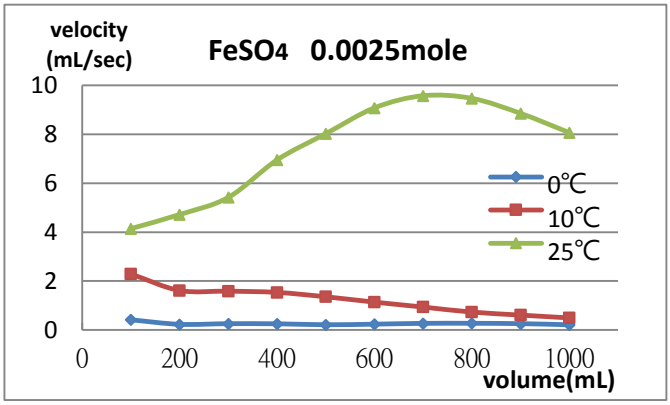


圖 4-5 氧氣體積與時間關係　　圖 4-6 每產生 100mL 氧氣的平均反應速率

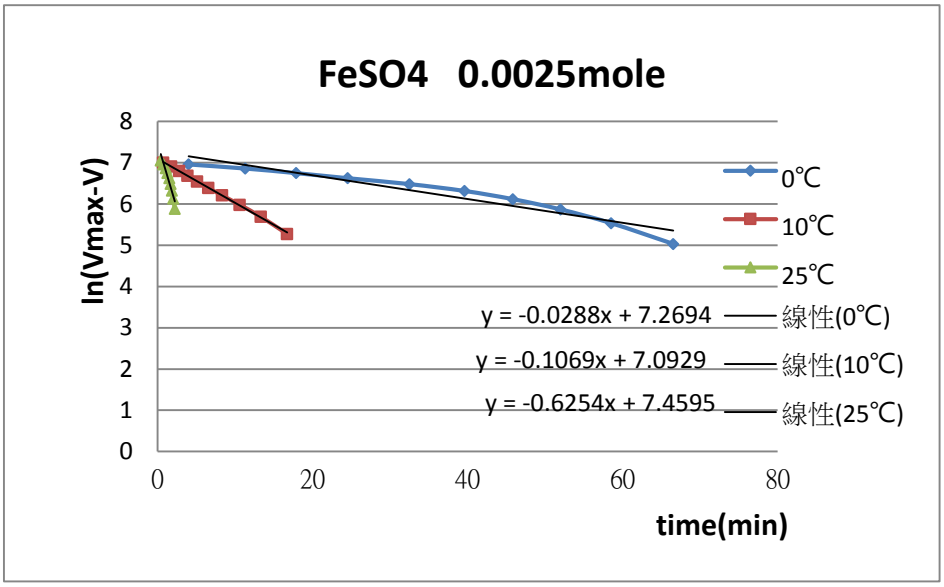
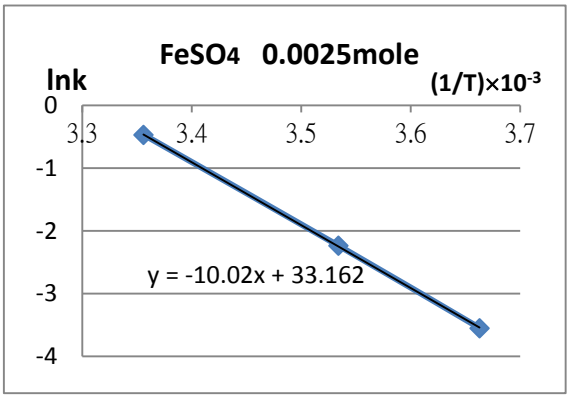


圖 4-7 ln(Vmax-V)對時間關係圖

T(K)	1/T	k(s^{-1})
273	0.003663	0.0288
283	0.003534	0.1069
298	0.003356	0.6254

$$\ln k = \ln A - \frac{Ea}{R} \times \frac{1}{T}$$

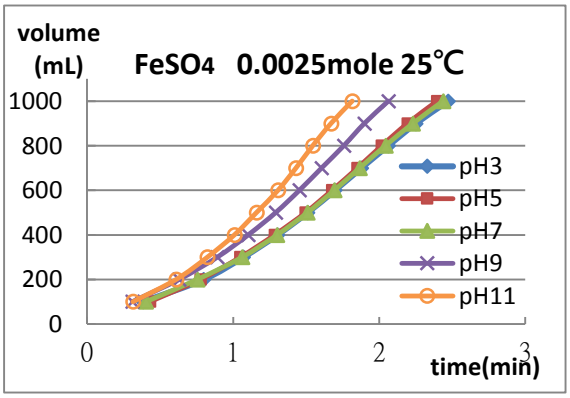


Ea=10.02×10^3×8.314÷1000

=83.30628 kJ/mole

▶實驗結果可知,溫度改變對 $FeSO_4$ 催化速率有相當大的影響。

C. $FeSO_4$ 在不同 pH 值下的催化效果



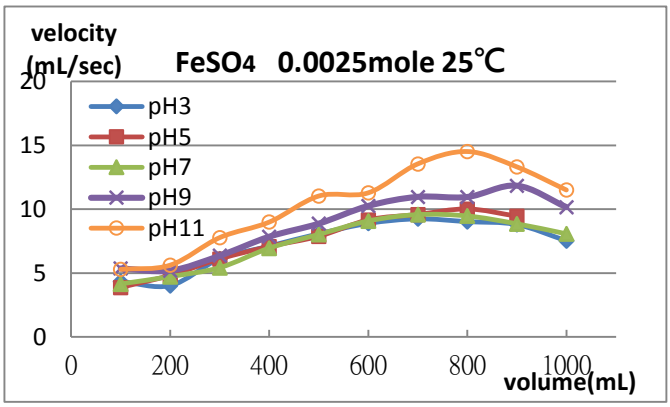


圖 4-8 氧氣體積與時間關係　　圖 4-9 每產生 100mL 氧氣的平均反應速率

▶反應初期就有極佳的速率,而且收集到 1000mL 時也仍有相當快的速率,不過實驗結束會產生鐵汙泥 $Fe(OH)_3$ 沉澱。

五、臭氧含量的檢測

❖檢查是否產生臭氧的裝置

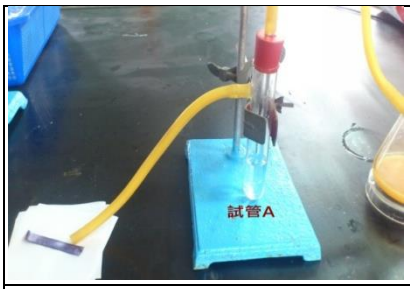
1.先分別用 **0.0025mole** PbO_2、MnO_2、KI、$FeSO_4$ 放入裝有 20mL 蒸餾水的過濾瓶中。

2.試管 A 加入 20mL 蒸餾水,用來吸收揮發的 H_2O_2。

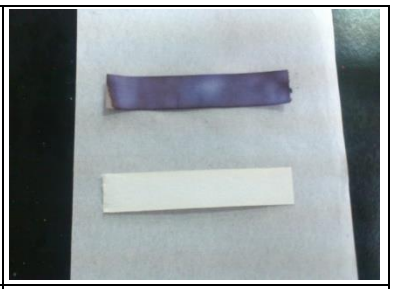
3.在套好矽膠塞的針筒中加入 10mL 的 H_2O_2，將矽膠塞子塞緊過濾瓶並將 H_2O_2 打入過濾瓶中，使其完全反應,觀看 KI-澱粉試紙變色情形。

4.**結果:試紙皆不變色**。

5.改以 **0.01mole** PbO_2 重複步驟 1~3,結果如下: **試紙變深藍色**。



圖(三)臭氧檢查



圖(四)試紙變色與未變色

(一) 臭氧含量的檢測方法

1.備妥實驗裝置如圖(二),秤取 **0.01mole** PbO_2 放入裝有 20mL 蒸餾水的過濾瓶中。

2.試管 A 加入 20mL 蒸餾水，試管 B、C、D 則分別加入 20mL $KI_{(aq)}$，套好所有橡皮塞。

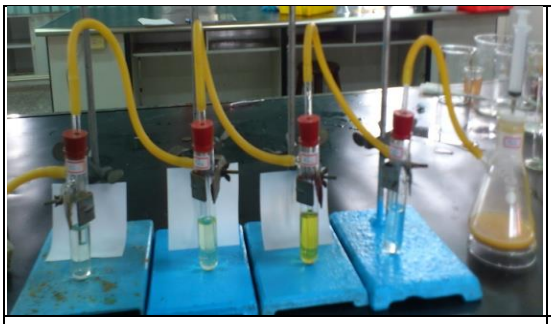
3.在套好矽膠塞的針筒中加入 10mL 的 H_2O_2，將矽膠塞子塞緊過濾瓶,並將 H_2O_2 打入過濾瓶中，使其完全反應。

4.收集 B、C、D 試管內的 $KI_{(aq)}$ 倒入錐形瓶中，以 $Na_2S_2O_{3(aq)}$ 進行氧化還原滴定，以澱粉液為指示劑，待顏色變成無色，紀錄使用的 $Na_2S_2O_{3(aq)}$ 體積，並計算臭氧含量。

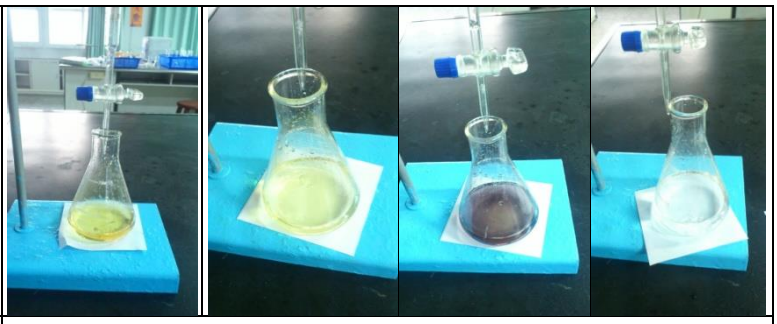
5.分別以 MnO_2、KI、$FeSO_4$ 為催化劑重複步驟 1~4。

(二)實驗結果

1.變色情形:



圖(五)臭氧含量檢測



圖(六)滴定過程中溶液變色情形

2.不同催化劑作用下的臭氧含量　　已標定的$[Na_2S_2O_{3(aq)}]$=0.00102 M

催化劑	$Na_2S_2O_{3(aq)}$體積(mL)	$Na_2S_2O_{3(aq)}$的 mmole	O_3的 mmole	O_3所占莫耳百分比%
PbO_2	25.50	0.02601	1.3005×10^{-2}	0.02526%
MnO_2	6.25	0.006375	3.1875×10^{-3}	0.00619%
KI	2.70	0.002754	1.3770×10^{-3}	0.00268%
$FeSO_4$	9.21	0.009394	4.6971×10^{-3}	0.00913%

▶以 PbO_2 為催化劑產生的臭氧量較多，KI 最少。推測 0.01mole 的催化劑用量使得反應速率大幅上升,單位時間內產生大量的氧氣與熱能,增加形成臭氧的機會。

六、探討光照條件與溫度因素對臭氧形成的影響---以 PbO_2 當催化劑為例

(一)實驗方法

1.備妥實驗裝置如圖(二)，秤取 0.01mole PbO_2 放入裝有 20mL 蒸餾水的過濾瓶中。

2.A 試管加入 20mL 蒸餾水，B、C、D 試管則分別加入 20mL $KI_{(aq)}$ ，套好所有橡皮塞,並將試管均包覆鋁箔,過濾瓶以不透光紙箱覆蓋,避免照到光。

3.在套好矽膠塞的針筒中加入 10mL 的 H_2O_2，將矽膠塞子塞緊過濾瓶並將 H_2O_2 打入過濾瓶中，使其完全反應。

4.收集 B、C、D 試管內的 $KI_{(aq)}$ 倒入錐形瓶中，以 $Na_2S_2O_{3(aq)}$ 進行氧化還原滴定，以澱粉液為指示劑，待顏色變成無色，紀錄使用的 $Na_2S_2O_{3(aq)}$ 體積，計算臭氧含量。

5.重複步驟 1~4,僅第二步驟去除鋁箔、紙箱,改以日光燈管照射整個實驗裝置。

6.重複步驟 1~4,僅第二步驟去除鋁箔、紙箱,將過濾瓶放入 0℃的冰水浴槽中。

7.重複步驟 1~4, 並將過濾瓶放入 0℃的冰水浴槽中。

(二)實驗結果

條件	$Na_2S_2O_{3(aq)}$ 體積(mL)	$Na_2S_2O_{3(aq)}$ 的 mmole	O_3 的 mmole	O_3 所占莫耳百分比%
室溫(自然光)	25.50	0.02601	1.3005×10^{-2}	0.02526%
0℃(自然光)	3.60	0.003672	1.836×10^{-3}	0.00357%
照二盞日光燈(室溫)	37.40	0.038148	1.9074×10^{-2}	0.03706%
未照光(室溫)	12.90	0.013158	6.579×10^{-3}	0.01278%
未照光(0℃)	1.30	0.001326	6.63×10^{-4}	0.00129%

▶比較臭氧量如下:

0℃ (未照光) ＜0℃(自然光) ＜室溫 (未照光) ＜室溫(自然光) ＜室溫(照二盞日光燈)

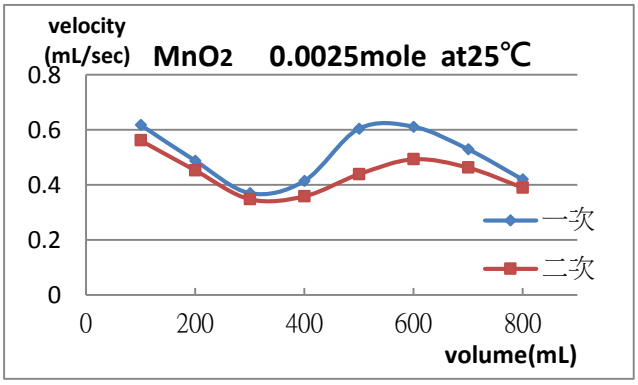
七、MnO_2 和 PbO_2 的二次催化效果

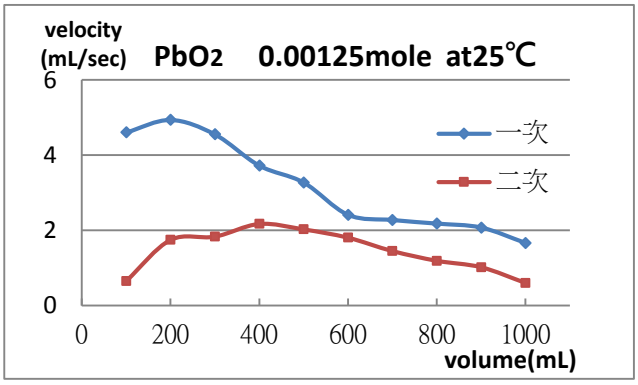
(一)實驗方法

1.將一次反應後之 MnO_2 和 PbO_2 烘乾,分別秤取 0.0025mole、0.00125mole。

2.以排水集氣法裝置重複實驗一之步驟。

(二)實驗結果





▶PbO_2 的催化效率明顯下降,而 MnO_2 的初反應速率改變不大,不過 PbO_2 催化速率仍然比較快

伍、討論

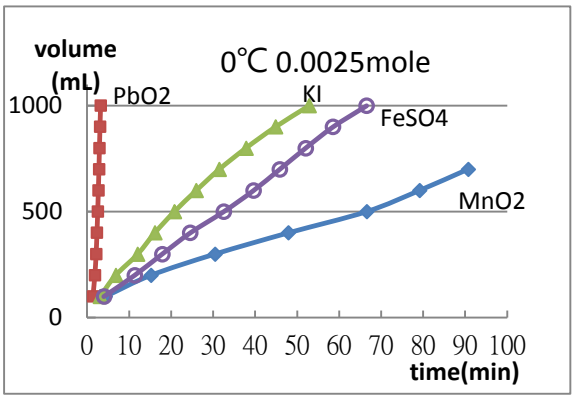
1.本實驗裝置以注射針筒及矽膠塞代替國中課本實驗中的蔥頭漏斗及橡皮塞,以形成封閉式裝置,減少漏氣機會;再者,本實驗使用控制轉速的電磁攪拌器以達到反應物與催化劑均勻碰撞之目的,並且多次實驗、控制各項變因以提高實驗的再現性。空白對照實驗: H_2O_2 和不同 pH 值水溶液作用(未加催化劑)，結果均未明顯產生氣體。

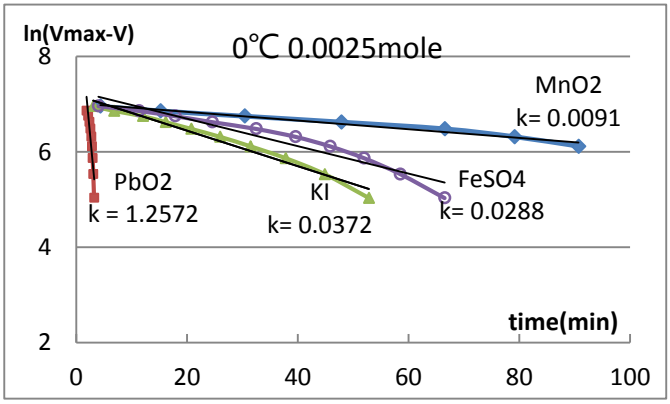
2.當注入 H_2O_2 時,量筒水面約下降 10mL,此應為 H_2O_2 的體積;第一瓶(100mL)因為瓶內空氣及注入 H_2O_2 體積的關係,速率較不規律,自第二瓶起速率穩定,我們以收集第二個 100mL 氣體的平均速率作為初反應速率。

3.根據阿瑞尼士方程式:$k = A \cdot e^{-Ea/RT}$

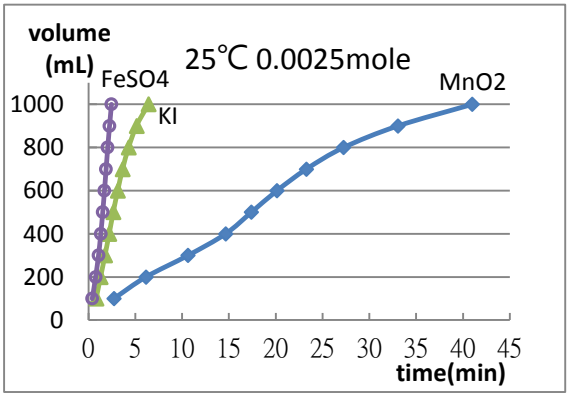
影響反應速率常數 k 的因素有①反應物本性(活化能) ②溫度③催化劑(增或降低活化能)

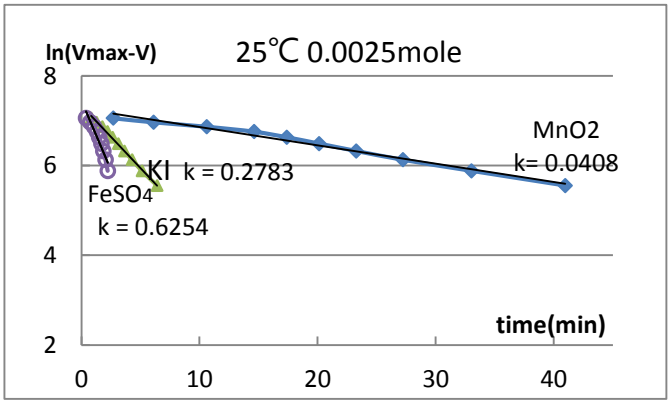
今比較雙氧水在不同催化劑作用下(0℃)的關係圖及反應速率常數如下圖中 k 值所示:





由反應速率常數 k 值(0℃)可知各催化劑催化雙氧水反應效率為: PbO_2 >> KI > $FeSO_4$ >MnO_2,所以在低溫環境(0℃)以二氧化鉛當催化劑有最佳的效率,而碘化鉀亦有穩定的催化速率。在常溫環境(25℃)下二氧化鉛仍有最佳催化效果,但另外三種催化劑的催化效果卻與 0℃時不同,比較其關係圖及反應速率常數如下圖中 k 值所示:





由反應速率常數 k 值(25℃)可知另外三種催化劑催化雙氧水反應效率為:

$FeSO_4$ > KI>>MnO_2,此與 0℃時不同,所以溫度升高對不同催化劑的影響程度不同,茲將分述於後。

4.探討以 MnO_2 為催化劑的催化作用:

(1)雖然二氧化錳催化雙氧水屬於非勻相催化(反應物和催化劑在不同相中反應),但是二氧化錳會參與反應如下:

$MnO_2 + H_2O_2 + 2H^+ \rightarrow Mn^{2+} + O_2 + 2H_2O$

$Mn^{2+} + H_2O_2 \rightarrow MnO_2 + 2H^+$

所以反應速率會受到接觸面積及溶液酸鹼值影響,當 MnO_2 莫耳數倍增,雖然初速率亦變大,但平均大於原來兩倍。

(2)在酸性 pH5 及鹼性 pH11 下,二氧化錳的催化效果較佳:

① H_2O_2 在水溶液中為一弱酸: $H_2O_{2(aq)} \rightarrow H^+_{(aq)} + HO_2^-{}_{(aq)}$ 解離常數 $Ka=2.4\times10^{-12}$ (25℃)

所以在酸性溶液中較為安定,但是由於二氧化錳會溶解在濃度大的酸中,所以在 pH3 環境下的催化速率與在中性時無太大差異。

②在強鹼溶液下,反應機構中產生的 Mn^{2+} 會氧化為 MnO_2,使其繼續催化 H_2O_2 分解：

$Mn^{2+} + 4OH^- \rightarrow MnO_2 + 2H_2O$

而且在強鹼中,二氧化錳較沒有溶解的問題,因而催化速率較佳

(3)在 0℃和 25℃下,反應速率常數分別為 0.0091 和 0.0408,其關係如下:

$$\frac{k_2}{k_1} = \frac{0.0408}{0.0091} = 4.48 < 2^{\frac{25-0}{10}} = 5.66$$

「溫度每增加 10℃，反應速率增加為 2 倍」的說法於此不適用。

5.探討以 PbO_2 為催化劑的催化作用:

(1)二氧化鉛催化雙氧水亦屬於非勻相催化,而且二氧化鉛會參與反應如下:

$PbO_2 + H_2O_2 + 2H^+ \rightarrow Pb^{2+} + O_2 + 2H_2O$

$Pb^{2+} + H_2O_2 \rightarrow PbO_2 + 2H^+$

所以反應速率會受到接觸面積及溶液酸鹼值影響,當 PbO_2 莫耳數增加,初速率(收集第二個 100mL 氣體的平均速率)亦變大,從實驗數據分析圖,推測其關係式為:

$y = 0.2681e^{1.58x}$ 其中 y: rate x: mmole

$$\frac{r_2}{r_1} = \frac{5.7339}{1.8378} \fallingdotseq e^{1.58(1.875-1.25)} = 3.03$$

當莫耳數增為 1.5 倍(由 1.25mmole 增為 1.875mmole),反應速率約增為原來 3 倍

(2) PbO_2 的催化速率在鹼性環境下優於中性及酸性,而且反應速率一直飆升

①由於二氧化鉛會溶解在酸中,減少催化表面積,所以在酸性環境下的催化速率相當慢,大約只有 1mL/sec

②在強鹼溶液下,反應機構中產生的 Pb^{2+} 會氧化為 PbO_2,繼續催化 H_2O_2 分解：

$Pb^{2+} + 4OH^- \rightarrow PbO_2 + 2H_2O$

而且在強鹼溶液可維持一定的鹼性,使二氧化鉛較不易因溶解生成離子減少催化表面積,因而催化速率相當快。

(3)「溫度每增加 10℃，反應速率增加為 2 倍」是否適用於 PbO_2 催化雙氧水的反應呢?

當我們代入下列算式,則發現此關係只適用活化能約 45kJ/mol 的反應:

$$\ln\left(\frac{2}{1}\right) = \frac{Ea}{8.314} \times \left(\frac{1}{273} - \frac{1}{283}\right), Ea = 44.52$$

但是 PbO_2 催化雙氧水的反應活化能才約 21kJ/mol,所以升高溫度對於活化能較低的反應,其速率增加的幅度不若高活化能反應來的大,我們將本實驗數據分析如下:

$\frac{k_2(10℃)}{k_1(0℃)} = \frac{0.2255}{0.1532} \fallingdotseq 1.5 < 2$ 倍 ，所以溫度升高 10℃,反應速率只有增加為 1.5 倍

6.探討以鹵化鉀為催化劑的催化作用:

(1) H_2O_2的標準還原電位: $H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow 2H_2O$ $E^0=+1.776V$

H_2O_2的標準氧化電位: $H_2O_2 \rightarrow O_2 + 2H^+ + 2e^-$ $E^0=-0.695V$

$2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2$ $\triangle E^0=+1.081V$

所以 H_2O_2 可進行自身氧化還原反應,任何化合物的還原電位介於-0.695~1.776V 之間,都應該可當催化劑,而鹵素的還原電位為:

$Cl_2 + 2e^- \rightarrow 2Cl^-$ $E^0=+1.360V$

$Br_2 + 2e^- \rightarrow 2Br^-$ $E^0=+1.070V$

$I_2 + 2e^- \rightarrow 2I^-$ $E^0=+0.540V$

可知 H_2O_2 可氧化 Cl^-、Br^-、I^-離子,其活性為 $I^- > Br^- > Cl^-$,本研究結果,鹵化鉀為催化劑的催化速率: KI>>KBr>KCl,與此相符

(2)碘化鉀溶液催化雙氧水屬於勻相催化(反應物和催化劑在相同相中反應),其溶解度較溴化鉀和氯化鉀為佳, H_2O_2 與 I^-參與反應如下:

$H_2O_2 + I^- \rightarrow IO^- + H_2O$

$H_2O_2 + IO^- \rightarrow I^- + O_2 + H_2O$

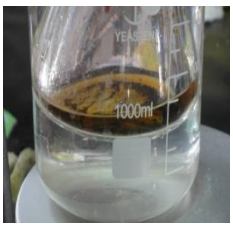
由實驗數據知當 KI 的莫耳數增為二倍,初反應速率約增為二倍,所以反應速率與$[KI_{(aq)}]$成正比。H_2O_2 與 I^-的反應中亦會伴隨發生下列反應而部份產生 I_2,所以起始反應可見到快速產生氧氣,溶液呈現黃褐色 (I_3^-)

$HIO + I^- \leftrightarrows I_2 + OH^-$

$I_2 + I^- \leftrightarrows I_3^-$(三碘錯離子)

(3)由實驗結果得知在鹼性環境下,碘化鉀的催化效果最佳,其次為弱酸性環境下,在中性時最慢。在酸性較強的環境下,I^-容易被次碘酸根（IO^-，H_2O_2 分解的中間物質）氧化成 I_2,故可見到 I_2 結晶沉澱。如下圖所示為在 pH=1 環境下,速率驟減至幾乎停止。

$H^+ + HIO + I^- \rightarrow I_2 + H_2O$



(4) KI 催化雙氧水的反應活化能約 54.45kJ/mol,所以升高溫度對於活化能較高的反應, 其速率增加的幅度也較大,我們將本實驗數據分析如下:

$$\frac{k_2(25℃)}{k_1(0℃)} = \frac{0.2783}{0.0372} = 7.48\text{ 倍} > 2^{\frac{25-0}{10}} = 5.66\text{ 倍}$$

所以升高溫度對 KI 的催化速率有不錯的增加效果

7.探討以 $FeSO_4$ 為催化劑的催化作用:

(1)由下列反應機構可知，反應系統受到 H_2O_2 濃度、Fe^{3+}、 Fe^{2+}及溶液酸鹼值所影響,而 Fe^{3+}在中性或鹼性溶液下會形成 $Fe(OH)_3$，所以反應在酸性條件下較為有利

$2Fe^{2+} + H_2O_2 + 2H^+ \rightarrow 2Fe^{3+} + 2H_2O$

$2Fe^{3+} + H_2O_2 \rightarrow 2Fe^{2+} + O_2 + 2H^+$

一般需要在照光的條件下，可以把 H_2O_2分解成自由基,進行以下反應:

$Fe^{2+} + H_2O_2 + H^+ \rightarrow Fe^{3+} + OH^{\cdot} + H_2O$

$H_2O_2 + HO^{\cdot} \rightarrow H_2O + HO_2^{\cdot}$

$Fe^{3+} + HO_2^{\cdot} \rightarrow Fe^{2+} + O_2 + H^+$

反應過程中亞鐵離子被氧化和再生的現象構成了連鎖反應，進而影響了過氧化氫的分解速率。由實驗結果發現,當 $FeSO_4$ 的莫耳數由 0.0025mole 增為 0.005mole 時,初反應速率快速暴增不只二倍關係,乃因生成自由基($HO^{\cdot}$和 $HO_2^{\cdot}$)的機會增加,使得反應速率變得更快。

(2) $FeSO_4$ 為催化劑的反應在酸性條件下較為有利,不過在 H_2O_2 的莫耳數遠大於 $FeSO_4$ 的情況下,由於 H_2O_2 本身在鹼性環境下不安定,反而在 pH=11 下有較快的反應速率。

(3) $FeSO_4$ 催化雙氧水的反應活化能約 83.28kJ/mol,所以升高溫度對於活化能較高的反 應,其速率增加的幅度也較大,我們將本實驗數據分析如下:

$$\frac{k_2(25℃)}{k_1(0℃)} = \frac{0.6254}{0.0288} = 21.72 \text{ 倍} \gg 2^{\frac{25-0}{10}} = 5.66 \text{ 倍}$$

所以升高溫度對 $FeSO_4$ 的催化速率有大幅度改變

8.臭氧是強氧化劑,微溶於水中,可和 KI 發生下列反應:

$2I^- + O_3 + 2H^+ \rightarrow I_2 + O_2 + H_2O$

可利用 $Na_2S_2O_{3(aq)}$ 和 I_2 進行氧化還原滴定:

$2S_2O_3^{2-} + I_2 \rightarrow S_4O_6^{2-}$(四硫磺酸根) $+ 2I^-$

(1)由上述可知,O_3 和 $S_2O_3^{2-}$ 的莫耳數比為 1:2,可推算出臭氧溶在水中的莫耳數

(2)當溶液褪至淡黃色(大部分的 I_2 已還原成 I^-)時才可以加入澱粉指示劑,若是太早加入指示劑,會使得 I_2 與澱粉結合的藍色錯合物不易釋出 I_2,造成過量滴定的誤差。

9.(1)已知平流層內臭氧的形成方式如下:

O_2 在吸收波長小於 240nm 的紫外線後,被光解成兩個氧原子,每個氧原子會和氧分子重新組合成臭氧分子:

$O_2 +$ 紫外線$\rightarrow O + O$

$O + O_2 \rightarrow O_3$

(2)許多涉及化學能量快速轉換的人類活動,如內燃機啟動、複印機工作等等,都會產生臭氧,推測其產生機制如下：

在高溫下,N_2 和 O_2 反應產生少量的 NO,NO 會被氧化成 NO_2,而 NO_2 在吸收光的能量或高電壓作用下,產生獨立自由的氧原子,氧原子與氧分子結合形成臭氧：

$NO_2 \rightarrow NO + O$

$O + O_2 \rightarrow O_3$

從上述兩種方式可知,光條件及溫度是產生臭氧的重要因素,因此本實驗研究亦從光照與否及降低溫度來探討臭氧產生量的改變,結果發現：PbO_2 在未照光及冰水浴環境下,臭氧產生量最少,如果將催化劑的用量降低為 0.0025mole,更無產生臭氧之虞。

10. PbO_2 二次催化速率降低是因為在氧化還原的作用下還原成 Pb^{2+}，因活性降低無法氧化回 PbO_2，而產生 PbO 及 Pb^{2+}，減少 PbO_2 催化表面積，導致速率明顯降低。但是其反應速率仍比以 MnO_2 作用來得快，所以在資源有限及可重複使用的考量下，PbO_2 仍是不錯的催化劑選項。

陸、結論

一、本實驗計算出各催化劑催化雙氧水分解反應的活化能:

催化劑(0.0025mole)	MnO_2	PbO_2	KI	$FeSO_4$
活化能(kJ/mole)	40.59	21.19	54.45	83.28

0℃時各催化劑與雙氧水反應的速率常數 k :PbO_2> KI > $FeSO_4$ >MnO_2

25℃時各催化劑與雙氧水反應的速率常數 k : PbO_2> $FeSO_4$ > KI >MnO_2

根據阿瑞尼士方程式: $k = A \cdot e^{-Ea/RT}$

A 為頻率因數與碰撞頻率及機率因素有關,對同一反應而言可以視為常數,但是此四種催化劑與雙氧水的反應,分屬不同反應機構,所以應有不同的頻率因數A,因此四種速率常數大小與活化能大小順序不同。不過由指數關係式$e^{-Ea/RT}$可知,當溫度發生小的變化時,可使反應速率產生大的改變,而且Ea(活化能)越大,溫度變化所得之效應越大。例:以 $FeSO_4$為催化劑，當溫度由0℃增為25℃，由下表所示，其反應速率常數變為21.72倍，遠大於5.66倍(依照溫度每增加10℃，反應速率增為2倍之關係推算)

催化劑	k1(0℃)	k2(25℃)	k2/k1	$2^{\frac{25-0}{10}} = 5.66$	活化能 (kJ/mole)
MnO_2	0.0091	0.0408	4.48＜5.66		40.59
PbO_2	1.2572	1.7486*	1.39＜5.66		21.19
KI	0.0372	0.2783	7.48＞5.66		54.45
$FeSO_4$	0.0288	0.6254	21.72＞5.66		83.28

＊為10℃下的k值

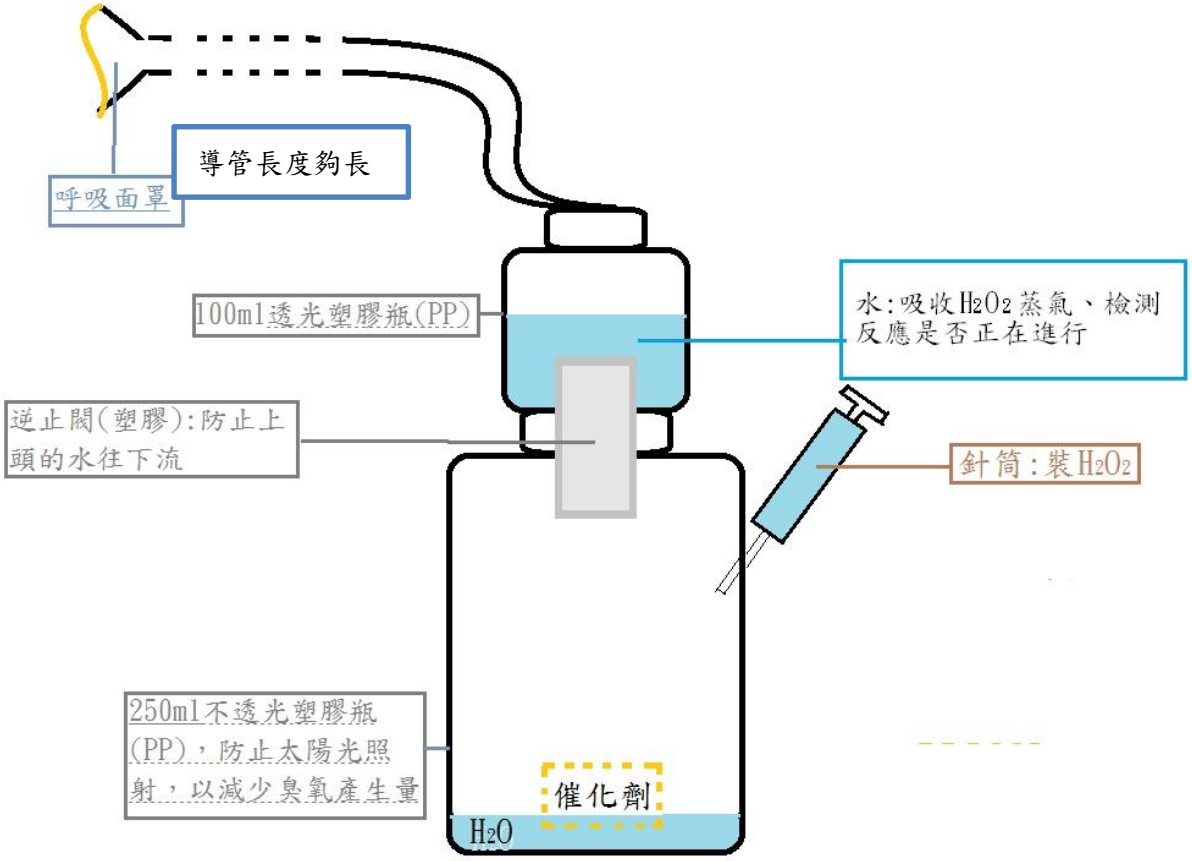
二、H_2O_2 可進行自身氧化還原反應,由鹵素的還原電位可知 H_2O_2 可氧化 Cl^-、Br^-、I^-離子,其活性為 I^- >Br^- >Cl^-,本研究結果,鹵化鉀為催化劑的催化速率: KI>>KBr>KCl,與此排序相符。

三、參考本實驗整理數據如下，在低溫環境可以選用 $PbO_{2(s)}$為催化劑,並且安排在鹼性環境下作用,以達到催化劑減量之目的;室溫環境可以選擇 $KI_{(aq)}$、鹼性環境下,以收最佳催化效果。$FeSO_{4(aq)}$雖有不錯的效果,但是實驗結束會產生 $Fe(OH)_{3(s)}$沉澱需再回收處理,且在室溫下雙氧水受 PbO_2、$FeSO_4$ 兩者(若取用量較多)催化作用下產生臭氧的比率較高。

催化劑 0.0025mole	0℃初速率 (mL/s)	0℃收集 1000mL 氧氣所需時間	25 ℃初速率 (mL/s)	25℃收集 1000mL 氧氣所需時間
MnO_2	0.153	>90.72min	0.488	40.98min
PbO_2	3.643	3.24min	35.568	0.833min
KI	0.448	52.85min	3.525	6.399min
$FeSO_4$	0.228	66.52min	4.721	2.438min

(上表數據均在蒸餾水環境下作用)

四、臭氧的形成受到溫度及光照條件影響,所以我們依本實驗結果設計一氧氣急救瓶,構造如下，經過實品測試，已有不錯之反應速率及成效。



柒、參考文獻資料

一、Jamee P. Brik (1994).*Chemistry*.Houghton Mifflin Company

二、高瞻自然科學教學資源平台 http://highscope.ch.ntu.edu.tw/

三、胡劭翔等(2005)，「過氧化氫製氧實驗之研究與探討」，第 45 屆全國中小學科學展覽作品集。

四、張毓禎等(2002)。鹵鹽催化雙氧水分解反應的研究。化學教育，60(1)，119-128。

附錄、實驗數據紀錄整理

MnO_2 0.01mole

體積	O_2 生成時間(min)		
(mL)	0℃	25℃	50℃
100	0.99	0.37	0.24
200	2.27	0.65	0.39
300	3.94	0.99	0.55
400	6.12	1.43	0.72
500	8.86	1.95	0.88
600	12.36	2.46	1.05
700	16.60	2.98	1.22
800	21.50	3.50	1.41
900	26.68	4.09	1.62
1000	32.53	4.90	1.88

體積	O_2 生成速率(mL/sec)		
(mL)	0℃	25℃	50℃
100	1.68	4.55	6.84
200	1.30	5.89	11.64
300	1.00	4.94	9.92
400	0.77	3.80	10.06
500	0.61	3.21	10.43
600	0.48	3.26	10.08
700	0.39	3.18	9.45
800	0.34	3.24	8.70
900	0.32	2.78	8.06
1000	0.28	2.07	6.52

MnO_2 0.05mole

體積	O_2 生成時間(min)		
(mL)	0℃	25℃	50℃
100	3.77	0.62	0.26
200	9.21	1.53	0.51
300	16.66	2.98	0.85
400	28.07	5.09	1.22
500	47.16	7.39	1.60
600	62.45	9.01	2.13
700		11.41	2.68
800		12.80	3.16
900		15.37	3.64
1000		19.97	4.29

體積	O_2 生成速率(mL/sec)		
(mL)	0℃	25℃	50℃
100	0.44	2.70	6.45
200	0.31	1.82	6.61
300	0.22	1.15	4.91
400	0.15	0.79	4.48
500	0.09	0.72	4.45
600	0.11	1.03	3.15
700		0.69	2.99
800		1.21	3.48
900		0.65	3.47
1000		0.36	2.56

MnO_2 0.0025mole

體積	O_2 生成時間(min)	
(mL)	0℃	25℃
100	4.32	2.70
200	15.19	6.11
300	30.42	10.61
400	47.90	14.63
500	66.55	17.39
600	79.17	20.12
700	90.72	23.27
800		27.24
900		33.04
1000		40.98

體積	O_2 生成速率(mL/sec)	
(mL)	0℃	25℃
100	0.39	0.62
200	0.15	0.49
300	0.11	0.37
400	0.10	0.41
500	0.09	0.60
600	0.13	0.61
700	0.14	0.53
800		0.42
900		0.29
1000		0.21

MnO_2 0.0025mole 在不同 pH 值的水溶液 at25℃

體積	O_2 生成時間(min)				
(mL)	pH=3	pH=5	pH=7	pH=9	pH=11
100	1.27	1.03	1.23	1.12	0.98
200	3.57	2.96	3.41	3.13	2.89
300	6.76	5.60	6.40	5.89	5.64
400	10.65	8.97	10.37	9.46	9.40
500	14.20	12.49	13.64	12.92	12.98
600	16.81	15.23	16.21	15.47	15.71
700	19.52	17.84	18.87	17.96	18.36
800	22.66	20.76	22.03	20.83	20.22
900	26.56	24.20	25.97	24.36	23.59
1000	31.47	28.41	30.89	28.59	27.71

體積	O_2 生成速率(mL/sec)				
(mL)	pH=3	pH=5	pH=7	pH=9	pH=11
100	1.308	1.619	1.350	1.485	1.702
200	0.727	0.865	0.768	0.832	0.872
300	0.521	0.630	0.557	0.603	0.607
400	0.429	0.495	0.420	0.466	0.442
500	0.470	0.473	0.510	0.483	0.467
600	0.638	0.607	0.648	0.653	0.610
700	0.616	0.640	0.627	0.669	0.629
800	0.531	0.571	0.527	0.581	0.591
900	0.427	0.484	0.423	0.472	0.494
1000	0.339	0.396	0.339	0.394	0.404

PbO_2 0.0025mole

體積	O_2 生成時間(min)	
(mL)	0℃	10℃
100	1.41	0.49
200	1.87	0.62
300	2.17	0.73
400	2.38	0.81
500	2.55	0.89
600	2.70	0.99
700	2.84	1.08
800	2.96	1.19
900	3.10	1.33
1000	3.24	1.49

體積	O_2 生成速率(mL/sec)	
(mL)	0℃	10℃
100	1.18	3.38
200	3.64	13.25
300	5.50	15.72
400	8.10	20.66
500	9.62	18.83
600	10.87	17.89
700	12.27	18.80
800	13.16	14.10
900	12.74	12.66
1000	11.51	10.18

PbO_2 0.00125mole

體積	O_2 生成時間(min)		
(mL)	0℃	10℃	25℃
100	1.51	1.04	0.36
200	2.31	1.95	0.70
300	3.23	2.67	1.07
400	4.26	3.33	1.51
500	5.31	3.97	2.02
600	6.25	4.64	2.72
700	7.13	5.31	3.45
800	7.95	6.03	4.22
900	8.73	6.87	5.02
1000	9.45	7.89	6.02

體積	O_2 生成速率(mL/sec)		
(mL)	0℃	10℃	25℃
100	1.11	1.60	4.60
200	1.57	1.84	4.94
300	1.82	2.29	4.55
400	1.62	2.53	3.72
500	1.58	2.61	3.27
600	1.77	2.48	2.41
700	1.90	2.49	2.27
800	2.04	2.32	2.18
900	2.15	1.99	2.07
1000	2.30	1.62	1.66

PbO_2 不同用量 at10℃

體積	O_2 生成時間(min)		
(mL)	1.25 mmole	1.875 mmole	2.5 mmole
100	1.04	0.57	0.49
200	1.95	0.86	0.62
300	2.67	1.12	0.73
400	3.33	1.42	0.81
500	3.97	1.70	0.89
600	4.64	1.97	0.99
700	5.31	2.25	1.08
800	6.03	2.57	1.19
900	6.87	3.06	1.33
1000	7.89	3.77	1.49

體積	O_2 生成速率(mL/sec)		
(mL)	1.25 mmole	1.875 mmole	2.5 mmole
100	1.60	2.92	3.38
200	1.84	5.73	13.25
300	2.29	6.38	15.72
400	2.53	5.66	20.66
500	2.61	5.82	18.83
600	2.48	6.21	17.89
700	2.49	5.96	18.80
800	2.32	5.21	14.10
900	1.99	3.39	12.66
1000	1.62	2.36	10.18

PbO_2 0.0025mole 在不同 pH 值的水溶液 at25℃

體積	O_2 生成時間(min)				
(mL)	pH=3	pH=5	pH=7	pH=9	pH=11
100	1.65	1.70	0.68	1.05	0.76
200	3.24	2.60	0.95	1.40	0.96
300	5.42	3.41	1.15	1.61	1.10
400	7.78	4.24	1.33	1.77	1.18
500	9.90	5.09	1.50	1.91	1.25
600	11.76	6.00	1.68	2.02	1.30
700	13.54	6.96	1.88	2.13	1.35
800	15.18	8.01	2.08	2.22	1.39
900	16.80	9.12	2.32	2.30	1.43
1000	18.56	10.43	2.66	2.57	1.71

體積	O_2 生成速率(mL/sec)				
(mL)	pH=3	pH=5	pH=7	pH=9	pH=11
100	1.01	0.98	2.46	1.59	2.19
200	1.05	1.83	6.06	4.81	8.19
300	0.76	2.08	8.63	7.76	12.71
400	0.71	2.01	9.15	10.26	20.16
500	0.78	1.95	9.64	11.95	23.36
600	0.90	1.84	9.23	16.00	31.06
700	0.93	1.73	8.54	14.99	37.45
800	1.02	1.59	8.14	18.35	38.31
900	1.03	1.49	6.97	21.05	43.29
1000	0.95	1.28	4.98	6.27	5.89

KI 0.0025mole

體積 (mL)	O_2 生成時間(min) 0℃	25℃
100	3.09	0.81
200	6.81	1.29
300	12.05	1.76
400	16.12	2.21
500	20.76	2.65
600	25.98	3.12
700	31.47	3.65
800	37.81	4.28
900	44.84	5.13
1000	52.85	6.40

體積 (mL)	O_2 生成速率(mL/sec) 0℃	25℃
100	0.54	2.05
200	0.45	3.52
300	0.32	3.52
400	0.41	3.73
500	0.36	3.81
600	0.32	3.51
700	0.30	3.16
800	0.26	2.61
900	0.24	1.98
1000	0.21	1.31

KI 不同用量 at25℃

體積 (mL)	O_2 生成時間(min) 1.25 mmole	2.5 mmole	5 mmole
100	1.38	0.81	0.40
200	2.39	1.29	0.59
300	3.47	1.76	0.76
400	4.59	2.21	0.91
500	5.88	2.65	1.04
600	7.43	3.12	1.17
700	9.31	3.65	1.30
800	11.74	4.28	1.43
900	14.74	5.13	1.58
1000	17.87	6.40	1.73

體積 (mL)	O_2 生成速率(mL/sec) 1.25 mmole	2.5 mmole	5 mmole
100	1.21	2.05	4.13
200	1.64	3.52	7.38
300	1.55	3.52	9.89
400	1.48	3.73	11.15
500	1.29	3.81	12.50
600	1.08	3.51	13.07
700	0.89	3.16	12.77
800	0.69	2.61	13.50
900	0.55	1.98	11.01
1000	0.53	1.31	11.11

KI 0.0025mole 在不同 pH 值的水溶液 at25℃

體積 (mL)	O_2 生成時間(min) pH=3	pH=5	pH=7	pH=9	pH=11
100	0.604	0.729	0.814	0.668	0.662
200	1.080	1.188	1.287	1.074	1.067
300	1.509	1.582	1.760	1.447	1.453
400	1.931	1.971	2.207	1.797	1.817
500	2.332	2.367	2.645	2.155	2.162
600	2.749	2.776	3.120	2.509	2.460
700	3.218	3.239	3.647	2.901	2.949
800	3.810	3.814	4.285	3.344	3.407
900	4.594	4.539	5.127	3.898	3.977
1000	5.734	5.611	6.399	4.680	4.798

體積 (mL)	O_2 生成速率(mL/sec) pH=3	pH=5	pH=7	pH=9	pH=11
100	2.760	2.286	2.047	2.497	2.518
200	3.498	3.635	3.525	4.098	4.112
300	3.888	4.232	3.524	4.472	4.318
400	3.949	4.284	3.726	4.755	4.581
500	4.158	4.207	3.808	4.660	4.840
600	3.998	4.072	3.510	4.710	4.870
700	3.552	3.601	3.163	4.246	4.330
800	2.817	2.896	2.612	3.764	3.636
900	2.125	2.301	1.980	3.008	2.921
1000	1.462	1.555	1.310	2.132	2.030

$FeSO_4$ 0.0025mole

體積 (mL)	O_2 生成時間(min) 0℃	10℃	25℃
100	4.01	0.73	0.40
200	11.33	1.76	0.76
300	17.87	2.81	1.06
400	24.55	3.89	1.30
500	32.50	5.12	1.51
600	39.61	6.58	1.69
700	45.84	8.35	1.87
800	52.00	10.63	2.04
900	58.52	13.35	2.23
1000	66.52	16.71	2.44

體積 (mL)	O_2 生成速率(mL/sec) 0℃	10℃	25℃
100	0.416	2.288	4.146
200	0.228	1.616	4.721
300	0.255	1.589	5.423
400	0.250	1.538	6.954
500	0.210	1.359	8.026
600	0.234	1.140	9.083
700	0.268	0.939	9.579
800	0.270	0.734	9.470
900	0.256	0.612	8.857
1000	0.208	0.496	8.071

$FeSO_4$ 不同用量 at25℃

體積 (mL)	O_2 生成時間(min) 1.25 mmole	2.5 mmole	5 mmole
100	0.86	0.40	0.12
200	1.55	0.76	0.25
300	2.14	1.06	0.35
400	2.71	1.30	0.42
500	3.25	1.51	0.48
600	3.78	1.69	0.53
700	4.34	1.87	0.58
800	4.97	2.04	0.63
900	5.71	2.23	0.67
1000	6.64	2.44	0.71

體積 (mL)	O_2 生成速率(mL/sec) 1.25 mmole	2.5 mmole	5 mmole
100	1.94	4.15	13.59
200	2.42	4.72	13.23
300	2.82	5.42	17.12
400	2.91	6.95	23.70
500	3.09	8.03	25.06
600	3.15	9.08	32.26
700	2.97	9.58	36.50
800	2.64	9.47	37.04
900	2.25	8.86	41.49
1000	1.81	8.07	38.76

$FeSO_4$ 0.0025mole 在不同 pH 值的水溶液 at25℃

體積 (mL)	O_2 生成時間(min) pH=3	pH=5	pH=7	pH=9	pH=11
100	0.383	0.431	0.402	0.310	0.314
200	0.797	0.777	0.755	0.630	0.610
300	1.069	1.050	1.062	0.892	0.824
400	1.303	1.285	1.302	1.104	1.009
500	1.509	1.496	1.510	1.292	1.160
600	1.697	1.678	1.693	1.455	1.308
700	1.877	1.852	1.867	1.607	1.431
800	2.061	2.018	2.043	1.759	1.546
900	2.251	2.195	2.231	1.900	1.671
1000	2.472	2.397	2.438	2.064	1.816

體積 (mL)	O_2 生成速率(mL/sec) pH=3	pH=5	pH=7	pH=9	pH=11
100	4.348	3.870	4.146	5.373	5.302
200	4.029	4.819	4.721	5.208	5.634
300	6.131	6.105	5.423	6.365	7.788
400	7.112	7.082	6.954	7.855	9.001
500	8.084	7.880	8.026	8.873	11.038
600	8.897	9.166	9.083	10.256	11.287
700	9.251	9.588	9.579	10.965	13.550
800	9.033	10.020	9.470	10.953	14.514
900	8.803	9.452	8.857	11.834	13.316
1000	7.536	8.244	8.071	10.163	11.507

Vmax-V (mL)	ln(Vmax-V) 0℃ (1153)	10℃ (1195)	25℃ (1258)
Vmax-100	6.959	6.999	7.054
Vmax-200	6.860	6.903	6.964
Vmax-300	6.749	6.797	6.865
Vmax-400	6.624	6.678	6.755
Vmax-500	6.482	6.544	6.631
Vmax-600	6.315	6.389	6.489
Vmax-700	6.116	6.205	6.324
Vmax-800	5.866	5.979	6.127
Vmax-900	5.533	5.687	5.881
Vmax-1000	5.030	5.273	5.553

MnO_2 0.0025mole 二次催化反應 at25℃

體積 (mL)	O_2 生成時間(min)	
	第一次反應	第二次反應
100	2.70	2.97
200	6.11	6.65
300	10.61	11.15
400	14.63	15.79
500	17.39	19.59
600	20.12	22.97
700	23.27	26.57
800	27.24	30.84
900	33.04	36.02
1000	40.98	42.57

體積 (mL)	O_2 生成速率(mL/sec)	
	第一次反應	第二次反應
100	0.618	0.561
200	0.488	0.453
300	0.370	0.348
400	0.415	0.359
500	0.604	0.439
600	0.611	0.493
700	0.529	0.463
800	0.420	0.390
900	0.287	0.275
1000	0.210	0.202

PbO_2 0.00125mole 二次催化反應 at25℃

體積 (mL)	O_2 生成時間(min)	
	第一次反應	第二次反應
100	0.36	2.58
200	0.70	3.54
300	1.07	4.45
400	1.51	5.22
500	2.02	5.86
600	2.72	6.12
700	3.45	7.27
800	4.22	8.68
900	5.02	9.46
1000	6.02	12.24

體積 (mL)	O_2 生成速率(mL/sec)	
	第一次反應	第二次反應
100	4.602	0.645
200	4.936	1.742
300	4.552	1.830
400	3.720	2.168
500	3.270	2.023
600	2.410	1.803
700	2.271	1.447
800	2.176	1.188
900	2.070	1.016
1000	1.661	0.599

【評語】030208

本作品利用不同金屬、鹽類作為 H_2O_2 反應的催化劑，得知不同的反應速率常數與活化能，實驗紮實，具有創意。惟實驗的誤差值須考慮加入作畫的圖表，增加精確度。