

# 第18屆旺宏科學獎 成果報告書

參賽編號：SA18-424

作品名稱：善 Bang 的化學鐘—B-R 震盪反應

姓名：王柏涵

關鍵詞：B-R 振盪反應、催化劑、阿瑞尼士方程式

# 目錄

摘要	1
壹、研究動機	1
貳、研究目的	1
參、研究設備及器材	2
肆、研究過程及方法	3
伍、實驗結果	7
陸、結論	29
柒、未來展望	30
捌、參考資料	30
玖、附錄一	...

## 摘要

震盪反應分為 BR、BZ、BL，我們選擇了 BR 反應作為研究題目，在反應物中  $\text{KIO}_3$ 、 $\text{H}_2\text{O}_2$  主要扮演生成  $\text{I}_2$  的角色， $\text{CH}_2(\text{COOH})_2$  則是主導  $\text{I}_2$  消耗的反應， $\text{Mn}^{2+}$  可催化  $\text{I}_2$  生成的反應。經由我們的實驗和計算，得反應速率定律式為  $r=k[\text{H}_2\text{O}_2]^{0.621}[\text{KIO}_3]^{0.586}[\text{MA}]^{0.65}[\text{H}^+]^{-0.47}$ ， $\text{Mn}^{2+}$  擔任  $\text{I}_2$  生成反應的催化劑， $\text{MnSO}_4$  級數為 0.09。在反應進行條件部分，我們發現該反應只在 pH 值介於 0.7~1.6 之間時才會震盪。此外我們加入各種有機物質(醇，醛，酮)及醣類發現確實會影響震盪時間，做出時間對濃度的檢量線，並藉溫度變因實驗得出活化能大小關係，得知有機物在反應中扮演催化劑角色。

## 壹、 研究動機

基礎化學(三)第二章反應速率提到了秒錶反應的實驗，在實驗過程中，由於產物中含有大量的  $\text{I}_2$  分子存在，且含有澱粉作為顯色劑，使原本透明的溶液可以變為深藍色，這種瞬間變色的現象使我們非常感興趣，想要了解整個反應進行的過程，並能夠進一步討論其化學動力學反應，於是我們上網找了一些有類似現象的實驗，發現有非常多種的震盪反應都有類似的顏色變化現象，分別為 BR、BL、BZ 震盪反應，其華麗的畫面更使我們的眼睛為之一亮。看過相關的資料以及別人所做過的實驗之後，我們發現震盪反應甚至可以做為化學鐘使用，希望可以藉由加入一些有機溶劑，改變其震盪時間或次數，應用於分析化學的檢驗上。同時我們發現震盪反應的相關實驗皆是用攝影或是光敏電阻器的方式來測量，於是我們希望能使用更簡便、精確的工具來量測數據。

## 貳、 研究目的

- 一、探討反應式中各反應物在速率定律式中的級數。
- 二、找出適合反應進行的 pH 值範圍。
- 三、加入有機物質(醇、醛、酮)對震盪時間之影響，並作出濃度對時間之檢量線。

四、探討相同濃度之各種有機物質(醇、醛、酮)對震盪時間之影響。








五、以活化能探討有機物是否作為震盪反應之催化劑。

六、探討有機物在震盪反應中作為催化劑之級數

七、探討醯類（醯醯、醯醯）對震盪反應之影響

## 參、實驗設備及器材

### 一、器材

100ml、250ml、 500ml、1000ml 燒杯	10ml、25ml、分度吸 量管	加熱攪拌機	磁石
			
容量瓶	漏斗	抽氣過濾瓶(組)	濾紙
			
恆溫槽	溫度計	pH 計	刮勺
			
電子秤	秤量紙	光感測器(phyphox)	手電筒
			
乳頭滴管	洗滌瓶	標籤紙	手套
			



## 二、藥品

去離子水(溶劑)、雙氧水  $\text{H}_2\text{O}_2$ 、丙二酸  $\text{CH}_2(\text{COOH})_2$ 、硫酸亞錳  $\text{MnSO}_4$ 、碘酸鉀  $\text{KIO}_3$ 、硫酸  $\text{H}_2\text{SO}_4$ 、氫氧化鈉  $\text{NaOH}$ 、澱粉(顯色劑)、甲醇  $\text{CH}_3\text{OH}$ 、乙醇  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 、正丙醇  $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$ 、正丁醇  $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$ 、正戊醇  $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}$ 、異丙醇  $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$ 、三級丁醇  $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$ 、乙二醇  $\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2$ 、丙三醇  $\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$ 、甲醛  $\text{HCHO}$ 、丙醛  $\text{C}_2\text{H}_5\text{CHO}$ 、丙酮  $\text{CH}_3\text{COCH}_3$ 。

## 肆、研究過程及方法

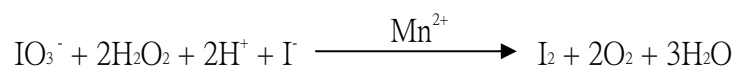
### 一、B-R 振盪反應(Briggs-Rauscher 反應)原理:

將碘酸根( $\text{IO}_3^-$ )加入過氧化氫( $\text{H}_2\text{O}_2$ )及澱粉(指示劑)，則稱為 B-R 振盪反應(Briggs-Rauscher 反應)，呈現琥珀→藍→無色→琥珀→……，反應機制主要包含兩部份：

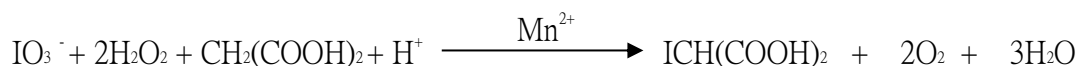
A(非自由基反應)－在碘酸根的存在下，丙二酸緩慢消耗溶液中的游離碘分子：



B(自由基反應)－快速催化反應，將過氧化氫及碘酸根轉化成自由碘分子及氧分子：



一開始碘離子濃度低，碘分子濃度也低，A、B 兩反應同時進行，分別生成碘離子及碘分子，但 B 反應速率快，很快將 A 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 B 反應突然停止，而 A 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，B 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。其總反應為：



## 二、實驗步驟

### (一) 配置標準溶液

1. 溶液 A:以分度吸量管吸取濃度 30%的  $\text{H}_2\text{O}_{2(\text{aq})}$  50.0mL 至 100.0mL 容量瓶中，加水至 100.0mL，配置 4.9 M  $\text{H}_2\text{O}_{2(\text{aq})}$ 。
2. 溶液 B:於 100.0mL 容量瓶中加入少許去離子水，以電子天平秤取 4.28 g  $\text{KIO}_{3(\text{s})}$ 及以分度吸量管吸取 3.0mL 的 3 M  $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ 加入容量瓶中，將容量瓶加水至 100.0mL，使溶液混合均勻，配置  $\text{KIO}_{3(\text{aq})}$  0.20 M， $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$  0.09M。
3. (1) 澱粉指示劑:電子天平秤取 0.06 g 的澱粉於燒杯中，加入沸水 40.0mL，再加熱至沸騰後，過濾取濾液，做為澱粉指示劑。  
(2)溶液 C: 以電子天平秤取 3.90 g 的 MA(丙二酸)和 1.69 g 的  $\text{MnSO}_{4(\text{s})}$ 於 100.0mL 容量瓶中，加入上述(1)澱粉指示劑 40.0mL，再加水至 100.0mL，使溶液混合均勻，配置 MA 0.375M， $\text{MnSO}_{4(\text{aq})}$  0.10M。
4. 將溶液 A、B、C 置於恆溫槽中恆溫 25°C，半小時。
5. 以分度吸量管取溶液 B、C 各 10.0mL 到 100.0mL 燒杯中，攪拌均勻後；以分度吸量管取溶液 A 10.0mL 加入燒杯中，以 phyphox 軟體偵測震盪反應的次數和時間。

(phyphox 軟體:我們使用軟體中的"Light"選項，其功能為使用手機的光感應器 (LTR548 ALSPS LiteOn(v 1))來測量環境吸收光強度，其具有 16 至 20 位的有效辨識率、寬動態範圍線性響應，及接近可見光範圍(人眼可辨識)的光譜。反應時，在暗室中我們用手電筒照射溶液，因顏色變化(如下圖 1、2、3)而導致透過的光強度改變，再以此裝置來測量，呈現出吸光度和時間變化關係的圖表(如下圖 4)，並將數據轉至 Microsoft Office Excel 以便分析。)



圖 1



圖 2



圖 3

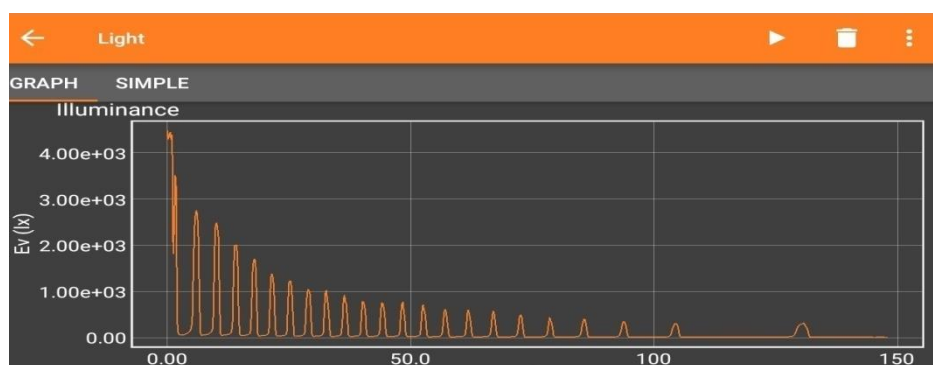


圖 4

(二) 改變反應物濃度，討論反應物級數

1. 改變  $\text{H}_2\text{O}_2$  濃度，討論級數

加入 30% $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ (mL)	10.0	15.0	20.0	30.0	40.0	50.0	75.0	100.0
+水稀釋後 $[\text{H}_2\text{O}_2](\text{M})$ =溶液 A	0.98	1.47	1.96	2.94	3.92	4.90	7.35	9.80

2. 改變  $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq})$  (調整 pH 值)濃度，討論級數

pH 值	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50
------	------	------	------	------	------	------	------	------

3. 改變  $\text{KIO}_3(\text{aq})$ 濃度，討論級數

加入 $\text{KIO}_3(\text{s})$ (g)	3.85	4.28	4.71	4.94	5.56	6.42
+水溶解後 $[\text{KIO}_3(\text{aq})]$ (M) =溶液 B	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	0.30

4. 改變丙二酸(MA)濃度，討論級數

加入 $\text{MA}(\text{s})$ (g)	2.08	2.34	2.60	2.86	3.12	3.38	3.64	3.90	4.16
+水溶解後 $[\text{MA}]$ (M) =溶液 C	0.200	0.225	0.250	0.275	0.300	0.325	0.350	0.375	0.400

5. 改變  $\text{MnSO}_4(\text{aq})$ 濃度，討論級數

加入 $\text{MnSO}_4(\text{s})$ (g)	1.35	2.03	3.38	4.06	5.40	6.08	6.76
+水溶解後 $[\text{MnSO}_4(\text{aq})]$ (M) =溶液 C	0.08	0.12	0.20	0.24	0.32	0.36	0.40

(三) 加入有機物質(醇、醛、酮)對震盪時間之影響

1. 重複標準溶液配置步驟 1~4。

2. D 溶液配置:取各有機物質(醇、醛、酮)置入 100mL 容量瓶，加水至 100mL

(1)醇類(甲醇、乙醇、丙醇、正丁醇、正戊醇、異丙醇、三級丁醇、乙二醇、丙三醇)的濃度配置如下表格

各醇類 (mL)	10.0	20.0	50.0	100.0
稀釋後醇類(%)	10.0	20.0	50.0	100.0

(2)甲醛的濃度配置如下表格

甲醛 (mL)	14.3	35.7	71.4	100.0
稀釋後甲醛 (%)	2.0	5.0	10.0	14.0

(3)丙醛、丙酮的濃度配置如下表格

丙醛、丙酮(mL)	5.0	10.0	20.0	50.0	100.0
稀釋後丙醛 (%)	5.0	10.0	20.0	50.0	100.0

3. 將溶液 D 置於恆溫槽中恆溫25°C，半小時。

4. 以分度吸量管吸取溶液 B、C 各 10.0mL，溶液 D 5.0mL 到 100mL 燒杯中，待攪拌均勻後，再以分度吸量管吸取溶液 A 10.0mL 加入此燒杯中，以 phyphox 軟體偵測震盪反應的次數和時間。

(四) 分別取水、丙醇(20%)、異丙醇(20%)、三級丁醇(20%)、乙二醇(20%)、丙三醇(20%)、丙醛(50%)、丙酮(50%)，在不同溫度下測其活化能改變量

1. 重複標準溶液配置步驟 1~4，改變反應溫度分別為 5、15、25、35、45°C 置於恆溫槽中，恆溫半小時。

2. 溶液 D:以分度吸量管吸取對照組(水)及機物質(丙醇(20%)、異丙醇(20%)、三級丁醇(20%)、乙二醇(20%)、丙醛(50%)、丙酮(50%) 各 5mL 於燒杯中，改變反應溫度分別為 5、15、25、35、45°C 置於恆溫槽中，恆溫半小時。

3. 以分度吸量管吸取溶液 B、C 各 10.0mL，不同溫度之溶液 D 5.0mL 到 100mL 燒杯中，待攪拌均勻後，再以分度吸量管吸取溶液 A 10.0mL 加入此燒杯中，以 phyphox 軟體偵測震盪反應的次數和時間。

(五) 探討醣類（醛醣、酮醣）對震盪反應之影響

1. 重複標準溶液配置步驟 1~4。



2. D 溶液配置:分別配置濃度分別為 5%、10%、20%、30%、40%的葡萄糖、果糖溶液。
3. 以分度吸量管吸取溶液 B、C 各 10.0mL，溶液 D 5.0mL 到 100mL 燒杯中，待攪拌均勻後，再以分度吸量管吸取溶液 A 10.0mL 加入此燒杯中，以 phyphox 軟體偵測震盪反應的次數和時間。

## 伍、實驗結果

### 一、探討反應式中各反應物在速率定律式中的級數

#### (一)實驗結果

我們嘗試以前五次震盪平均時間之倒數和震盪總時間之倒數來計算反應速率之級數，發現以五次震盪平均時間 $((t_1+t_2+t_3+t_4+t_5)/5)$ 之倒數作為速率定律式中之反應速率  $r$  較為精確，因為其濃度對速率之關係式的相關係數(R)較高，所以以此數據取對數值計算該反應物在速率定律式中之級數。

#### 1. 改變 $H_2O_2$ 濃度，討論級數

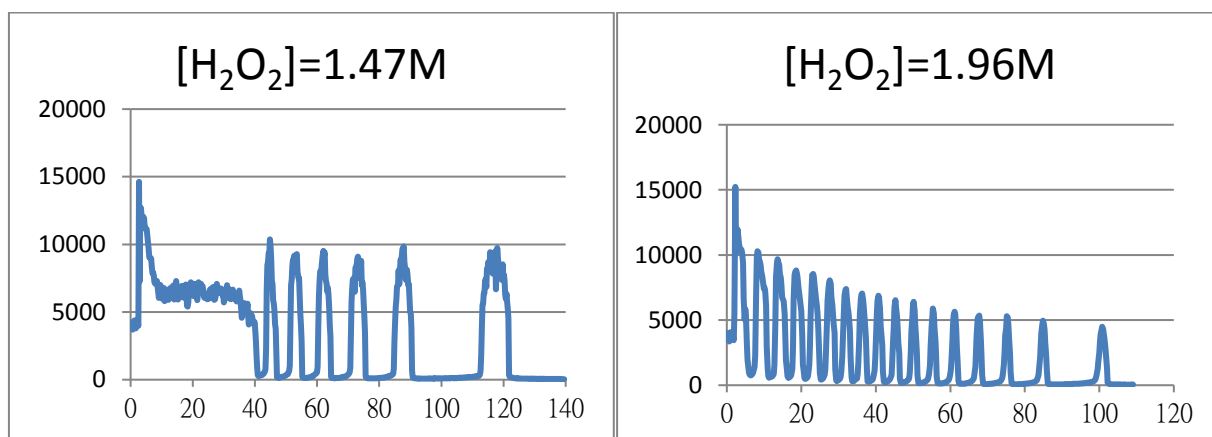
A 溶液 :配製  $H_2O_2$  濃度分別為(0.98、1.47、1.96、2.94、3.92、4.90、7.35、9.80)M

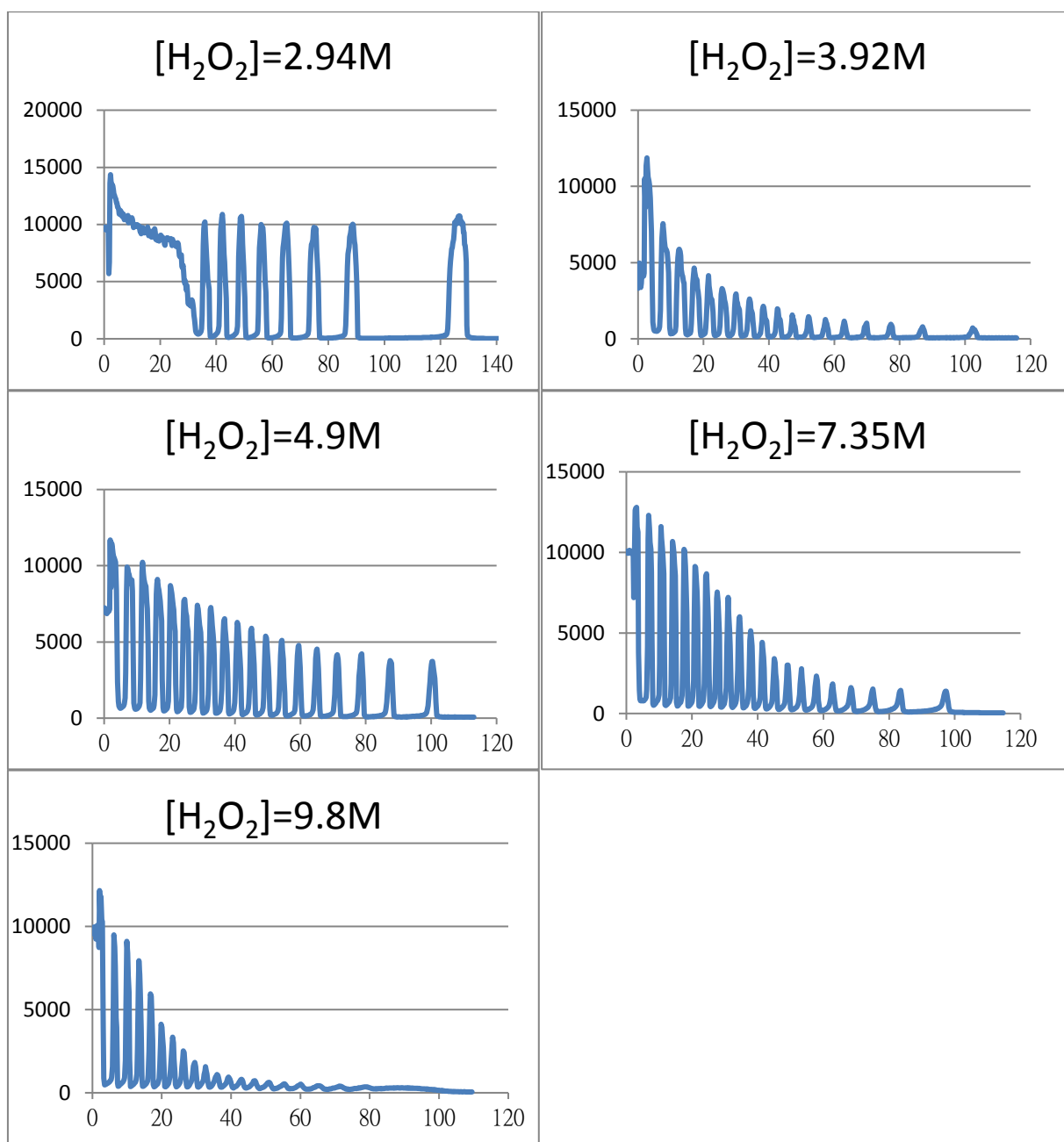
B 溶液 :  $KIO_3$ (0.2M)+  $H_2SO_4$  (0.09M)

C 溶液 : MA (0.375M)+ $MnSO_4$ (0.1M)+澱粉指示劑

$H_2O_2$ (M)	0.98	1.47	1.96	2.94	3.92	4.90	7.35	9.80
震盪次數	0	6	16	8	17	18	20	16
震盪總時間	0	73.17	92.53	90.95	94.69	93.22	90.33	53.94
前五次震盪平均時間(sec)	0	14.63	4.75	7.77	4.47	4.30	3.51	3.39

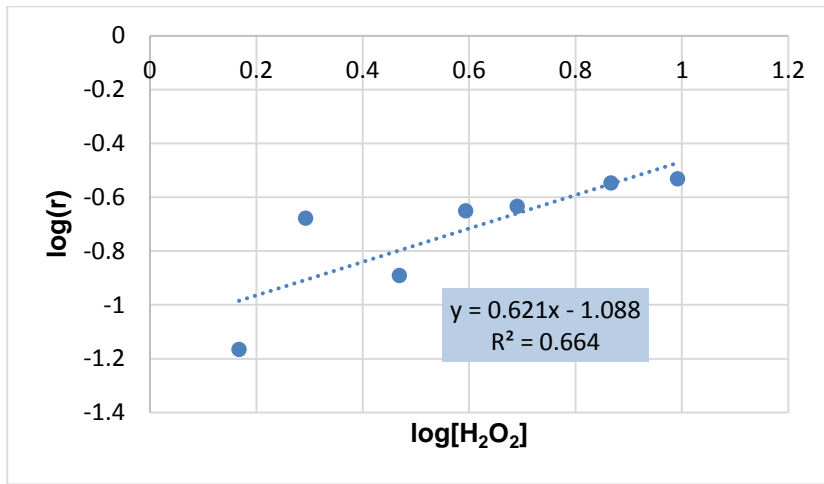
由 phyphox 軟體測量出的數據經 Excel 處理後，圖形如下:





溶液 B、C 濃度為定值，改變 A 溶液濃度求其級數，而  $r$  正比於  $5/(t_1+t_2+t_3+t_4+t_5)$ ，將速率定律式取對數後： $\log(r) = a \log[A] + \log(k)$ ， $\log(r)$  對  $\log[H_2O_2]$  做圖，得趨勢線之斜率即為  $H_2O_2$  之級數。

$H_2O_2$ (M)	1.47	1.96	2.94	3.92	4.90	7.35	9.80
$\log[H_2O_2]$	0.167	0.292	0.468	0.593	0.690	0.866	0.991
$\log(r)$	-1.165	-0.676	-0.890	-0.650	-0.633	-0.545	-0.530



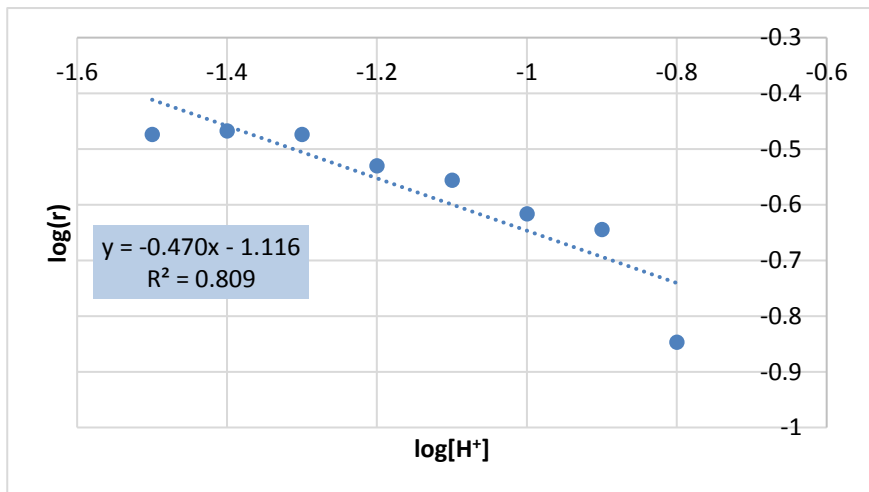
∴  $\text{H}_2\text{O}_2$  級數為 0.621

2. 改變  $\text{H}^+$  濃度，討論級數

pH 值	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
震盪次數	4	4	5	6	14	25	34	33
震盪總時間	21.07	13.23	16.53	17.99	47.35	110.59	142.62	119.23
前五次震盪平均時間(sec)	7.02	4.41	4.13	3.59	3.39	3.01	2.93	2.97

$\log(r)$  對  $\log[\text{H}^+]$  做圖，得趨勢線之斜率即為  $\text{H}^+$  之級數。

pH 值	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
$\text{H}^+$ (M)	0.158	0.126	0.100	0.079	0.063	0.050	0.039	0.031
$\log[\text{H}^+]$	-0.800	-0.900	-1.000	-1.100	-1.200	-1.300	-1.400	-1.500
$\log(r)$	-0.846	-0.644	-0.616	-0.556	-0.530	-0.473	-0.467	-0.473



∴  $\text{H}^+$  級數為 -0.470

3. 改變  $\text{KIO}_3$  濃度，討論級數

A 溶液： $\text{H}_2\text{O}_2$  (4.9M)

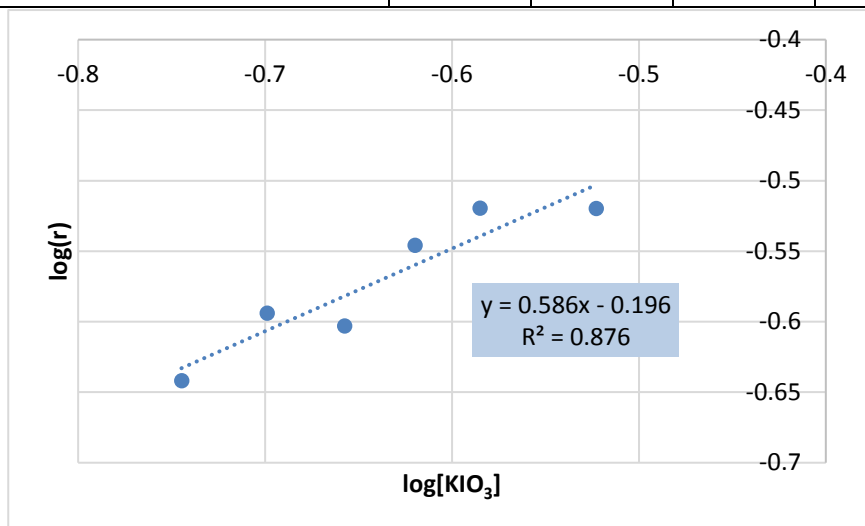
B 溶液：配製  $\text{KIO}_3$  濃度分別為(0.18、0.20、0.22、0.24、0.26、0.30)M+ $\text{H}_2\text{SO}_4$  (0.09M)

C 溶液：MA (0.375M)+ $\text{MnSO}_4$  (0.1M)+澱粉指示劑

KIO <sub>3</sub> 濃度(M)	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	0.30
震盪次數	26	14	19	12	22	19
震盪總時間	121.51	52.48	88.03	40.52	91.15	66.34
前五次震盪平均時間(sec)	4.38	3.92	4.00	3.51	3.30	3.30

log(r)對 log[KIO<sub>3</sub>]做圖，得趨勢線之斜率即為 KIO<sub>3</sub> 之級數。

KIO <sub>3</sub> (M)	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	0.30
log[KIO <sub>3</sub> ]	-0.744	-0.698	-0.657	-0.619	-0.585	-0.523
log(r)	-0.642	-0.594	-0.603	-0.546	-0.519	-0.519



∴ KIO<sub>3</sub> 級數為  
0.586

#### 4. 改變丙二酸(MA)濃度，討論級數

A 溶液 : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (4.9M)

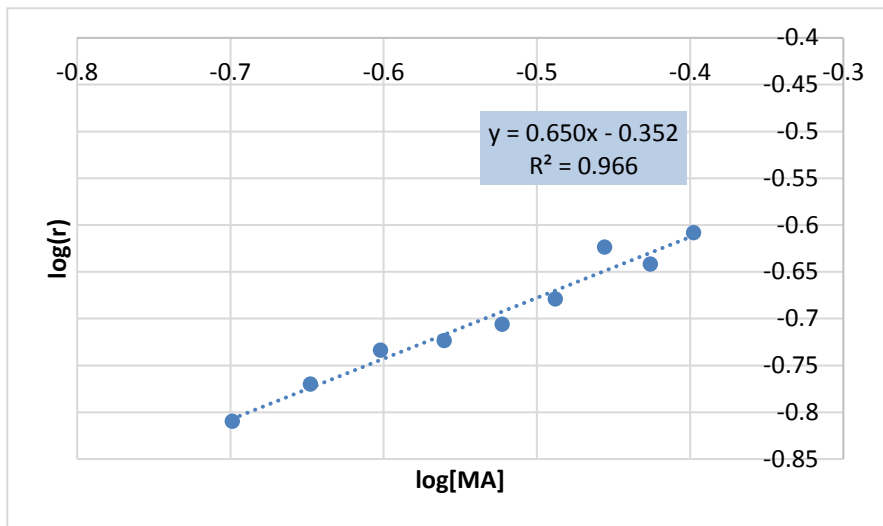
B 溶液 : KIO<sub>3</sub> (0.2M)+ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0.09M)

C 溶液 : 配製 MA 濃度分別為(0.2、0.225、0.25、0.3、0.325、0.35、0.35、0.4)M + MnSO<sub>4</sub>  
(0.1M)+澱粉指示劑

丙二酸濃度	0.200	0.225	0.250	0.275	0.300	0.325	0.350	0.375	0.400
震盪次數	6	6	7	7	8	10	12	12	15
震盪總時間	32.26	29.14	32.24	31.82	35.95	44.35	48.85	51.53	62.85
前五次震盪平均時間(sec)	6.45	5.88	5.41	5.28	5.08	4.77	4.20	4.38	4.05

log(r)對 log[MA]做圖，得趨勢線之斜率即為 MA 之級數。

丙二酸(M)	0.200	0.225	0.250	0.275	0.300	0.325	0.350	0.375	0.400
log[MA]	-0.698	-0.647	-0.602	-0.560	-0.522	-0.488	-0.455	-0.425	-0.397
log(r)	-0.809	-0.769	-0.733	-0.723	-0.706	-0.679	-0.623	-0.641	-0.608



∴ 丙二酸  
(MA) 級數為  
0.650

5. 改變硫酸亞錳(MnSO<sub>4</sub>)濃度，討論級數

A 溶液 : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (4.9M)

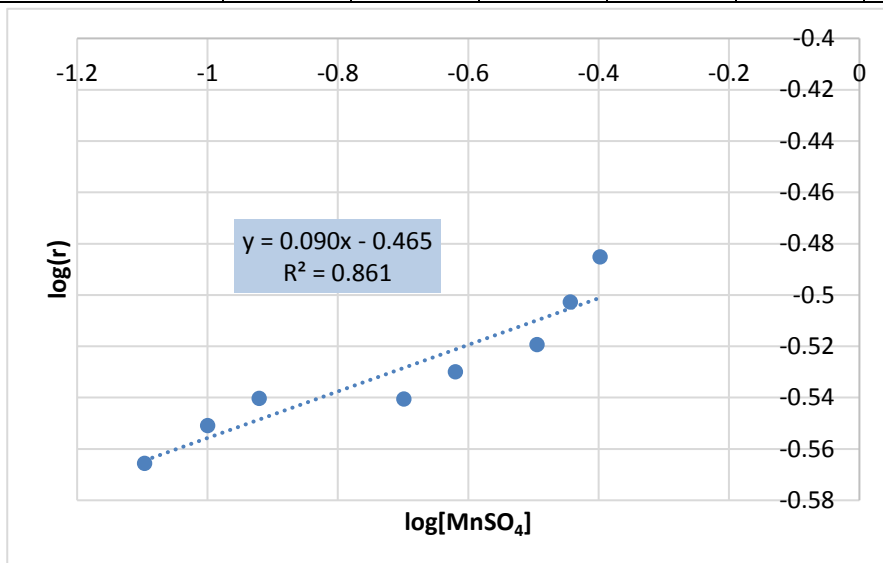
B 溶液 : KIO<sub>3</sub> (0.2M)+H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0.09M)

C 溶液 : 配製 MnSO<sub>4</sub> 濃度分別為 (0.08、0.1、0.12、0.2、0.24、0.32、0.36、0.4)M+ MA (0.375M)+澱粉指示劑

濃度(M)	0.08	0.10	0.12	0.20	0.24	0.32	0.36	0.40
震盪次數	19	19	20	20	20	21	22	23
震盪總時間	89.48	83.09	103.94	98.16	87.79	92.56	101.25	102.66
前五次震盪平均時間(sec)	3.678	3.556	3.47	3.47	3.38	3.30	3.18	3.05

log(r)對 log[MnSO<sub>4</sub>]做圖，得趨勢線之斜率即為 MnSO<sub>4</sub> 之級數。

MnSO <sub>4</sub> (M)	0.08	0.10	0.12	0.20	0.24	0.32	0.36	0.40
log[MnSO <sub>4</sub> ]	-1.097	-1.000	-0.920	-0.699	-0.619	-0.494	-0.443	-0.398
log(r)	-0.565	-0.551	-0.540	-0.540	-0.530	-0.519	-0.502	-0.485



∴ MnSO<sub>4</sub> 級數  
為 0.09

## (二) 討論:

1. 根據實驗結果，該反應條件下之速率定律式為  $r=k[\text{H}_2\text{O}_2]^{0.621}[\text{H}^+]^{-0.47}[\text{KIO}_3]^{0.586}[\text{MA}]^{0.65}$
2.  $\text{Mn}^{2+}$  擔任  $\text{I}_2$  生成反應的催化劑， $\text{MnSO}_4$  級數為 0.09。
3. 在實驗結果中，我們發現當雙氧水濃度過低時 (<1.47M)，反應無法進行，而雙氧水的需要量明顯高於其他的反應物，據此我們推測應該是因為雙氧水在溶液中可能同時進行了三個反應，包含生成  $\text{I}_2$  的反應 ( $\text{IO}_3^- + 2\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + \text{I}^- \rightarrow \text{I}_2 + 2\text{O}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$ ) 以及  $2\text{IO}_3^- + 5\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{I}_2 + 5\text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{I}_2 + 5\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{IO}_3^- + 2\text{H}^+ + 4\text{H}_2\text{O}$ 。
4. 此外，我們還發現  $\text{H}^+$  的級數為負值，我們推測應該是因為在 A:  $\text{I}_2 + \text{CH}_2(\text{COOH})_2 \rightarrow \text{ICH}(\text{COOH})_2 + \text{H}^+ + \text{I}^-$  和 B:  $\text{IO}_3^- + 2\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + \text{I}^- \rightarrow \text{I}_2 + 2\text{O}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$  兩反應中，A 反應為非自由基反應故其速率較慢，應作為瓶頸反應決定整體的速率，而 A 反應式中  $\text{H}^+$  為產物，因此當  $[\text{H}^+]$  上升時，便會減慢整體的反應速率。
5. 此 B-R 振盪反應的 pH 值需在 0.7~1.6 間，震盪才會發生。

## 二、加入有機物質(醇、醛、酮)對震盪時間之影響，並作出濃度對時間之檢量線

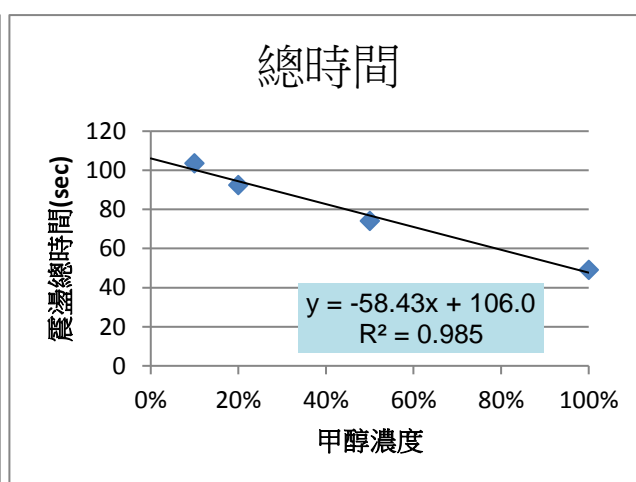
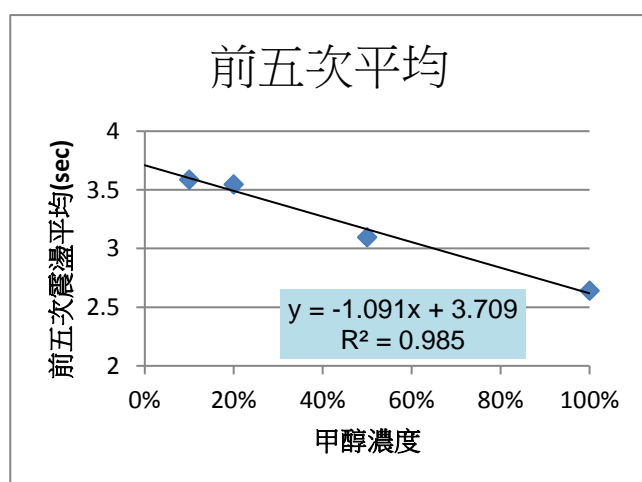
(\*求出之檢量線方程式即為圖表內之趨勢線方程式)

(\*以下各組之 A、B、C 溶液皆使用標準液)

### (一)震盪反應中加入醇類，對總時間和前五次震盪平均時間之影響

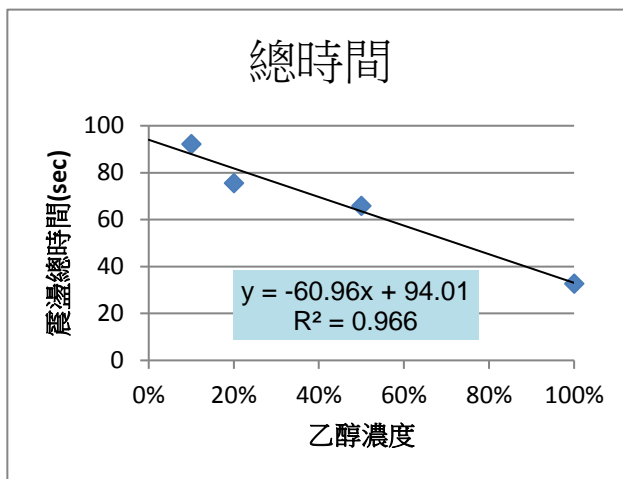
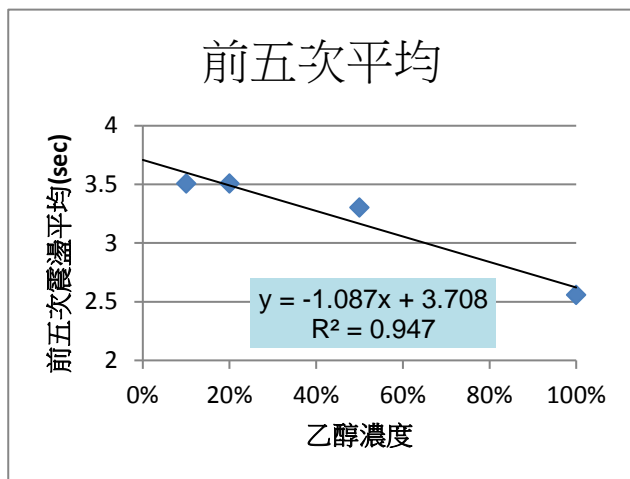
#### 1. 甲醇

甲醇濃度	10%	20%	50%	100%
前五次震盪平均時間(sec)	3.588	3.548	3.096	2.642
震盪總時間(sec)	103.56	92.42	74.09	49.12



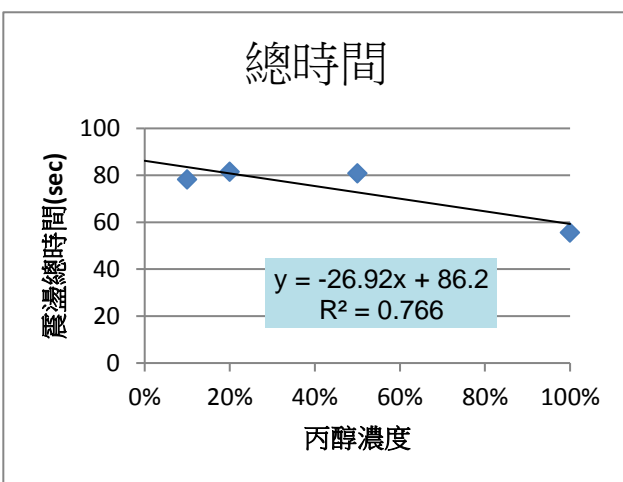
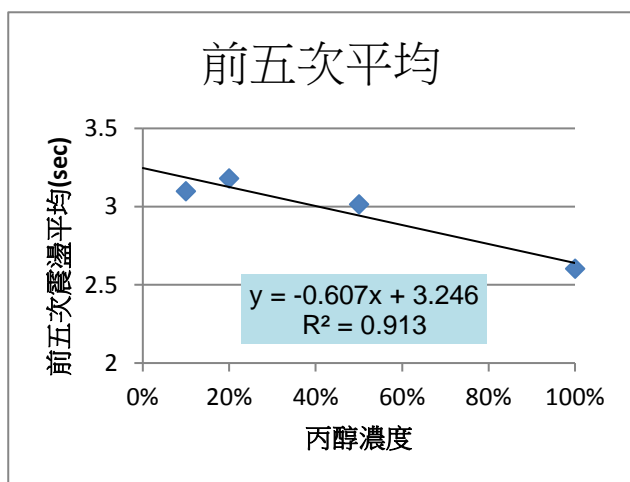
## 2. 乙醇

乙醇濃度	10%	20%	50%	100%
前五次震盪平均時間(sec)	3.508	3.508	3.304	2.558
震盪總時間(sec)	92.24	75.53	65.84	32.73



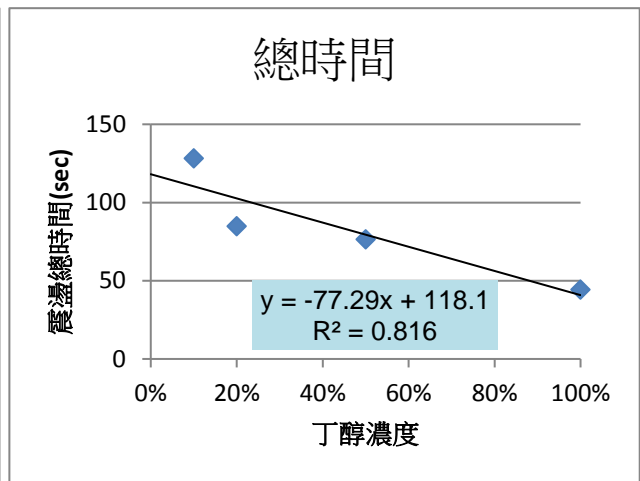
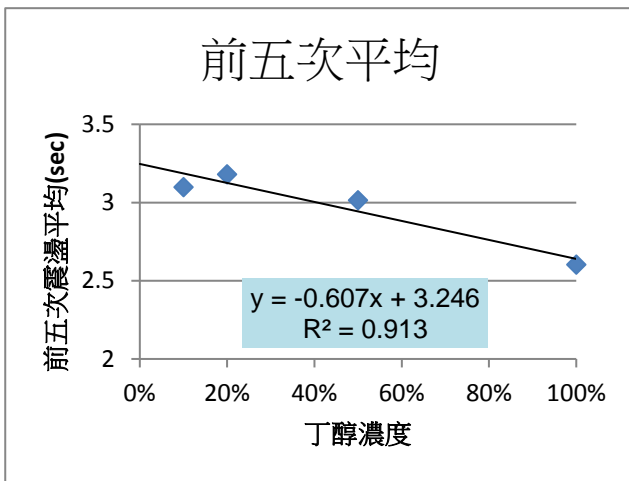
## 3. 丙醇

丙醇濃度	10%	20%	50%	100%
前五次震盪平均時間(sec)	3.098	3.18	3.014	2.602
震盪總時間(sec)	78.28	81.59	80.91	55.56



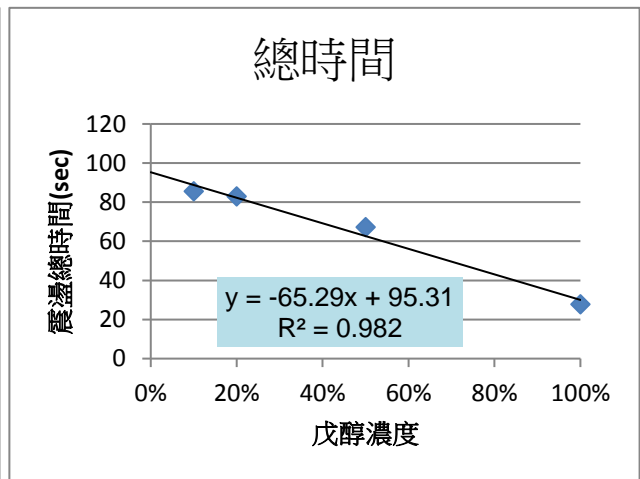
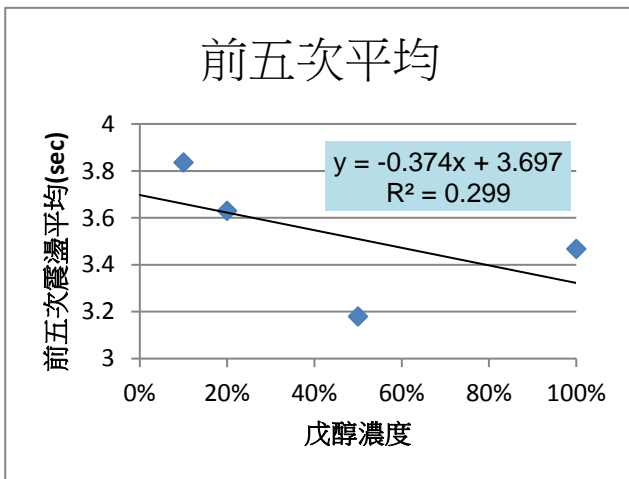
## 4. 丁醇

丁醇濃度	10%	20%	50%	100%
前五次震盪平均時間(sec)	4.002	3.222	3.548	2.768
震盪總時間 (sec)	128.09	84.68	76.30	44.20



#### 5. 戊醇

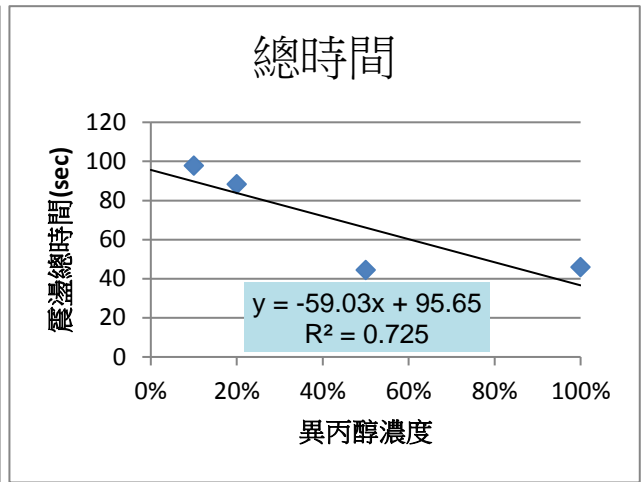
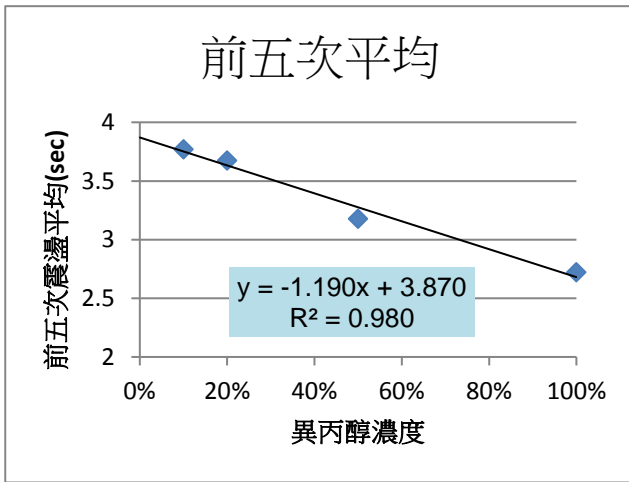
戊醇濃度	10%	20%	50%	100%
前五次震盪平均時間(sec)	3.836	3.630	3.180	3.468
震盪總時間 (sec)	85.60	82.92	67.33	27.87



#### 6. 異丙醇

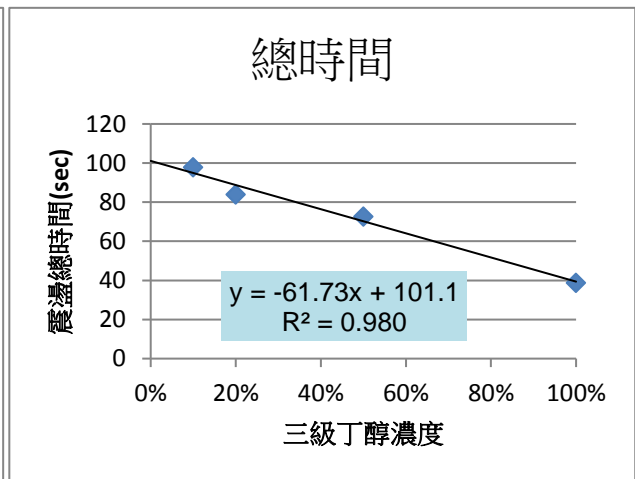
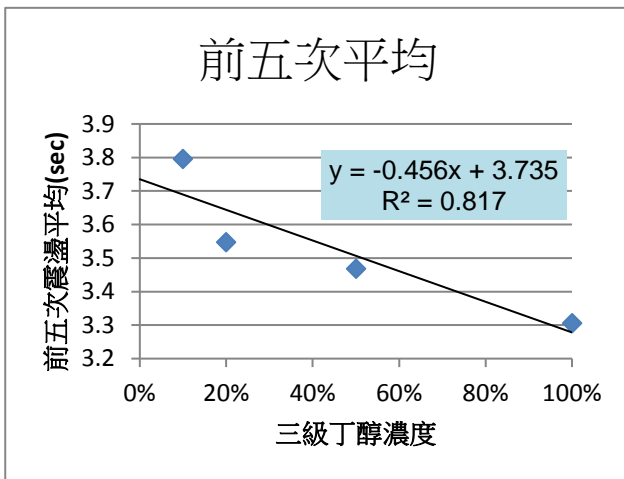
異丙醇濃度	10%	20%	50%	100%
前五次震盪平均時間(sec)	3.770	3.674	3.176	2.720
震盪總時間(sec)	97.86	88.35	44.35	45.81





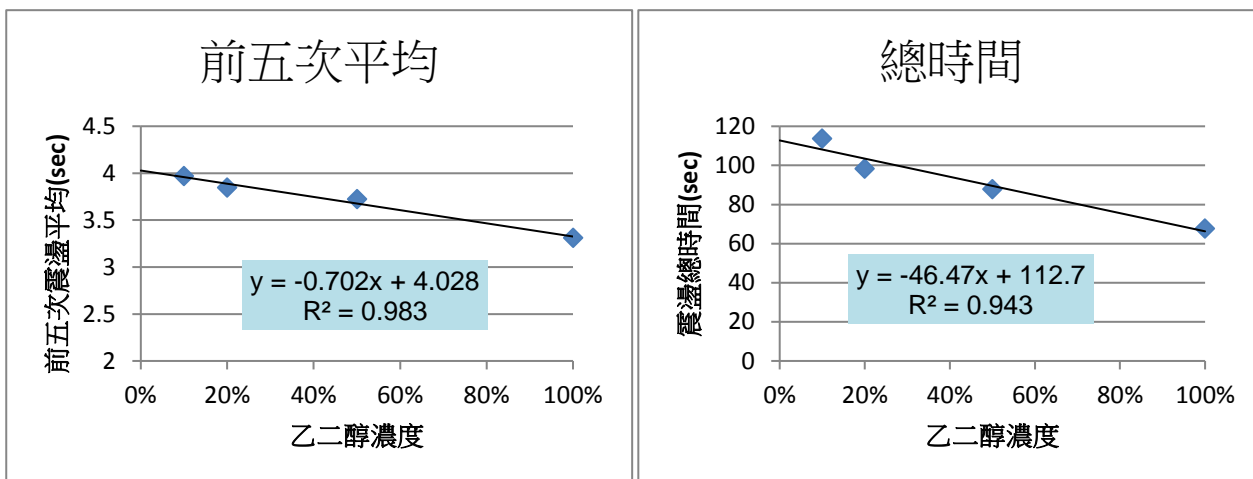
#### 7.三級丁醇

三級丁醇濃度	10%	20%	50%	100%
前五次震盪平均時間(sec)	3.796	3.548	3.468	3.306
震盪總時間(sec)	97.82	84.00	72.65	38.83



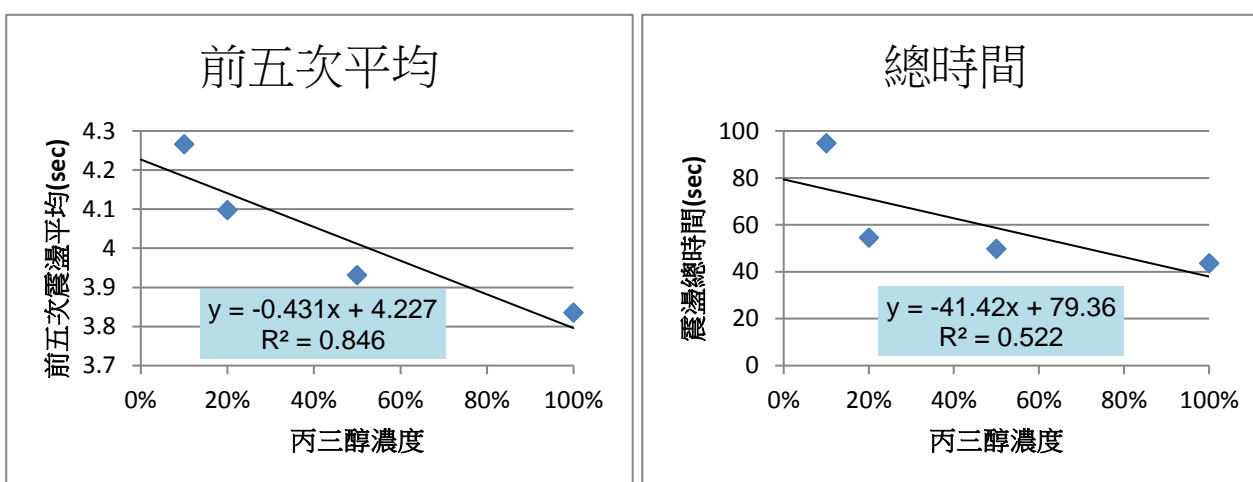
#### 8.乙二醇

乙二醇濃度	10%	20%	50%	100%
前五次震盪平均時間(sec)	3.970	3.846	3.722	3.310
震盪總時間(sec)	113.72	98.22	87.85	67.62



### 9.丙三醇

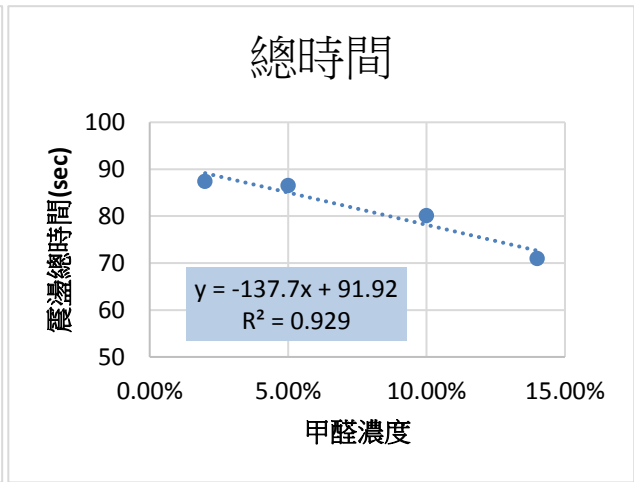
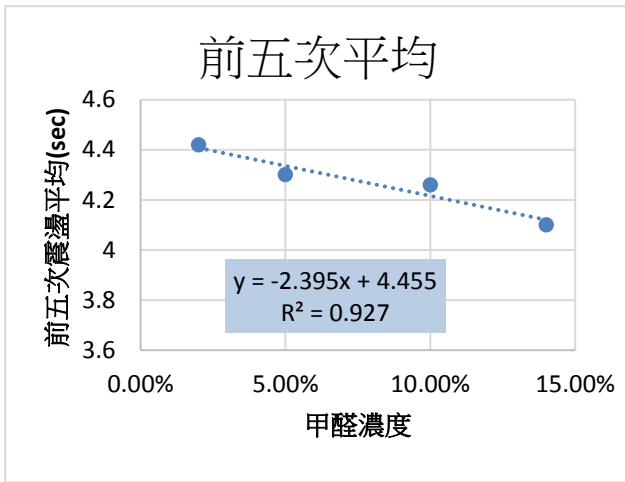
丙三醇濃度	10%	20%	50%	100%
前五次震盪平均時間(sec)	4.266	4.098	3.932	3.836
震盪總時間(sec)	94.82	54.56	49.79	43.71



(二)震盪反應中加入甲醛、丙醛、丙酮，對總時間和前五次震盪平均時間之影響

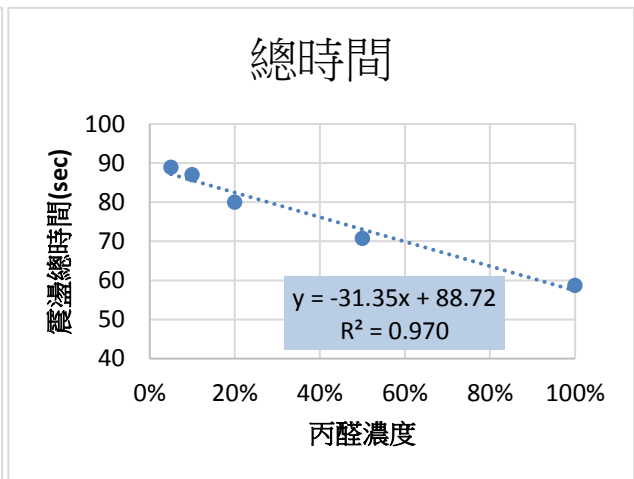
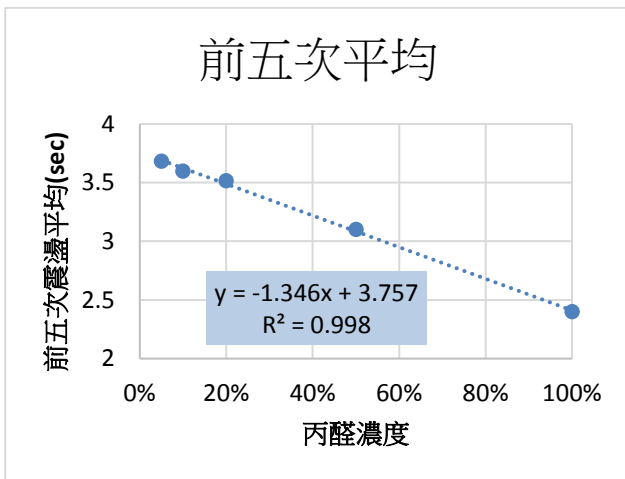
### 1. 甲醛(HCHO)

甲醛濃度	2.00%	5%	10%	14%
前五次震盪平均時間(sec)	4.420	4.300	4.260	4.100
震盪總時間(sec)	87.39	86.53	80.13	70.95



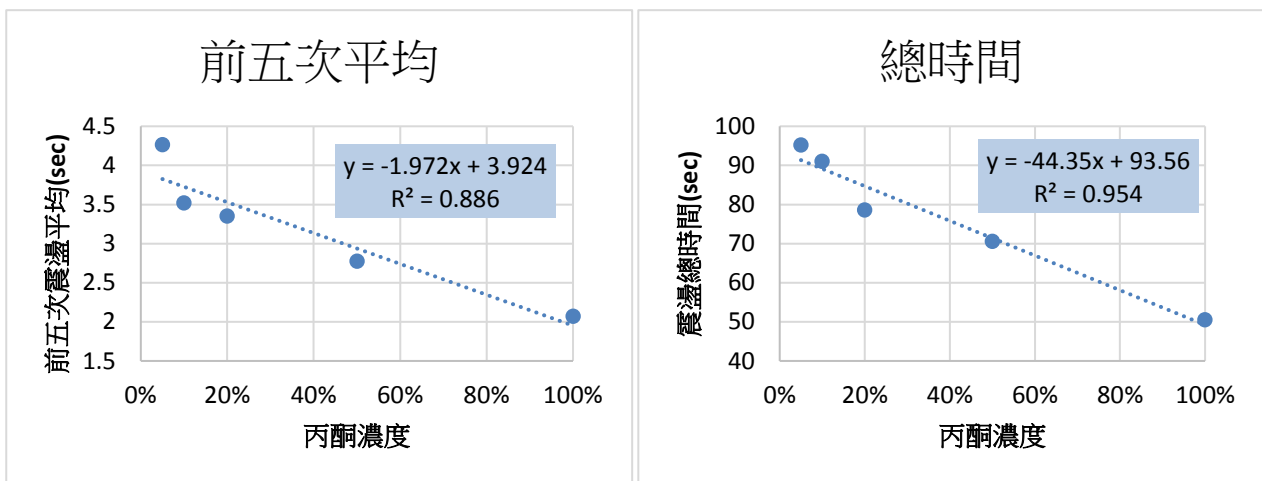
## 2. 丙醛(C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>CHO)

丙醛濃度	5%	10%	20%	50%	100%
前五次震盪平均時間(sec)	3.682	3.598	3.516	3.102	2.400
震盪總時間(sec)	88.97	87.10	80.04	70.74	58.76



## 3. 丙酮(CH<sub>3</sub>COCH<sub>3</sub>)

丙酮濃度	5%	10%	20%	50%	100%
前五次震盪平均時間(sec)	4.262	3.518	3.350	2.772	2.070
震盪總時間(sec)	95.16	91.03	78.56	70.56	50.48



### (三)討論:

- 實驗中，將加入有機物質濃度對前五次震盪平均時間及震盪總時間作圖，得到有機物質濃度對時間的趨勢線，除了戊醇和三級丁醇因溶解度因素，使得趨勢線 R 值較低，其他醇、醛、酮所添加的濃度對前五次震盪平均時間及震盪總時間均呈負相關關係。此性質可應用於分析化學上，在震盪反應中加入有機物質，以其震盪時間，推算出有機物質的濃度，或根據加入有機物質的濃度來推算震盪時間，達到化學鐘的效果。

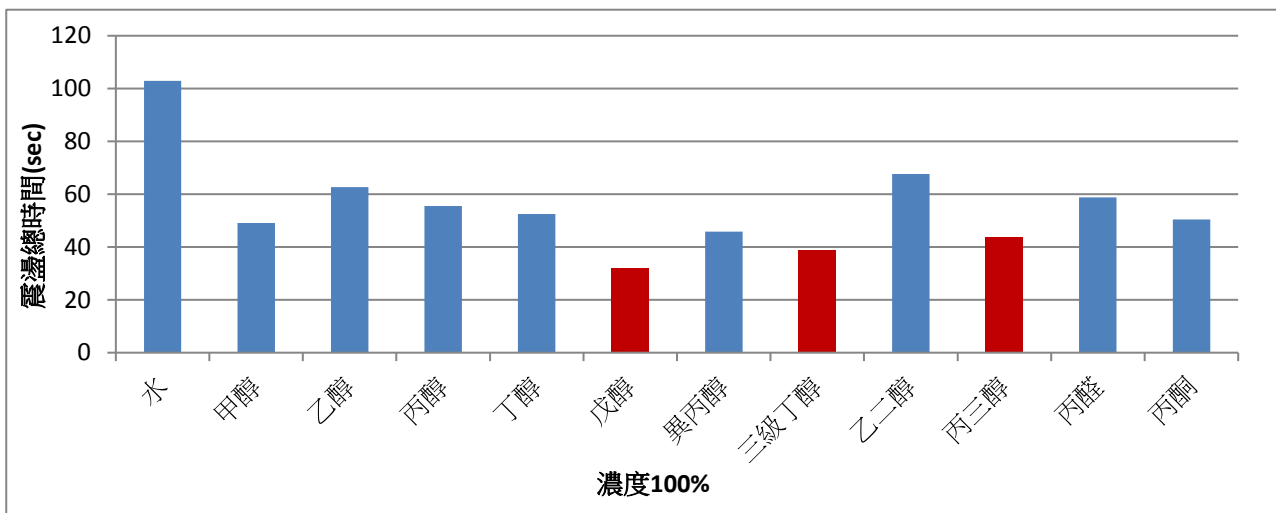
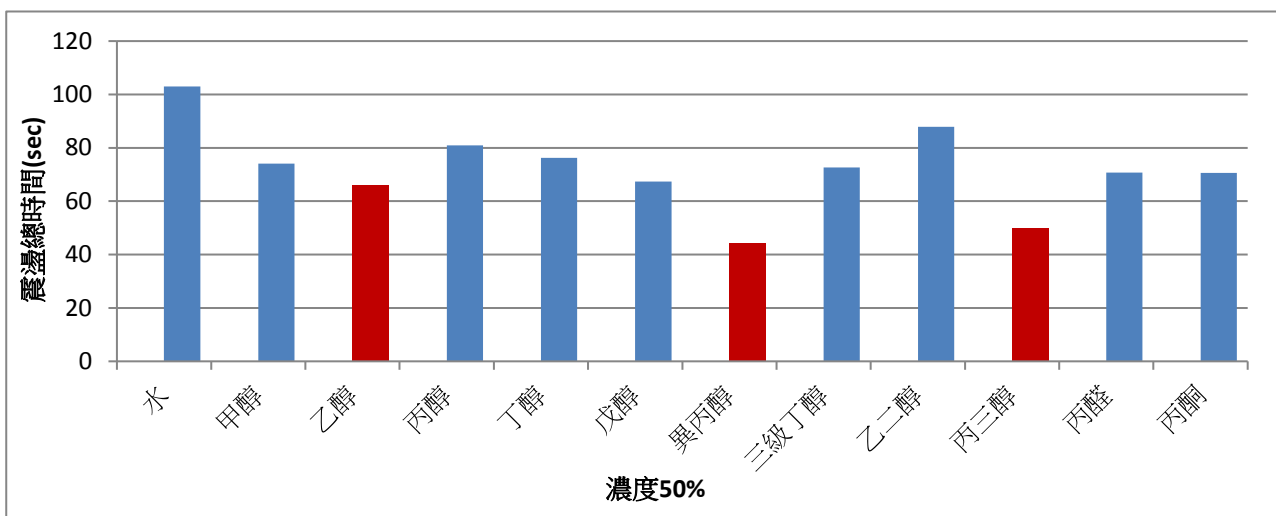
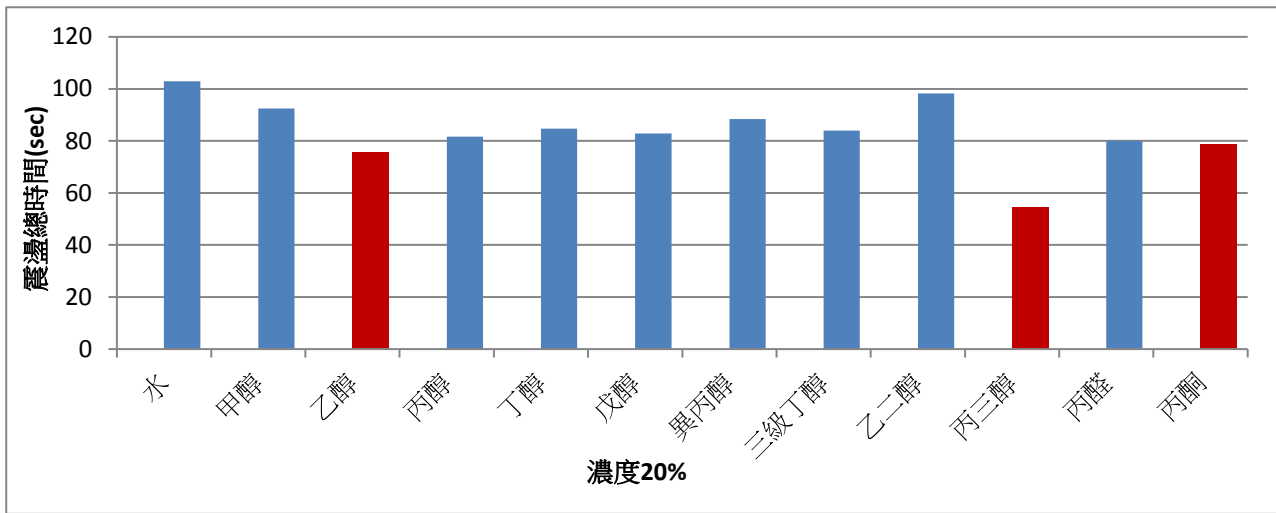
### 三、探討相同濃度之各種有機物質(醇、醛、酮)對震盪總時間之影響

(\*以下各組之 A、B、C 溶液皆使用標準液)

(一)各醇、醛、酮在不同濃度時和對照組(標準組加水)之震盪總時間(sec)比較

(\*由於市售的甲醛水溶液濃度為 14%，沒有辦法和其他有機物質做出同濃度的長條圖比較，因此此部分未將甲醛列入比較。)

有機物 \ 濃度	20%	50%	100%	有機物 \ 濃度	20%	50%	100%
水	102.94 (s)			異丙醇	88.35 (s)	44.35 (s)	45.81 (s)
甲醇	92.42 (s)	74.09 (s)	49.12 (s)	三級丁醇	84.00 (s)	72.65 (s)	38.83 (s)
乙醇	75.53 (s)	65.84 (s)	62.73 (s)	乙二醇	98.22 (s)	87.85 (s)	67.62 (s)
丙醇	81.59 (s)	80.91 (s)	55.56 (s)	丙三醇	54.56 (s)	49.79 (s)	43.71 (s)
丁醇	84.68 (s)	76.30 (s)	52.47 (s)	丙醛	80.04 (s)	70.74 (s)	58.76 (s)
戊醇	82.92 (s)	67.33 (s)	31.99 (s)	丙酮	78.56 (s)	70.56 (s)	50.48 (s)



(二)討論:

1. 從圖中我們觀察到，濃度 20%、50%時，一級醇中乙醇的影響最明顯，較相同濃度的二級醇、三級醇震盪總時間下降更多；而多元醇中的丙三醇，震盪總時間下

降量又較一元、二元醇更明顯，推測是因為其溶解度較好，為勻相催化效果，因此效果比較顯著。

2. 濃度 100%時，原來與水互溶解性較差的戊醇、三級丁醇的震盪總時間下降最多，推測在濃度高時，雖屬非勻相催化，但接觸面積增加，使得影響變得更顯著。
3. 醛、酮對震盪總時間的影響，丙酮較為明顯，推測與溶解度及官能基特性有關。
4. 從實驗中歸納出醇、醛、酮三種官能基能夠增加反應速率。

#### 四、以活化能探討有機物是否作為震盪反應之催化劑

##### (一) 實驗結果:

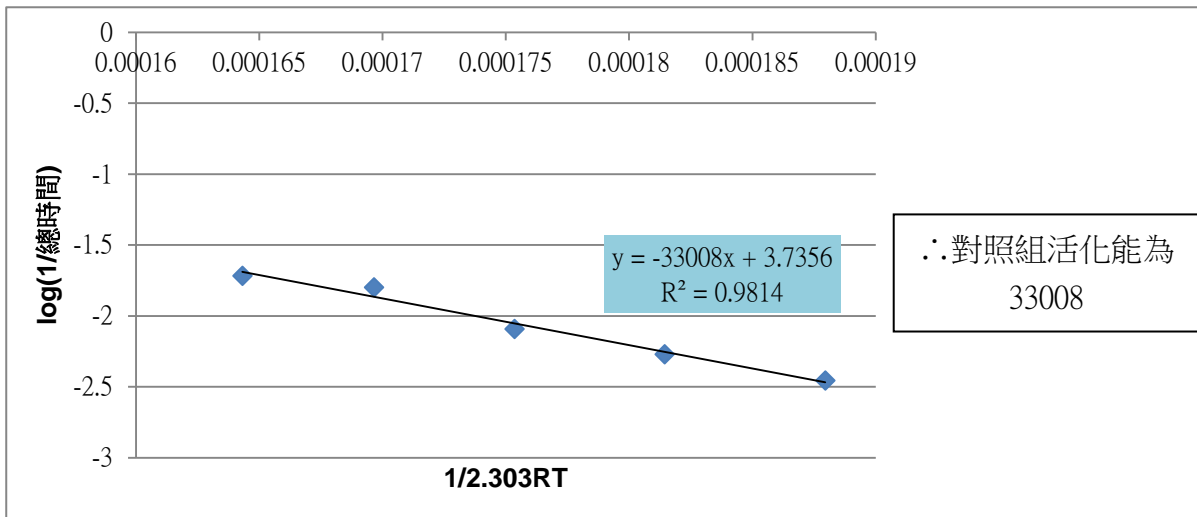
為了方便得知各醇類在震盪反應中所扮演的是催化劑亦或反應物，我們利用實驗中的一級醇(丙醇)、二級醇(異丙醇)、三級醇(三級丁醇)、多元醇(乙二醇)、醛(丙醛)、酮(丙酮)活化能之大小關係來確認其扮演的角色。我們以阿瑞尼士方程式：

$k = A \times e^{-E_a/2.303RT}$  取對數值  $\log(k) = \log(A) + (-E_a/2.303RT)$  計算活化能的改變情形，以  $\log(k)$  對  $(1/2.303RT)$  作圖，得趨勢線之斜率即為  $-E_a$ 。在速率定律式中，因為  $r = k \cdot [A]^a [B]^b \dots$ ，所以  $r$  正比於  $k$ ，於是我們直接以反應總時間之倒數作為反應速率  $r$  來代替  $k$  代入阿瑞尼士方程式，並和加入水之對照組比較活化能(非實際數值，只能比較大小關係)的變化關係。

(\*以下各組之 A、B、C 溶液皆使用標準液，各組醇類濃度皆使用 20%，並改變反應進行時之溫度，再帶入阿瑞尼士方程式計算該反應之活化能。)

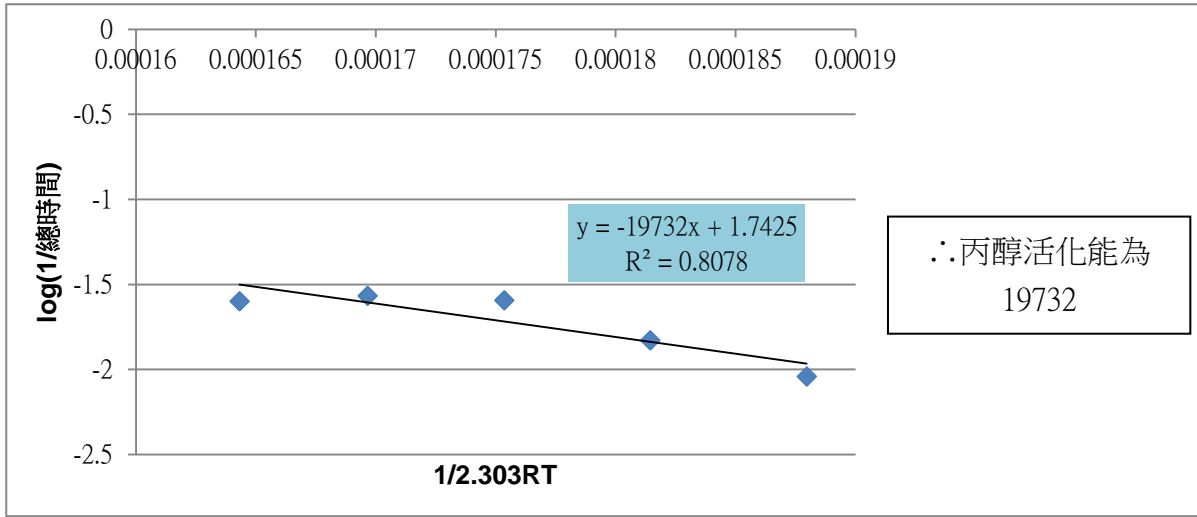
##### 1. 對照組

T(K)水	278	288	298	308	318
1/總時間	0.003517	0.005385	0.008108	0.015952	0.019264
1/2.303RT	0.000188	0.000181	0.000175	0.000170	0.000164
log(1/總時間)	-2.454	-2.269	-2.091	-1.797	-1.715



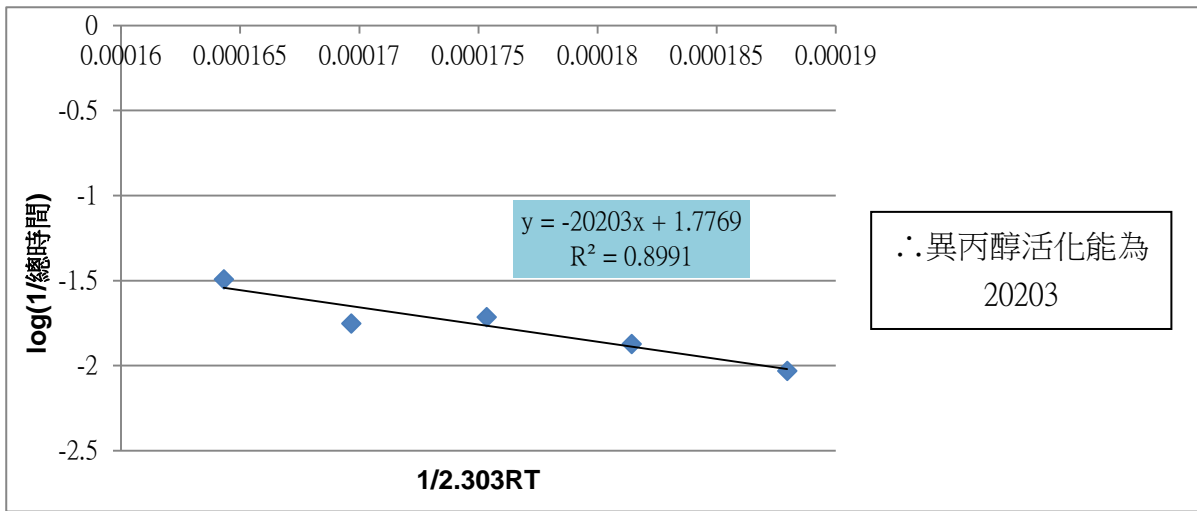
2.一級醇:丙醇

T(K)丙醇	278	288	298	308	318
1/總時間	0.009129	0.014850	0.025549	0.027167	0.025202
1/2.303RT	0.000188	0.000181	0.000175	0.000170	0.000164
log(1/總時間)	-2.04	-1.828	-1.593	-1.566	-1.599



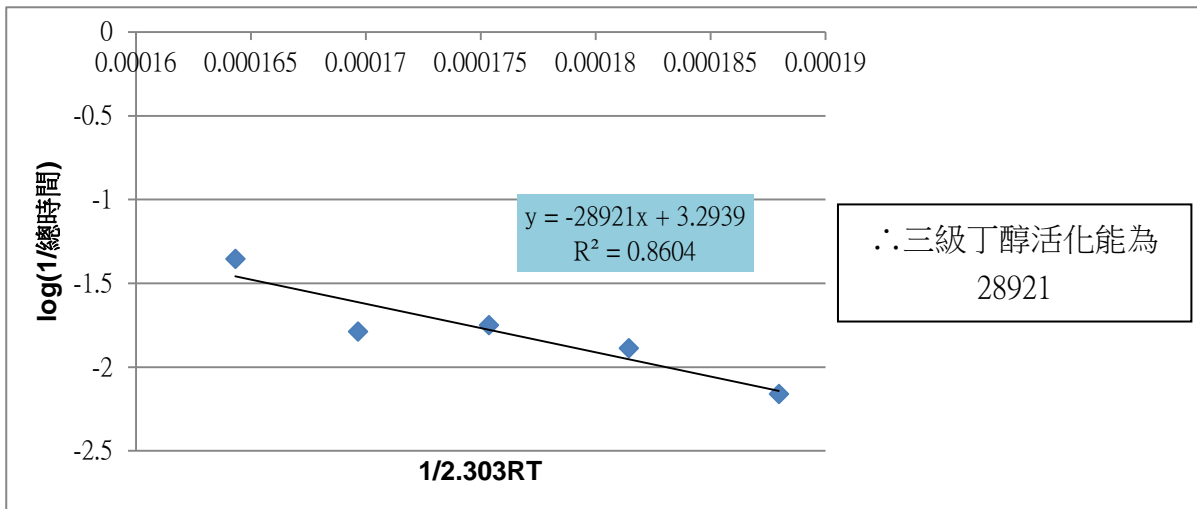
3.二級醇:異丙醇

T(K)異丙醇	278	288	298	308	318
1/總時間	0.009297	0.013410	0.019298	0.017637	0.032031
1/2.303RT	0.000188	0.000181	0.000175	0.000170	0.000164
log(1/總時間)	-2.032	-1.873	-1.715	-1.754	-1.494



#### 4.三級醇:三級丁醇

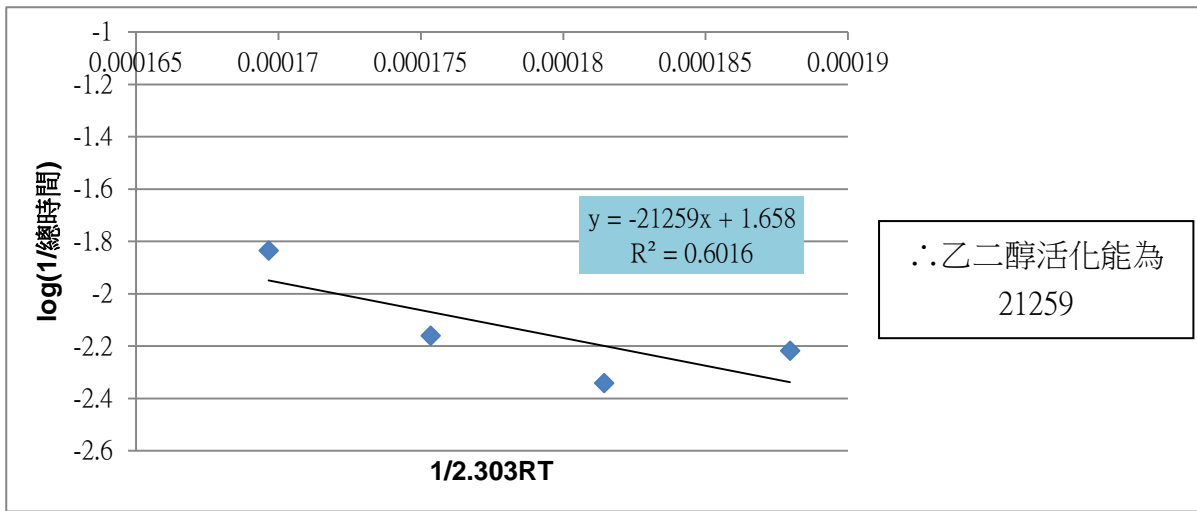
T(K)三級丁醇	278	288	298	308	318
1/總時間	0.006881	0.012933	0.017784	0.016271	0.044209
1/2.303RT	0.000188	0.000181	0.000175	0.000170	0.000164
log(1/總時間)	-2.162	-1.888	-1.75	-1.789	-1.354



#### 5.多元醇:乙二醇

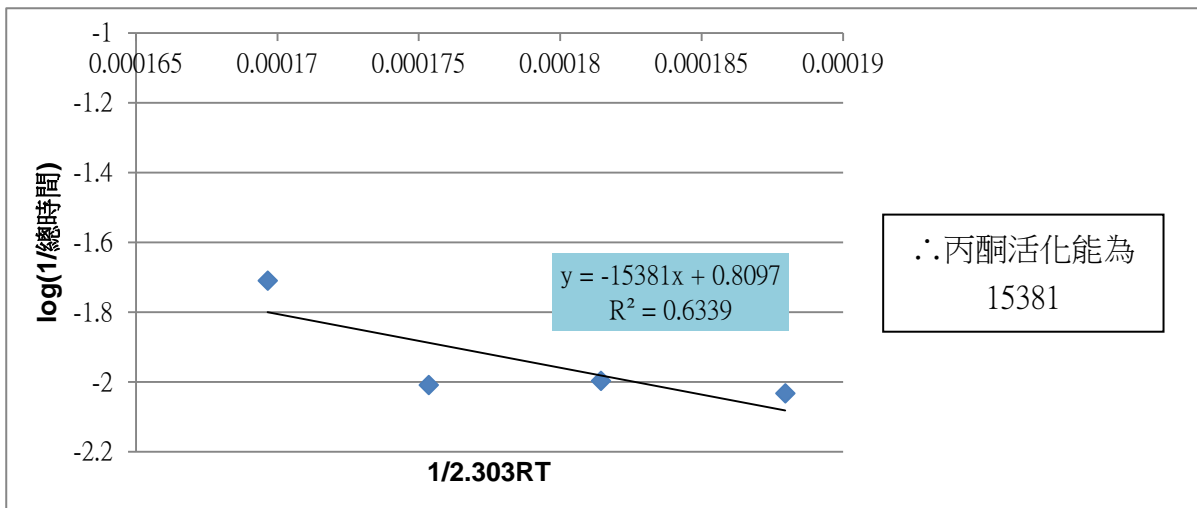
T(K)乙二醇	278	288	298	308
1/總時間	0.006058	0.004557	0.006904	0.014622
1/2.303RT	0.000188	0.000181	0.000175	0.000170
log(1/總時間)	-2.218	-2.341	-2.161	-1.835





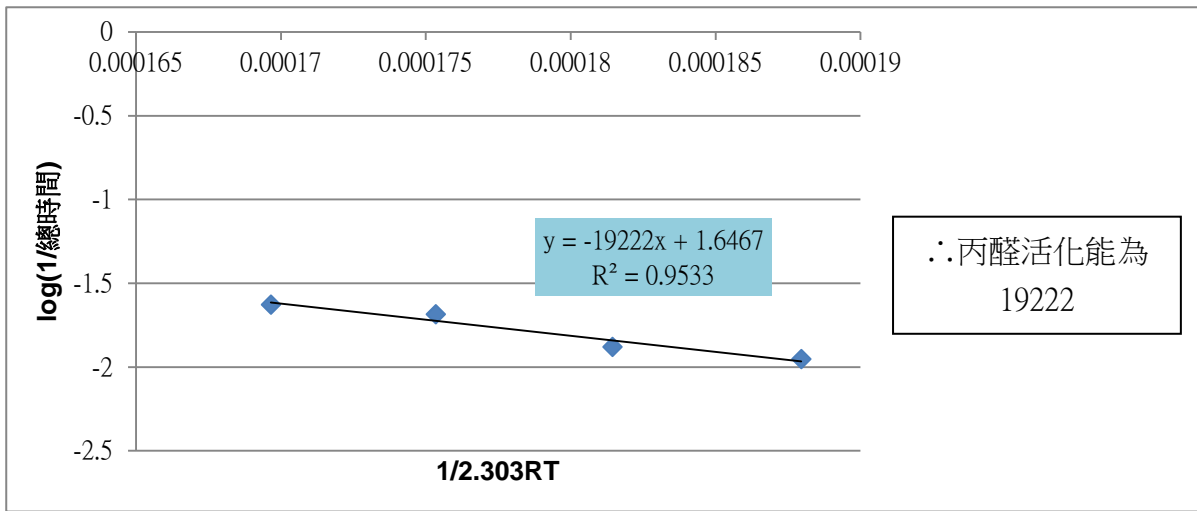
6. 酮: 丙酮

T(K)丙酮	278	288	298	308
1/總時間	0.009264	0.010077	0.009805	0.019505
1/2.303RT	0.000188	0.000181	0.000175	0.000170
log(1/總時間)	-2.033	-1.997	-2.009	-1.71



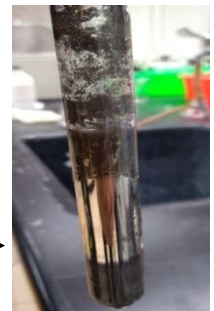
7. 醛: 丙醛

T(K)丙醛	278	288	298	308
1/總時間	0.011147	0.013179	0.020665	0.023585
1/2.303RT	0.000188	0.000181	0.000175	0.000170
log(1/總時間)	-1.953	-1.88	-1.685	-1.627



(二) 討論:

1. 將本實驗的結果帶入阿瑞尼士方程式證明，當加入醇、醛、酮等有機物質後，震盪反應的活化能和加水的對照組比較有明顯下降，因此，可得知各醇、醛、酮在反應中扮演催化劑的角色。
2. 藉由銀鏡反應(如右圖)證明含有醛基之有機物在震盪反應中扮演催化劑的角色。



檢驗震盪反應後，丙醛是否殘留→

五、討論有機物在振盪反應中扮演催化劑之級數

固定溶液 A、B、C 濃度，改變不同有機物之濃度，以前五次震盪平均時間  $((t_1+t_2+t_3+t_4+t_5)/5)$  之倒數作為速率定律式中之反應速率  $r$ ，以此數據取對數值計算該有機物在速率定律式中之級數。(此實驗的計算過程及數據放置於附錄一)

有機物	甲醇	乙醇	正丙醇	正丁醇	正戊醇	異丙醇
級數	0.1351	0.1273	0.0734	0.1238	0.0576	0.1441
有機物	乙二醇	三級丁醇	丙三醇	甲醛	丙醛	丙酮
級數	0.0731	0.0552	0.0460	0.0337	0.1330	0.2213

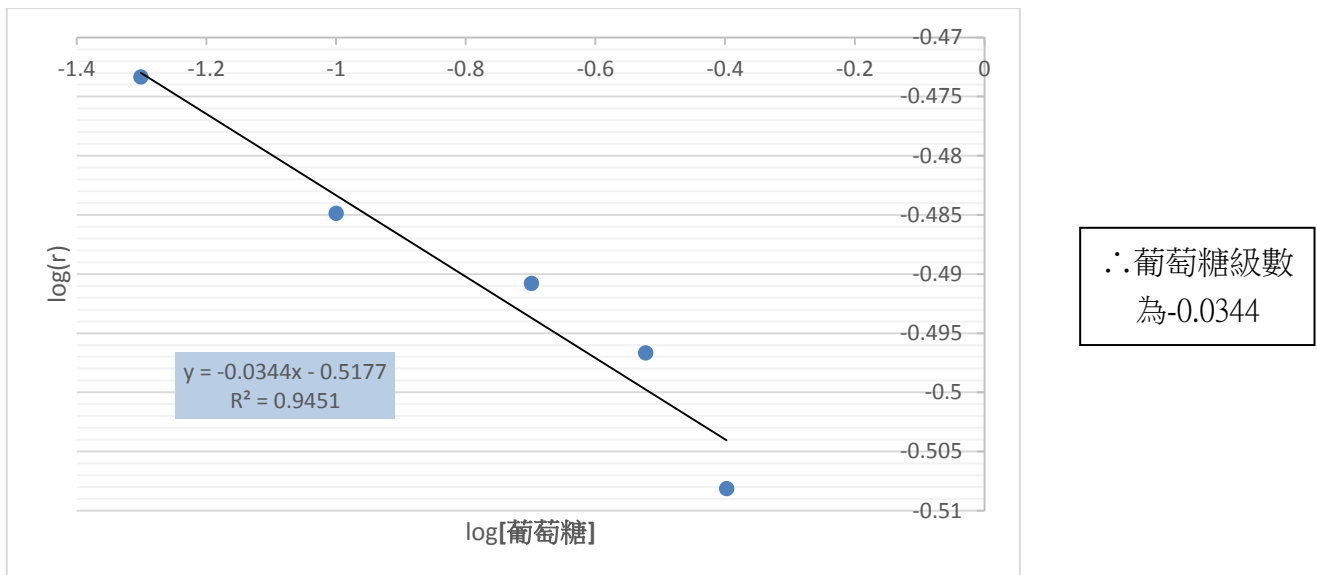
六、葡萄糖(醛糖)、果糖(酮糖)對震盪反應之影響

(一) 改變醣類濃度，討論其在震盪反應中之級數

葡萄糖(%)	5%	10%	20%	30%	40%
震盪次數	37	36	36	36	35
震盪總時間	116.07	123.64	126.56	126.36	129.69
前五次震盪平均時間(sec)	2.974	3.054	3.096	3.138	3.222

log(r)對 log[葡萄糖]做圖，得趨勢線之斜率即為葡萄糖之級數。

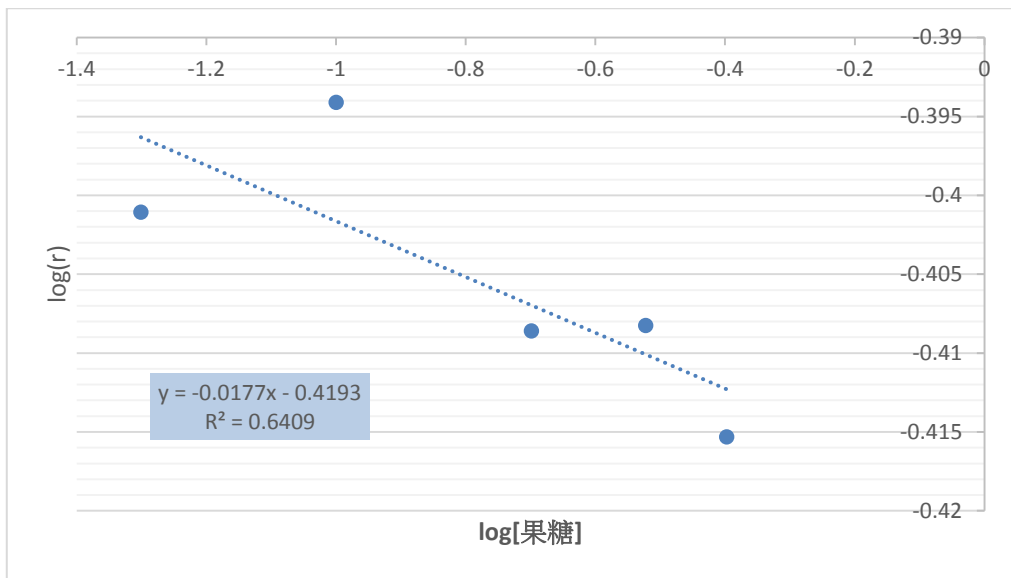
葡萄糖%	5%	10%	20%	30%	40%
log 葡萄糖	-1.301	-1	-0.6989	-0.5229	-0.3979
log(r)	-0.47334	-0.48487	-0.4908	-0.49665	-0.50813



果糖(%)	5%	10%	20%	30%	40%
震盪次數	34	33	36	36	36
震盪總時間	99.94	101.63	107.41	113.19	116.29
前五次震盪平均時間(sec)	2.518	2.478	2.562	2.56	2.602

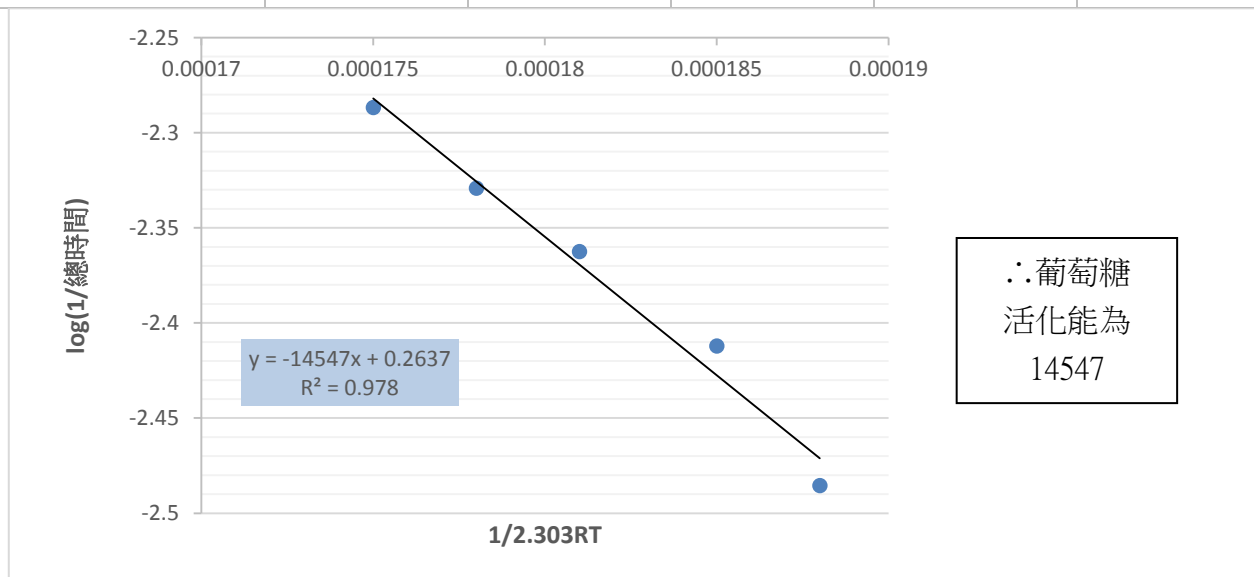
log(r)對 log[果糖]做圖，得趨勢線之斜率即為果糖之級數。

果糖%	5%	10%	20%	30%	40%
log 果糖	-1.301	-1	-0.6989	-0.5229	-0.3979
log(r)	-0.40106	-0.3941	-0.40858	-0.42226	-0.40858

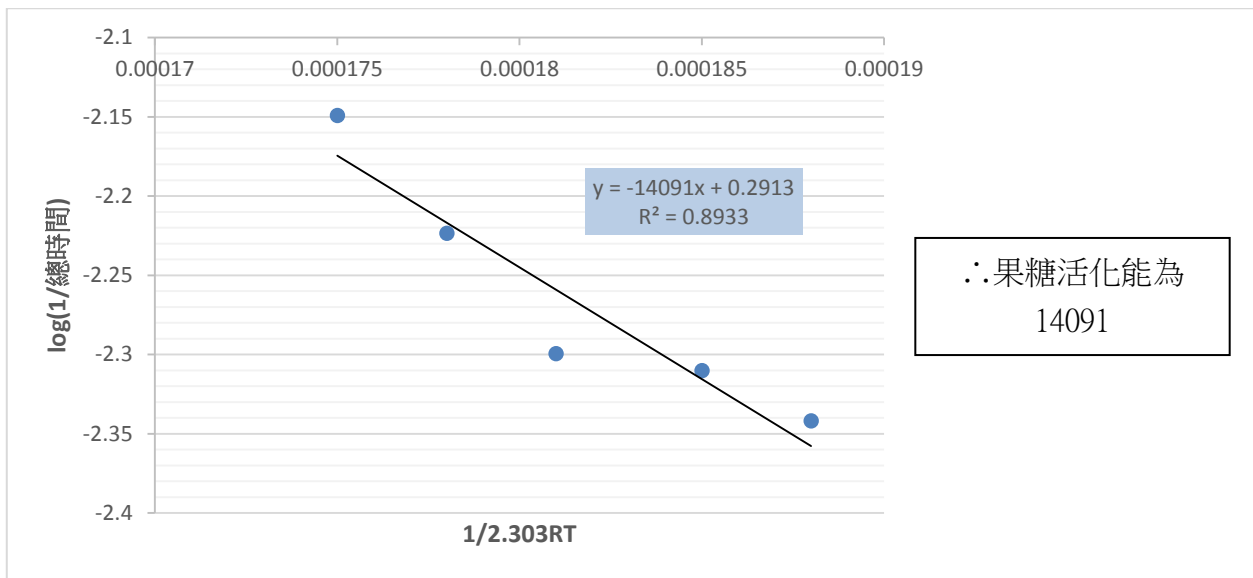


(二) 以活化能探討醣類是否作為震盪反應之催化劑

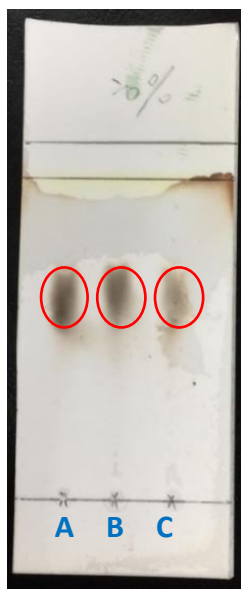
20%葡萄糖的反應溫度(K)	278	283	288	293	298
1/總時間	0.00327	0.003871	0.00434	0.004687	0.005167
1/2.303RT	0.000188	0.000185	0.000181	0.000178	0.000175
log(1/總時間)	-2.48541	-2.41216	-2.36252	-2.32907	-2.28673



20%果糖的反應溫度(K)	278	283	288	293	298
1/總時間	0.004551	0.004897	0.005019	0.00598	0.007093
1/2.303RT	0.000188	0.000185	0.000181	0.000178	0.000175
log(1/總時間)	-2.34185	-2.31003	-2.29935	-2.22331	-2.14916



(三) 以 TLC 追蹤反應的進行，討論反應前後醣類是否殘留



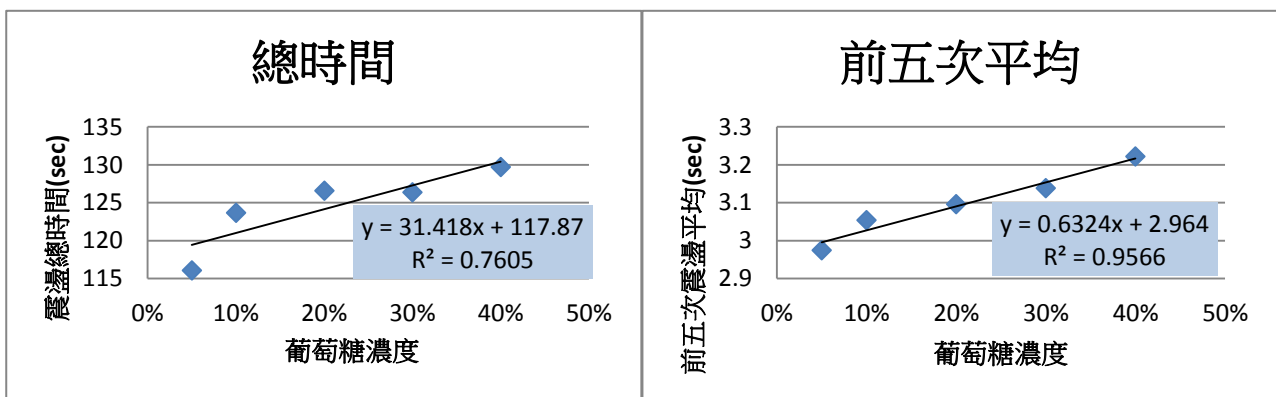
實驗條件說明:

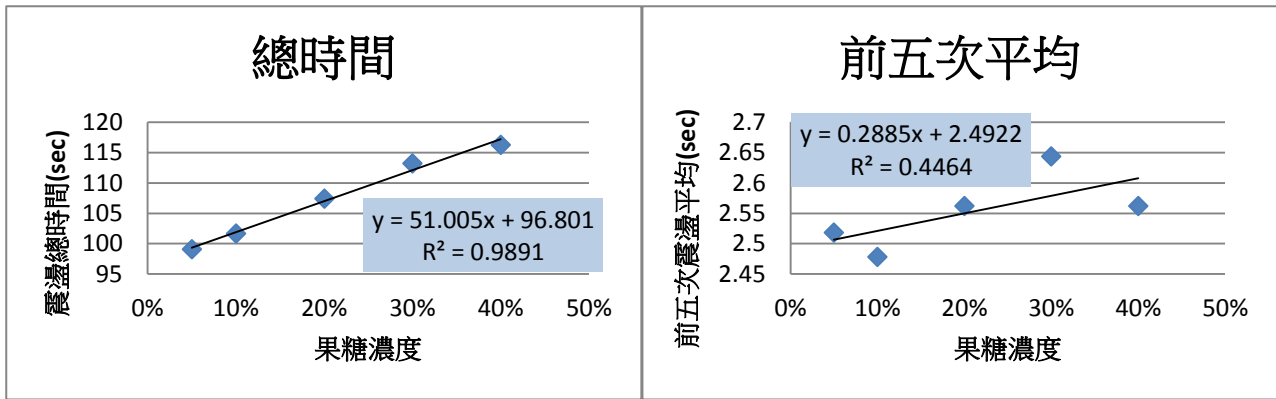
1. A 點:未開始反應前溶液
2. B 點:震盪反應開始進行的溶液
3. C 點:震盪反應結束的溶液
4. 展開液:乙酸乙酯:乙醇=1:1
5. 顯色劑:50%硫酸

實驗結果:

- 1.由 A、B、C 三點 Rf 值相同且顯色深淺相近，證明醣類於反應後仍存在。

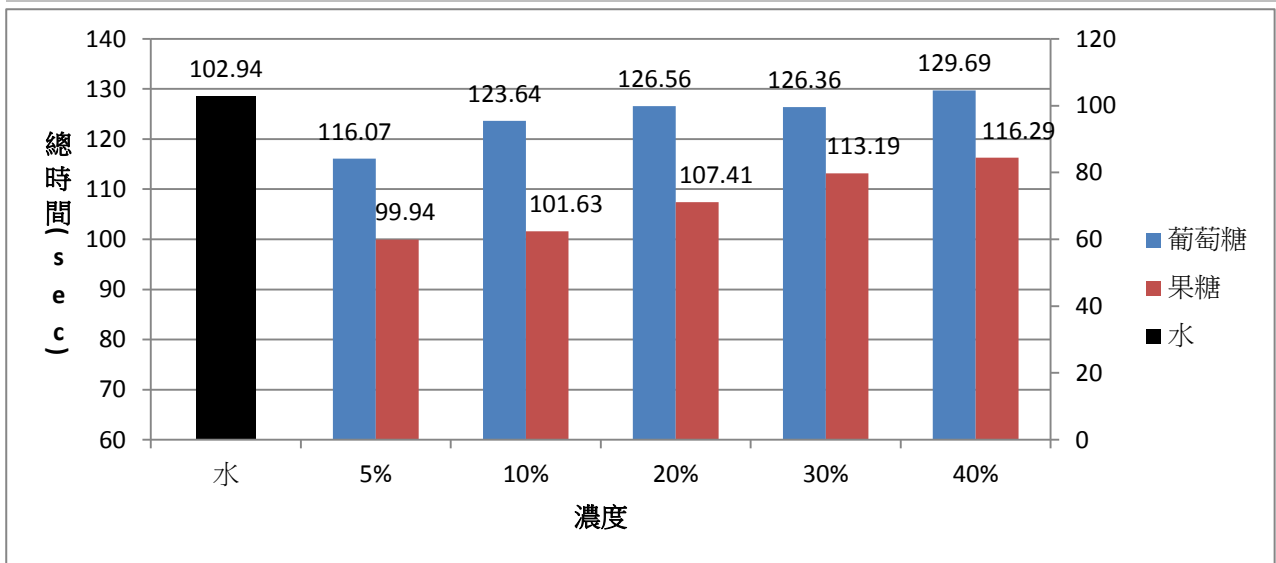
(四) 加入醣類對震盪時間之影響，並作出濃度對時間之檢量線





(五) 探討相同濃度之各種有機物質(醇、醛、酮)對震盪總時間之影響

	水	5%	10%	20%	30%	40%
水	102.94(sec)	102.94(sec)	102.94(sec)	102.94(sec)	102.94(sec)	102.94(sec)
葡萄糖		116.07(sec)	123.64(sec)	126.56(sec)	126.36(sec)	129.69(sec)
果糖		99.94(sec)	101.63(sec)	107.41(sec)	113.19(sec)	116.29(sec)



(六) 討論

1. 在震盪反應中加入葡萄糖和果糖後，發現兩種糖類添加不同濃度後，對前五次震盪平均時間及震盪總時間均呈正相關關係。
2. 將本實驗的結果帶入阿瑞尼士方程式證明，當加入葡萄糖和果糖後，震盪反應的活化能和加水的對照組比較有明顯改變，且以 TLC 追蹤反應的進行，發現兩種糖類在反應前後均存在，證明兩種糖類在震盪反應中扮演催化劑的角色。

## 陸、結論

1. 由實驗結果，得知該反應條件下之速率定律式為： $r=k[\text{H}_2\text{O}_2]^{0.621}[\text{H}^+]^{-0.47}[\text{KIO}_3]^{0.586}[\text{MA}]^{0.65}$ 。  
 $\text{Mn}^{2+}$  擔任  $\text{I}_2$  生成反應的催化劑， $\text{MnSO}_4$  級數為 0.09。
2. 在探討 pH 值的實驗中我們發現，當 pH 值的範圍介於 0.7~1.6 之間時震盪反應才會發生。pH > 1.3 時反應最後溶液的顏色呈現透明，pH ≤ 1.3 時反應結束時則呈現深藍色，我們推測應該是因為當  $[\text{H}^+]$  濃度較高時，反應的限量試劑為丙二酸，故反應最後  $\text{I}_2$  沒有全部被轉換成  $\text{I}^-$ ，剩下的  $\text{I}_2$  會在溶液中和澱粉形成藍色的錯合物；而  $[\text{H}^+]$  較低時，反應的限量試劑則為  $\text{H}^+$ ，故反應最後殘留的  $\text{I}_2$  會被轉為  $\text{I}^-$  的形式存在於溶液中。
3. 根據實驗數據，我們發現加入有機物(醇、醛、酮)確實會加快反應的速率。此外，根據我們做出的有機物濃度對時間的趨勢線，所添加的濃度對前五次震盪平均時間及震盪總時間大致呈負相關關係。而加入葡萄糖和果糖會降低反應速率，分析醣類濃度對前五次震盪平均時間及震盪總時間大致呈正相關關係，此性質可應用於分析化學上，在震盪反應中加入有機物質，以其震盪時間，推算出有機物質的濃度，或根據加入有機物質的濃度來推算震盪時間，達到化學鐘的效果。
4. 根據實驗結果，加入的有機物質濃度較低時，溶解度較高的有機物(Ex:乙醇、丙三醇)對震盪總時間影響較大，推測是因其為勻相催化所致；濃度偏高時，部分溶解度較低的有機物質(Ex:戊醇、三級丁醇)雖呈現不勻相，但可能因接觸面積增加，反而使其對總時間影響變大。而酮類對震盪總時間的影響大於醛，我們推測與溶解度及官能基特性有關。從實驗中歸納出醇、醛、酮三種官能基能夠增加反應速率。
5. 我們利用阿瑞尼士方程式來計算活化能的改變情形並搭配銀鏡反應及 TLC 的追蹤反應，發現加入各有機物質後，反應的活化能皆有改變，因此得知各有機物在震盪反應中扮演的角色應為催化劑。
6. 本實驗採用 Phyphox 軟體，利用手機光感應器來測量震盪反應的進行，能更簡便、精確的測量數據。

## 柒、未來展望

在研究中，確認了醇、醛、酮的官能基可作為 BR 震盪反應的催化劑，而我們認為其他官能基及金屬離子亦可能影響 BR 震盪反應的進行，因此未來希望進一步加以探討。而根據本研究中作出有機物濃度對震盪時間之檢量線，可應用於分析化學上檢測有機物濃度，便可為環境汙染相關的檢測提供一個新的方法。

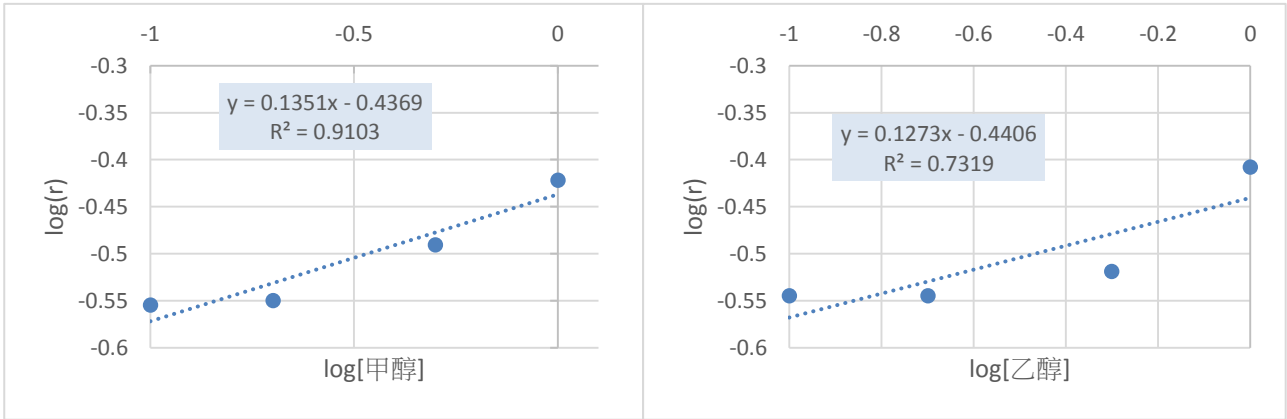
## 捌、參考資料

1. 陳亞拿、游茜雯、翁梓樺(2007)；中華民國第四十七屆中小學科展高中組化學科---當我們倒在一起—BR 震盪反應的探討
2. 張繁可、盧奕帆(2008)；台灣 2008 年國際科學展覽會---醇醇欲動的震盪反應
3. 鄭年芳、張庭瑜(2007)；中華民國第四十七屆中小學科展高中組化學科---We Are BZ-震盪反應的探究
4. 鍾安迪、周禹謀、廖浩閔、黃仲岐(2004)；中華民國第四十四屆中小學科展高中組化學科---震盪反應的探討
5. 維基百科---Briggs-Rauscher 反應([https://en.m.wikipedia.org/wiki/Briggs-Rauscher\\_reaction](https://en.m.wikipedia.org/wiki/Briggs-Rauscher_reaction))
6. 陳素貞；科學教育月刊 1994，166 卷，p3~14

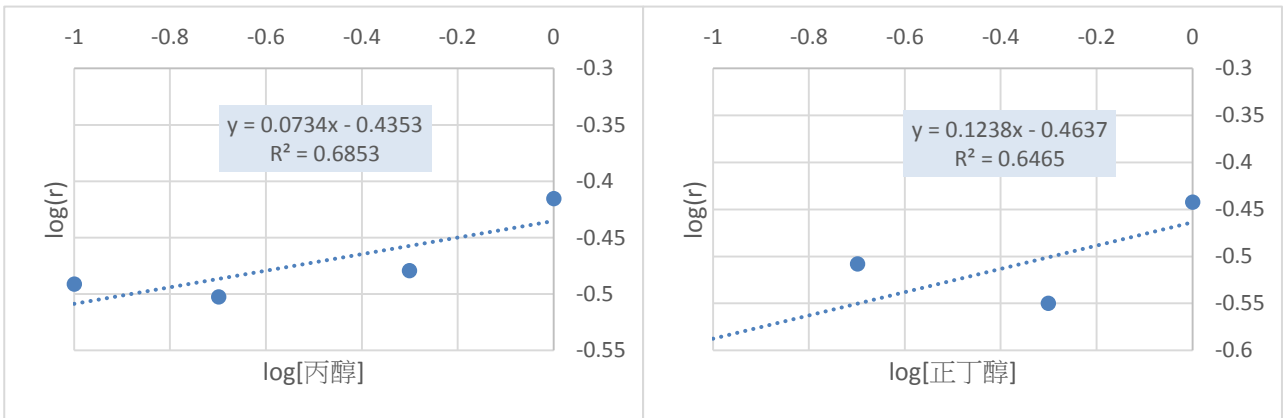


# 附錄一

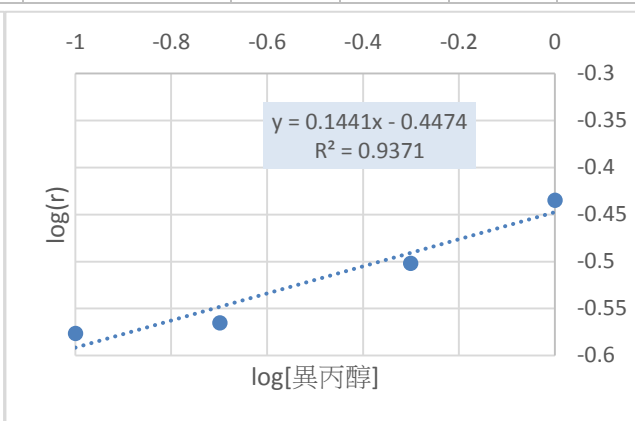
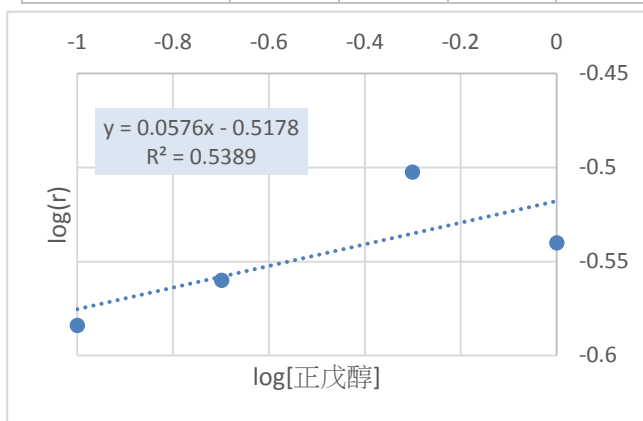
甲醇(M)	10%	20%	50%	100%	乙醇(M)	10%	20%	50%	100%
log[甲醇]	-1	-0.698	-0.301	0	log[乙醇]	-1	-0.698	-0.301	0
log(r)	-0.554	-0.549	-0.490	-0.421	log(r)	-0.545	-0.545	-0.519	-0.407



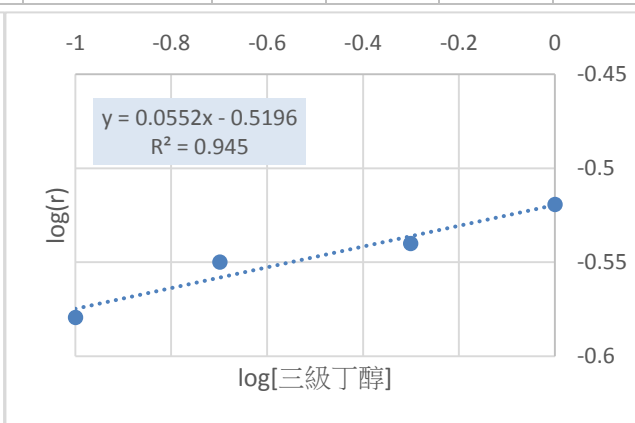
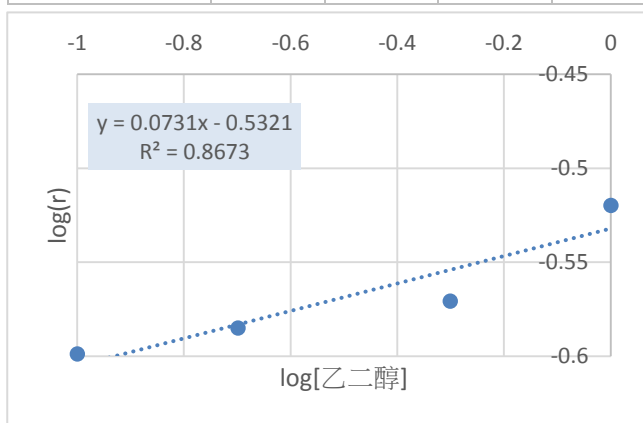
正丙醇(M)	10%	20%	50%	100%	正丁醇(M)	10%	20%	50%	100%
log[正丙醇]	-1	-0.698	-0.301	0	log[正丁醇]	-1	-0.698	-0.301	0
log(r)	-0.491	-0.502	-0.479	-0.415	log(r)	-0.602	-0.508	-0.549	-0.442



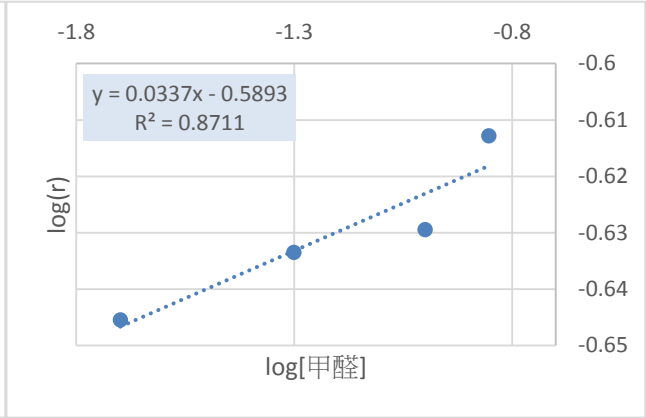
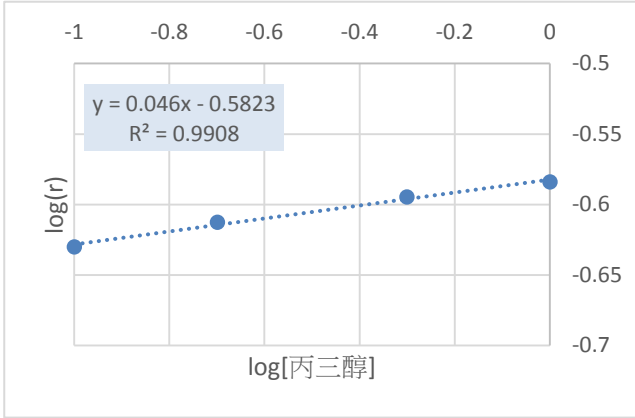
正戊醇(M)	10%	20%	50%	100%	異丙醇(M)	10%	20%	50%	100%
log[正戊醇]	-1	-0.698	-0.301	0	log[異丙醇]	-1	-0.698	-0.301	0
log(r)	-0.583	-0.559	-0.502	-0.540	log(r)	-0.576	-0.565	-0.501	-0.434



三級丁醇(M)	10%	20%	50%	100%	乙二醇(M)	10%	20%	50%	100%
log[三級丁醇]	-1	-0.698	-0.301	0	log[乙二醇]	-1	-0.698	-0.301	0
log(r)	-0.579	-0.549	-0.540	-0.519	log(r)	-0.598	-0.585	-0.570	-0.519



丙三醇(M)	10%	20%	50%	100%	甲醛(M)	2%	5%	10%	14%
log[丙三醇]	-1	-0.698	-0.301	0	log[甲醛]	-1.698	-1.301	-1	-0.853
log(r)	-0.630	-0.612	-0.594	-0.583	log(r)	-0.645	-0.633	-0.629	-0.612



丙醛(M)	10%	20%	50%	100%	丙酮(M)	10%	20%	50%	100%
log[丙醛]	-1	-0.698	-0.301	0	log[丙酮]	-1	-0.698	-0.301	0
log(r)	-0.556	-0.546	-0.491	-0.380	log(r)	-0.546	-0.525	-0.442	-0.315

