

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作者說明書

高中組化學科

040223

中正國防幹部預備學校

指導老師姓名

謝妙娟

作者姓名

余科岱

林建銘

賴琨智

黃建遠

# 探討酸、碘、丙酮之間的三角習題

## —決定丙酮碘化的反應速率定律式

### 壹、摘要

本研究主要探討催化劑的有無對丙酮碘化的影響，從中決定速率定律式及活化能，並希望本研究結果可以編入高二實驗課程。

#### 研究結果

- 一、催化劑合適濃度為 0.7M。
- 二、有催化劑影響下適合的終止時間—32°C 4 分鐘、27°C 7 分鐘、25°C 10 分鐘、20°C 15 分鐘、15°C 25 分鐘。
- 三、無催化劑影響下，終止反應的時間為—35°C 為 5~11 小時、32°C 為 5~8.5 小時。
- 四、有催化劑與無催化劑的反應速率差異相當大，以 32°C 為例，有催化劑的平均速率常數  $0.000124833 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$  大於無催化劑的速率常數  $0.0000208 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$ 。
- 五、無催化劑一但開始反應後，會以極快的速率反應完畢。
- 六、無催化劑活化能比有催化劑活化能高，無催化劑的活化能 66.88KJ/mol，有加催化劑的活化能 137.7048 KJ/mol。
- 七、有加催化劑的總級數在 1.4~2.7 級之間；無催化劑總級數為 2.0989583~ 2.0644408 級之間。

### 貳、研究動機

在學習「化學反應速率」這章節時，課本有一句話是這樣寫的—「反應級數必須由實驗求得，且和化學方程式中反應物的係數無關，它可能為零，可能為整數，可能為分數，可能為正值，也可能為負值」。這句話引發我們的好奇，也是促成本研究“決定反應速率定律式”的動機。

首先我們必須尋找一條合適的反應方程式，在探討文獻過程中，發現多數大學教科書以丙酮碘化反應做為反應速率定律式的主反應式，所以我們也選用此反應做為本研究主要反應。

文獻中提到丙酮碘化的反應速率非常慢，但如果在酸的催化下，則反應速率會加快，而高中課本也提到科學家奧斯瓦特(Ostward 1853~1932)於 1894 年首次對催化下定義，我們並不清楚當年奧斯瓦特的定義，但目前定義為〈1〉催化劑可參與反應〈2〉催化劑不出現在反應方程式中〈3〉反應前後催化劑的性質，質量都相同〈4〉不同的反應所使用的催化劑都不相同，不一定每個反應都有催化劑可用。同時，奧瓦斯特在 1902

年指出催化劑只能改變化學反應速率而不影響平衡常數，其催化作用是由於降低活化能的緣故。因為我們在文獻上看不到不加催化劑之下丙酮碘化需要多久才會反應的具體說明，因此我們嘗試做不加催化劑之下的丙酮碘化反應，比較其反應速率的差異，並且擬求出有催化劑與無催化劑之下丙酮碘化的活化能之間的差異，這樣才能更加的深切體驗催化劑對化學反應的影響。

在 1889 年阿瑞尼士(Arrhenius1859~1927)對化學反應速率與溫度關係提出阿瑞尼士方程式中  $K = Ae^{\left(\frac{-Ea}{RT}\right)}$ ，其中 K 為反應速率常數，A 為反應物分子之間的碰撞頻率，Ea 為活化能，R 為氣體常數，T 為反應溫度(絕對溫標)。阿瑞尼士公式雖然是描述溫度與

反應速率關係，但經該公式轉換後  $\ln K = -\left(\frac{Ea}{R}\right)\frac{1}{T} + \ln A$ ，想求得活化能需要更改反應溫度，並從中求該溫度速率常數即可，由於課本得知溫度會影響反應速率常數及反應速率，但不影響反應時的活化能、反應機構及反應級數，所以我們決定利用溫度變化求活化能。

基於上述動機及學理，本研究嘗試求出丙酮碘化反應有催化劑與無催化劑兩種情形的反應級數、反應速率常數和活化能，藉此決定丙酮碘化反應的速率定律式。希望在研究過程中可以運用上課所學到的知識，讓課本裡的知識可以真實的在實驗室中呈現，而不僅只是考試卷上的知識，同時我們也希望從實驗中體驗科學家形成科學知識的過程，親身感受其中辛苦與辛苦之後甜美的果實，並從中學習獨立研究的方法。

本研究主要決定速率定律式，由課本得知決定速率定律式有兩種方法，分別為初始反應速率法及平均速率法，本次研究擬採用初始反應速率法為主要研究方法。該法可藉由測量各反應物的初始濃度，求出初始反應速率，則各反應成份的級數即可求得。

本研究所要探討丙酮碘化的反應方程式為



而其反應速率的測量，可分為兩類，分別是反應物的消失速率或生成物的生成速率。

由於本反應的  $I_2$  本身已有顏色且  $I_2$  亦與  $S_2O_3^{2-}$  發生氧化還原反應生成無色  $I^-$ ，此外  $I_2$  也易與澱粉形成藍紫色錯合物，所以選用碘的消失速率做為測量依據。

其反應速率定律式如下：

$$Rate = -\frac{\Delta[I_2]}{\Delta t} = K[CH_3COCH_3]^x [I_2]^y [H^+]^z$$

其中  $H^+$  為催化劑，而 X、Y、Z 分別代表丙酮、碘分子及酸的反應級數，K 代表反應速率常數。為了求取反應速率常數 K，及各反應物的反應級數 X、Y、Z，可藉由測量初始反應速率來決定。由各反應物的初始濃度求出的初始反應速率，則各反應成分的級數即可求得。

初始反應速率可經由一段反應時間，來測量碘液濃度的減少量而得到，而終止反應時則藉由加入大量醋酸鈉來終止反應，因為醋酸在  $25^\circ C$  的  $K_a=1.8 \times 10^{-5}$ ；所以醋酸根的加入將大量移去反應液中的氫離子，而反應速率也因此急劇降低，同時也將該混合溶液浸泡於  $0^\circ C$  的水中，因為不管是放熱反應還是吸熱反應，溫度降低反應速率也隨之降低，總之盡量降低反應發生。至於剩下未反應的  $I_2(aq)$  可用硫代硫酸鈉溶液  $Na_2S_2O_3(aq)$  滴定之，在滴定快接近終點時，澱粉指示劑才加入，加入後繼續滴定至藍色消失，記錄硫代硫酸鈉溶液  $Na_2S_2O_3(aq)$  所消耗的體積。

## 參、研究目的

1. 了解催化劑的有無對丙酮碘化反應之反應級數的差異。
2. 了解丙酮碘化反應在不同溫度時的反應級數的差異。
3. 了解丙酮碘化反應在不同溫度時的反應速率常數的差異。
4. 計算丙酮碘化反應在催化劑有無時活化能的差別。

## 肆、實驗所需的藥品及器材

### 一、實驗藥品：

可溶性澱粉	碘酸鉀( $KIO_3$ )
丙酮( $CH_3COCH_3$ )	36N 硫酸( $H_2SO_4$ )
碘( $I_2$ )	12N 鹽酸( $HCl$ )
碘化鉀( $KI$ )	碳酸鈉( $Na_2CO_3$ )
硫代硫酸鈉( $Na_2S_2O_3$ )	醋酸鈉( $CH_3COONa$ )

### 二、實驗器材：

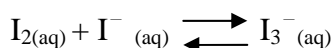
錐形瓶 125mL	x40	量瓶 1L	x1
錐形瓶塞	x40	量瓶 250 mL	x2
滴定管 50 mL	x1	量瓶 100 mL	x2
燒杯 500 mL	x3	恆溫槽	x2
燒杯 100 mL	x3	廣用夾	x20
吸量管 5 mL	x1	碼錶	x3

吸量管 10 mL	×1	鐵架	×1
吸量管 25 mL	×1	菱形夾	×20
玻棒	×1		

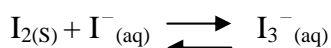
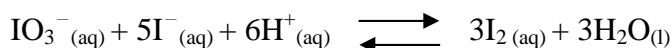
## 伍、溶液的配置

- 1、碘液 : 先稱取 KI 72g 晶體放入 1L 的量瓶中微溶，待 KI 完全溶解後加入 I<sub>2</sub> 25g，加水至 1L 配出 0.1M 碘液溶液。(註 1)
- 2、硫代硫酸鈉溶液 : 稱取含五個結晶水的硫代硫酸鈉晶體 15.6g 和無水碳酸鈉 0.12g 放入 100 mL 量瓶裡，加水至 100 mL 即配出 0.6M 之硫代硫酸鈉溶液。
- 3、10%碘化鉀溶液 : 取 10g 之 KI 加入 90g 的水即配出 10% KI<sub>(aq)</sub>。(註 2)
- 4、碘酸鉀溶液 : 稱取 0.18g 之無水 KIO<sub>3</sub> 粉末微溶於 100 mL 之量瓶中，接著加入 32 mL 之 10% KI 及 4mL 6N 之 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 並加水至 100 mL 即配出 0.05N KIO<sub>3(aq)</sub>。(註 2)
- 5、6N 硫酸 : 在抽氣槽內使用吸量管吸取 7.3 mL 之 18M 硫酸，緩緩加入 70 mL 的水中，加水至 100 mL。
- 6、3.5M 醋酸鈉 : 取 71.75g 無水醋酸鈉粉末置於 250 mL 之量瓶，並加水至 250 mL。
- 7、澱粉指示劑 : 稱取 1g 之澱粉指示劑置於 100 mL 量瓶中，先微溶於少量的水之後，再加入 100°C 的沸水至 80 mL 放在室溫下靜置冷卻，待其冷卻後才加水至 100 mL。(註 3)
- 8、0.7M 鹽酸 : 使用吸量管吸取 17.5mL 之 12M 鹽酸，並加水至 300mL

註 1：碘在水中的溶解度很小，在 25°C 時只有 0.001M，濃度太高易蒸發，但在 KI 水溶液中則甚易溶解而生成碘三離子，此溶液的化學作用就好像 I<sub>2</sub> 的溶液一樣。

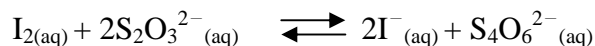


註 2：一級標準碘酸鉀(KIO<sub>3</sub>)在酸性溶液中與過量的碘化鉀反應可產生等當量的碘分子或碘三離子



其次以澱粉為指示劑，以硫代硫酸鈉溶液滴定游離碘分子至無色即可標定此硫代硫

酸鈉溶液，硫代硫酸鈉和碘的反應如下：



註 3：因澱粉指示劑容易壞掉，故每天都需重新配置新鮮的澱粉指示劑。

## 陸、研究方法

研究過程主要分為二部分：第一部份是溶液的標定，第二部分是丙酮的碘化反應。

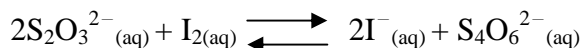
### 一、溶液的標定

本研究是量化實驗，為提高實驗的精確度，研究過程中的兩種主要溶液硫代硫酸鈉及碘液需在每天實驗前進行較精確標定溶液濃度的步驟。以下分別為敘述標定的步驟及主要反應。

#### (一) 標定硫代硫酸鈉溶液部分

因為我們使用的是硫代硫酸鈉晶體，含有結晶水，在空氣中很容易風化分解，使結晶水含量不定，因此每天實驗之前都需重新配置新鮮的硫代硫酸鈉溶液，標定其濃度。

其反應式為：



操作步驟如下：

- 1、用 10mL 吸量管吸取 10%  $\text{KIO}_3(\text{aq})$  10 mL 至一乾淨錐形瓶。
- 2、用調配好的  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  溶液滴定  $\text{KIO}_3(\text{aq})$  至淡黃色。
- 3、加入數滴澱粉指示劑使之變成深藍色，繼續滴定至無色。
- 4、記錄下滴定終點時  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  溶液所消耗的體積。
- 5、重複以上 1~4 的步驟三次。
- 6、平均三次所得的  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(\text{aq})$  體積取其平均值，並計算其濃度。

公式：

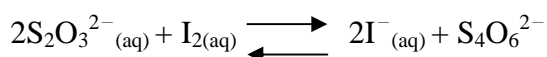
$$N_1V_1 = N_2V_2$$
$$N_2 = \frac{0.18 \times 10 \times 6 \times 10}{214.01 \times V_2} \quad (V_2 \text{ 即為所求之 } \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(\text{aq}) \text{ 體積})$$

表一 硫代硫酸鈉的濃度

日期	硫代硫酸鈉的濃度(M)
5/11	0.550527
5/12	0.504649
5/13	0.617938
5/14	0.644233
5/15	0.720928
5/16	0.560721
5/19	0.672866
5/21	0.630812
5/22	0.704162
5/23	0.630812

## (二) 標定碘液

因  $I_2$  易揮發的特性以及  $I^-$  容易被空氣中的氧分子氧化成  $I_2$ ，爲了避免其濃度不穩定所造成的實驗誤差，在實驗之前必須使用標定好的硫代硫酸鈉重新標定碘液。其反應式爲：



操作步驟如下：

- 1、以 10 mL 吸量管吸取 10 mL 碘液至一乾淨錐形瓶。
- 2、以當日所標定的  $Na_2S_2O_3 (aq)$  濃度滴定至碘液成淡黃色。
- 3、加入數滴澱粉指示劑使碘液成深藍色，繼續滴定至藍色消失爲止。
- 4、記錄下滴定終點  $Na_2S_2O_3 (aq)$  的讀數。
- 5、重複以上 1~4 的步驟三次。
- 6、平均三次所得的  $Na_2S_2O_3 (aq)$  體積，並求其平均值。
- 7、計算出碘液濃度。

$$M_1 V_1 = 2 M_2 V_2$$

$$M_2 = \frac{M_1 V_1}{20} \quad (M_1 \text{ 爲硫代硫酸鈉的濃度 } V_1 \text{ 爲硫代硫酸鈉的體積)}$$

表二 碘液的濃度

日期	碘液的濃度(M)
0511	0.097718
0512	0.082426
0513	0.094750
0514	0.098782
0515	0.111744
0516	0.086912
0519	0.100930
0521	0.094096
0522	0.105976
0523	0.097776

## 二、本研究主要實驗步驟

### (一) 丙酮和碘在水溶液中酸催化的反應速率探討

- 1、於有蓋的錐形瓶上標以 I、II、III、IV。
- 2、在每一瓶中，以表三所規定之物質及其體積量配置：

表三 溶液的物質與體積量

瓶號	體積 ( mL )		
	水	0.7M HCl	50% 丙酮
I	5	5	5
II	0	5	5
III	0	5	10
IV	0	10	5

- 3、每瓶配置溶液完成後立即加蓋並用封口膜封住。
- 4、取 3.5M 10 mL 醋酸鈉水溶液至 50 mL 燒杯中。
- 5、將碼表歸零。
- 6、以 5 mL 吸量管吸取 5 mL 碘液，加入有蓋的瓶 I。當第一滴碘液加入立刻按下碼錶計時，並紀錄當時氣溫。
- 7、蓋上瓶蓋，不斷的連續搖晃錐形瓶。
- 8、在反應時間快結束的前 5 秒左右取下瓶蓋，並在時間到達時加入 10 mL 醋酸鈉溶液，並立刻放入冰水中，搖晃使溶液均勻。
- 9、以標定之  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(\text{aq})$  溶液，滴定反應所剩下的碘液，當碘液變成淡黃色時加入澱粉指試劑，使溶液變成深藍色，繼續滴定至無色為止。
- 10、記錄所滴  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(\text{aq})$  溶液之體積。



11、對瓶 II、III、IV 重複步驟 3~9 對瓶 I 所做的步驟，但每瓶加入的碘液則分別加入下列所規定的碘液量行之

瓶 II : 10.00 mL 碘液

瓶 III : 5.00 mL 碘液

瓶 IV : 5.00 mL 碘液

12、改變反應溫度分別為 15°C、20°C、25°C、27°C、32°C，重複以上步驟，但須注意溫度的控制，為了降低誤差，故整個實驗必須在恆溫槽中進行，反應時間分別變更為 25、15、10、8、4 分鐘。

13、計算：

反應速率式為

$$Rate = -\frac{\Delta[I_2]}{\Delta t} = K[CH_3COCH_3]^x [I_2]^y [H^+]^z$$

由初始反應速率及各成分濃度，計算反應之初始反應速率。

由丙酮、碘及 HCl 之初始濃度計算其分別之反應級數 X、Y、Z。

(1) 計算瓶 I 至瓶 IV 在不同時間時剩下的  $[I_2]$ 。

(2) 計算瓶 I 至瓶 IV 之初始反應速率。

(3) 計算瓶 I 至瓶 IV 之速率常數 K 值。

(4) 求出本反應的平均速率常數。

(5) 利用不同溫度的反應速率常數計算此反應的活化能。

(二) 丙酮和碘在水溶液中不加催化劑的反應速率探討

1、於有蓋的錐形瓶上標以 I、II、III。

2、在每一瓶中，以表四所規定之物質及其體積量配置：

表四 溶液的物質與體積量

編號	體積(mL)	
	水	丙酮
I	5	5
II	0	5
III	0	10

3、每瓶配置溶液完成後立即加蓋並用封口膜封住。

4、以 5 mL 吸量管吸取 5 mL 碘液，加入有蓋的瓶 I。當第一滴碘液加入立刻按下碼錶計時。

5、在不同溫度下放置，但須注意溫度的控制，為了降低誤差，故整個實驗必須在恆溫槽中進行，而放置在不同溫度時必須舖上報紙減少光照，避免碘液受

到光照，在到達所設的反應時間後，立刻取起放入冰水中，以硫代硫酸鈉滴定反應所剩下的碘液，當碘液成淡黃色時，加入澱粉指示劑使溶液變深藍色，繼續滴定至碘液消失為止。

- 6、記錄所滴  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(\text{aq})$  溶液之體積。
- 7、對瓶 II、III 重複步驟 1~5 對瓶 I 所做的步驟，但每瓶加入的碘液則依步驟 3 的方法分別加入下列所規定的碘液量行之  
瓶 II : 10.00 mL 碘液  
瓶 III : 5.00 mL 碘液
- 8、改變反應溫度，重複以上步驟。
- 9、計算：
  - (1) 計算瓶 I 至瓶 III 在不同時間剩下的  $[\text{I}_2]$ 。
  - (2) 計算瓶 I 至瓶 III 之初始反應速率。
  - (3) 反應速率式為

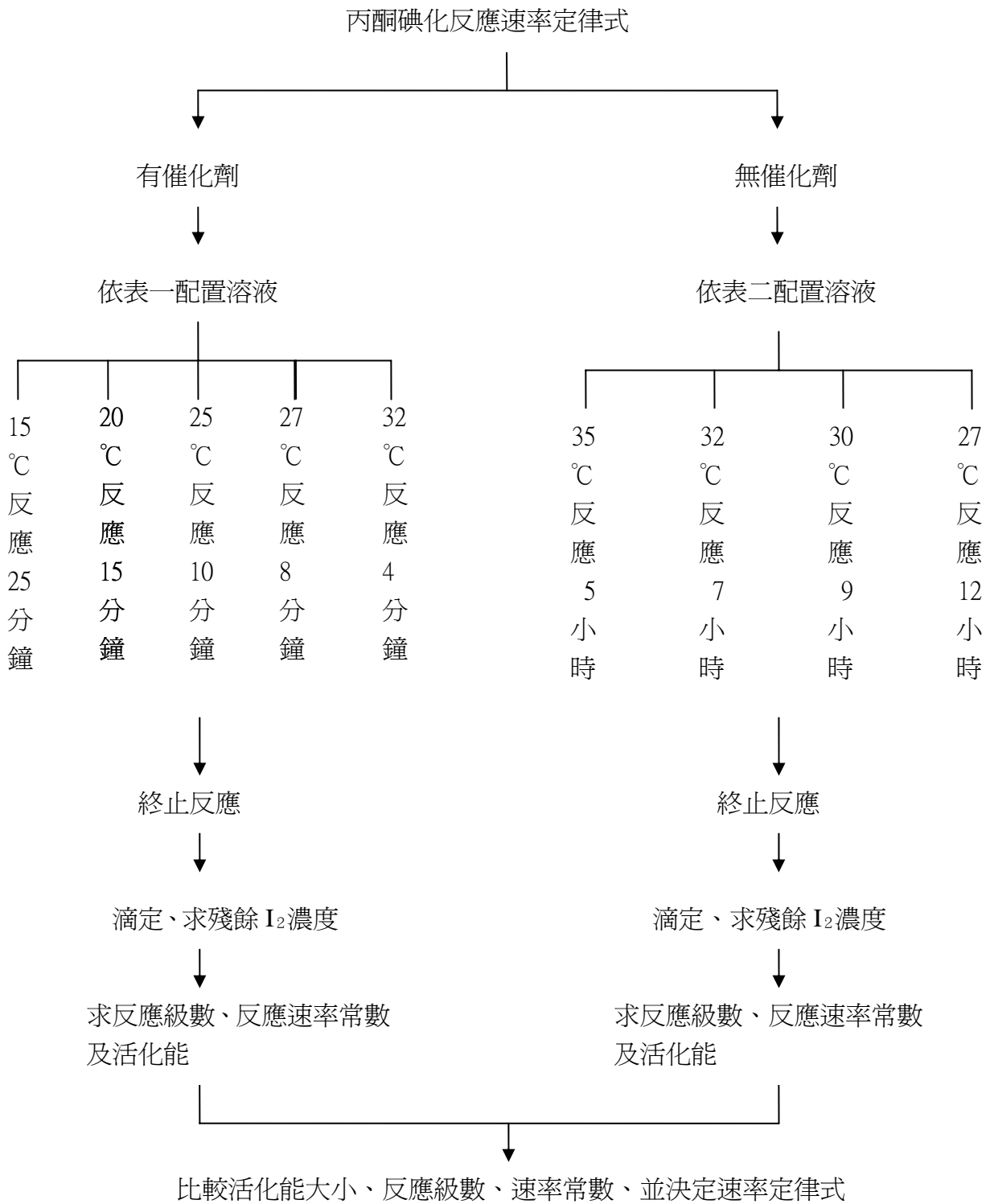
$$\text{Rate} = -\frac{\Delta[\text{I}_2]}{\Delta t} = K[\text{CH}_3\text{COCH}_3]^x [\text{I}_2]^y$$

由初始反應速率及各成分濃度，計算反應之初始反應速率。

由丙酮和碘之初始濃度計算其分別之反應級數 X、Y。

- (4) 計算瓶 I 至瓶 III 之速率常數 K 值。
- (5) 求出本反應的平均速率常數。
- (6) 重複以上步驟計算在不同溫度的環境下的各項反應級數、反應速率常數。
- (7) 利用不同溫度的反應速率常數計算此反應的活化能。

綜合上述，本研究的主要研究流程圖，以圖一表示



圖一 本次研究的實驗流程圖

## 柒、研究結果

本研究結果分兩部分敘述，第一部份是我們在操作實驗過程中所碰到的各種問題和解決的方法，第二部分敘述我們實驗的最終結果。

### 一、問題的浮現與解決

在實驗過程中我們遭遇到催化劑合適濃度的決定、反應適當的時間等種種問題，以下分爲四點加以敘述。

(一) 在加入催化劑的實驗過程中，首先遇到的問題就是決定催化劑的濃度問題

- 1、催化劑的濃度 1M，由表十二、表十三得知丙酮碘化總級數不穩定，且無重複性，推測是旁枝反應發生。
- 2、催化劑的濃度 0.1M，表十四顯示該實驗沒有發生。
- 3、催化劑的濃度 0.5M，表十五、表十六、表十七顯示反應發生。
- 4、催化劑的濃度 0.7M，表十八、表十九、表二十顯示反應結果具有重複性。因此我們決定催化劑的濃度爲 0.7M。
- 5、催化劑 1M 可能發生旁枝反應較明顯，所以本次實驗的催化劑濃度範圍在 0.5~0.7M 的實驗成果較好，同時依據文獻所建議的催化劑反應濃度 0.05~0.5M，而本研究的催化劑反應濃度爲 0.175M~0.35M 在文獻(參考資料 7)建議之內。

日期 0405

反應時間：7 分鐘

溫度：23°C

表五

編號	H <sub>2</sub> O		HCl		acetone		I <sub>2</sub>		Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	剩餘[I <sub>2</sub> ]	△[I <sub>2</sub> ]	rate
	ml	mL	M	mL	M	mL	M	mL	M	M	MS <sup>-1</sup>	Mmin <sup>-1</sup>
1	5.00	5.00	0.25	5.00	1.685	5.00	0.0255	1.10	0.0170	0.0085	0.001214	
2	0	5.00	0.25	5.00	1.685	10.00	0.0510	2.40	0.0371	0.0139	0.001986	
3	0	5.00	0.25	10.00	3.370	5.00	0.0211	0.80	0.0101	0.0110	0.001571	
4	0	10.00	0.50	5.00	1.685	5.00	0.0211	0.90	0.0114	0.0097	0.001385	

P.S. 該實驗因中途碘液用完，在重新調配之後另行標定其濃度，故瓶 1、2 的碘液濃度和瓶 3、4 的碘液濃度不同。

日期 0406

反應時間：7 分鐘

溫度：25°C

表六

編號	H <sub>2</sub> O		HCl		acetone		I <sub>2</sub>		Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	剩餘[I <sub>2</sub> ]	△[I <sub>2</sub> ]	rate
	ml	mL	M	mL	M	mL	M	mL	M	M	Mmin <sup>-1</sup>	
1	5.00	5.00	0.25	5.00	1.685	5.00	0.0255	1.00	0.0155	0.010	0.001429	
2	0	5.00	0.25	5.00	1.685	10.00	0.0510	2.50	0.0387	0.0123	0.001757	
3	0	5.00	0.25	10.00	3.370	5.00	0.0255	0.60	0.0093	0.0162	0.002314	
4	0	10.00	0.50	5.00	1.685	5.00	0.0255	0.60	0.0093	0.0162	0.002314	

表七

編號	H <sub>2</sub> O		HCl		acetone		I <sub>2</sub>		Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	剩餘[I <sub>2</sub> ]	△[I <sub>2</sub> ]	rate
	ml	mL	M	mL	M	mL	M	mL	M	M	Mmin <sup>-1</sup>	
1	5.00	5.00	0.25	5.00	1.685	5.00	0.0255	1.10	0.0170	0.0085	0.001214	
2	0	5.00	0.25	5.00	1.685	10.00	0.0510	2.65	0.0410	0.0100	0.001428	
3	0	5.00	0.25	10.00	3.370	5.00	0.0255	0.60	0.0093	0.0162	0.002314	
4	0	10.00	0.50	5.00	1.685	5.00	0.0255	0.80	0.0124	0.0131	0.001871	

日期 0405

反應時間：1 分鐘

溫度：34°C

表八

編號	H <sub>2</sub> O	HCl		acetone		I <sub>2</sub>		Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	剩餘[I <sub>2</sub> ]	△[I <sub>2</sub> ]	rate
	mL	mL	M	mL	M	mL	M	mL	M	M	Mmin <sup>-1</sup>
1	5.00	5.00	0.25	5.00	1.685	5.00	0.0211	1.60	0.0202	0.0009	0.0009
2	0	5.00	0.25	5.00	1.685	10.00	0.0422	3.20	0.0404	0.0018	0.0018
3	0	5.00	0.25	10.00	3.370	5.00	0.0211	1.40	0.0177	0.0034	0.0034
4	0	10.00	0.50	5.00	1.685	5.00	0.0211	1.47	0.0185	0.0026	0.0026

表九

編號	H <sub>2</sub> O	HCl		acetone		I <sub>2</sub>		Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	剩餘[I <sub>2</sub> ]	△[I <sub>2</sub> ]	rate
	mL	mL	M	mL	M	mL	M	mL	M	M	Mmin <sup>-1</sup>
1	5.00	5.00	0.25	5.00	1.685	5.00	0.0211	1.50	0.0189	0.0022	0.0022
2	0	5.00	0.25	5.00	1.685	10.00	0.0422	3.00	0.0378	0.0044	0.0044
3	0	5.00	0.25	10.00	3.370	5.00	0.0211	1.30	0.0164	0.0047	0.0047
4	0	10.00	0.50	5.00	1.685	5.00	0.0211	1.30	0.0164	0.0047	0.0047

日期 0406

反應時間：1 分鐘

溫度：34°C

表十

編號	H <sub>2</sub> O	HCl		acetone		I <sub>2</sub>		Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	剩餘[I <sub>2</sub> ]	△[I <sub>2</sub> ]	rate
	mL	mL	M	mL	M	mL	M	mL	M	M	Mmin <sup>-1</sup>
1	5.00	5.00	0.25	5.00	1.685	5.00	0.0255	1.50	0.0232	0.0023	0.0023
2	0	5.00	0.25	5.00	1.685	10.00	0.0510	3.00	0.0464	0.0046	0.0046
3	0	5.00	0.25	10.00	3.370	5.00	0.0255	1.40	0.0216	0.0039	0.0039
4	0	10.00	0.50	5.00	1.685	5.00	0.0255	1.30	0.0201	0.0054	0.0054

表十一

編號	H <sub>2</sub> O		HCl		acetone		I <sub>2</sub>		Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	剩餘[I <sub>2</sub> ]	△[I <sub>2</sub> ]	rate
	mL	mL	M	mL	M	mL	M	mL	M	M	Mmin <sup>-1</sup>	
1	5.00	5.00	0.25	5.00	1.685	5.00	0.0255	1.50	0.0232	0.0023	0.0023	
2	0	5.00	0.25	5.00	1.685	10.00	0.0510	3.00	0.0464	0.0046	0.0046	
3	0	5.00	0.25	10.00	3.370	5.00	0.0255	1.20	0.0186	0.0069	0.0069	
4	0	10.00	0.50	5.00	1.685	5.00	0.0255	1.30	0.0201	0.0054	0.0054	

表十二

次數	日期	溫度(°C)	時間 min	[I <sub>2</sub> ] (M)	[Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ] (M)	K	級數	總級數
1	0405	23	7	0.0847	0.5046	0.025733	X=0.2057 Y=0.3710 Z=0.7102	1.2869
2	0406	25	7	0.102	0.6184	0.007367	X=0.6844 Y=0.6844 Z=0.296	1.6648
3	0406	25	7	0.102	0.6184	0.004176	X=0.6241 Y=0.9307 Z=0.2353	1.72745
X: HCl 的級數 Y: CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub> 的級數 Z: I <sub>2</sub> 的級數			平均 K 值: 0.0057715 平均總級數: 1.72745					

註：表十二是將前述表五、表六、表七的數據整理而成。

表十三

次數	日期	溫度(°C)	時間 min	[I <sub>2</sub> ] (M)	[Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ] (M)	K	級數	總級數
1	0405	34	1	0.0847	0.5046	0.2543	X=1.0953 Y=1.0953 Z=0.9852	3.1758
2	0405	34	1	0.0847	0.5046	0.2014	X=1.5307 Y=1.2890 Z=1.0000	3.8197
3	0406	34	1	0.102	0.6184	0.1490	X=1.2300 Y=0.7600 Z=0.7200	2.6751
3'	0406	34	1	0.102	0.6184	0.3341	X=1.2300 Y=0.7600 Z=1.0000	2.99
X: HCl 的級數 Y: CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub> 的級數 Z: I <sub>2</sub> 的級數			平均 K 值: 0.2347 平均總級數: 3.16515					

註：表十三是將表八、表九、表十、表十一的數據整理而成。

日期 05 / 11

反應時間：7 分鐘

溫度：32°C

表十四

編號	H <sub>2</sub> O		HCl		acetone		I <sub>2</sub>		Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	剩餘[I <sub>2</sub> ]	△[I <sub>2</sub> ]	rate
	ml	mL	M	mL	M	mL	M	mL	M	M	MS <sup>-1</sup>	MS <sup>-1</sup>
1	5	5	0.025	5	1.685	5	0.0244295	1.60	0.022020	0.002410	5.02×10 <sup>-6</sup>	
2	0	5	0.025	5	1.685	10	0.0488590	3.25	0.044728	0.004131	8.61×10 <sup>-6</sup>	
3	0	5	0.025	10	3.370	5	0.0244295	1.30	0.017891	0.006538	1.36×10 <sup>-5</sup>	
4	0	10	0.500	5	1.685	5	0.0244295	1.30	0.017891	0.006538	1.36×10 <sup>-5</sup>	

表十五

編號	H <sub>2</sub> O		HCl		acetone		I <sub>2</sub>		Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	剩餘[I <sub>2</sub> ]	△[I <sub>2</sub> ]	rate
	mL	mL	M	mL	M	mL	M	mL	M	M	MS <sup>-1</sup>	
1	5	5	0.125	5	1.685	5	0.024425	1.35	0.018579	0.005846	1.39×10 <sup>-5</sup>	
2	0	5	0.125	5	1.685	10	0.048850	2.80	0.038535	0.010315	2.46×10 <sup>-5</sup>	
3	0	5	0.125	10	3.370	5	0.024425	0.75	0.010322	0.014103	3.36×10 <sup>-5</sup>	
4	0	10	0.250	5	1.685	5	0.024425	0.80	0.011010	0.013415	3.19×10 <sup>-5</sup>	

日期 05 / 11

反應時間：10 分鐘

溫度：30°C

表十六

編號	H <sub>2</sub> O		HCl		acetone		I <sub>2</sub>		Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	剩餘[I <sub>2</sub> ]	△[I <sub>2</sub> ]	rate
	mL	mL	M	mL	M	mL	M	mL	M	M	MS <sup>-1</sup>	
1	5	5	0.125	5	1.685	5	0.024425	1.15	0.015827	0.008598	1.43×10 <sup>-5</sup>	
2	0	5	0.125	5	1.685	10	0.048850	2.50	0.034406	0.014444	2.41×10 <sup>-5</sup>	
3	0	5	0.125	10	3.370	5	0.024425	0.55	0.007569	0.016856	2.81×10 <sup>-5</sup>	
4	0	10	0.250	5	1.685	5	0.024425	0.60	0.008258	0.016168	2.69×10 <sup>-5</sup>	



表十七

編號	H <sub>2</sub> O	HCl		acetone		I <sub>2</sub>		Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	剩餘[I <sub>2</sub> ]	△[I <sub>2</sub> ]	rate
	mL	mL	M	mL	M	mL	M	mL	M	M	MS <sup>-1</sup>
1	5	5	0.125	5	1.685	5	0.024425	1.10	0.015139	0.009286	1.55×10 <sup>-5</sup>
2	0	5	0.125	5	1.685	10	0.048850	2.50	0.034406	0.014444	2.41×10 <sup>-5</sup>
3	0	5	0.125	10	3.370	5	0.024425	0.55	0.007569	0.016856	2.81×10 <sup>-5</sup>
4	0	10	0.250	5	1.685	5	0.024425	0.65	0.008946	0.015479	2.58×10 <sup>-5</sup>

日期 05/22

反應時間：10 分鐘

溫度：25℃

表十八

編號	H <sub>2</sub> O	HCl		acetone		I <sub>2</sub>		Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	剩餘[I <sub>2</sub> ]	△[I <sub>2</sub> ]	rate
	mL	mL	M	mL	M	mL	M	mL	M	M	MS <sup>-1</sup>
1	5	5	0.175	5	1.685	5	0.026494	1.20	0.021125	0.005369	8.95×10 <sup>-6</sup>
2	0	5	0.175	5	1.685	10	0.052988	2.70	0.047531	0.005457	9.1×10 <sup>-6</sup>
3	0	5	0.175	10	3.370	5	0.026494	0.80	0.014083	0.012411	2.07×10 <sup>-5</sup>
4	0	10	0.350	5	1.685	5	0.026494	0.90	0.015844	0.010650	1.78×10 <sup>-5</sup>
HCl 的級數: 0.988139 ; acetone 的級數: 1.208829 ; I <sub>2</sub> 的級數: 0.023434 ; 總級數: 2.220401 平均 K 值: 2.9×10 <sup>-5</sup> M <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>											

表十九

編號	H <sub>2</sub> O	HCl		acetone		I <sub>2</sub>		Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	剩餘[I <sub>2</sub> ]	△[I <sub>2</sub> ]	rate
	mL	mL	M	mL	M	mL	M	mL	M	M	MS <sup>-1</sup>
1	5	5	0.175	5	1.685	5	0.026494	1.20	0.021125	0.005369	8.95×10 <sup>-6</sup>
2	0	5	0.175	5	1.685	10	0.052988	2.70	0.047531	0.005457	9.1×10 <sup>-6</sup>
3	0	5	0.175	10	3.370	5	0.026494	0.90	0.015844	0.010650	1.78×10 <sup>-5</sup>
4	0	10	0.350	5	1.685	5	0.026494	0.90	0.015844	0.010650	1.78×10 <sup>-5</sup>
HCl 的級數: 0.988139 ; acetone 的級數: 0.988139 ; I <sub>2</sub> 的級數: 0.023434 ; 總級數: 1.999711 平均 K 值: 3.26×10 <sup>-5</sup> M <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>											

表二十

編號	H <sub>2</sub> O		HCl		acetone		I <sub>2</sub>		Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	剩餘[I <sub>2</sub> ]	△[I <sub>2</sub> ]	rate
	mL	mL	M	mL	M	mL	M	mL	M	M	MS <sup>-1</sup>	
1	5	5	0.175	5	1.685	5	0.026494	1.20	0.021125	0.005369	$8.95 \times 10^{-6}$	
2	0	5	0.175	5	1.685	10	0.052988	2.70	0.047531	0.005457	$9.1 \times 10^{-6}$	
3	0	5	0.175	10	3.370	5	0.026494	0.90	0.015844	0.010650	$1.78 \times 10^{-5}$	
4	0	10	0.350	5	1.685	5	0.026494	0.85	0.014963	0.011531	$1.92 \times 10^{-5}$	
HCl 的級數: 1.102699 ; acetone 的級數: 0.988139 ; I <sub>2</sub> 的級數: 0.023434 ; 總級數: 2.114272 平均 K 值: $3.98 \times 10^{-5} \text{M}^{-1} \text{s}^{-1}$												

(二) 有催化劑催化下，決定不同反應溫度適當的終止反應時間

- 1、15°C 的合宜終止反應時間，表二十一反應時間 20 分鐘，結果顯示反應過少。表二十二、表二十三反應時間為 25 分鐘，結果顯示具有重複性。
- 2、25°C 的合宜終止反應時間，表二十四、表二十五、表二十六反應時間為 10 分鐘，顯示級數在合理範圍內。
- 3、根據 15°C 以及 25°C 的反應時間推測 20°C 的合宜終止反應時間為 15 分鐘，表二十七、表二十八、表二十九顯示反應結果合適。
- 4、根據 25°C 反應時間為 10 分鐘推測 27°C 的合宜反應時間為 8 分鐘，表三十、表三十一、表三十二結果顯示反應時間 8 分鐘是可行的。
- 5、32°C 的反應時間理論上應為 3 分鐘，在實際操作實驗後發現應延長為 4 分鐘較為合適，表三十三、表三十四、表三十五結果顯示反應時間是合適的。
- 6、為避免因溫度產生的誤差，在做不同溫度的反應之前，須先將反應物放入恆溫槽使其改變溫度，等反應物的溫度和實驗所需的溫度相同後才開始進行催化反應，以免造成反應溫度波動過大。

日期 05/13

反應時間：20 分鐘

溫度：15°C

表二十一

編號	H <sub>2</sub> O		HCl		acetone		I <sub>2</sub>		Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	剩餘[I <sub>2</sub> ]	△[I <sub>2</sub> ]	rate
	mL	mL	M	mL	M	mL	M	mL	M	M	MS <sup>-1</sup>	
1	5	5	0.175	5	1.685	5	0.023705	1.40	0.021627	0.002079	1.73×10 <sup>-6</sup>	
2	0	5	0.175	5	1.685	10	0.047410	2.90	0.044798	0.002612	2.18×10 <sup>-6</sup>	
3	0	5	0.175	10	3.370	5	0.023705	1.10	0.016992	0.006713	5.59×10 <sup>-6</sup>	
4	0	10	0.350	5	1.685	5	0.023705	1.10	0.016992	0.006713	5.59×10 <sup>-6</sup>	
HCl 的級數: 1.691361 ; acetone 的級數: 1.691361 ; I <sub>2</sub> 的級數: 0.32975 ; 總級數: 3.712473 平均 K 值: 4.57×10 <sup>-5</sup> M <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>												

日期 05/14

反應時間：25 分鐘

溫度：15°C

表二十二

編號	H <sub>2</sub> O		HCl		acetone		I <sub>2</sub>		Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	剩餘[I <sub>2</sub> ]	△[I <sub>2</sub> ]	rate
	mL	mL	M	mL	M	mL	M	mL	M	M	MS <sup>-1</sup>	
1	5	5	0.175	5	1.685	5	0.0246955	1.30	0.020938	0.003758	2.51×10 <sup>-6</sup>	
2	0	5	0.175	5	1.685	10	0.0493910	2.80	0.045096	0.004295	2.86×10 <sup>-6</sup>	
3	0	5	0.175	10	3.370	5	0.0246955	1.00	0.016106	0.008590	5.73×10 <sup>-6</sup>	
4	0	10	0.350	5	1.685	5	0.0246955	0.95	0.015301	0.009395	6.26×10 <sup>-6</sup>	
HCl 的級數: 1.321951 ; acetone 的級數: 1.192666 ; I <sub>2</sub> 的級數: 0.192617 ; 總級數: 2.707234 平均 K 值: 2.75×10 <sup>-5</sup> M <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>												

表二十三

編號	H <sub>2</sub> O		HCl		acetone		I <sub>2</sub>		Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	剩餘[I <sub>2</sub> ]	△[I <sub>2</sub> ]	rate
	mL	mL	M	mL	M	mL	M	mL	M	M	MS <sup>-1</sup>	
1	5	5	0.175	5	1.685	5	0.0236875	1.30	0.020083	0.003605	2.4×10 <sup>-6</sup>	
2	0	5	0.175	5	1.685	10	0.0473750	2.80	0.043256	0.004119	2.75×10 <sup>-6</sup>	
3	0	5	0.175	10	3.370	5	0.0236875	1.00	0.015448	0.008239	5.49×10 <sup>-6</sup>	
4	0	10	0.350	5	1.685	5	0.0236875	1.00	0.015448	0.008239	5.49×10 <sup>-6</sup>	
HCl 的級數: 1.192673 ; acetone 的級數: 1.192673 ; I <sub>2</sub> 的級數: 0.192608 ; 總級數: 2.577954 平均 K 值: 2.19×10 <sup>-5</sup> M <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>												

日期 05/22

反應時間：10 分鐘

溫度：25°C

表二十四

編號	H <sub>2</sub> O		HCl		acetone		I <sub>2</sub>		Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	剩餘[I <sub>2</sub> ]	△[I <sub>2</sub> ]	rate
	mL	mL	M	mL	M	mL	M	mL	M	M	MS <sup>-1</sup>	
1	5	5	0.175	5	1.685	5	0.026494	1.20	0.021125	0.005369	8.95×10 <sup>-6</sup>	
2	0	5	0.175	5	1.685	10	0.052988	2.70	0.047531	0.005457	9.1×10 <sup>-6</sup>	
3	0	5	0.175	10	3.370	5	0.026494	0.80	0.014083	0.012411	2.07×10 <sup>-5</sup>	
4	0	10	0.350	5	1.685	5	0.026494	0.90	0.015844	0.010650	1.78×10 <sup>-5</sup>	
HCl 的級數: 0.988139 ; acetone 的級數: 1.208829 ; I <sub>2</sub> 的級數: 0.023434 ; 總級數: 2.220401 平均 K 值: 2.9×10 <sup>-5</sup> M <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>												

表二十五

編號	H <sub>2</sub> O		HCl		acetone		I <sub>2</sub>		Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	剩餘[I <sub>2</sub> ]	△[I <sub>2</sub> ]	rate
	mL	mL	M	mL	M	mL	M	mL	M	M	MS <sup>-1</sup>	
1	5	5	0.175	5	1.685	5	0.026494	1.20	0.021125	0.005369	8.95×10 <sup>-6</sup>	
2	0	5	0.175	5	1.685	10	0.052988	2.70	0.047531	0.005457	9.1×10 <sup>-6</sup>	
3	0	5	0.175	10	3.370	5	0.026494	0.90	0.015844	0.010650	1.78×10 <sup>-5</sup>	
4	0	10	0.350	5	1.685	5	0.026494	0.90	0.015844	0.010650	1.78×10 <sup>-5</sup>	
HCl 的級數: 0.988139 ; acetone 的級數: 0.988139 ; I <sub>2</sub> 的級數: 0.023434 ; 總級數: 1.999711 平均 K 值: 3.26×10 <sup>-5</sup> M <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>												

表二十六

編號	H <sub>2</sub> O		HCl		acetone		I <sub>2</sub>		Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	剩餘[I <sub>2</sub> ]	△[I <sub>2</sub> ]	rate
	mL	mL	M	mL	M	mL	M	mL	M	M	MS <sup>-1</sup>	
1	5	5	0.175	5	1.685	5	0.026494	1.20	0.021125	0.005369	8.95×10 <sup>-6</sup>	
2	0	5	0.175	5	1.685	10	0.052988	2.70	0.047531	0.005457	9.1×10 <sup>-6</sup>	
3	0	5	0.175	10	3.370	5	0.026494	0.90	0.015844	0.010650	1.78×10 <sup>-5</sup>	
4	0	10	0.350	5	1.685	5	0.026494	0.85	0.014963	0.011531	1.92×10 <sup>-5</sup>	
HCl 的級數: 1.102699 ; acetone 的級數: 0.988139 ; I <sub>2</sub> 的級數: 0.023434 ; 總級數: 2.114272 平均 K 值: 3.98×10 <sup>-5</sup> M <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>												

日期 05/22

反應時間：15 分鐘

溫度：20°C

表二十七

編號	H <sub>2</sub> O		HCl		acetone		I <sub>2</sub>		Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	剩餘[I <sub>2</sub> ]	△[I <sub>2</sub> ]	rate
	mL	mL	M	mL	M	mL	M	mL	M	M	MS <sup>-1</sup>	
1	5	5	0.175	5	1.685	5	0.026494	1.20	0.021125	0.005369	5.97×10 <sup>-6</sup>	
2	0	5	0.175	5	1.685	10	0.052988	2.70	0.047531	0.005457	6.06×10 <sup>-6</sup>	
3	0	5	0.175	10	3.370	5	0.026494	0.80	0.014083	0.012411	1.38×10 <sup>-5</sup>	
4	0	10	0.350	5	1.685	5	0.026494	0.80	0.014083	0.012411	1.38×10 <sup>-5</sup>	
HCl 的級數: 1.208829 ; acetone 的級數: 1.208829 ; I <sub>2</sub> 的級數: 0.023434 ; 總級數: 2.441091 平均 K 值: 2.84×10 <sup>-5</sup> M <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>												

表二十八

編號	H <sub>2</sub> O		HCl		acetone		I <sub>2</sub>		Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	剩餘[I <sub>2</sub> ]	△[I <sub>2</sub> ]	rate
	mL	mL	M	mL	M	mL	M	mL	M	M	MS <sup>-1</sup>	
1	5	5	0.175	5	1.685	5	0.026494	1.20	0.021125	0.005369	5.97×10 <sup>-6</sup>	
2	0	5	0.175	5	1.685	10	0.052988	2.70	0.047531	0.005457	6.06×10 <sup>-6</sup>	
3	0	5	0.175	10	3.370	5	0.026494	0.80	0.014083	0.012411	1.38×10 <sup>-5</sup>	
4	0	10	0.350	5	1.685	5	0.026494	0.80	0.014083	0.012411	1.38×10 <sup>-5</sup>	
HCl 的級數: 1.208829 ; acetone 的級數: 1.208829 ; I <sub>2</sub> 的級數: 0.023434 ; 總級數: 2.441091 平均 K 值: 2.84×10 <sup>-5</sup> M <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>												

表二十九

編號	H <sub>2</sub> O		HCl		acetone		I <sub>2</sub>		Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	剩餘[I <sub>2</sub> ]	△[I <sub>2</sub> ]	rate
	mL	mL	M	mL	M	mL	M	mL	M	M	MS <sup>-1</sup>	
1	5	5	0.175	5	1.685	5	0.0236875	1.20	0.021125	0.005369	5.97×10 <sup>-6</sup>	
2	0	5	0.175	5	1.685	10	0.0473750	2.70	0.047531	0.005457	6.06×10 <sup>-6</sup>	
3	0	5	0.175	10	3.370	5	0.0236875	0.80	0.014083	0.012411	1.38×10 <sup>-5</sup>	
4	0	10	0.350	5	1.685	5	0.0236875	0.85	0.014963	0.011531	1.28×10 <sup>-5</sup>	
HCl 的級數: 1.102699 ; acetone 的級數: 1.208829 ; I <sub>2</sub> 的級數: 0.023434 ; 總級數: 2.334962 平均 K 值: 2.36×10 <sup>-5</sup> M <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>												

日期 05/15

反應時間：8 分鐘

溫度：27°C

表三十

編號	H <sub>2</sub> O		HCl		acetone		I <sub>2</sub>		Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	剩餘[I <sub>2</sub> ]	△[I <sub>2</sub> ]	rate
	mL	mL	M	mL	M	mL	M	mL	M	M	MS <sup>-1</sup>	
1	5	5	0.175	5	1.685	5	0.027936	1.15	0.020727	0.007209	1.5×10 <sup>-5</sup>	
2	0	5	0.175	5	1.685	10	0.055872	2.70	0.048663	0.007209	1.5×10 <sup>-5</sup>	
3	0	5	0.175	10	3.370	5	0.027936	0.60	0.010814	0.017122	3.57×10 <sup>-5</sup>	
4	0	10	0.350	5	1.685	5	0.027936	0.60	0.010814	0.017122	3.57×10 <sup>-5</sup>	
HCl 的級數: 1.247923 ; acetone 的級數: 1.247923 ; I <sub>2</sub> 的級數: 0.000008 ; 總級數: 2.495854 平均 K 值: 6.9×10 <sup>-5</sup> M <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>												

表三十一

編號	H <sub>2</sub> O		HCl		acetone		I <sub>2</sub>		Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	剩餘[I <sub>2</sub> ]	△[I <sub>2</sub> ]	rate
	mL	mL	M	mL	M	mL	M	mL	M	M	MS <sup>-1</sup>	
1	5	5	0.175	5	1.685	5	0.027936	1.10	0.019826	0.00811	1.69×10 <sup>-5</sup>	
2	0	5	0.175	5	1.685	10	0.055872	2.70	0.048663	0.007209	1.5×10 <sup>-5</sup>	
3	0	5	0.175	10	3.370	5	0.027936	0.55	0.009913	0.018023	3.75×10 <sup>-5</sup>	
4	0	10	0.350	5	1.685	5	0.027936	0.60	0.010814	0.017122	3.57×10 <sup>-5</sup>	
HCl 的級數: 1.077999 ; acetone 的級數: 1.151999 ; I <sub>2</sub> 的級數: -0.16992 ; 總級數: 2.060082 平均 K 值: 3.3×10 <sup>-5</sup> M <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>												

表三十二

編號	H <sub>2</sub> O		HCl		acetone		I <sub>2</sub>		Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	剩餘[I <sub>2</sub> ]	△[I <sub>2</sub> ]	rate
	mL	mL	M	mL	M	mL	M	mL	M	M	MS <sup>-1</sup>	
1	5	5	0.175	5	1.685	5	0.027936	1.10	0.019826	0.00811	1.69×10 <sup>-5</sup>	
2	0	5	0.175	5	1.685	10	0.055872	2.65	0.047761	0.008111	1.69×10 <sup>-5</sup>	
3	0	5	0.175	10	3.370	5	0.027936	0.65	0.011715	0.016221	3.38×10 <sup>-5</sup>	
4	0	10	0.350	5	1.685	5	0.027936	0.65	0.011715	0.016221	3.38×10 <sup>-5</sup>	
HCl 的級數: 0.999996 ; acetone 的級數: 0.999996 ; I <sub>2</sub> 的級數: 0.00000712 ; 總級數: 2 平均 K 值: 5.73×10 <sup>-5</sup> M <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>												

日期 05/15

反應時間：4 分鐘

溫度：32°C

表三十三

編號	H <sub>2</sub> O		HCl		acetone		I <sub>2</sub>		Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	剩餘[I <sub>2</sub> ]	△[I <sub>2</sub> ]	rate
	mL	mL	M	mL	M	mL	M	mL	M	M	MS <sup>-1</sup>	
1	5	5	0.175	5	1.685	5	0.027936	1.25	0.022529	0.005407	2.25×10 <sup>-5</sup>	
2	0	5	0.175	5	1.685	10	0.055872	2.80	0.050465	0.005407	2.25×10 <sup>-5</sup>	
3	0	5	0.175	10	3.370	5	0.027936	0.95	0.017122	0.010814	4.51×10 <sup>-5</sup>	
4	0	10	0.350	5	1.685	5	0.027936	0.90	0.016221	0.011715	4.88×10 <sup>-5</sup>	
HCl 的級數: 1.115471 ; acetone 的級數: 0.999995 ; I <sub>2</sub> 的級數: 0.0000107 ; 總級數: 2.115477 平均 K 值: 9.34×10 <sup>-5</sup> M <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>												

表三十四

編號	H <sub>2</sub> O		HCl		acetone		I <sub>2</sub>		Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	剩餘[I <sub>2</sub> ]	△[I <sub>2</sub> ]	rate
	mL	mL	M	mL	M	mL	M	mL	M	M	MS <sup>-1</sup>	
1	5	5	0.175	5	1.685	5	0.027936	1.25	0.022529	0.005407	2.25×10 <sup>-5</sup>	
2	0	5	0.175	5	1.685	10	0.055872	2.80	0.050465	0.005407	2.25×10 <sup>-5</sup>	
3	0	5	0.175	10	3.370	5	0.027936	0.90	0.016221	0.011715	4.88×10 <sup>-5</sup>	
4	0	10	0.350	5	1.685	5	0.027936	0.90	0.016221	0.011715	4.88×10 <sup>-5</sup>	
HCl 的級數: 1.115471 ; acetone 的級數: 1.115471 ; I <sub>2</sub> 的級數: 0.0000107 ; 總級數: 2.230954 平均 K 值: 8.81×10 <sup>-5</sup> M <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>												

表三十五

編號	H <sub>2</sub> O		HCl		acetone		I <sub>2</sub>		Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	剩餘[I <sub>2</sub> ]	△[I <sub>2</sub> ]	rate
	mL	mL	M	mL	M	mL	M	mL	M	M	MS <sup>-1</sup>	
1	5	5	0.175	5	1.685	5	0.027936	1.30	0.02343	0.004506	1.88×10 <sup>-5</sup>	
2	0	5	0.175	5	1.685	10	0.055872	2.80	0.050465	0.005407	2.25×10 <sup>-5</sup>	
3	0	5	0.175	10	3.370	5	0.027936	1.00	0.018023	0.009913	4.13×10 <sup>-5</sup>	
4	0	10	0.350	5	1.685	5	0.027936	1.00	0.018023	0.009913	4.13×10 <sup>-5</sup>	
HCl 的級數: 1.137497 ; acetone 的級數: 1.137497 ; I <sub>2</sub> 的級數: 0.263043 ; 總級數: 2.538036 平均 K 值: 1.93×10 <sup>-4</sup> M <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>												

(三) 在不加催化劑的過程中，克服滴定終點碘液的顏色擺盪現象

- 1、不管在不加催化劑的丙酮碘化反應在何種溫度下反應，在滴定时就會發生顏色擺盪現象，我們紀錄下第一次變色時所消耗的硫代硫酸鈉體積和滴定至不再變色時的硫代硫酸鈉體積，分別計算其反應結果，發現前者顯示已反應完畢，而後者則是未發生反應。
- 2、將數據代入公式所計算出來的級數和 K 值也變化過大，所求出未加催化劑的活化能比有加催化劑的活化能小很多，顯然不合理。
- 3、我們推測反應在跨過反應決定步驟之後，丙酮會放出  $H^+$  加速反應，因此造成反應不穩定以及顏色擺盪現象的發生，故嘗試加入醋酸鈉終止其反應，加入醋酸鈉操作實驗後，發現原本會發生的顏色擺盪現象不發生了，因此能更精確的判斷反應所滴定出來的結果是否有發生反應。

(四) 無催化劑時，決定不同反應溫度適當的終止反應時間

- 1、確定不加催化劑反應完畢時間在 48 小時之內，表三十六為放置 48 小時後的反應，結果顯示 48 小時已反應完畢。
- 2、從表三十七發現當瓶一、二未反應完畢時，瓶三已反應完畢。
- 3、確定  $32^{\circ}C$  終止反應時間，瓶一、二為 11 小時，瓶三為 5 小時。
- 4、確定  $35^{\circ}C$  終止反應時間，瓶一、二為 8.5 小時，瓶三為 5 小時。
- 5、結論： $25^{\circ}C$ 、 $27^{\circ}C$ 、 $30^{\circ}C$  尚未找到合適的終止反應時間，但  $32^{\circ}C$  及  $35^{\circ}C$  已可以求出其合適的終止反應時間。

日期: 05/ 21

溫度: $30^{\circ}C$

反應時間: 48 小時

表三十六

編號	H <sub>2</sub> O	acetone		I <sub>2</sub>		Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	剩餘[I <sub>2</sub> ]	$\Delta$ [I <sub>2</sub> ]	rate
	mL	mL	M	mL	M	mL	M	M	MS <sup>-1</sup>
1	5	5	2.246667	5	0.0314	0.1	0.0293	0.0293	$1.69344 \times 10^{-7}$
2	0	5	2.246667	10	0.0627	0.4	0.0543	0.0543	$3.14351 \times 10^{-7}$
3	0	10	4.4934	5	0.0314	0.2	0.0272	0.0272	$1.57175 \times 10^{-7}$



日期: 05/ 22

溫度: 32°C

反應時間: 10 小時

表三十七

編號	H <sub>2</sub> O	acetone		I <sub>2</sub>		Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	剩餘[I <sub>2</sub> ]	△[I <sub>2</sub> ]	rate
	mL	mL	M	mL	M	mL	M	M	MS <sup>-1</sup>
1	5	5	2.246667	5	0.0353	1.4	0.0329	0.00246	6.84567×10 <sup>-8</sup>
2	0	5	2.246667	10	0.0707	2.9	0.0681	0.00258	7.17131×10 <sup>-8</sup>
3	0	10	4.4934	5	0.0353	0.1	0.00235	0.03300	9.16059×10 <sup>-7</sup>

日期: 05/ 23

溫度: 32°C

反應時間: 瓶一、二為 11 小時，瓶三為 5 小時

表三十八

編號	H <sub>2</sub> O	acetone		I <sub>2</sub>		Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	剩餘[I <sub>2</sub> ]	△[I <sub>2</sub> ]	rate
	mL	mL	M	mL	M	mL	M	M	MS <sup>-1</sup>
1	5	5	2.246667	5	0.0326	1.1	0.0231	0.00946	2.38945×10 <sup>-7</sup>
2	0	5	2.246667	10	0.0652	2.4	0.0505	0.0147	3.71693×10 <sup>-7</sup>
3	0	10	4.4934	5	0.0326	1	0.021	0.0116	6.42496×10 <sup>-7</sup>

日期: 05/ 23

溫度: 32°C

反應時間: 瓶一、二為 8.5 小時，瓶三為 5 小時

表三十九

編號	H <sub>2</sub> O	acetone		I <sub>2</sub>		Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	剩餘[I <sub>2</sub> ]	△[I <sub>2</sub> ]	rate
	mL	mL	M	mL	M	mL	M	M	MS <sup>-1</sup>
1	5	5	2.246667	5	0.0326	1.3	0.0273	0.00526	1.71791×10 <sup>-7</sup>
2	0	5	2.246667	10	0.0652	2.75	0.0578	0.00736	2.40509×10 <sup>-7</sup>
3	0	10	4.4934	5	0.0326	1.1	0.0231	0.00946	5.25679×10 <sup>-7</sup>

## 二、實驗結果

(一) 丙酮碘化反應的反應速率式為

$$Rate = -\frac{\Delta[I_2]}{\Delta t} = K[CH_3COCH_3]^x [I_2]^y [H^+]^z$$

在合適的終止反應時間及 0.7M 酸的催化下，丙酮碘化反應在 32°C、27°C、

25°C、20°C、15°C的反應級數、總級數及平均速率常數整理成表四十。

(二) 丙酮碘化反應無催化劑的反應速率式為

$$Rate = -\frac{\Delta[I_2]}{\Delta t} = K[CH_3COCH_3]^X [I_2]^Y$$

在合適的終止反應時間，我們將 35°C、32°C的反應級數、總級數及平均速率常數整理成表四十一。

表四十 加入催化劑在不同溫度下的 K 值和總級數整理

溫度(°C)	時間 min	K( M <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> )	級數
32	4	0.000124833	X=1.122813 Y=1.084321 Z=0.0876881 總級數=2.294822
27	8	0.0000531	X=1.108639 Y=1.133306 Z=-0.05663496 總級數=2.185312
25	10	0.0000338	X=1.026326 Y=1.061702 Z=0.023434 總級數=2.111461
20	15	0.0000268	X=1.173452 Y=1.208829 Z=0.023434 總級數=2.405715
15	25	0.0000247	X=1.257312 Y=1.19267 Z=0.1926125 總級數=2.642594
X：酸的級數      Y：丙酮的級數      Z：碘的級數			

表四十一 不加催化劑在不同溫度下的 K 值和總級數整理

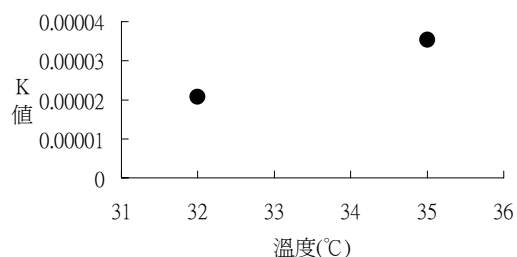
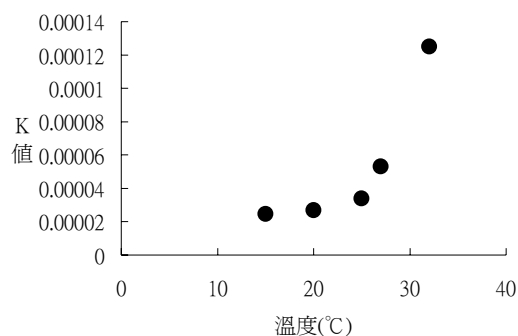
溫度(°C)	時間 hr	K( M <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> )	級數
35	瓶一、二：8.5 瓶三：5	0.0000353	X=0.4854323 Y=1.613526 總級數=2.0989583
32	瓶一、二：11 瓶三：5	0.0000208	X=0.637432 Y=1.4270088 總級數=2.0644408
X：碘的級數      Y：丙酮的級數			

## 捌、討論

### (一)溫度對反應速率影響

根據表四十，有催化劑催化下，丙酮碘化反應在各溫度及平均 K 值做成圖二

根據表四十一，無催化劑催化下，丙酮碘化反應在各溫度及平均 K 值做成圖三



圖二 溫度對 K 值的影響(有催化劑)

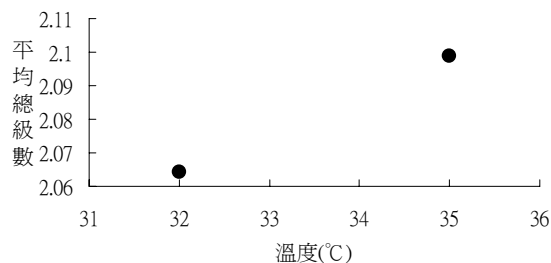
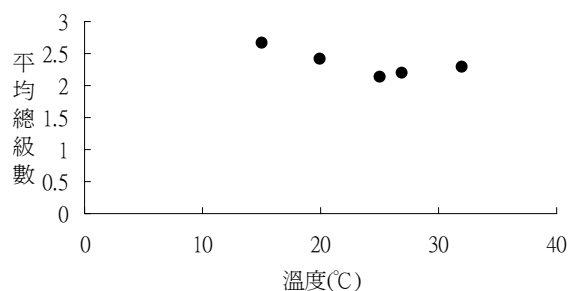
圖三 溫度對 K 值的影響(無催化劑)

由圖二、圖三我們可以得知無論是否加催化劑 K 值會隨著溫度上升而上升，而且有催化劑催化的丙酮碘化反應再不同溫度之間 K 值的差也會隨著溫度上升而加大，如此一來我們可以證明溫度越高反應速率越快。

### (二)溫度對反應級數的影響

根據表四十有催化劑下，丙酮碘化反應在各溫度的總級數做成圖四

根據表四十一無催化劑下，丙酮碘化反應在各溫度的總級數做成圖五



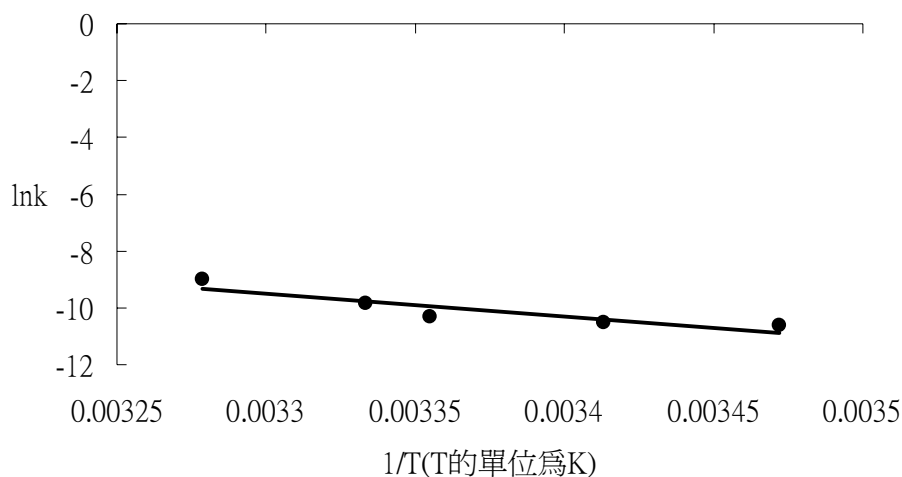
圖四 溫度對總級數的影響(有催化劑)

圖五 溫度對總級數的影響(無催化劑)

由圖四我們可以得知總級數不會隨著溫度上升而上升也不會隨著溫度下降而下降，我們可以說該反應的總級數不受溫度的影響，因為在各溫度下的反應總級數都在正常範圍內(1.4~2.7 級之間)，而且最小的總級數和最大的總級數只差 0.53113 級，這也在誤差範圍內。

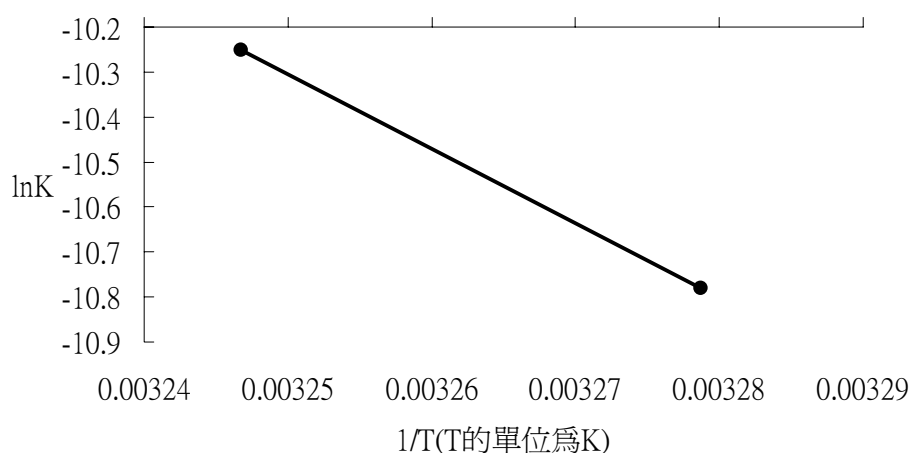
由圖五我們可以得知 35°C 和 32°C 無催化劑的丙酮碘化反應的總級數只差 0.034 級，同樣也在誤差範圍內，如此一來足可證明課本所說「溫度不影響反應總級數」這句話。

(三)酸催化下丙酮碘化的活化能和不加酸催化下丙酮碘化的活化能之比較



圖六 催化劑影響下 lnK 與 1/T

根據文獻(參考資料 6)所提供的活化能公式，我們把它做成如圖四所示的圖，我們將圖上的每一點回歸，該回歸線的方程式為  $y = -8045x + 17.063$ ，從該方程式中我們可以知道  $E_a/R = 8045$  ( $R = 8.314 \text{ KJ/mol}$ )，所以  $E_a = 8045 \times 8.314 = 66886.96 \text{ (J/mol)} = 66.88 \text{ (KJ/mol)}$ ，符合文獻(參考資料 6)上所寫的活化能實驗值為 60~80KJ/mol 之間，該文獻是大学生用光譜分析法求得碘消失速率及活化能，而本實驗則用碘間接滴定法求碘消失速率，並間接求取活化能，所以此種實驗改良方法是可行的。



圖七 無催化劑影響下 lnK 與 1/T

我們將圖七的每一點回歸，該回歸線的方程式為  $y = -16563x + 43.523$ ，從該方程式中我們可以知道  $E_a/R = 16563$  ( $R = 8.314 \text{ KJ/mol}$ )，所以  $E_a = 16563 \times 8.314 = 137704.8 \text{ (J/mol)}$

= 137.7048 (KJ/mol)。

有催化劑下丙酮碘化反應的活化能為 66.88(KJ/mol)，無催化劑下丙酮碘化反應的活化能為 137.7048 (KJ/mol)，由此可發現該反應有加催化劑的活化能比沒加催化劑的活化能還低。

#### (四)討論本次實驗和高中教學的結合

我們建議加酸催化下的丙酮碘化反應可納入高二的化學反應速率實驗課程裡，因為以高二生的實驗技術應該有能力去作此實驗，表四十八是我們在各溫度的終止反應時間。

表四十二 加催化劑不同溫度的終止反應時間

溫度	反應時間
32°C	4 分鐘
27°C	8 分鐘
25°C	10 分鐘
20°C	15 分鐘
15°C	25 分鐘

以 25°C 及 32°C 為例，首先說明 25°C 本實驗初始反應速率法測量反應級數及速率常數，所需 4 瓶不同濃度溶液，而每瓶反應時間 10 分鐘而言，視每組學生人數而訂，4 瓶溶液要滴定完畢需 20~40 分鐘，而 32°C 的 4 瓶溶液則須 10~20 分鐘，所以估計本實驗可在 2 節課內完成。

由於課本告訴我們「反應定律式只能由實驗決定」，而高中實驗課程中卻沒此類實驗，可見大多數學生都只是照著課本所給予的資料背誦而已，如果能真實操作一次，體認實驗，建立經驗，讓其他高中生能如同我們一樣真正體驗「反應定律式只能由實驗決定」這句話真正涵義。

#### (五)誤差探討

- 1、滴定管的刻度精準至 0.1mL，計算時計算到小數點以下第三位，故目測的誤差是有可能造成反應級數以及反應數率常數的變動。
- 2、恆溫槽內各處的溫度有可能有些微不同，故溫度的誤差是有可能的。
- 3、搖晃次數無法控制成每次都一樣，故搖晃次數是有可能造成誤差的。
- 4、系統誤差；例如恆溫槽控制溫度不靈敏、電子天秤未經校正、玻璃器材未經校正等。

## 玖、結論

### (一)催化劑的有無對丙酮碘化反應之反應級數的差異

據文獻(參考資料 6)，丙酮和酸的級數實驗值為  $1.0 \pm 0.2$  之間，碘的級數為  $-0.2 \sim 0.3$  之間，所以我們視總級數為  $1.4 \sim 2.7$  之間為正常範圍。我們從表四十得知有加酸催化劑下的丙酮碘化反應確實有在實驗值內，而且總級數在  $2.111461 \sim 2.642592$  級之間。我們目前找不到沒催化劑下的丙酮碘化反應的相關文獻，因此我們無從比較，而我們的實驗值從表四十一得知碘的級數分別為  $0.4854323$  級和  $0.637432$  級，丙酮的級數分別為  $1.613526$  級和  $1.4270088$  級，而總級數則為  $2.0989583$  級和  $2.0644408$  級。課本上說「催化劑會改變反應級數」，而從上述我們發現催化劑的確會改變反應級數。

### (二)丙酮碘化反應在不同溫度時的反應級數的差異

我們從課本得知溫度不會改變反應機構，故不會改變反應級數。我們可以從圖四、圖五得知不論是否加酸催化劑下，丙酮碘化反應的總級數不受溫度而改變。

### (三)丙酮碘化反應在不同溫度時的反應速率常數的差異

我們從課本得知反應速率常數會隨溫度而改變。我們能從圖二和圖三知道丙酮碘化反應不論加催化劑與否反應速率常數會隨溫度上升而上升，而且溫度越高時增加的越多，並且同溫度下加催化劑的反應速率常數較高。

### (四)計算丙酮碘化反應在催化劑有無時的活化能

根據文獻(參考資料 6)上所寫的活化能實驗值為  $60 \sim 80 \text{ KJ/mol}$ ，我們可以從討論(三)知加酸催化劑下的丙酮碘化反應我們所求得的活化能為  $66.88 \text{ (KJ/mol)}$ ，正好符合實驗值，至於不加酸催化劑下的丙酮碘化反應得活化能則是  $137.7048 \text{ (KJ/mol)}$  然而正如結論(一)所說的我們目前找不到不加酸催化劑下的丙酮碘化反應的相關文獻，所以我們無法確定所求活化能是否符合實驗值。從數據上看，的確符合課本所提到的「加催化劑的活化能比不加的還低」。

## 玖、參考資料

1. [http://acdm.tcssh.tc.edu.tw/equid/html/sci\\_1.htm](http://acdm.tcssh.tc.edu.tw/equid/html/sci_1.htm)
2. <http://edu.eqcnc.com/show/show.asp?Sever=2&Id=521>
3. <http://general.chemistry.pu.edu.tw/equilibrium/newpage4.htm>
4. <http://www.aqtc.edu.cn/jxyz/wuhua/hnsd/chapter10/gainian1/dlx1-1.11.htm>
5. <http://www.hxc.sdu.edu.cn/hxx/jiaoxuekejian/wuhuashiyan/MULU.htm>
6. [http://www.labarchive.net/new-file-storage/download/134-iodination134.doc?Version\\_id=51](http://www.labarchive.net/new-file-storage/download/134-iodination134.doc?Version_id=51)
7. [http://www.tau.ac.il/~phchlab/experiments/Acetone\\_iodination/](http://www.tau.ac.il/~phchlab/experiments/Acetone_iodination/)
8. 黃長司等主編/高級中學物質科學化學篇下冊/修訂二版/康熙圖書網路股份有限公司/p1~p27/2003
9. 林洪志/分析化學/初版/三民書局股份有限公司/p68~p73 p433~p439/1995
10. *ROBERTA.ALBERTY* 吳泉忠翻譯/物理化學（下）/新修訂第六版/復文書局/p313~p315 p326~p327/1987

## 評語

040223 高中組化學科

探討酸、碘、丙酮之間的三角習題—決定丙酮碘化的反應速率定律式

主題內容應可在已有的文獻上查到。