

# 中華民國第 58 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

高級中等學校組 化學科

佳作

050215

一「氮」遇見你，氯化銨與亞硝酸鈉的邂逅

學校名稱：國立宜蘭高級中學

作者：  高二 李軒慈  高二 林芯嫻  高二 范開媛	指導老師：  林揚閔  陳瑞麟
---	-----------------------------

關鍵詞：反應級數、速率常數、活化能

## 摘要

原理： $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{NaNO}_2 \Rightarrow \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl}$

反應速率： $R = k[\text{NH}_4\text{Cl}]^m[\text{NaNO}_2]^n$

活化能： $k = Ae^{-\frac{E_a}{RT}}$

本實驗以  $\text{NH}_4\text{Cl}$  及  $\text{NaNO}_2$  的水溶液為主要反應物製造氮氣，測量出此反應之基本數據後，再以  $\text{NH}_4\text{Br}$  或  $\text{KNO}_2$  取代原反應物，探討不同離子、濃度、溫度.....對產生氮氣之反應速率的影響。

實驗中，我們發現溫度及濃度為影響反應速率的主要因素，藉由實驗數據亦可得知此反應  $R = k[\text{NH}_4\text{Cl}]^1[\text{NaNO}_2]^1$  為二級反應。再由計算出的反應速率常數，可算出反應活化能，並由此得知反應速率與溫度的關係。均相反應中依碰撞學說所說，反應物濃度愈高，總碰撞次數及有效碰撞的機會愈多，故速率愈快。

## 壹、研究動機

在化學實驗室製備氮氣的實驗過程中，我們使用固體  $\text{NH}_4\text{Cl}$  及  $\text{NaNO}_2$  作為反應物，除了不易混和均勻，反應產生之水也易導致試管爆炸的可能性增加，而且反應速率過快，較容易發生危險。

因此，我們查出先將固體反應物配置成水溶液的方法比較溫和，如此一來，不僅不用考慮反應產生之水所造成的危險性，也可算出反應物濃度與反應速率間的關係。而且在高二下基礎化學中我們學到的化學反應速率課程中，更深入討論濃度、溫度、反應級數、反應速率常數與活化能間的關係。

## 貳、研究目的

- 一、以水溶液態的反應物實驗，減少其危險性
- 二、改善固體反應物無法均勻混和的問題
- 三、探討溫度、濃度與反應速率間的關係
- 四、使用不同的銨鹽、亞硝酸鹽反應，觀察其差異性
- 五、計算速率常數及活化能，並探討之
- 六、研究製造氮氣的實驗納入未來設計新的高中實驗課程

## 參、研究設備與器材

### 1、實驗器材

鐵架、滴定管、鐵夾、溫度計、攪拌子、電磁攪拌器、燒杯、容量瓶、深皿、橡皮管、塞子、廣用試紙、電子天秤、秤量紙、刮勺、硬試管、玻璃棒、黑膠帶

### 二、實驗藥品

氯化銨( $\text{NH}_4\text{Cl}$ )、亞硝酸鈉( $\text{NaNO}_2$ )、溴化銨( $\text{NH}_4\text{Br}$ )、亞硝酸鉀( $\text{KNO}_2$ )

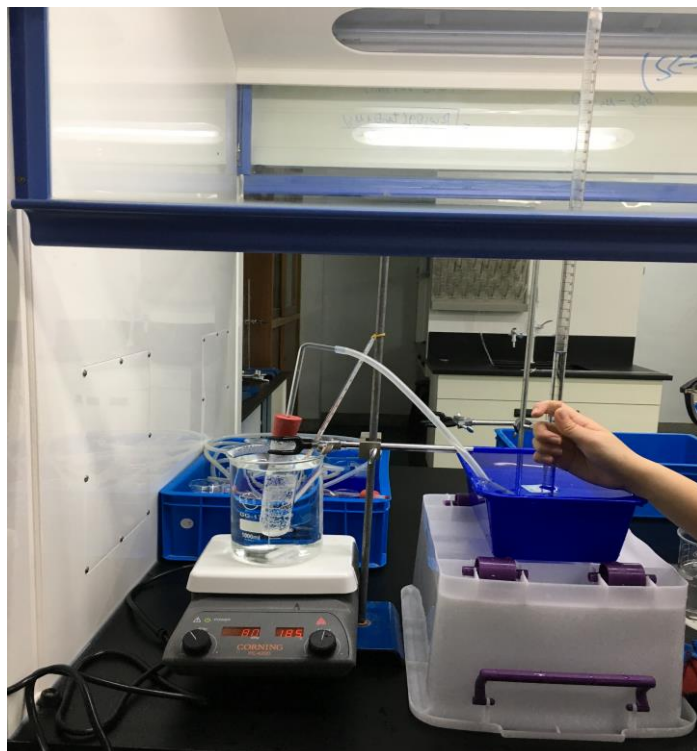
## 肆、研究過程與方法

一、秤取 2.675 克  $\text{NH}_4\text{Cl}$  及 3.45 克  $\text{NaNO}_2$ ，配置成 2M、25mL 溶液(其餘同上)

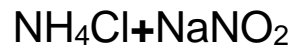
二、將配置好之水溶液與硬試管放置在磁石攪拌器上隔水預熱至實驗所需溫度( $60^\circ\text{C}$ 、 $70^\circ\text{C}$ 、 $80^\circ\text{C}$ )

三、再將水溶液分別倒入先前預熱之硬試管中混合開始反應，立刻蓋上橡皮塞，等候氣體產生

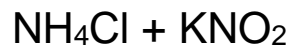
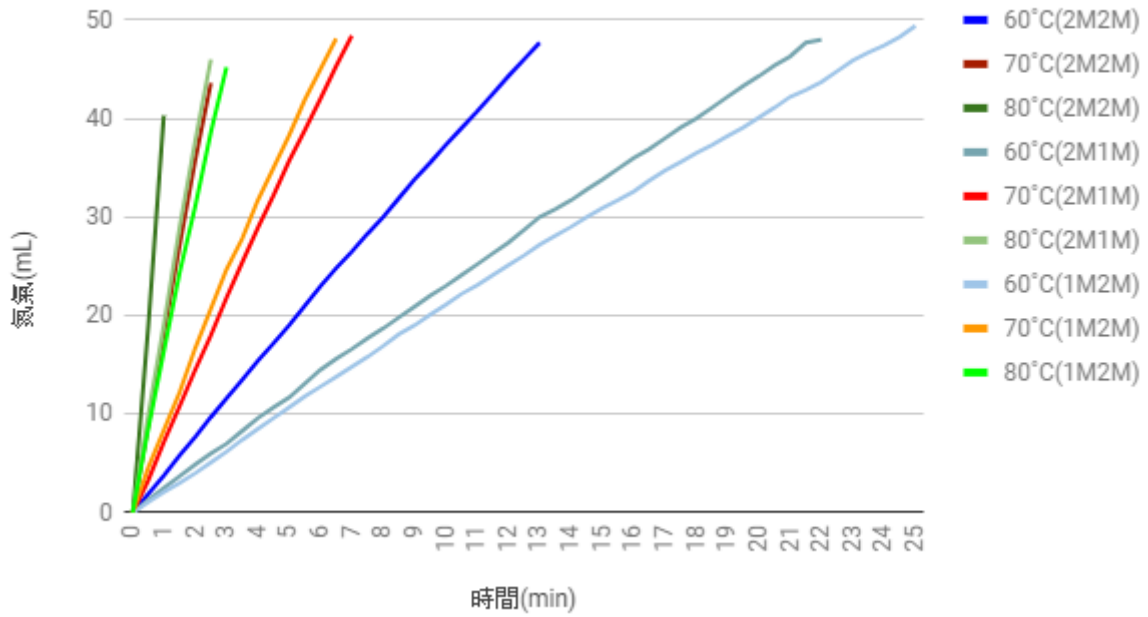
四、使用滴定管收集產生之氣體，記錄氣體產生 50 毫升時所需時間，並觀察濃度與速率間的關係



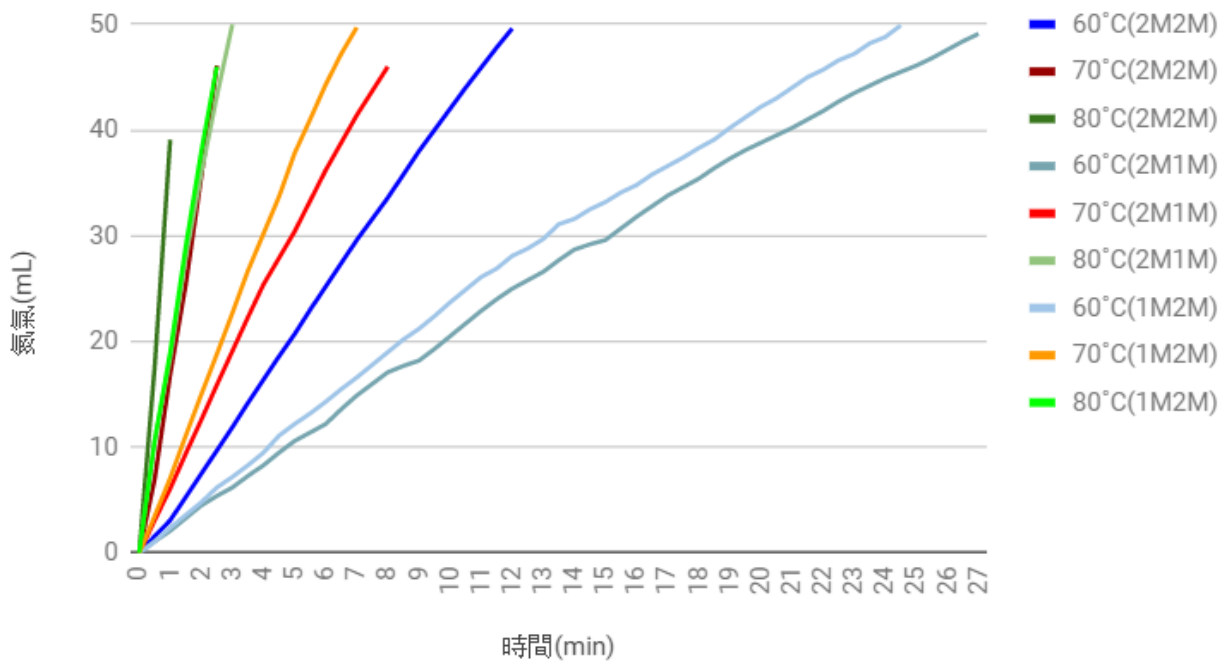
## 伍、研究結果



氮氣生成速率

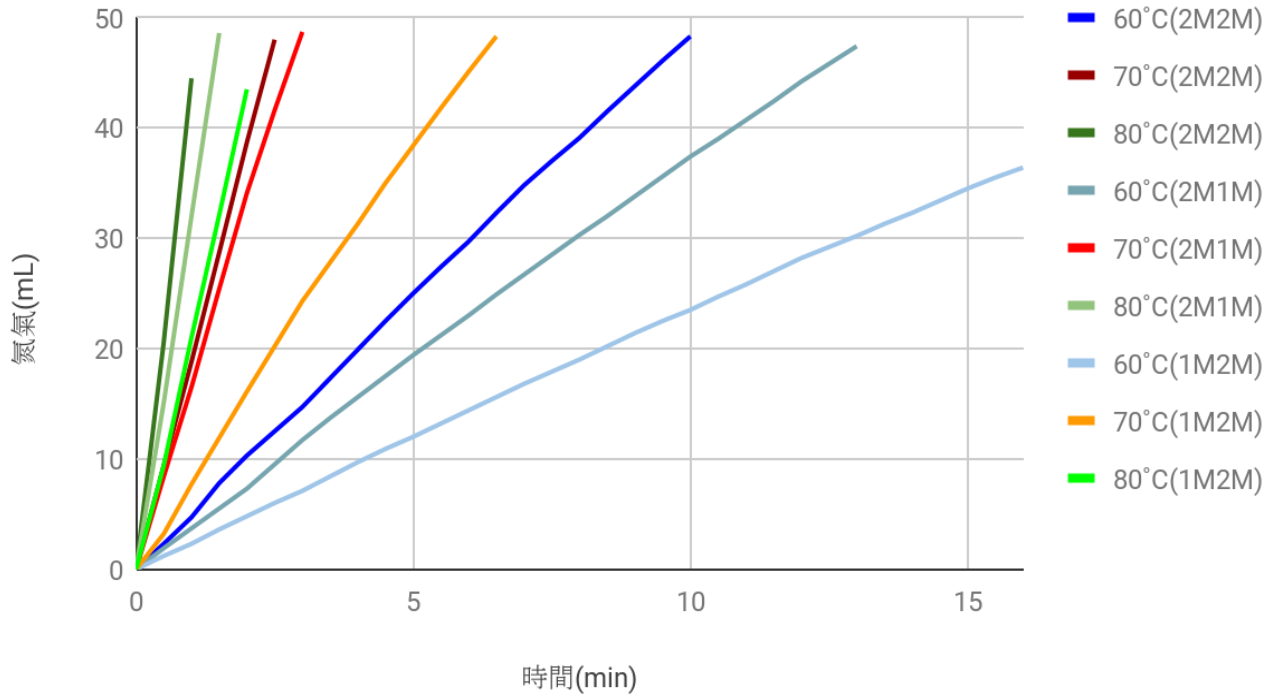


氮氣生成速率



## NH<sub>4</sub>Br + NaNO<sub>2</sub>

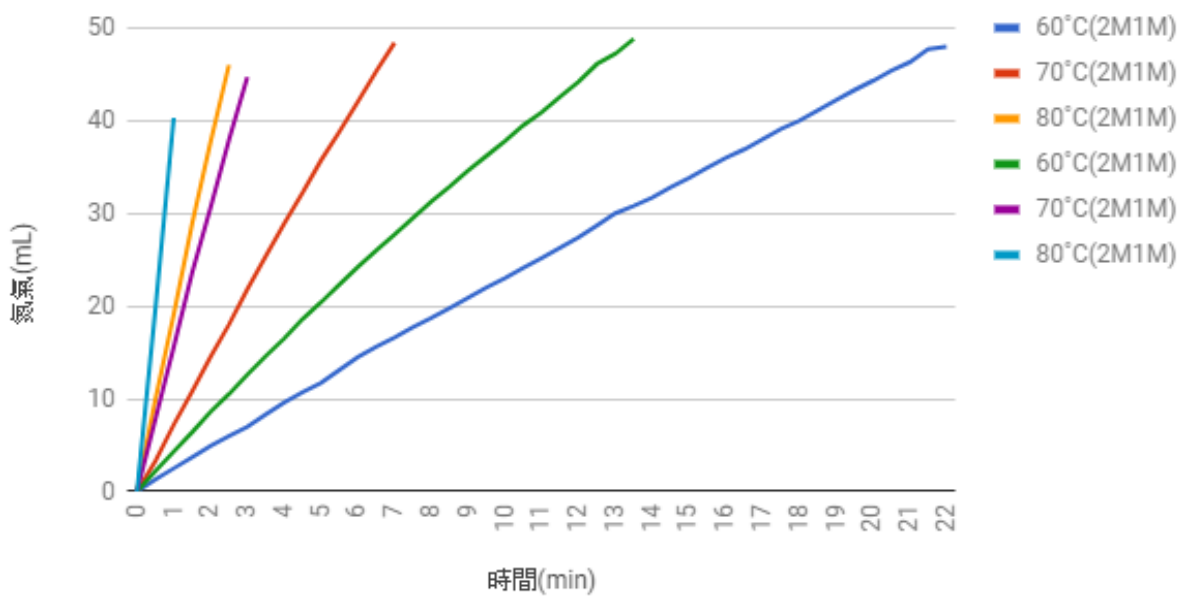
氮氣的生成速率



## NH<sub>4</sub>Br + KNO<sub>2</sub>

氮氣生成速率

NH<sub>4</sub>Cl 2M NaNO<sub>2</sub> 1M/NH<sub>4</sub>Cl 2M KNO<sub>2</sub> 1M 疊圖

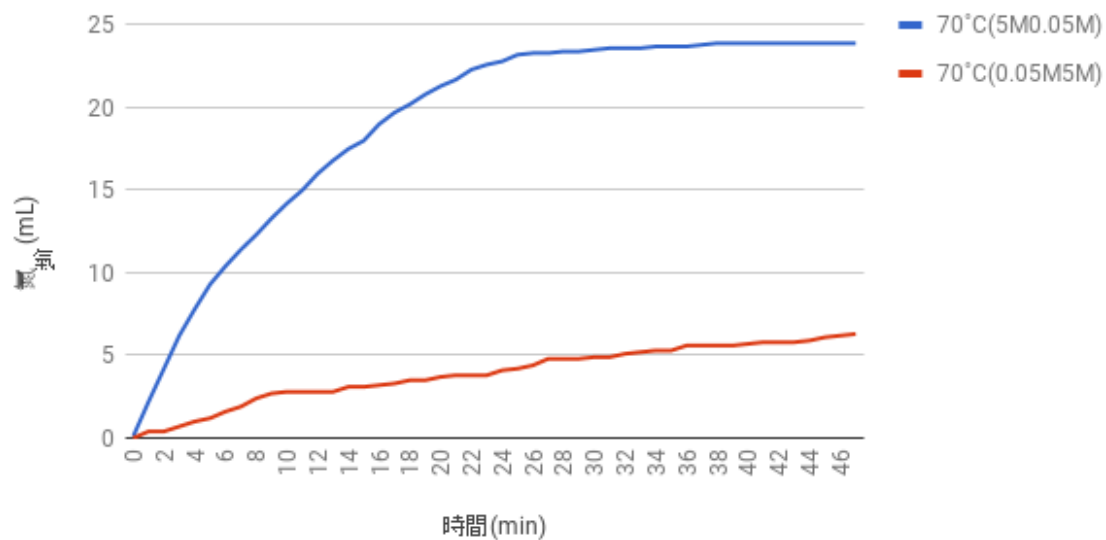


反應物濃度 100 : 1 (NH<sub>4</sub>Cl : 5M NaNO<sub>2</sub> : 0.05M)(70°C)

反應物濃度 1 : 100 (NH<sub>4</sub>Cl : 0.05M NaNO<sub>2</sub> : 5M)(70°C)

### 氮氣生成速率

NH<sub>4</sub>Cl 5M NaNO<sub>2</sub> 0.05M / NH<sub>4</sub>Cl 0.05M NaNO<sub>2</sub> 5M 疊圖

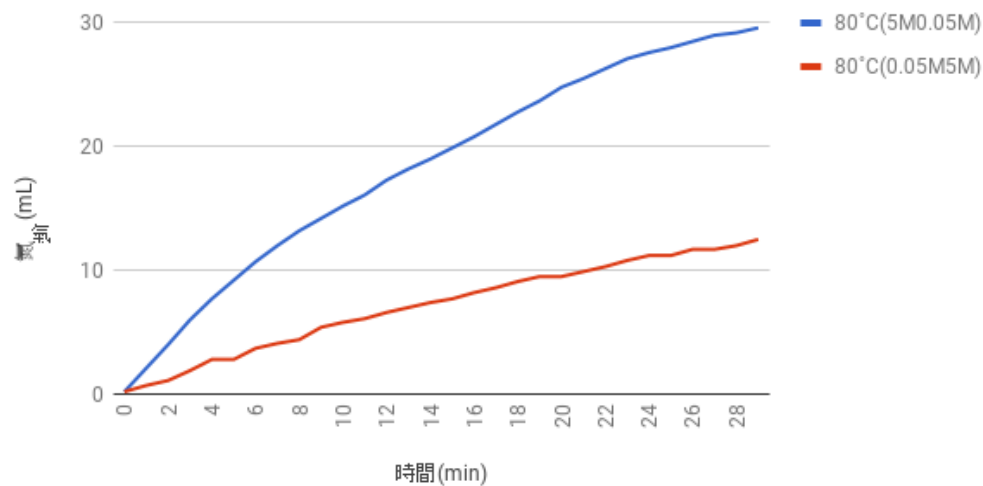


反應物濃度 100:1 (NH<sub>4</sub>Cl:5M NaNO<sub>2</sub>:0.05M)(80°C)

反應物濃度 1:100 (NH<sub>4</sub>Cl:0.05M NaNO<sub>2</sub>:5M)(80°C)

### 氮氣的生成速率

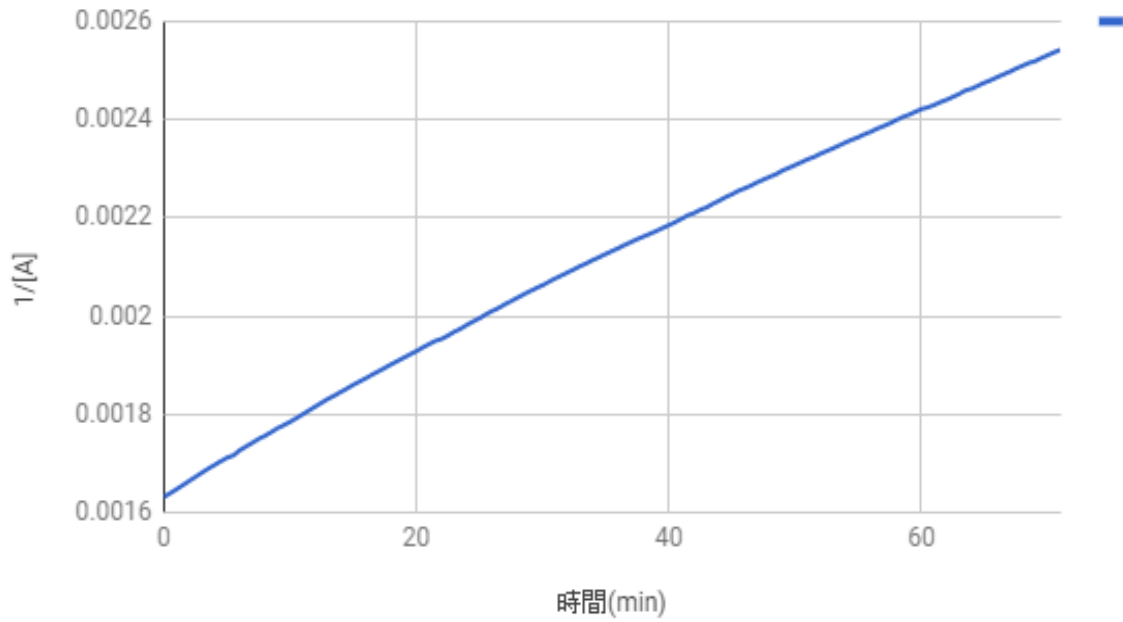
NH<sub>4</sub>Cl 5M NaNO<sub>2</sub> 0.05M / NH<sub>4</sub>Cl 0.05M NaNO<sub>2</sub> 5M 疊圖



## 二級反應

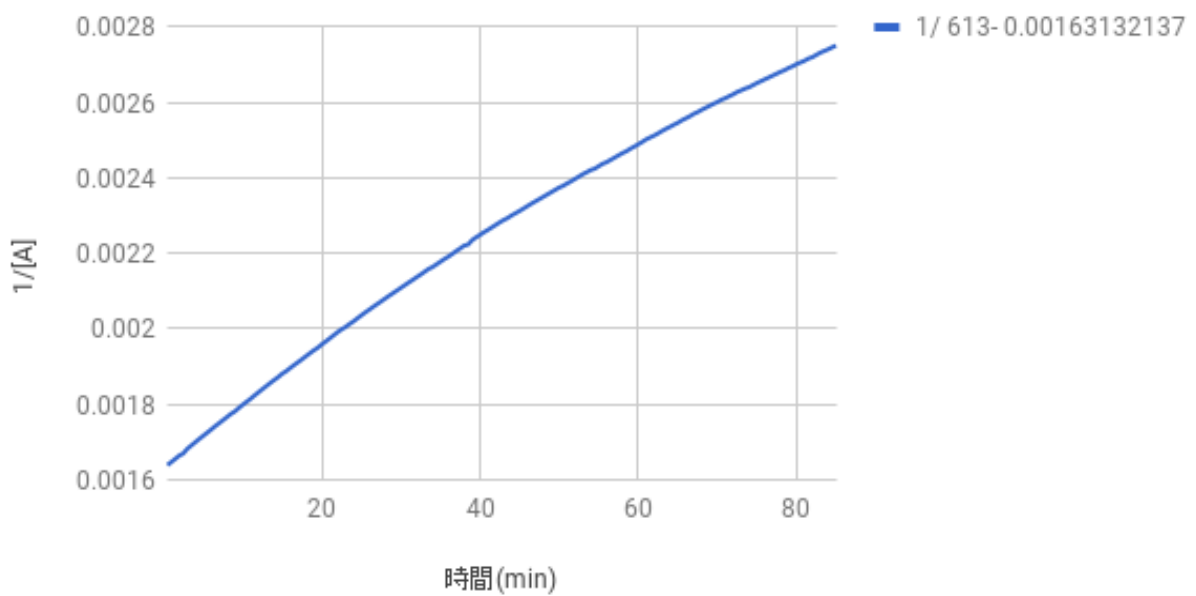
### 二級反應

70°C NH<sub>4</sub>Cl 1M +NaNO<sub>2</sub> 2M



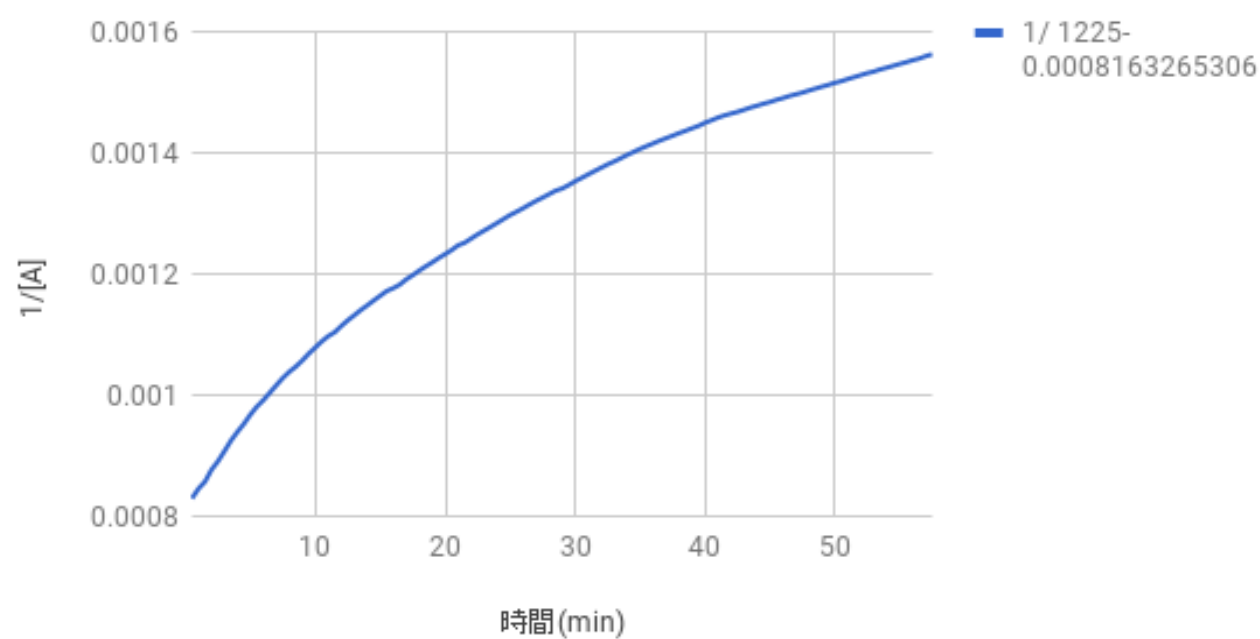
### 二級反應

70°C NH<sub>4</sub>Cl 2M +NaNO<sub>2</sub> 1M



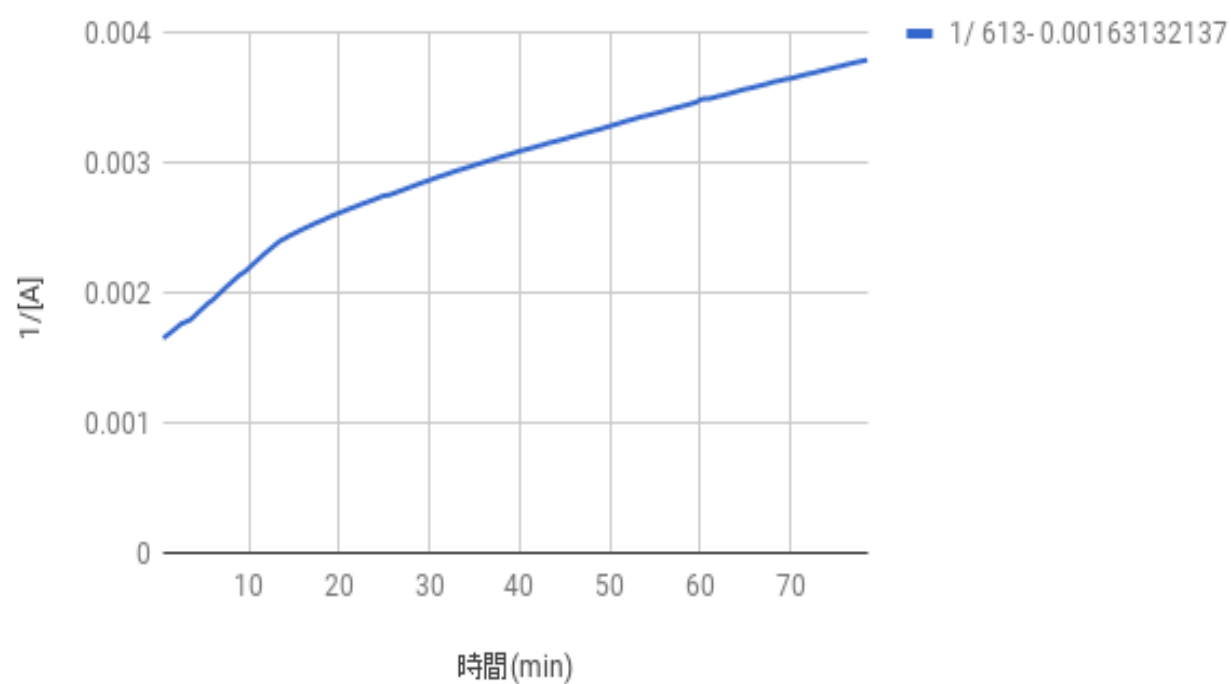
## 二級反應

80°C NH<sub>4</sub>Cl 2M + NaNO<sub>2</sub> 2M



## 二級反應

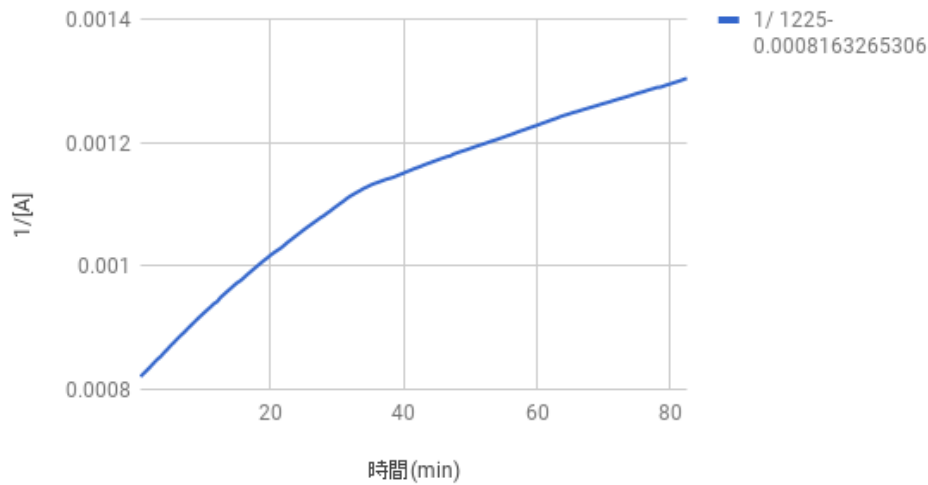
80°C NH<sub>4</sub>Cl 1M + NaNO<sub>2</sub> 2M





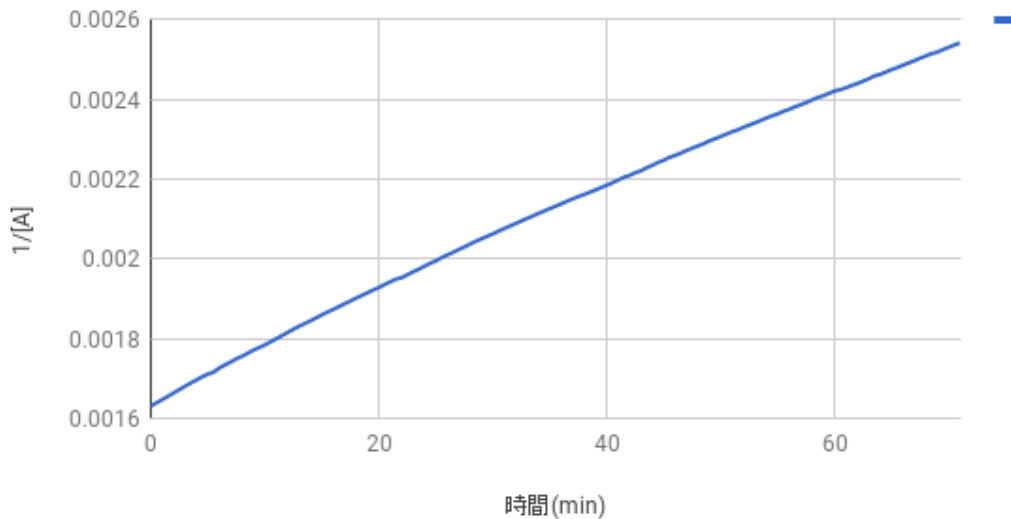
## 二級反應

70°C NH<sub>4</sub>Cl 2M + NaNO<sub>2</sub> 2M



## 二級反應

70°C NH<sub>4</sub>Cl 1M + NaNO<sub>2</sub> 2M



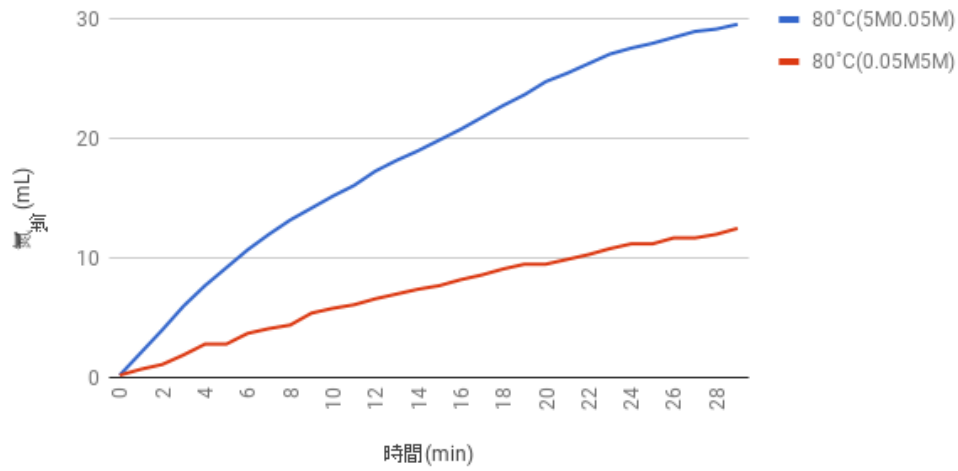
## 陸、討論

一、實際使用固體實驗，發現在安裝實驗器材時，確實較困難，且實驗過程中須以酒精燈來回加熱，增加實驗之危險性，此外，也須在過程中避免小水滴回流，以避免試管因突然的降溫爆裂。

二、實驗中，銨鹽的濃度為主要控制氣體產生量者，因比較同溫(80°C)下，反應物濃度 100:1 之實驗，即使最高可反應之濃度皆為 0.05M，在同時間時，銨鹽濃度為 5M 的實驗產生之氮氣體積為銨鹽濃度為 0.05 時多。(如下圖)

### 氮氣的生成速率

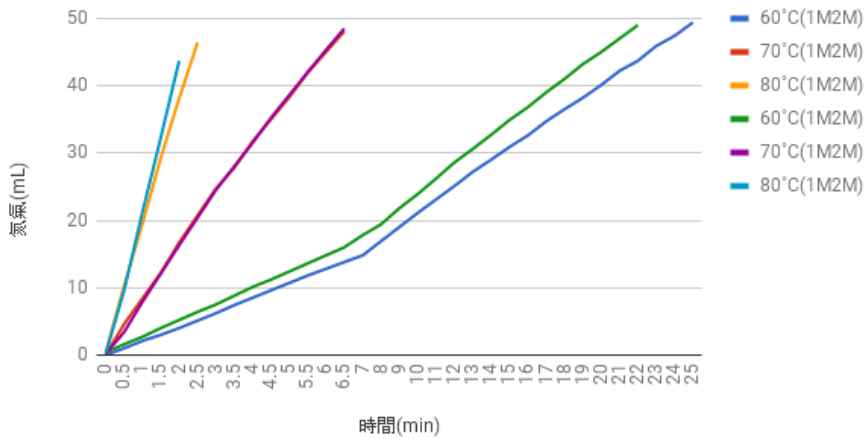
NH<sub>4</sub>Cl 5M NaNO<sub>2</sub> 0.05M / NH<sub>4</sub>Cl 0.05M NaNO<sub>2</sub> 5M 疊圖



三、在反應物濃度(銨鹽皆 2M，亞硝酸鈉 1M)及溫度相同的條件下，由實驗可發現不同銨鹽對於反應速率的影響不大。

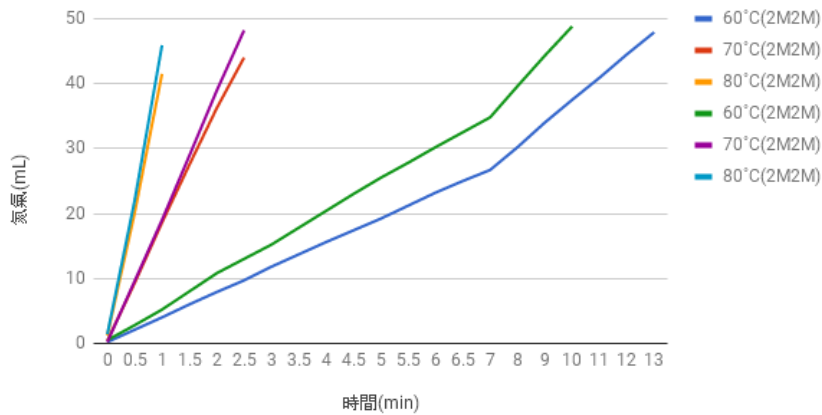
### 氮氣生成速率

NH<sub>4</sub>Cl 1M NaNO<sub>2</sub> 2M / NH<sub>4</sub>Br 1M NaNO<sub>2</sub> 2M 疊圖

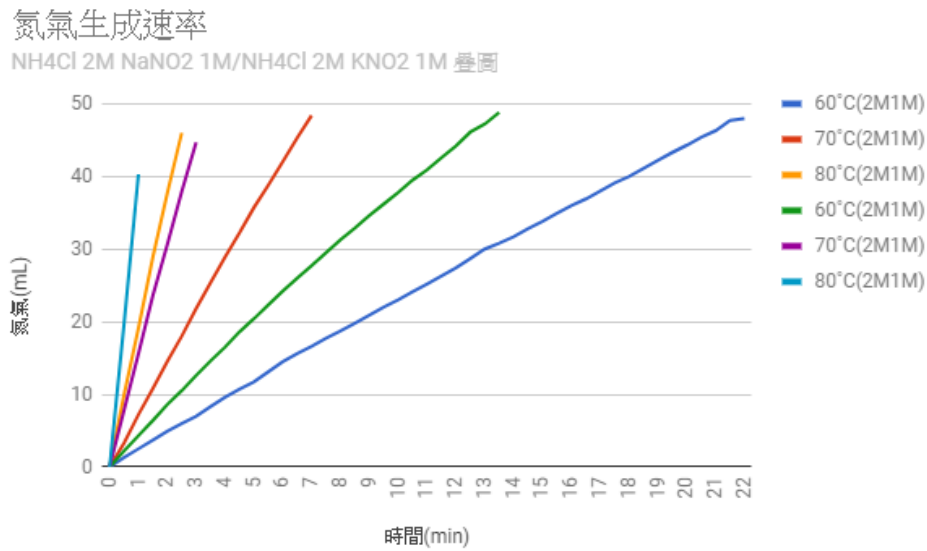


### 氮氣生成速率

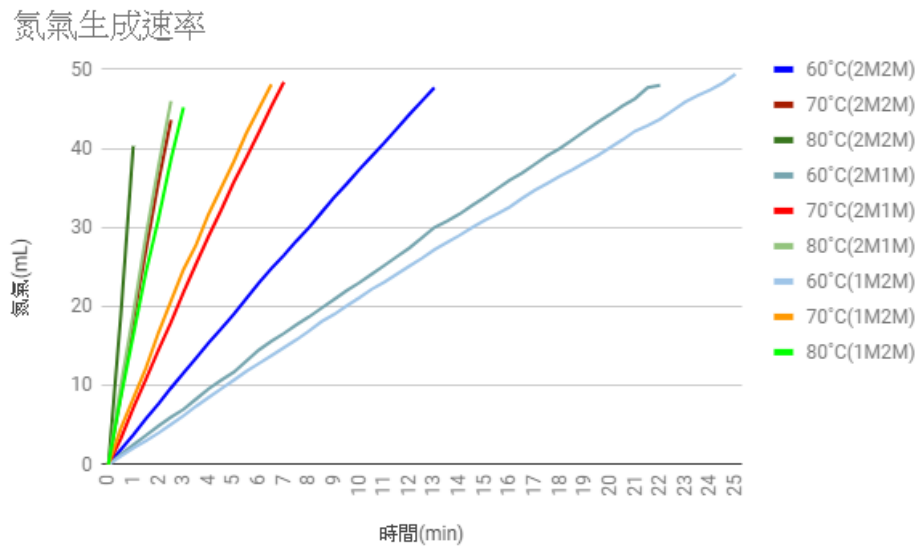
NH<sub>4</sub>Cl 2M NaNO<sub>2</sub> 2M / NH<sub>4</sub>Br 2M NaNO<sub>2</sub> 2M 疊圖



四、由相同銨鹽的反應疊圖中，我們發現使用不同種類的亞硝酸鹽，並不會對反應速率造成太顯著的影響。



五、NH<sub>4</sub>Cl+NaNO<sub>2</sub> 的反應圖中，將 60°C(2M2M)比較 60°C(2M1M)及 60°C(1M2M)的反應時間，可發現其速率相差一倍，因此推測出其為一級反應。



六、反應速率是由反應機構中最慢的反應式所決定，由於 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、NO<sub>2</sub><sup>-</sup>皆為一級反應，故我們推測其反應速率的主要因素為 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ↔ NO<sub>2</sub><sup>-</sup>相互碰撞所造成。

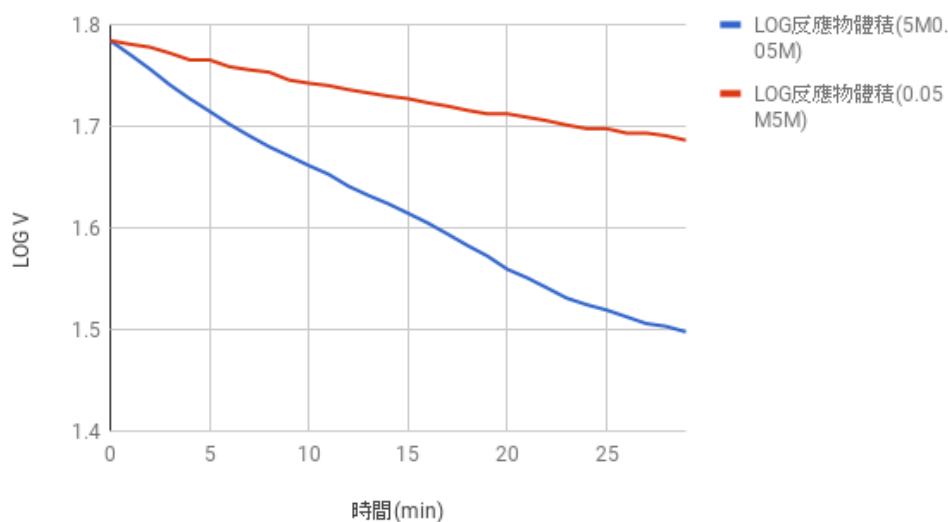
七、溫度可影響反應速率常數，溫度越高，反應速率常數愈大，反之，則愈小。

八、藉由實驗數據，我們觀察到溫度越高，活化能有些微下降的趨勢，由於活化能與低限能能量相等、意義不同，活化能為位能，而低限能為動能，雖位能並不會因溫度而改變，但動能可因溫度改變而震盪，因而造成活化能的變化。

九、由反應物濃度的倒數與時間做圖，可得一正斜率直線，故可得知此反應為二級反應。

十、由氯化銨或亞硝酸鈉其一的濃度為絕對多數時，濃度高者的濃度變化不大，故可視為零級反應，進而造成整個反應呈現偽一級反應。

反應物濃度100:1及1:100



## 柒、結論

一、溶液狀態下的反應物降低使用固體實驗時的危險性

二、由兩反應物之級數皆為 **1**，並由其中一反應物濃度為絕對多數的實驗中，可知反應各自為一級，可證明總反應為二級。

二級反應(second order reaction)： $R=k[\text{NH}_4\text{Cl}]^1[\text{NaNO}_2]^1$

三、由實驗證明，反應速率常數受溫度影響，因而影響反應進行的快慢。

四、低限能可能因溫度變動而發生震盪，雖低限能與活化能之能量相同，但活化能本身不隨溫度變化

五、由討論中改變濃度及溫度變因的各疊圖中，我們由其數據發現溫度、濃度皆能造成反應結果顯著的影響。

六、反應機構中，我們推測 $[\text{NH}_4^+] \leftrightarrow [\text{NO}_2^-]$ 在反應中的碰撞速率，為決定實驗反應步驟的主要因素。

## 捌、未來展望

在固體實驗安全性的考量下，盼能將製造氮氣的實驗納入未來設計新的高中實驗課程。

## 玖、參考資料及其他

反應級數－維基百科 [https://zh.m.wikipedia.org/zh-](https://zh.m.wikipedia.org/zh-tw/%E5%8F%8D%E5%BA%94%E7%BA%A7)

[tw/%E5%8F%8D%E5%BA%94%E7%BA%A7](https://zh.m.wikipedia.org/zh-tw/%E5%8F%8D%E5%BA%94%E7%BA%A7)

實驗一氮氣的製備與反應 <https://www.youtube.com/watch?v=D89VOyDLPy0&t=146s>

臺灣科學教育館 <https://twsf.ntsec.gov.tw/Article.aspx?a=41&lang=1>

反應級數 <http://natural.cms.hk.edu.tw/senior/chem/h2text/7-1>

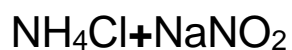
活化能 <http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=40809>

化學反應速率 [http://www.mingdao.edu.tw/physics/pdf/matter\\_06.pdf](http://www.mingdao.edu.tw/physics/pdf/matter_06.pdf)

二級反應 [http://www.wikiwand.com/zh-](http://www.wikiwand.com/zh-tw/%E4%BA%8C%E7%B4%9A%E5%8F%8D%E6%87%89#/%E7%AC%AC%E4%B8%80%E7%A7%8D%E6%83%85%E5%86%B5)

[tw/%E4%BA%8C%E7%B4%9A%E5%8F%8D%E6%87%89#/%E7%AC%AC%E4%B8%80%E7%A7%8D%E6%83%85%E5%86%B5](http://www.wikiwand.com/zh-tw/%E4%BA%8C%E7%B4%9A%E5%8F%8D%E6%87%89#/%E7%AC%AC%E4%B8%80%E7%A7%8D%E6%83%85%E5%86%B5)

## 拾、附錄



60°C(2M2M)	時間(min)	0	0.5	1	1.5
	體積(mL)	0.2		4	
	時間(min)	2	2.5	3	3.5
	體積(mL)	7.9		11.8	
	時間(min)	4	4.5	5	5.5
	體積(mL)	15.6		19.2	
	時間(min)	6	6.5	7	8
	體積(mL)	23.2		26.7	30.2
	時間(min)	9	10	11	12
	體積(mL)	34	37.5	40.9	44.5
	時間(min)	13	13:49		6
	體積(mL)	47.9	50		

70°C(2M2M)	時間(min)	0	0.5	1	1.5
	體積(mL)	0.4	9.3	18.6	27.5
	時間(min)	2	2.5	2:53	
	體積(mL)	36.2	44	50	

80°C(2M2M)	時間(min)	0	0.5	1	1:13
	體積(mL)	1.2	20.1	41.5	50

60°C(2M1M)	時間(min)	0	0.5	1	1.5
	體積(mL)	0.2		2.7	
	時間(min)	2	2.5	3	3.5
	體積(mL)	5.1		7.2	
	時間(min)	4	4.5	5	5.5
	體積(mL)	9.8		11.9	
	時間(min)	6	6.5	7	8
	體積(mL)	14.7		16.8	18.9
	時間(min)	9	10	11	12
	體積(mL)	21.1	23.2	25.4	27.6

	時間(min)	13	14	15	16
	體積(mL)	30.2	31.9	34	36.2
	時間(min)	17	18	19	20
	體積(mL)	38.2	40.2	42.4	44.5
	時間(min)	21	22	22:39.17	
	體積(mL)	46.5	48.2	50	

70°C(2M1M)	時間(min)	0	0.5	1	1.5
	體積(mL)	0	4.6	8.4	12.2
	時間(min)	2	2.5	3	3.5
	體積(mL)	16.7	20.7	24.7	27.8
	時間(min)	4	4.5	5	5.5
	體積(mL)	31.7	35	38.3	41.9
	時間(min)	6	6.5	6:45.92	
	體積(mL)	45	48.1	50	

80°C(2M1M)	時間(min)	0	0.5	1	1.5
	體積(mL)	0.4	10.3	19.5	29.3
	時間(min)	2	2.5	2:43.87	
	體積(mL)	38.1	46.4	50	

60°C(1M2M)	時間(min)	0	0.5	1	1.5
	體積(mL)	0		2.1	
	時間(min)	2	2.5	3	3.5
	體積(mL)	4		6.2	
	時間(min)	4	4.5	5	5.5
	體積(mL)	8.5		10.7	
	時間(min)	6	6.5	7	8
	體積(mL)	12.8		14.8	16.9
	時間(min)	9	10	11	12
	體積(mL)	19	21.1	23.1	25.1
	時間(min)	13	14	15	16
	體積(mL)	27.2	29	30.9	32.6
	時間(min)	17	18	19	20
	體積(mL)	34.7	36.5	38.2	40.1
	時間(min)	21	22	23	24
	體積(mL)	42.2	43.7	45.9	47.4

	時間(min)	25	25:35.22		
	體積(mL)	49.4	50		

70°C(1M2M)	時間(min)	0	0.5	1	1.5
	體積(mL)	0	3.3	7.2	10.8
	時間(min)	2	2.5	3	3.5
	體積(mL)	14.5	18	21.8	25.4
	時間(min)	4	4.5	5	5.5
	體積(mL)	28.9	32.2	35.7	38.8
	時間(min)	6	6.5	7	7:45.84
	體積(mL)	42	45.3	48.4	50

80°C(1M2M)	時間(min)	0	0.5	1	1.5
	體積(mL)	0	8.5	16.4	24.3
	時間(min)	2	2.5	3	3:22.95
	體積(mL)	31.1	38.6	45.2	50

## NH<sub>4</sub>Cl + KNO<sub>2</sub>

60°C(2M2M)	時間(min)	0	0.5	1	1.5
	體積(mL)	0.2		3.3	
	時間(min)	2	2.5	3	4
	體積(mL)	7.7		12.1	16.6
	時間(min)	5	6	7	8
	體積(mL)	20.9	25.4	29.8	33.8
	時間(min)	9	10	11	12
	體積(mL)	38.2	42.2	46.1	49.8
	時間(min)	12:05			
	體積(mL)	50			

70°C(2M2M)	時間(min)	0	0.5	1	1.5
	體積(mL)	0.2	7.2	17.1	25.6
	時間(min)	2	2.5	2:42	
	體積(mL)	35.8	46.3	50	



80°C(2M2M)	時間(min)	0	0.5	1	1:14.29
	體積(mL)	0.3	17.9	39.4	50

60°C(2M1M)	時間(min)	0	0.5	1	1.5
	體積(mL)	0.4		2.5	
	時間(min)	2	2.5	3	4
	體積(mL)	4.9		6.6	8.7
	時間(min)	5	6	7	8
	體積(mL)	11	12.6	15.3	17.5
	時間(min)	9	10	11	12
	體積(mL)	18.6	19.6	23.3	25.4
	時間(min)	13	14	15	16
	體積(mL)	27	29.1	30	32.2
	時間(min)	17	18	19	20
	體積(mL)	34.2	35.8	37.7	39.2
	時間(min)	21	22	23	24
	體積(mL)	40.6	42.2	43.9	45.3
	時間(min)	25	26	27	27:31.09
	體積(mL)	46.5	48	49.5	50

70°C(2M1M)	時間(min)	0	0.5	1	1.5
	體積(ML)	0.5		6.6	
	時間(min)	2	2.5	3	4
	體積(ML)	13.1		19.6	25.9
	時間(min)	5	6	7	8
	體積(mL)	30.9	36.7	41.9	46.5
	時間(min)	8:48			
	體積(mL)	50			

80°C(2M1M)	時間(min)	0	0.5	1	1.5
	體積(mL)	0	10.7	18.4	27.9
	時間(min)	2	2.5	3	
	體積(mL)	35.9	43.2	50	

60°C(1M2M)	時間(min)	0	0.5	1	1.5
	體積(mL)	0		1.6	
	時間(min)	2	2.5	3	4

	體積(mL)	4.4		7.8	10.9
	時間(min)	5	6	7	8
	體積(mL)	14.2	17.6	20.7	24.1
	時間(min)	9	10	11	12
	體積(mL)	27.2	30.6	34.3	37.7
	時間(min)	13	14	15	15:33.89
	體積(mL)	41.4	44.3	47.7	50

70°C(1M2M)	時間(min)	0	0.5	1	1.5
	體積(mL)	0		4.2	
	時間(min)	2	2.5	3	4
	體積(mL)	9.3		13.6	18.1
	時間(min)	5	6	7	8
	體積(mL)	22.5	26.5	30.2	34.2
	時間(min)	9	10	11	12
	體積(mL)	37.4	40.9	44.3	47.2
	時間(min)	12:51.81			
	體積(mL)	50			

80°C(1M2M)	時間(min)	0	0.5	1	1.5	1:30.01
	體積(mL)	0.4	16.6	33.6	49.4	50

## NH<sub>4</sub>Br NaNO<sub>2</sub>

60°C(2M2M)	時間(min)	0	0.5	1	1.5
	體積(mL)	0.5		5.2	
	時間(min)	2	2.5	3	3.5
	體積(mL)	10.8		15.2	
	時間(min)	4	4.5	5	5.5
	體積(mL)	20.4		25.5	
	時間(min)	6	6.5	7	8
	體積(mL)	30.2		34.8	39.6
	時間(min)	9	10	10:15.99	
	體積(mL)	44.3	48.8	50	

70°C(2M2M)	時間(min)	0	0.5	1	1.5
	體積(mL)	0.2	9.6	19	28.9

	時間(min)	2	2.5	2:35	
	體積(mL)	38.9	48.2	50	

80°C(2M2M)	時間(min)	0	0.5	1	1:05.64
	體積(mL)	1.4	22	45.9	50

60°C(2M1M)	時間(min)	0	0.5	1	1.5
	體積(mL)	0		3.7	
	時間(min)	2	2.5	3	3.5
	體積(mL)	7.3		11.7	
	時間(min)	4	4.5	5	5.5
	體積(mL)	15.6		19.4	
	時間(min)	6	3.5	7	8
	體積(mL)	23		26.7	30.3
	時間(min)	9	10	11	12
	體積(mL)	33.8	37.4	40.7	44.2
	時間(min)	13	13:43.83		
	體積(mL)	47.4	50		

70°C(2M1M)	時間(min)	0	0.5	1	1.5
	體積(mL)	0.1	8.5	16.6	25.5
	時間(min)	2	2.5	3	3:05.33
	體積(mL)	34.2	41.7	48.8	50

80°C(2M1M)	時間(min)	0	0.5	1	1.5	1:33
	體積(mL)	0.2	15.3	32.2	48.8	50

60°C(1M2M)	時間(min)	0	0.5	1	1.5
	體積(mL)	0.4		2.7	
	時間(min)	2	2.5	3	3.5
	體積(mL)	5.2		7.5	
	時間(min)	4	4.5	5	5.5
	體積(mL)	10.1		12.4	
	時間(min)	6	6.5	7	8
	體積(mL)	14.8		17.2	19.4
	時間(min)	9	10	11	12
	體積(mL)	21.8	23.9	26.2	28.6
	時間(min)	13	14	15	16

	體積(mL)	30.6	32.7	34.9	36.8
	時間(min)	17	18	19	20
	體積(mL)	39	41	43.2	45
	時間(min)	21	22	22:36.74	
	體積(mL)	47	49	50	

70°C(1M2M)	時間(min)	0	0.5	1	1.5
	體積(mL)	0.2	3.4	7.9	12.1
	時間(min)	2	2.5	3	3.5
	體積(mL)	16.3	20.4	24.5	28
	時間(min)	4	4.5	5	5.5
	體積(mL)	31.5	35.2	38.6	42
	時間(min)	6	6.5	6:43.47	
	體積(mL)	45.3	48.5	50	

80°C(1M2M)	時間(min)	0	0.5	1	1.5
	體積(mL)	0.2	9.6	21.2	32.3
	時間(min)	2	2:19.45		
	體積(mL)	43.7	50		

## NH<sub>4</sub>Br + KNO<sub>2</sub>

60°C(2M2M)	時間(min)	0	0.5	1	1.5
	體積(mL)	0	4	7.9	12.6
	時間(min)	2	2.5	3	3.5
	體積(mL)	16.5	21.1	25.7	29.7
	時間(min)	4	4.5	5	5.5
	體積(mL)	33.4	37.4	41.4	45.4
	時間(min)	6	6:10.13		
	體積(mL)	48.7	50		

70°C(2M2M)	時間(min)	0	0.5	1	1.5	1:57.69
	體積(mL)	0.2	12.1	25.2	38.4	50

80°C(2M2M)	時間(min)	0	0.5	40.53(s)
	體積(mL)	0.5	38.5	50

60°C(2M1M)	時間(min)	0	0.5	1	1.5
	體積(mL)	0.1		6.4	
	時間(min)	2	2.5	3	3.5
	體積(mL)	13.1		19	
	時間(min)	4	4.5	5	5.5
	體積(mL)	24.5		31.1	
	時間(min)	6	7	8	8:30.14
	體積(mL)	36.7	41.9	46.8	50

70°C(2M1M)	時間(min)	0	0.5	1	1.5
	體積(mL)	0.3		15.9	23.9
	時間(min)	2	2.5	3	3:26.10
	體積(mL)	30.9	38.2	45	50

80°C(2M1M)	時間(min)	0	0.5	1	1:10.28
	體積(mL)	1.4	20.8	41.7	

60°C(1M2M)	時間(min)	0	0.5	1	1.5
	體積(mL)	0		3	
	時間(min)	2	2.5	3	3.5
	體積(mL)	6.1		9.6	
	時間(min)	4	4.5	5	5.5
	體積(mL)	12.8		16.1	
	時間(min)	6	7	8	9
	體積(mL)	19.5	22.5	25.9	28.9
	時間(min)	10	11	12	13
	體積(mL)	32.2	35.3	38	40.6
	時間(min)	14	15	16	17
	體積(mL)	42.5	45.3	47.5	49.6
	時間(min)	17:12.28			
	體積(mL)	50			

70°C(1M2M)	時間(min)	0	0.5	1	1.5
	體積(mL)	0.2	4.7	9.9	14.9
	時間(min)	2	2.5	3	3.5
	體積(mL)	20.2	25.5	30.6	35.7
	時間(min)	4	4.5	5	5:03
	體積(mL)	40.2	45.2	49.8	50

80°C(1M2M)	時間(min)	0	0.5	1	1.5	1:59
	體積(mL)	0	13	26.5	38.7	50

**反應物濃度 100:1**  
(NH<sub>4</sub>Cl:5M NaNO<sub>2</sub>:0.05M)(70°C)

70°C(5M0.05M)	時間(min)	0	1	2	3	4	5
	體積(mL)	0.1	2.2	4.2	6.2	7.8	9.3
	時間(min)	6	7	8	9	10	11
	體積(mL)	10.4	11.4	12.3	13.3	14.2	15
	時間(min)	12	13	14	15	16	17
	體積(mL)	16	16.8	17.5	18	19	19.7
	時間(min)	18	19	20	21	22	23
	體積(mL)	20.2	20.8	21.3	21.7	22.3	22.6
	時間(min)	24	25	26	27	28	29
	體積(mL)	22.8	23.2	23.3	23.3	23.4	23.4
	時間(min)	30	31	32	33	34	35
	體積(mL)	23.5	23.6	23.6	23.6	23.7	23.7
	時間(min)	36	37	38	39	40	41
	體積(mL)	23.7	23.8	23.9	23.9	23.9	23.9
	時間(min)	42	43	44	45	46	47
	體積(mL)	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9

**反應物濃度 1:100**  
(NH<sub>4</sub>Cl:0.05M NaNO<sub>2</sub>:5M)(70°C)

70°C(0.05M 5M)	時間(min)	0	1	2	3	4	5
	體積(mL)	0	0.4	0.4	0.7	1	1.2
	時間(min)	6	7	8	9	10	11
	體積(mL)	1.6	1.9	2.4	2.7	2.8	2.8
	時間(min)	12	13	14	15	16	17
	體積(mL)	2.8	2.8	3.1	3.1	3.2	3.3
	時間(min)	18	19	20	21	22	23
	體積(mL)	3.5	3.5	3.7	3.8	3.8	3.8
	時間(min)	24	25	26	27	28	29

	體積(mL)	4.1	4.2	4.4	4.8	4.8	4.8
	時間(min)	30	31	32	33	34	35
	體積(mL)	4.9	4.9	5.1	5.2	5.3	5.3
	時間(min)	36	37	38	39	40	41
	體積(mL)	5.6	5.6	5.6	5.6	5.7	5.8
	時間(min)	42	43	44	45	46	47
	體積(mL)	5.8	5.8	5.9	6.1	6.2	6.3

**反應物濃度 100:1**  
(NH<sub>4</sub>Cl:5M NaNO<sub>2</sub>:0.05M)(80°C)

80°C(5M0.05M)	時間(min)	0	1	2	3	4	5
	體積(mL)	0.2	2.1	4	6	7.7	9.2
	時間(min)	6	7	8	9	10	11
	體積(mL)	10.7	12	13.2	14.2	15.2	16.1
	時間(min)	12	13	14	15	16	17
	體積(mL)	17.3	18.2	19	19.9	20.8	21.8
	時間(min)	18	19	20	21	22	23
	體積(mL)	22.8	23.7	24.8	25.5	26.3	27.1
	時間(min)	24	25	26	27	28	29
	體積(mL)	27.6	28	28.5	29	29.2	29.6

**反應物濃度 1:100**  
(NH<sub>4</sub>Cl:0.05M NaNO<sub>2</sub>:5M)(80°C)

80°C(0.05M5M)	時間(min)	0	1	2	3	4	5
	體積(mL)	0.2	0.7	1.1	1.9	2.8	2.8
	時間(min)	6	7	8	9	10	11
	體積(mL)	3.7	4.1	4.4	5.4	5.8	6.1
	時間(min)	12	13	14	15	16	17
	體積(mL)	6.6	7	7.4	7.7	8.2	8.6
	時間(min)	18	19	20	21	22	23
	體積(mL)	9.1	9.5	9.5	9.9	10.3	10.8

	時間(min)	24	25	26	27	28	29
	體積(mL)	11.2	11.2	11.7	11.7	12	12.5

**反應物濃度 100:1**  
(NH<sub>4</sub>Cl:5M NaNO<sub>2</sub>:0.05M)(80°C)

80°C(5M0.05M)	時間(min)	0	1	2	3	4	5
	體積(mL)	0.2	2.1	4	6	7.7	9.2
	時間(min)	6	7	8	9	10	11
	體積(mL)	10.7	12	13.2	14.2	15.2	16.1
	時間(min)	12	13	14	15	16	17
	體積(mL)	17.3	18.2	19	19.9	20.8	21.8
	時間(min)	18	19	20	21	22	23
	體積(mL)	22.8	23.7	24.8	25.5	26.3	27.1
	時間(min)	24	25	26	27	28	29
	體積(mL)	27.6	28	28.5	29	29.2	29.6

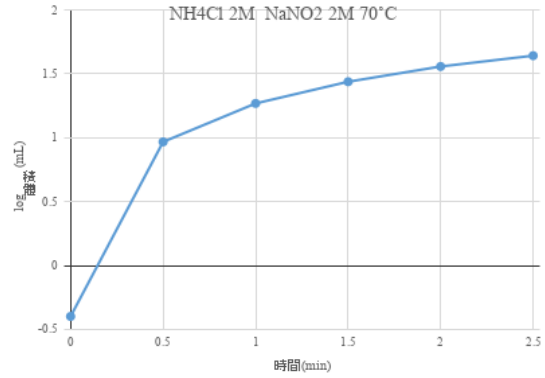
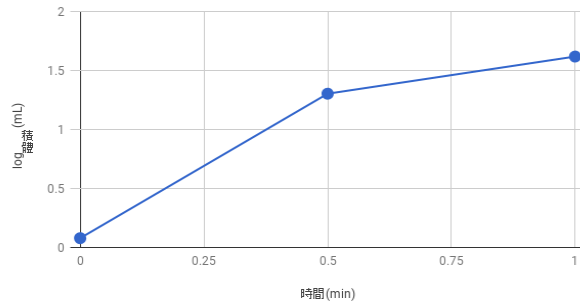
**反應物濃度 1:100**  
(NH<sub>4</sub>Cl:0.05M NaNO<sub>2</sub>:5M)(80°C)

80°C(0.05M5M)	時間(min)	0	1	2	3	4	5
	體積(mL)	0.2	0.7	1.1	1.9	2.8	2.8
	時間(min)	6	7	8	9	10	11
	體積(mL)	3.7	4.1	4.4	5.4	5.8	6.1
	時間(min)	12	13	14	15	16	17
	體積(mL)	6.6	7	7.4	7.7	8.2	8.6
	時間(min)	18	19	20	21	22	23
	體積(mL)	9.1	9.5	9.5	9.9	10.3	10.8
	時間(min)	24	25	26	27	28	29
	體積(mL)	11.2	11.2	11.7	11.7	12	12.5

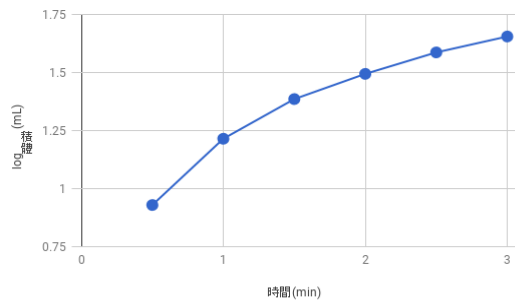


## LOG 體積(mL):時間(min)

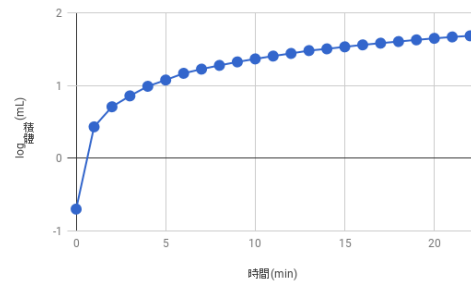
NH4Cl 2M NaNO2 2M 80°C



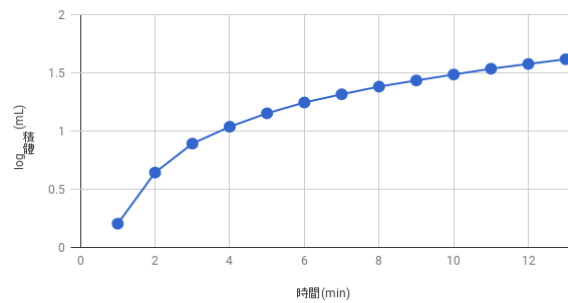
NH4Cl 1M NaNO2 2M 80°C



NH4Cl 2M NaNO2 1M 60°C



NH4Cl 2M KNO2 2M 60°C



NH4Cl+NaNO2						
2						
min	1	1.5	2	2.5	3	3.5
60°C(2M2M) k	3.82369	0	3.94949	0	3.97492	0
min	4	4.5	5	5.5	6	6.5
60°C(2M2M) k	3.89738	0	3.71433	0	4.15454	0
min	7	8	9	10	11	12
60°C(2M2M) k	3.65649	3.67794	4.01871	3.72329	3.63771	3.87521
min	13					
60°C(2M2M) k	3.68109					

min	1	1.5	2	2.5		
70°C(2M2M) k	18.75309538	19.03278911	18.67562067	17.7403502		
min	1					
80°C(2M2M) k	43.08840783					
	活化能(60-70)	149869.95	149KJ			
	活化能(60-80)	118318.26	118KJ			
	活化能(70-80)	84871.57	85KJ			
min	1	1.5	2	2.5		
60°C(2M1M) k	5.03	0	4.854147721	0	3	3.5
min	4	4.5	5	5.5	4.269446341	0
60°C(2M1M) k	5.3201146	0	4.319486	0	6	6.5
min	7	8	9	10	5.799642987	0
60°C(2M1M) k	4.372633933	4.39572398	4.630599715	4.443600355	11	12
min	13	14	15	16	4.68119162	4.707409753
60°C(2M1M) k	5.600271285	3.677656266	4.567496615	4.812128217	17	18
min	19	20	21	22	4.397274825	4.420070544
60°C(2M1M) k	4.889895498	4.693195879	4.493095783	3.836155367		
min	1	1.5	2	2.5		
70°C(2M1M) k	15.39226249	15.12049779	15.04459282	15.40007333	3	3.5
min	7	8	9	10	15.7538118	15.25021019
70°C(2M1M) k	14.7294609	14.86237153	14.54102446	13.99561135	11	12
					14.56448258	14.45714156
min	1	1.5	2			
80°C(2M1M) k	40.81042163	40.86300302	38.38587315			
	活化能(60-70)	111156.47	111KJ			
	活化能(60-80)	105471.70	105KJ			
	活化能(70-80)	99445.50	99KJ			
min	1	1.5	2	2.5		
60°C(1M2M) k	4.22	0	3.834359438	0	3	3.5
min	4	4.5	5	5.5	4.463924499	0

60°C(1M2M) k	4.693443509	0	4.513942265	0	6	6.5
min	7	8	9	10	4.331329281	0
60°C(1M2M) k	4.319486	0	5.799642987	0	11	12
min	13	14	15	16	4.372633933	4.39572398
60°C(1M2M) k	4.145707104	4.37592093	4.399038059	4.422345994	17	18
min	19	20	21	22	4.233069917	4.254550271
60°C(1M2M) k	4.491152438	3.86723582	4.101922783	3.686139167	23	24
min	25	26	27	28	4.578063858	3.942268363
60°C(1M2M) k	3.739614213	4.20015441	4.667627521	3.347048833	29	30
min	31				4.937243782	3.379529476
60°C(1M2M) k	4.529722648					
min	1	1.5	2	2.5	3	3.5
70°C(1M2M) k	17.13702809	15.65188533	17.28664387	17.88194209	17.00096252	15.20755867
min	4	4.5	5	5.5	6	6.5
70°C(1M2M) k	15.14329051	15.70832485	14.52225216	15.32454729	15.00087655	13.99434993
min	1	1.5	2	2.5	3	
80°C(1M2M) k	34.13109224	33.54290853	31.75215477	31.48927383	31.5854821	
	活化能(60-70)	125803.9056	126KJ			
	活化能(60-80)	100015.406	100KJ			
	活化能(70-80)	72678.04755	72KJ			

## 【評語】 050215

1. 可以從高中實驗中重新思考操作的問題和實作可能遇到的安全性，然後進一步進行改良和設計。十分值得鼓勵！
2. 除了改成水溶液反應較為新穎外，其他為測一個反應的反應級數、速率常數、活化能。建議能加入一些巧思和新的想法，增加其創意及應用性。



# 摘要

原理： $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{NaNO}_2 \rightarrow \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl}$

反應速率： $R = k[\text{NH}_4\text{Cl}]^m[\text{NaNO}_2]^n$

活化能： $E_a = (\ln A - \ln k)RT$        $k = Ae^{-\frac{E_a}{RT}}$

本實驗以 $\text{NH}_4\text{Cl}$ 及 $\text{NaNO}_2$ 的水溶液為主要反應物製造氮氣，測量出此反應之基本數據後，再以 $\text{NH}_4\text{Br}$ 或 $\text{KNO}_2$ 取代原反應物，探討不同離子、濃度、溫度.....對產生氮氣之反應速率的影響。

實驗中，我們發現溫度及濃度為影響反應速率的主要因素，藉由實驗數據亦可得知此反應  $R = k[\text{NH}_4\text{Cl}]^1[\text{NaNO}_2]^1$  為二級反應。再由計算出的反應速率常數，可算出反應活化能，並由此得知反應速率與溫度的關係。

均相反應中依碰撞學說所說，溫度愈高，超過低能之粒子數愈多(主因)，粒子運動速率快(次因)；反應物濃度愈高，總碰撞次數及有效碰撞的機會愈多，故速率愈快。

## 壹、研究動機

在化學實驗室製備氮氣的實驗過程中，我們使用固體 $\text{NH}_4\text{Cl}$ 及 $\text{NaNO}_2$ 作為反應物，除了不易混和均勻，反應產生之水也易導致試管爆炸的可能性增加，而且反應速率過快，較容易發生危險。

因此，我們查出先將固體反應物配置成水溶液的方法比較溫和，如此一來，不僅不用考慮反應產生的水所造成的危險性，也可算出反應物濃度與反應速率間的關係。而且在高二下基礎化學我們學到的化學反應速率課程，令我們想更深入討論濃度、溫度、反應級數、反應速率常數與活化能間的關係。

## 貳、研究目的

- 一、以水溶液態的反應物實驗，減少其危險性
- 二、改善固體反應物無法均勻混和的問題
- 三、探討溫度、濃度與反應速率間的關係
- 四、使用不同的銨鹽、亞硝酸鹽反應，觀察其差異性
- 五、計算速率常數及活化能，並探討之
- 六、研究以水溶液態製造氮氣的實驗納入未來設計新的高中實驗課程

## 參、研究設備與器材

### 一、實驗器材

鐵架、滴定管、鐵夾、溫度計、攪拌子、電磁攪拌器、燒杯、容量瓶、深皿、橡皮管、塞子、電子天秤、秤量紙、刮勺、硬試管、玻璃棒、黑膠帶

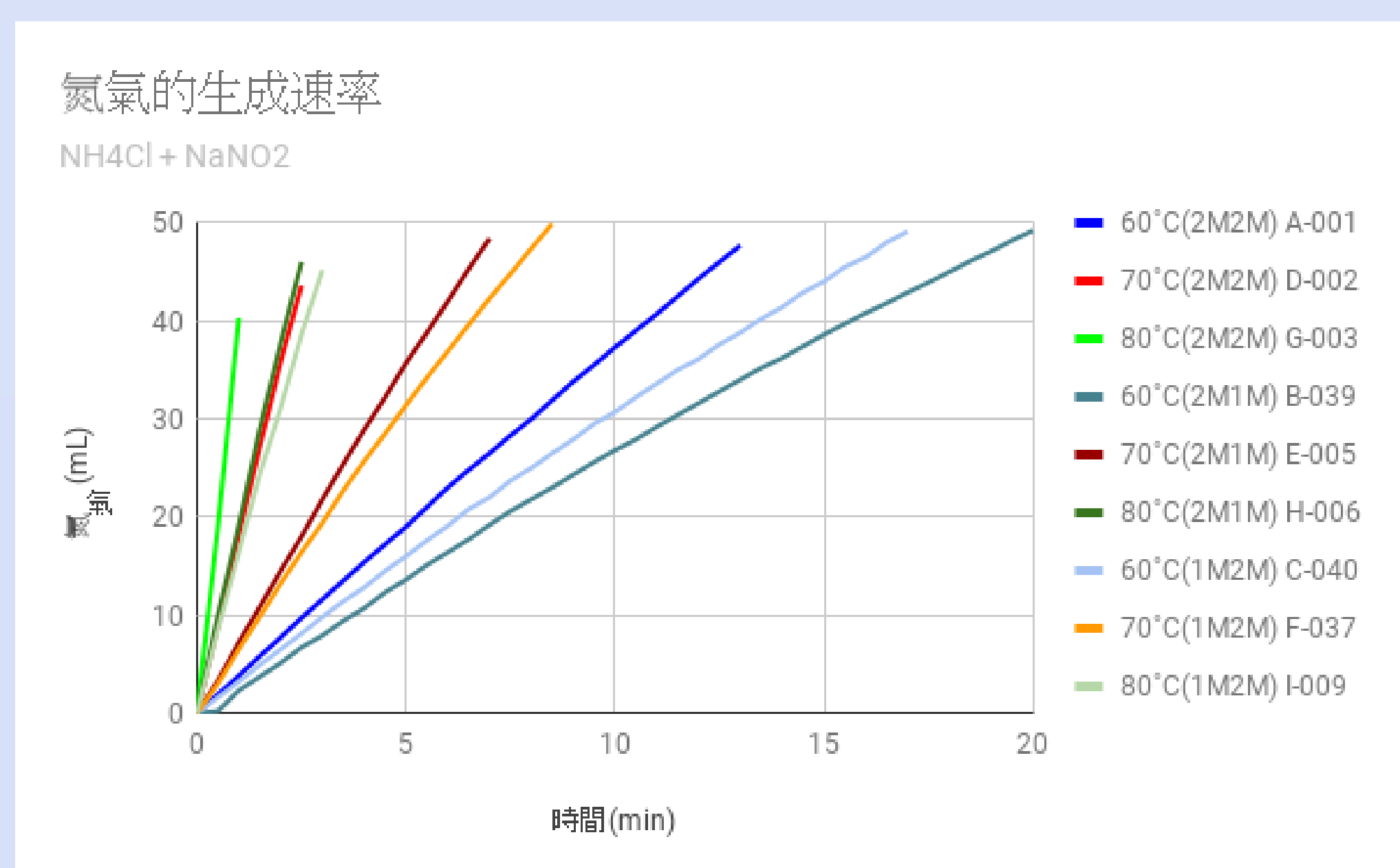
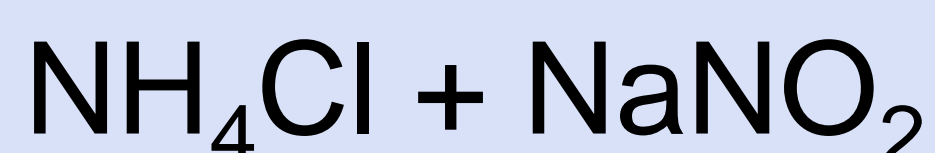
### 二、實驗藥品

氯化銨( $\text{NH}_4\text{Cl}$ )、亞硝酸鈉( $\text{NaNO}_2$ )、溴化銨( $\text{NH}_4\text{Br}$ )、亞硝酸鉀( $\text{KNO}_2$ )

## 肆、研究過程與方法

- 一、分別秤取2.675克 $\text{NH}_4\text{Cl}$  (50mmol)及3.45克 $\text{NaNO}_2$ (50mmol)，配置成2M、25mL溶液(其餘同上)
- 二、將配置好之水溶液與空的硬試管放置在磁石攪拌器上隔水預熱至實驗所需溫度(60°C、70°C、80°C)
- 三、恆溫後再將水溶液分別倒入先前預熱之硬試管中混合開始反應，立刻蓋上橡皮塞，等候氣體產生
- 四、使用滴定管收集產生之氣體，記錄氣體產生的毫升數與時間的關係，並觀察濃度與速率間的關係

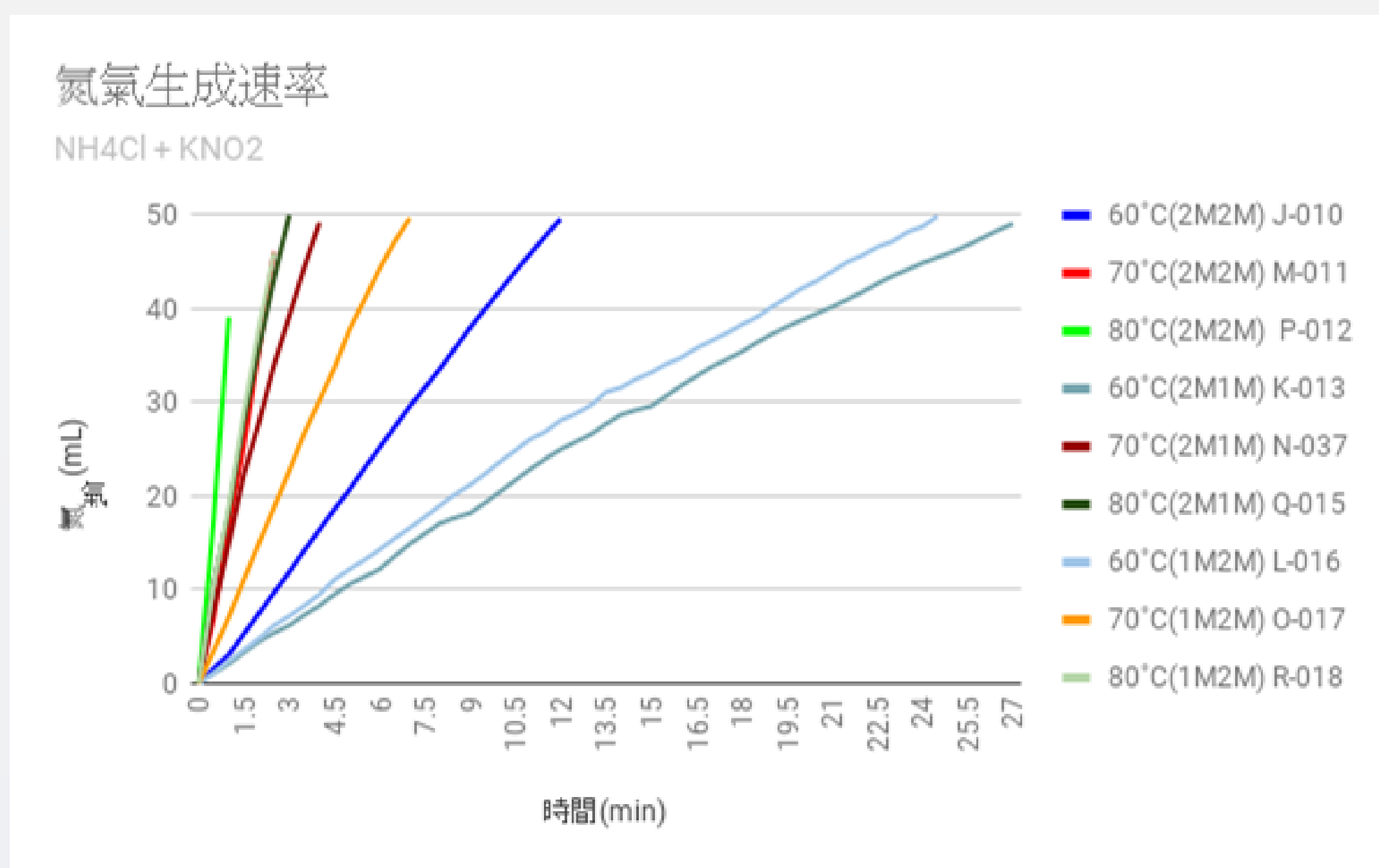
## 伍、研究結果



60°C(2M2M) A-042	13"44
60°C(2M1M) B-039	22"39
60°C(1M2M) C-040	25"35
70°C(2M2M) D-002	2"53
70°C(2M1M) E-005	6"45
70°C(1M2M) F-037	7"15
80°C(2M2M) G-003	1"13
80°C(2M1M) H-006	2"43
80°C(1M2M) I-009	3"22



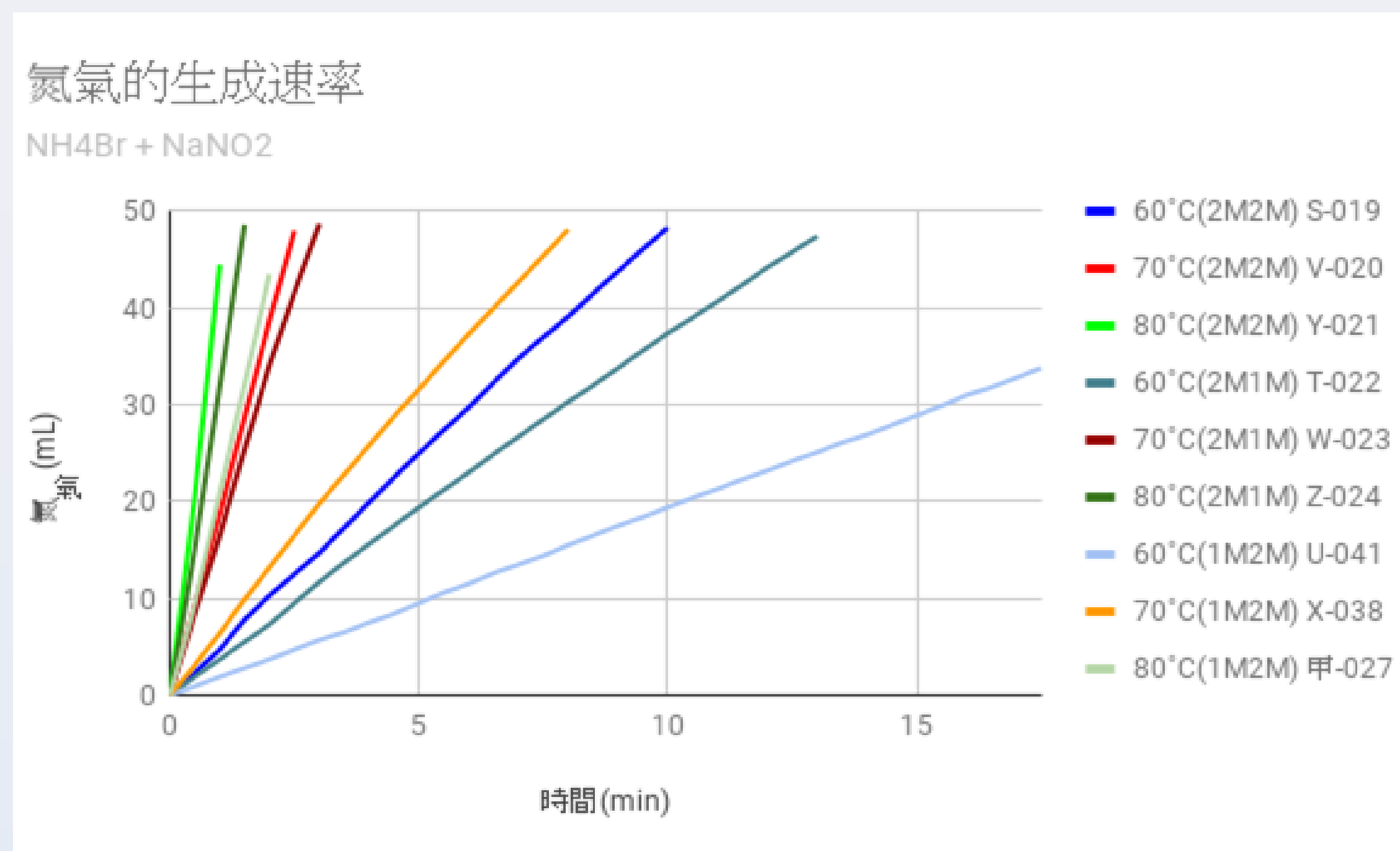
# NH<sub>4</sub>Cl + KNO<sub>2</sub>



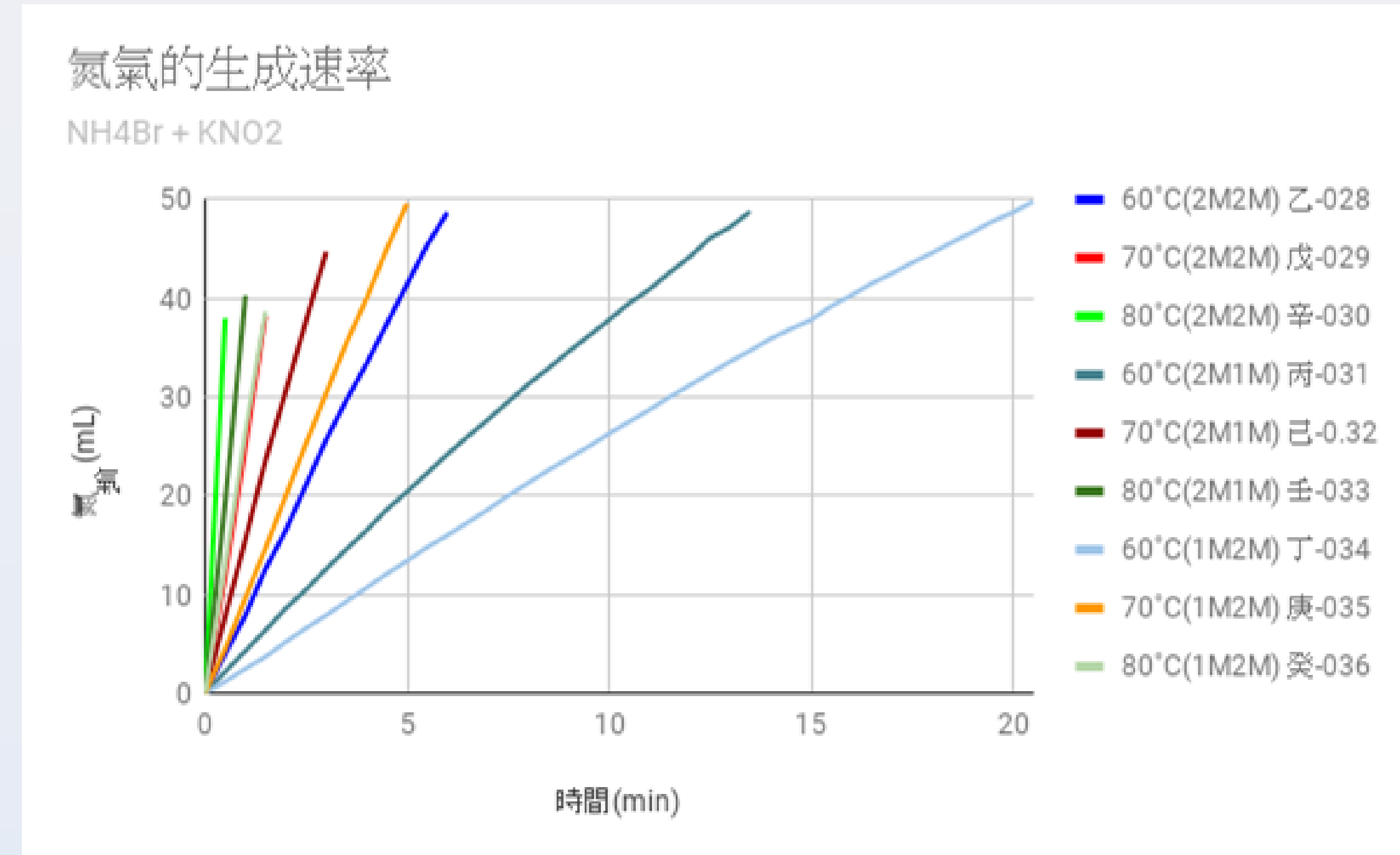
圖(二)

## NH<sub>4</sub>Br + NaNO<sub>2</sub>

## NH<sub>4</sub>Br + KNO<sub>2</sub>



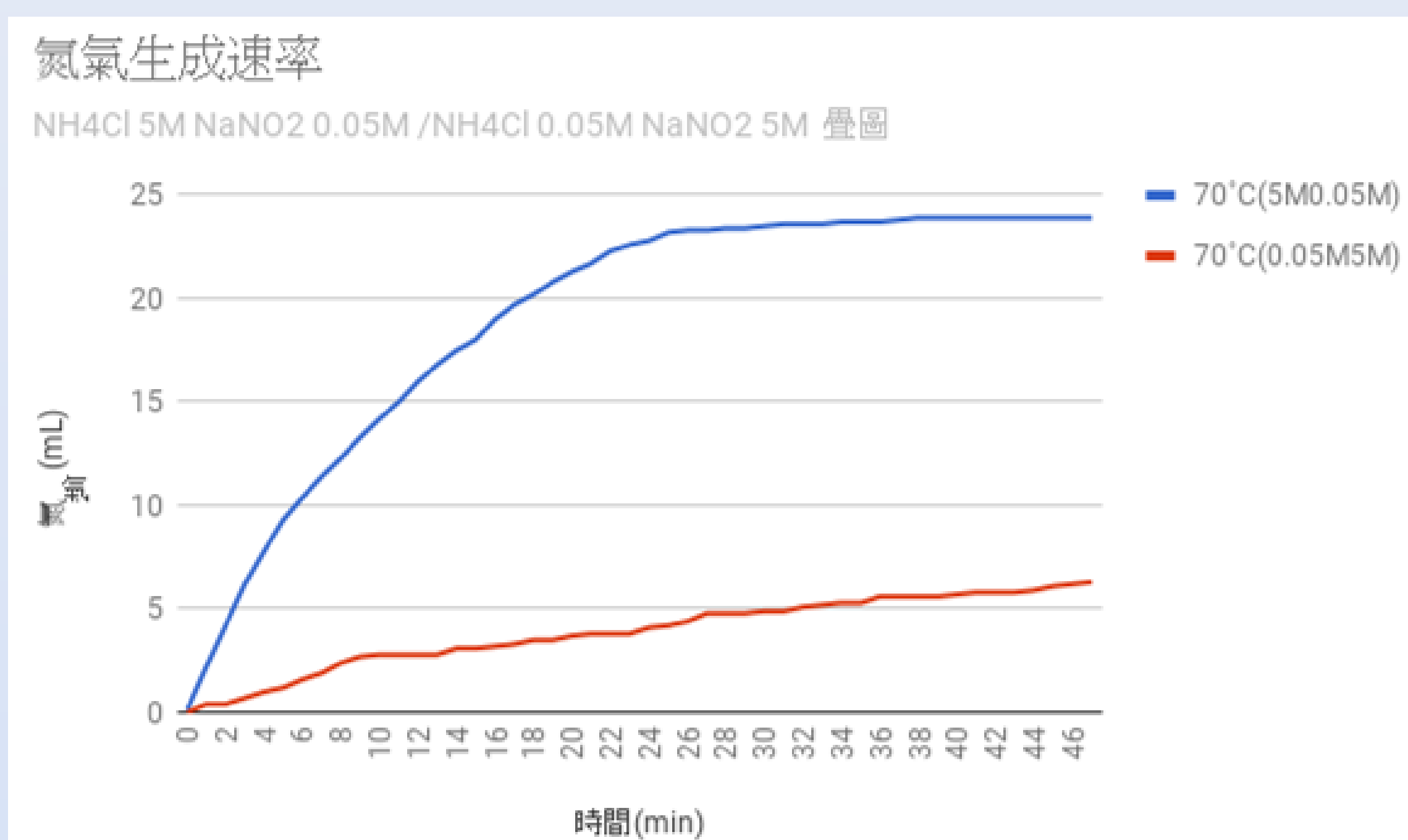
圖(三)



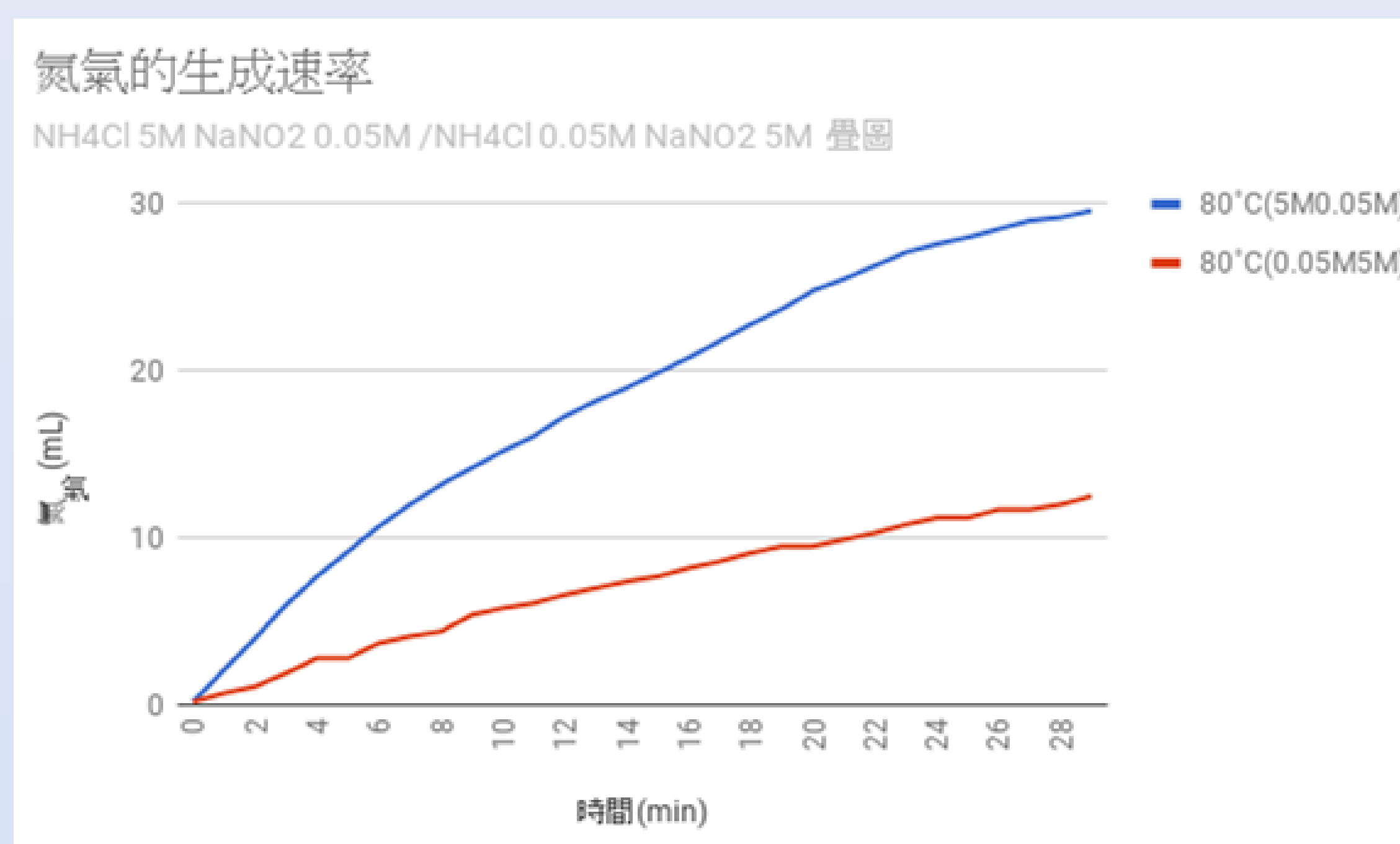
圖(四)

反應物濃度100:1 (NH<sub>4</sub>Cl:5M NaNO<sub>2</sub>:0.05M)(70°C)  
 反應物濃度1:100 (NH<sub>4</sub>Cl:0.05M NaNO<sub>2</sub>:5M)(70°C)

反應物濃度100:1 (NH<sub>4</sub>Cl:5M NaNO<sub>2</sub>:0.05M)(80°C)  
 反應物濃度1:100 (NH<sub>4</sub>Cl:0.05M NaNO<sub>2</sub>:5M)(80°C)



圖(五)



圖(六)

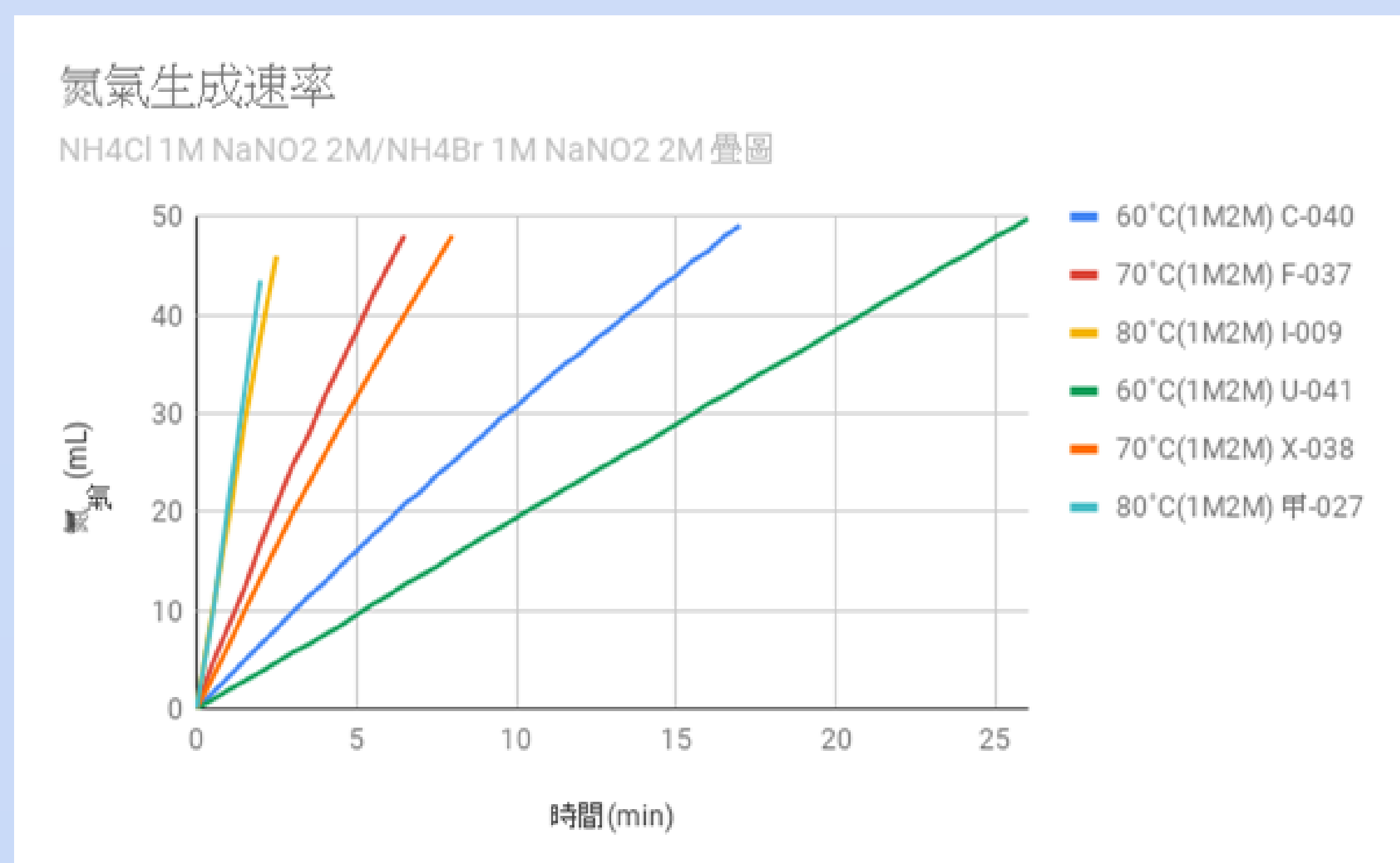
## 陸、討論

一、實際使用固體實驗，發現在安裝實驗器材時，確實較困難，且實驗過程中須以酒精燈來回加熱，增加實驗之危險性，此外，也須在過程中避免小水滴回流，否則試管因突然的降溫爆裂。

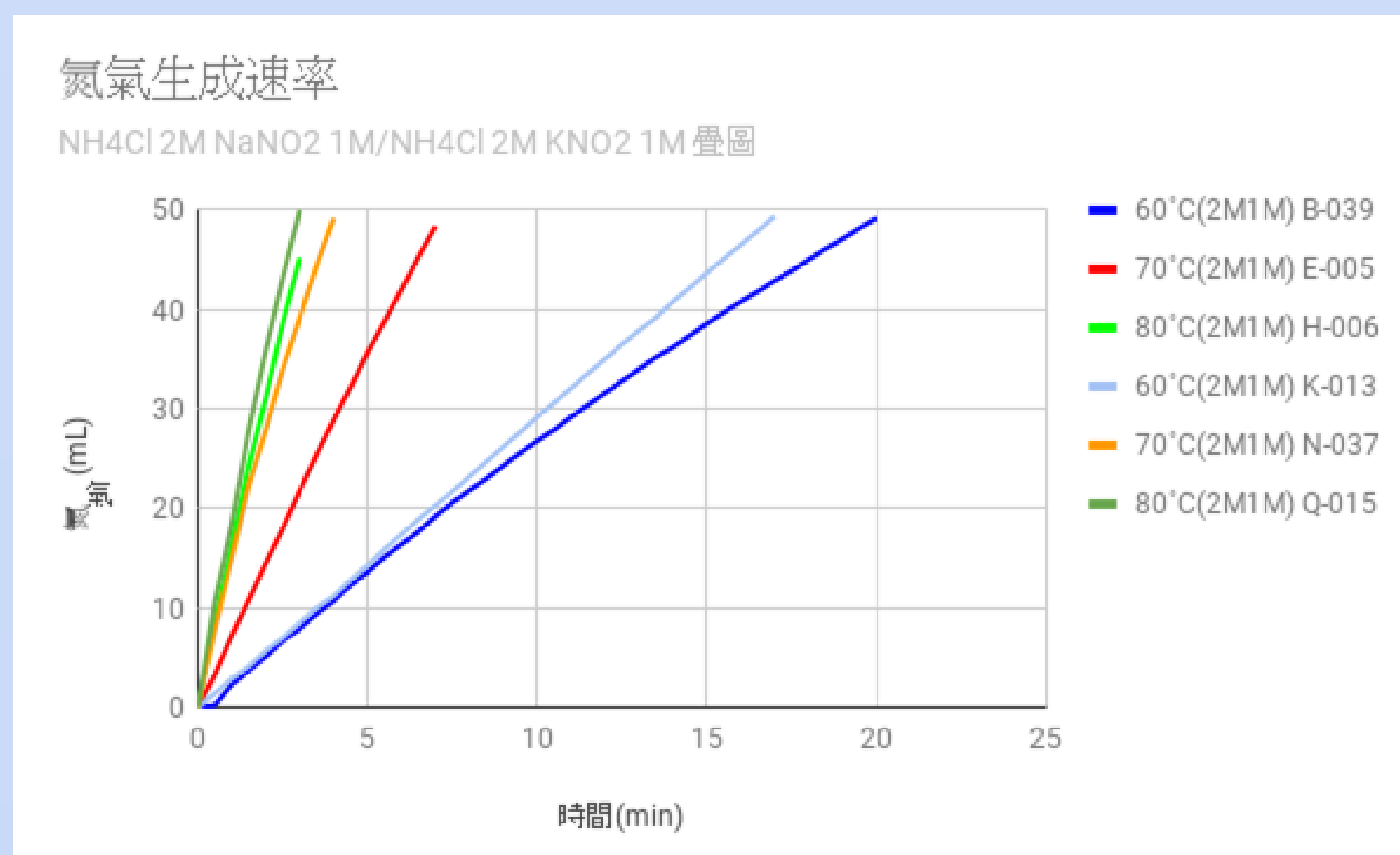
二、實驗中，銨鹽的濃度為主要控制氣體產生量者，因比較同溫(80°C)下，反應物濃度100:1之實驗，即使最高可反應之濃度皆為0.05M，在同時間時，銨鹽濃度為5M的實驗產生之氮氣體積為銨鹽濃度為0.05時多。(圖五)(圖六)

三、在反應物濃度(銨鹽皆1M，亞硝酸鈉2M)及溫度相同的條件下，由實驗可發現不同銨鹽對反應速率影響不大。圖(七)

四、由相同銨鹽的反應疊圖中，我們發現使用不同種類的亞硝酸鹽，並不會對反應速率造成太顯著的影響。圖(八)



圖(七)

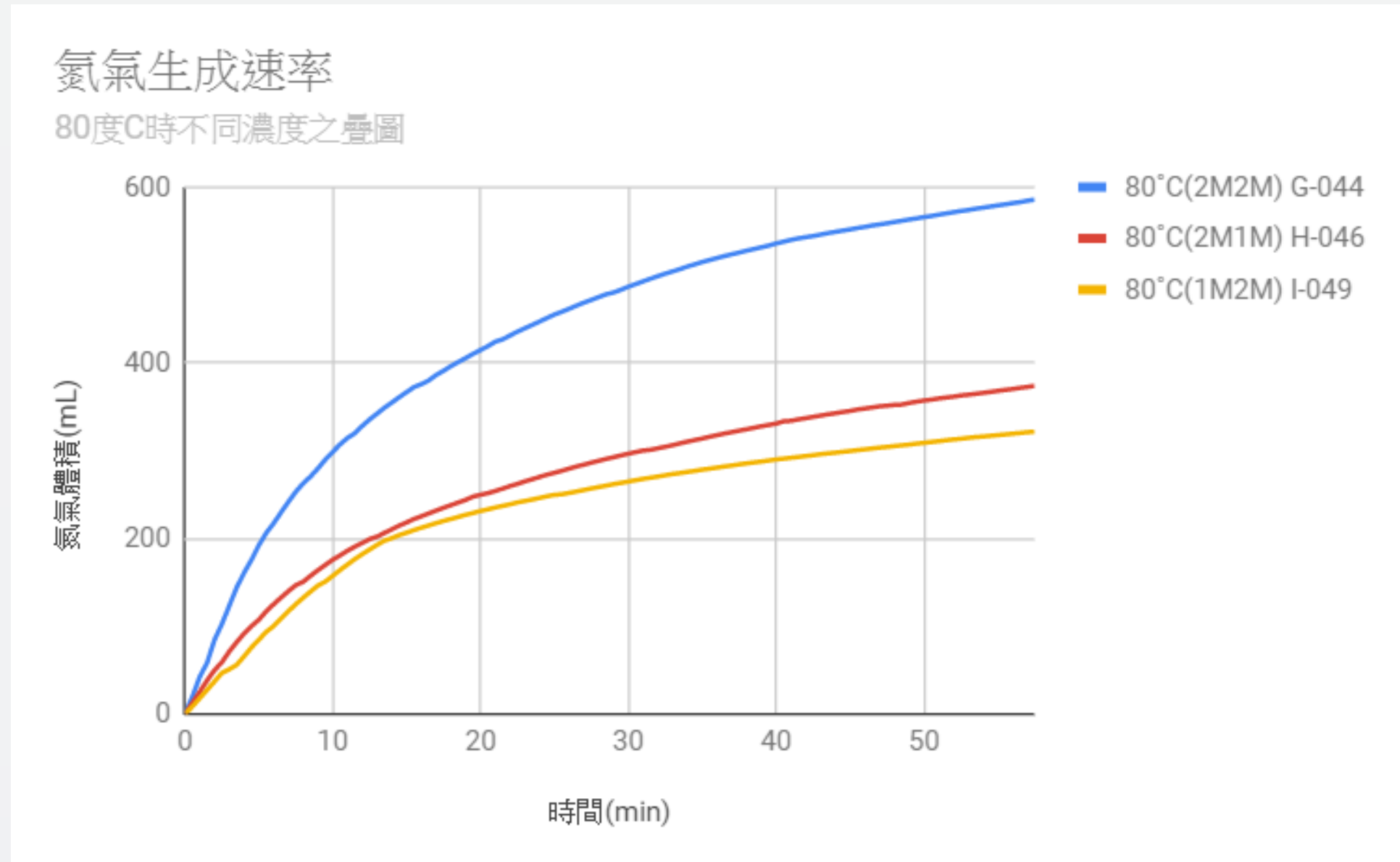


圖(八)

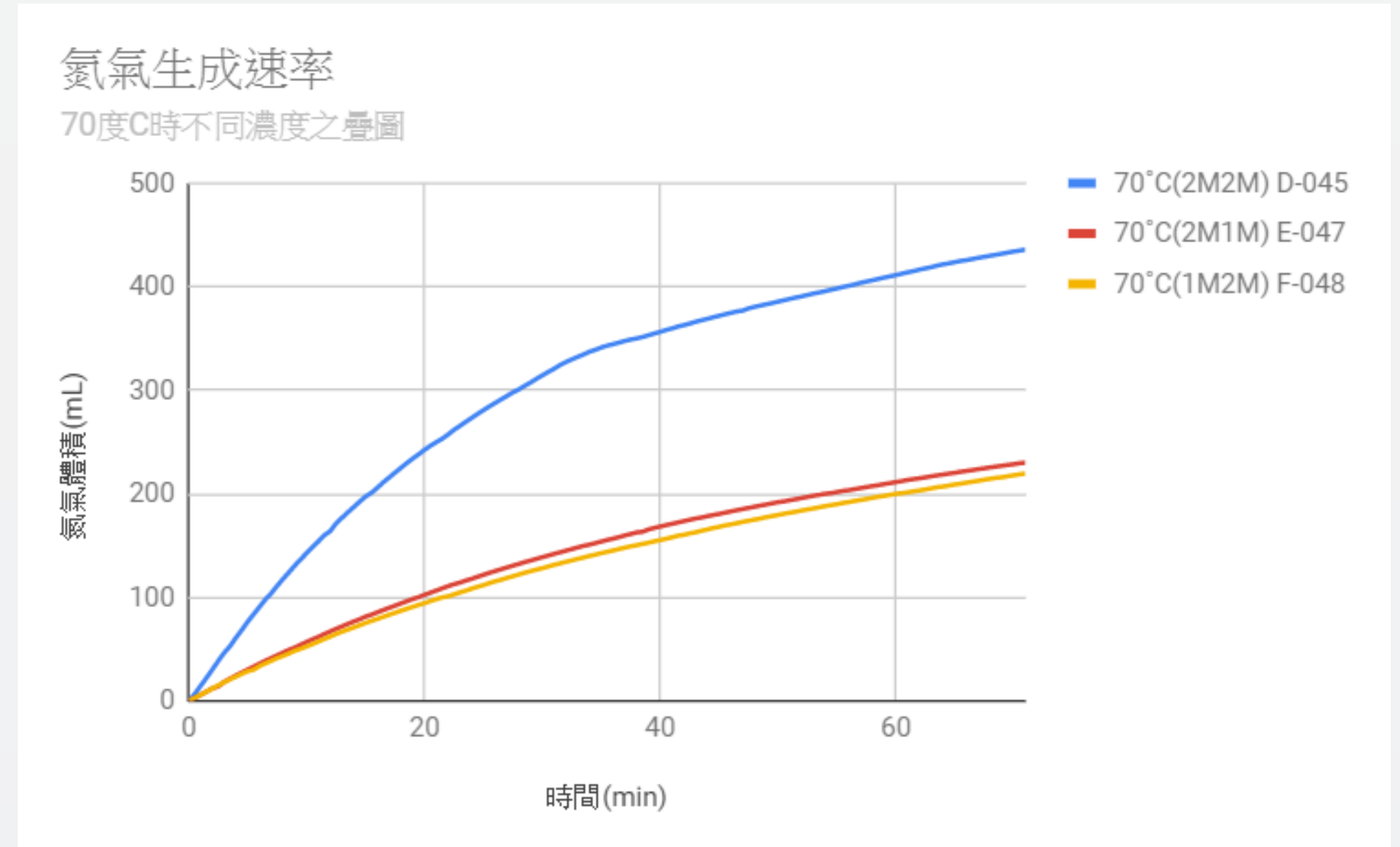
五、反應速率是由反應機構中最慢的反應式所決定，由於NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、NO<sub>2</sub><sup>-</sup>皆為一級反應，故我們推測其反應速率的主要因素為NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ↔ NO<sub>2</sub><sup>-</sup>相互碰撞所造成。



六、 $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{NaNO}_2$  的反應圖中，將  $80^\circ\text{C}$  與  $70^\circ\text{C}$  (2M2M) 比較 (2M1M) 及 (1M2M) 的反應時間，可發現其速率相差一倍，因此推測出其為一級反應。(圖九)(圖十)

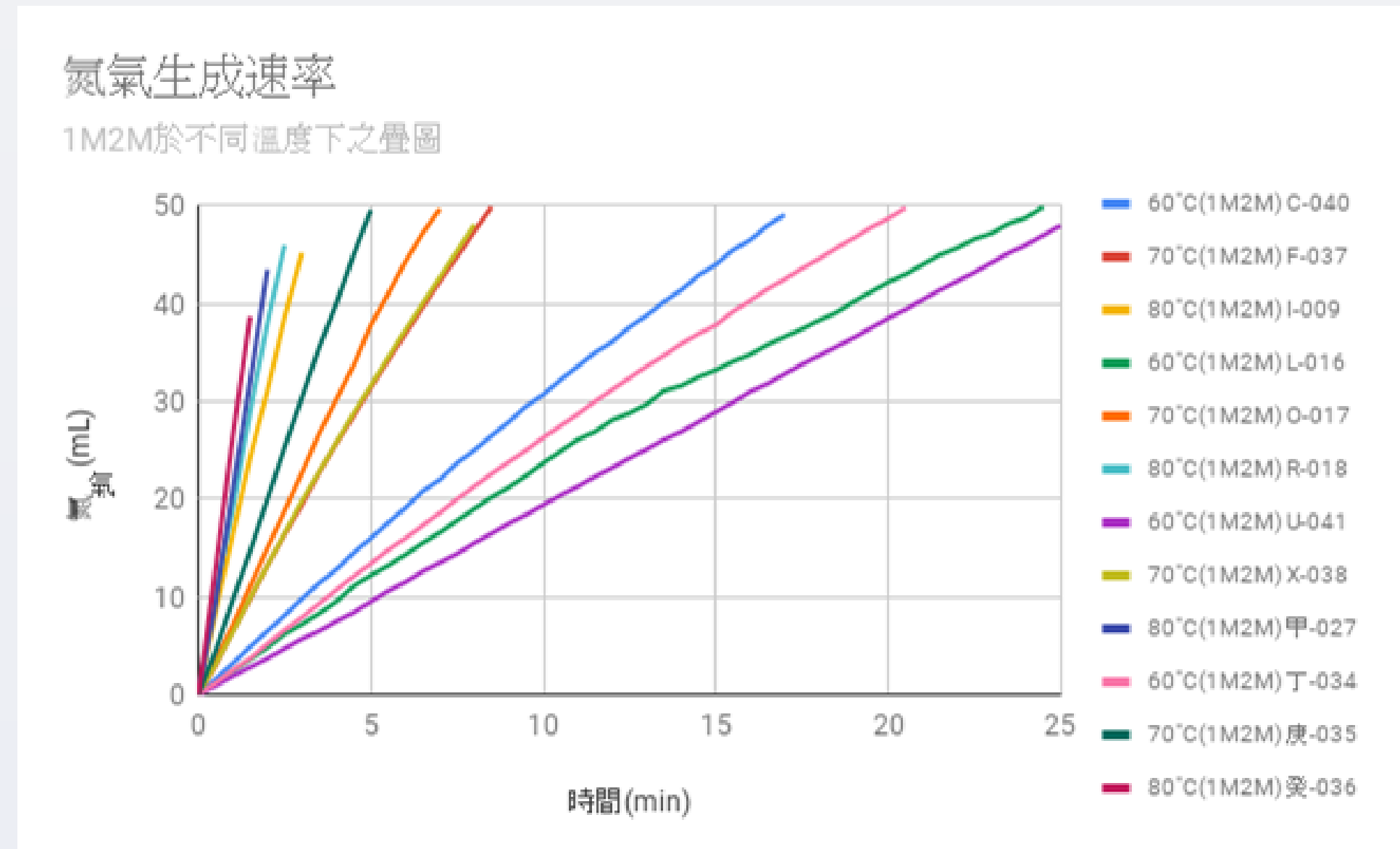


圖(九)

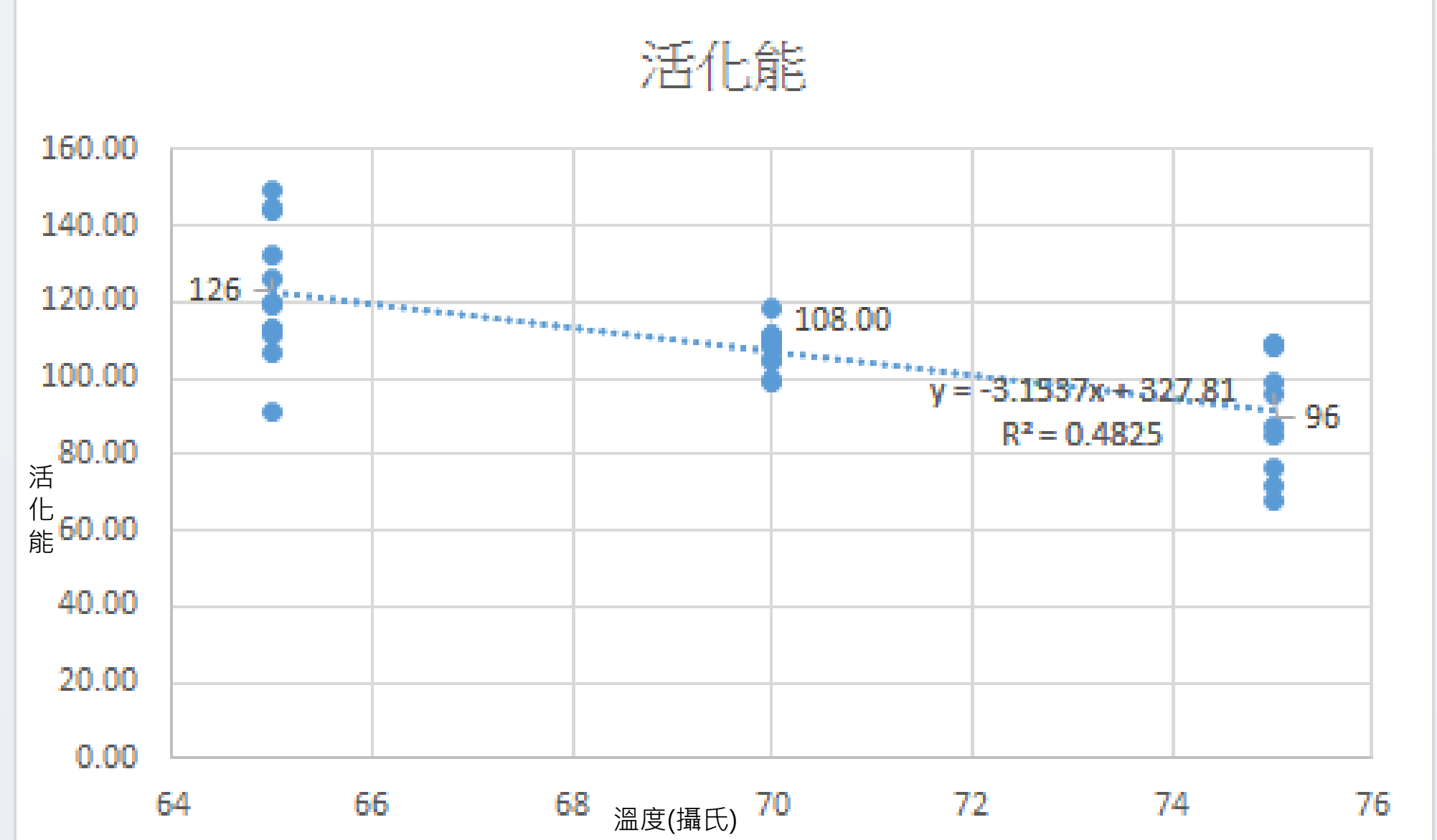


圖(十)

七、由此圖可發現溫度影響此實驗的反應速率，溫度越高，反應速率愈大，反之，則愈小。(圖十一)



圖(十一)



圖(十二)

八、藉由實驗數據，我們觀察到溫度越高，活化能有些微下降的趨勢，雖位能並不會因溫度而改變，但動能可因溫度改變而震盪，因而造成活化能的變化。(圖十二及以下三個表)

### 60°C-70°C

Ea	2M2M	2M1M	1M2M
Cl+Na	153KJ	99.1KJ	95.2KJ
Cl+K	143KJ	110KJ	122KJ
Br+Na	133KJ	144KJ	132KJ
Br+K	111KJ	153KJ	119KJ
平均	126.2KJ		
標準差	20		

### 60°C-80°C

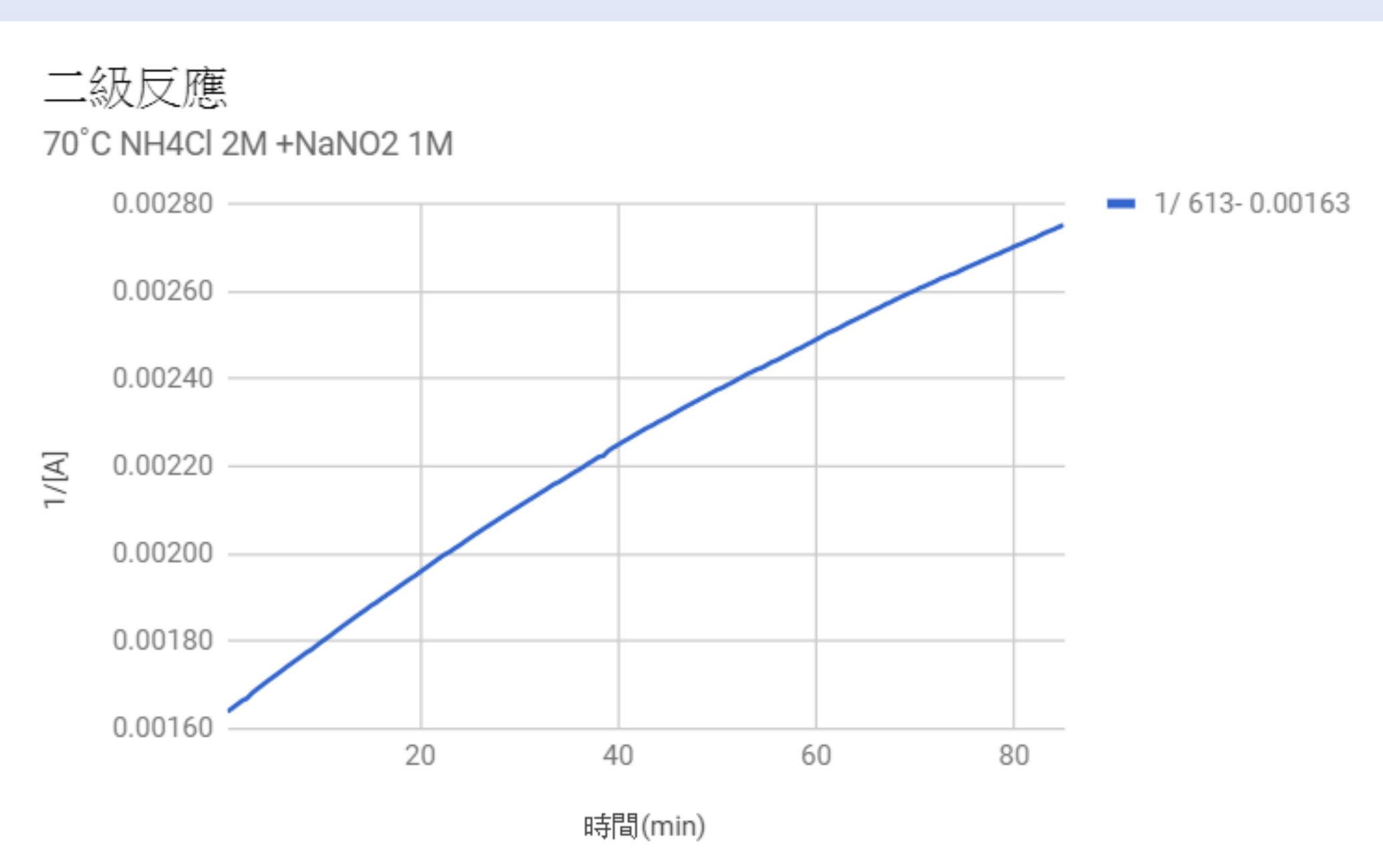
Ea	2M2M	2M1M	1M2M
Cl+Na	120KJ	99.3KJ	81.2KJ
Cl+K	110KJ	110KJ	109KJ
Br+Na	110KJ	109KJ	120KJ
Br+K	81.7KJ	150KJ	117KJ
平均	109.8KJ		
標準差	18		

### 70°C-80°C

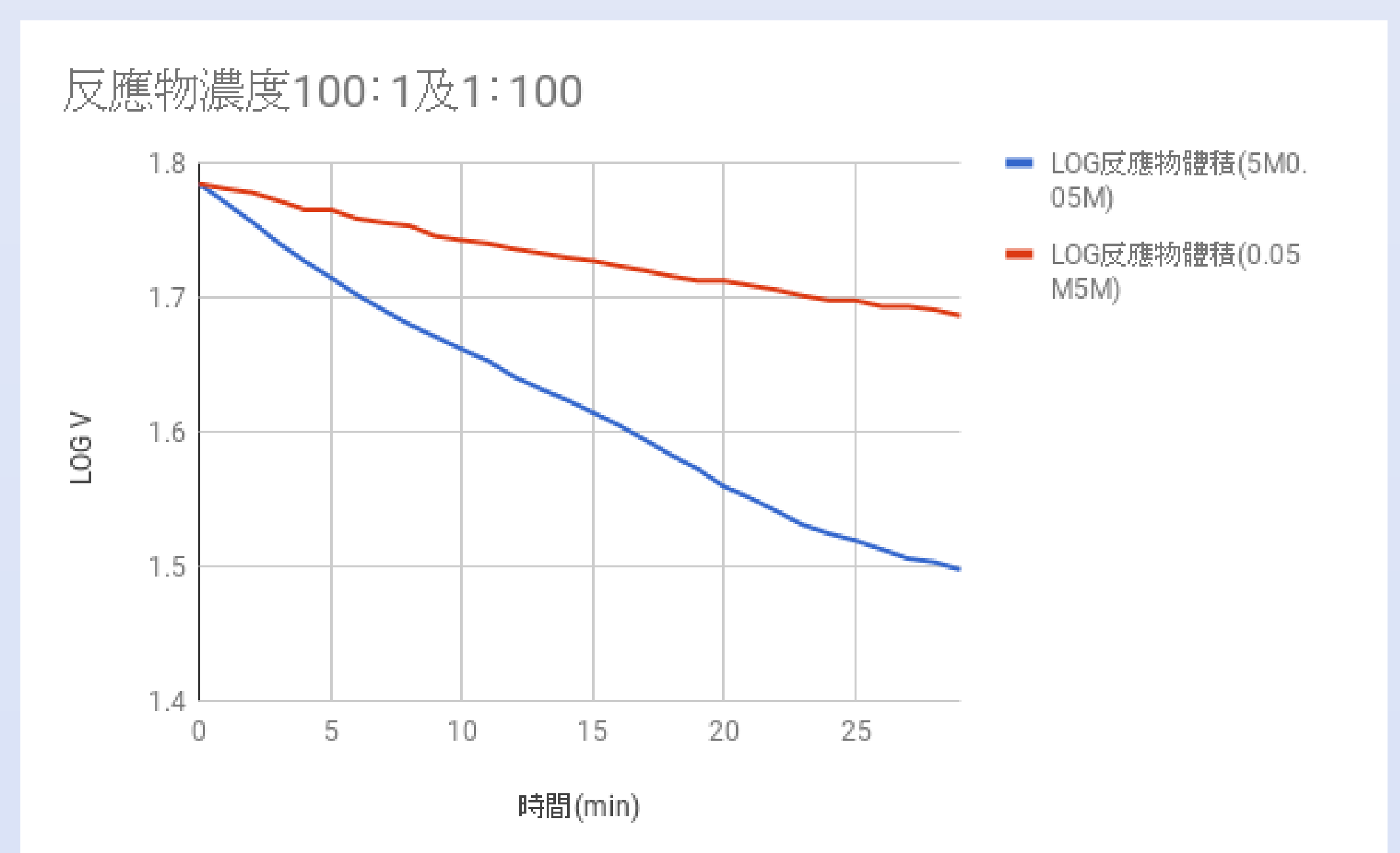
Ea	2M2M	2M1M	1M2M
Cl+Na	84.9KJ	99.4KJ	95.2KJ
Cl+K	76KJ	108KJ	96KJ
Br+Na	86KJ	71.8KJ	109KJ
Br+K	50.8KJ	103KJ	97KJ
平均	89.8KJ		
標準差	17		

九、由反應物濃度的倒數與時間做圖，可得一正斜率直線，故可得知此反應為二級反應。(圖十三)

十、由氯化銨或亞硝酸鈉其一的濃度為絕對多數時，濃度高者的濃度變化不大，故可視為零級反應，進而造成整個反應呈現偽一級反應。(圖十四)



圖(十三)



圖(十四)

## 柒、結論

一、使用水溶液進行的反應可降低使用固體實驗時的危險性

二、由兩反應物之級數皆為1，並由其中一反應物濃度為絕對多數的實驗中，可知反應各自為一級，也可證明總反應為二級。

二級反應(second order reaction):  $R = k[\text{NH}_4\text{Cl}]^1[\text{NaNO}_2]^1$

三、由實驗證明，反應速率常數受溫度影響，因而影響反應進行的快慢。

四、低限能可能因溫度變動而發生震盪，雖低限能與活化能之能量相同，但活化能本身不隨溫度變化

五、由討論中改變濃度及溫度變因的各疊圖中，我們由其數據發現溫度、濃度皆能造成反應結果顯著的影響。

六、反應機構中，我們推測  $[\text{NH}_4^+] \leftrightarrow [\text{NO}_2^-]$  在反應中的碰撞速率，為決定實驗反應步驟的主要因素。

## 捌、未來展望

在固體實驗安全性的考量下，盼能將製造氮氣的實驗納入未來設計新的高中實驗課程。