

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 化學科

佳作

040208

探討葡萄糖氧化吸光度之化學動力學研究

學校名稱：國立斗六高級中學

作者： 高二 林良芄 高二 廖梅惠 高二 廖雅靜	指導老師： 李榕玲
-----------------------------------	--------------

關鍵詞：化學動力學、吸光度、催化劑

摘要

本次實驗結合了高中的氧化還原及反應速率兩個章節，選擇在不同濃度以分光光度計測量較準確的吸光度，並且以過錳酸鉀滴定葡萄糖，求葡萄糖氧化過程中的準確級數。在實驗過程中，我們分別以濃度、溫度、催化劑為操縱變因，探討其對葡萄糖氧化還原速率的影響。

我們利用不同濃度下所測得的實驗數據來求出準確的反應速率定律式；並求出了在不同溫度下的反應速率常數。而本次實驗著重於溫度及催化劑的部分，我們選用了兩種不同的催化劑，分別為氯金酸及二氧化鈦，由於氯金酸的價格較昂貴，因此我們希望能找出氯金酸加二氧化鈦之間的最佳比例以節省金錢達到最佳的催化效果。由於本次的實驗，使我們對葡萄糖氧化還原之化學動力學有更深入的了解。

一、研究動機：

高中化學課，有探討反應速率及反應物濃度的關係，而化學動力學涉及化學反應速率及機構，再配合高中的氧化還原反應，引起我們極大興趣，抱著一股衝勁及對化學實驗的熱愛，展開了研究之路。

高中滴定分析中，滴定過程中，一般以指示劑恰好變色稱為滴定終點。反應速率以消耗的濃度除以時間，即設反應過程中每秒消耗量皆相同，視為零級反應。當我們高一學到氧化還原與高二反應速率單元，想把兩單元互相結合，選擇在不同濃度以分光光度計較準確的吸光度，求以高錳酸鉀滴定葡萄糖，求葡萄糖氧化過程中的準確級數。

葡萄糖的氧化還原速率並不快，而在反應過程中，所消耗的量只能用零級反應來換算反應速率，效法實驗家的精神，以較準確的測定方法來求每隔相同時間的反應速率，求出正確的速率定律式，再配合其他變因，試圖利用實驗數據，加以驗證及討論，更能充份對化學動力學的了解。

葡萄糖本身有醛基及醇基(經基)，在醛及醇的競爭氧化劑測試中發現，醛氧化速率比醇快，且以 HAuCl_4 為催化劑對醇的氧化完全沒有活性，醛基和醇基競爭氧化過程中只有醛基被氧化。

本次實驗反應速率需考慮的重要因素：1.濃度 2.溫度 3.催化劑將一一討論，對化學動力學以實驗方式加以探討，葡萄糖氧化還原化學動力學研究能徹底了解及完整性。

二、研究目的：

- 1、氧化還原滴定法是利用氧化劑當量數等於還原劑當量數為基礎的滴定分析。
- 2、利用濃度的變化，在固定的波長下，每次固定滴定 1ml KMnO_4 ，探討葡萄糖氧化後吸光度的變化。
- 3、利用濃度隨時間變化代表葡萄糖氧化的速率，並求出反應過程中的反應級數及速率常(k)
- 4、依據比爾定律(Beer's Law)，物質的吸光度(A)與濃度(M)成正比
- 5、在氧化還原中，有機物氧化的速率並不快，如用傳統方法只能在滴定終點時，求出較粗略的反應速率(R)，但如用吸光度每次固定滴定 1ml KMnO_4 消耗量相同分鐘的，在求反應速率(R)時可提高準確性，且在氧化還原中實際應用。
- 7、由溫度和反應速率的關係，可利用阿瑞尼士方程式對活化能(E_a)有更深入的了解
- 8、在速率定率式中速率常數的變因溫度及催化劑皆需考慮並深入探討中，以求葡萄糖氧化的速率定率式的完整性。

三、研究設備與器材：

(一)試劑：

葡萄糖 ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)	過錳酸鉀 (KMnO_4)	過錳酸鉀 (KMnO_4)
硫酸銅 (CuSO_4)	硫酸 (H_2SO_4)	氯金酸($\text{HAuCl}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)
氫氧化鈉(NaOH)	水溶性澱粉($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$) _n	碘液(1g I_2 +10g KI +水 500ml)
本氏液	二氧化鈦(TiO_2)	氯金酸($\text{HAuCl}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)
3,5-二硝基水楊酸(3,5-dinitro-salicylic acid)(DNS)		水浴鍋
酒石酸鉀鈉($\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)		斐林試劑

(二)儀器及器材：

SP-830 分光光度計	錐形瓶	滴定管	電子秤
容量瓶	燒杯	玻棒	安全吸球
分度吸量管	漏斗	鐵架	磁石加熱攪拌器
離心機	乳頭滴管	碼錶	漏斗
Word2003 軟體	Excel2003 軟體	恆溫槽	pH 測定器



【照片一】：離心機



【照片二】：分光光度計

四、實驗過程及實驗方法：

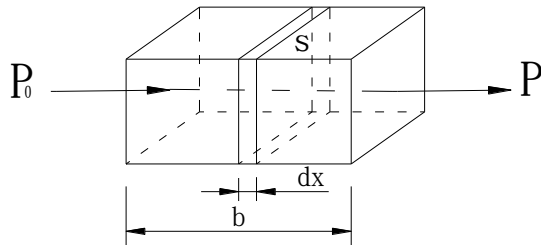
(1) 分光光度計的原理：

1. 原理：利用可見光之燈管做為光源，通過濾光鏡調整色調後，經聚焦後通過單色光分光稜鏡，再經過狹縫選擇波長，使成單一且特定波長之光線，而後射入樣品管中之水樣中，最後射入光電管中將光能轉換為電器訊號，藉由樣本及空白水樣間所吸收之光能量差，與標準液之能量吸收值相比較，便可律定樣本中之待測物濃度。
2. 依據比爾定律(Beer's Law)吸收率直接與溶液的路徑長度及吸收物種的濃度成正比。即

$$A = -\log T = \log \frac{P_0}{P} = \epsilon bc$$

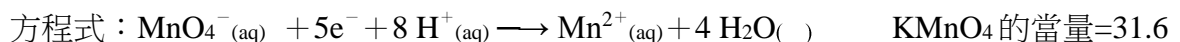
(T：透光率；A：吸收率； ϵ ：莫耳吸收係數；b：輻射光徑長；c：濃度 mole/l)

3. 測定前，分光光度計以蒸餾水校正，調至透光率為 100%。



(2) 以 KMnO_4 作為氧化劑：

1. 以 KMnO_4 作為氧化劑時，水樣加 H_2SO_4 處理



2. 實驗過程中，如未加 H_2SO_4 ，即溶液在中性中進行，則會發現有黑色 MnO_2 產生。



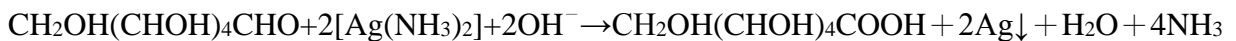
3. 在實驗過程中為了準確性， H_2SO_4 是平衡電荷的重要一環。

【實驗一：】葡萄糖最大吸光度波長分析：

(1) 葡萄糖的特性：

1. 葡萄糖是一種多羥基醛，分子式 $C_6H_{12}O_6$ 。其水溶液旋光向右，故稱右旋糖。葡萄糖含五個羥基，一個醛基，具有多元醇和醛的性質。葡萄糖無色結晶或白色結晶性或顆粒性粉末，無臭，味甜，易溶於水，有吸濕性。
2. 葡萄糖結構簡式： $CH_2OHCHOHCHOHCHOHCHOHCHO$ 它是自然界分佈最廣泛的單糖
3. 葡萄糖含多個羥基，一個醛基，具有多元醇和醛的性質。其主要化學性質是：

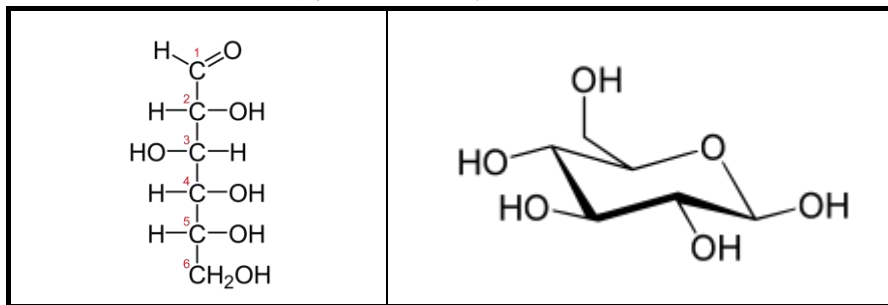
a. 分子中有醛基，有還原性，能與銀氨溶液反應：



被氧化成葡萄糖酸

b. 醛基還能被還原為己六醇，分子中有多個羥基，能與酸發生酯化反應；

【葡萄糖的分子結構】



(2) DNS試劑配製：

1. DNS 試劑配製：
 - (1) A 液：5g DNS 溶於 100ml 2N NaOH，加熱至全溶。
 - (2) B 液：150g 酒石酸鉀鈉($KOOCCH(OH)CH(OH)COONa \cdot 4H_2O$)溶於 250ml 蒸餾水，加熱全溶
 - (3) 將 A 液與 B 液均勻混合，加水稀釋至 500ml 備用
2. 以葡萄糖 5.0g 加水至 250ml 配成標準液取 10ml+30ml DNS 試劑，均勻混合。
3. 隔水加熱至沸騰，持續 5 min。
4. 浸泡冷水冷卻至室溫，測吸光度。
5. 取適當量的樣品，放入分光光度計中檢測，設定波長為 400、450、500、550、600、650、700、750nm 的可見光範圍(可見光範圍為：380nm~760nm)。

【實驗二：】葡萄糖標準液的配製：

- 1.配製葡萄糖的標準液，分別取 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0、3.5、4.0、4.5、5.0 克的葡萄糖加水溶解，再以容量瓶配製至體積 250ml。
- 2.取葡萄糖標準液 2~20(mg/ml)各 10 ml 加配製的 DNS 溶液各 30ml 均勻混合。
- 3.以分光光度計設定 $\lambda=540\text{nm}$ 測吸光度。
- 4.以葡萄糖液的濃度為橫軸(x 軸)，吸光度為縱軸(y 軸)，製作標準曲線。
- 5.利用標準曲線可求出未知液濃度。

【實驗三：】(一)葡萄糖濃度(M)對反應速率(R)的速率定律式：

- 1.量取 1g、2g、3g、4g、5g 葡萄糖溶於 100ml 25°C 蒸餾水中
- 2.加 2M H_2SO_4 30ml，置入 250 ml 容量瓶中，加蒸餾水至 250 ml
- 3.取配製的葡萄糖溶液 30ml 倒入錐形瓶內準備滴定，
葡萄糖溶液濃度分別=4、8、12、16、20 mg/ml
- 4.以 0.005M KMnO_4 滴定，每次加入 1ml，以消耗 1ml 的紫色 KMnO_4 的毫莫耳數相同，
加 8 次共加 8 ml
- 5.葡萄糖加入 KMnO_4 時呈深紅色，當褪色為無色，以碼錶測秒數得知反應所需的時間
- 6.設定波長 $\lambda=540\text{nm}$ 的分光光度計及 5 滴 DNS 溶液呈色測吸光度
- 7.求反應速率，由濃度與反應速率的關係式，求反應級數
- 8.以不同濃度的葡萄糖在常溫下以 KMnO_4 滴定改變濃度，由動力學推導出葡萄糖氧化的吸光度換求速率定律式，求反應速率(R)對濃度(M)為 n 級反應

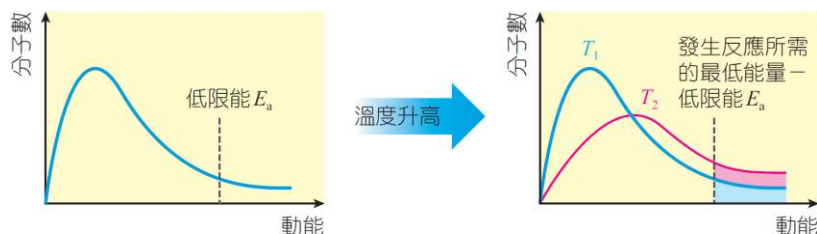
$$\text{反應速率 (R)} = \frac{[\text{產物}]_2 - [\text{產物}]_1}{t_2 - t_1} = + \frac{\Delta[\text{產物}]}{\Delta t}$$

(二)硫酸濃度(M)對反應速率(R)的速率定律式：

- 1.量取 2g 葡萄糖溶於 100ml 25°C 蒸餾水中
- 2.吸取 0.5M、1.0M、1.5M、2.0M、2.5、3.0 M H_2SO_4 溶液各 30ml，置入 250 ml 容量瓶中，
加蒸餾水至 250 ml
- 3.取配製的葡萄糖溶液 30ml 倒入錐形瓶內準備滴定，葡萄糖溶液濃度=8mg/ml
- 4.以 0.005M KMnO_4 滴定，每次加入 1ml，以消耗 1ml 的紫色 KMnO_4 的毫莫耳數相同，
加 8 次共加 8 ml
- 5.葡萄糖加入 KMnO_4 時呈深紅色，當褪色為無色，以碼錶測秒數得知反應所需的時間
- 6.設定波長 $\lambda=540\text{nm}$ 的分光光度計及 5 滴 DNS 溶液呈色測吸光度
- 7.在葡萄糖的氧化求 R 中，其 H_2SO_4 濃度是否會影響反應速率，對 H_2SO_4 濃度加以探討
速率定律式。由吸光度求 R，對 $[\text{H}^+]$ 為 n 級反應。

【實驗四：】溫度改變之速率常數(k)測定：

- 1.量取葡萄糖 2g，溶於 100ml 25°C 蒸餾水中
- 2.加 2M H₂SO₄ 30ml，置入 250 ml 容量瓶中，加蒸餾水至 250 ml，水溫維持 25°C
- 3.取配製的葡萄糖溶液 30ml 倒入錐形瓶內準備滴定，葡萄糖溶液濃度 = 8 mg/ml
- 4.以 0.005M KMnO₄ 滴定，每次加入 1ml，以消耗 1ml 的紫色 KMnO₄ 的毫莫耳數相同，加 8 次共加 8 ml
- 5.葡萄糖加入 KMnO₄ 時呈深紅色，當褪色為無色，以碼錶測秒數得知反應所需的時間
- 6.同步驟 1~3，隔水加熱至水溫分別為 35°C、45°C、55°C、65°C、75°C、85°C，同步驟 4、5 以碼錶測時間及測吸光度。
- 7.設定波長 $\lambda=540\text{nm}$ 的分光光度計及 5 滴 DNS 溶液呈色測吸光度
- 8.求反應速率(R)及速率常數(k)
- 9.利用吸光度隨時間變化的關係，探討溫度影響反應速率。
- 10.並將速率定律式的 k 值作正確調整。



【實驗五：】(一)添加催化劑(氯金酸)之速率常數(k)測定：

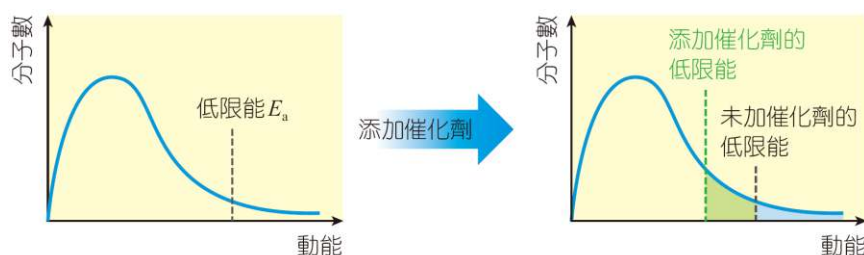
(1)、配製及實驗步驟：

- 1.量取葡萄糖 2g，溶於 100ml 25°C 蒸餾水中
- 2.加 2M H₂SO₄ 30ml，置入 250 ml 容量瓶中，加蒸餾水至 250 ml，水溫維持 25°C
- 3.取配製的葡萄糖溶液 30ml 倒入錐形瓶內準備滴定，再加入 0.1 g 的氯金酸(HAuCl₄•4H₂O) 當催化劑，葡萄糖溶液濃度 = 8 mg/ml
- 4.以 0.005M KMnO₄ 滴定，每次加入 1ml，以消耗 1ml 的紫色 KMnO₄ 的毫莫耳數相同，加 8 次共加 8 ml
- 5.葡萄糖加入 KMnO₄ 時呈深紅色，當褪色為無色，以碼錶測秒數得知反應所需的時間
- 6.同步驟 1~3 分別加入 0.2、0.3、0.4、0.5 g 的氯金酸(HAuCl₄•4H₂O)，同步驟 4、5 以碼錶測時間及測吸光度。
- 7.設定波長 $\lambda=540\text{nm}$ 的分光光度計及 5 滴 DNS 溶液呈色測吸光度
- 8.求反應速率(R)及速率常數(k)
- 9.利用吸光度隨時間變化的關係，探討催化劑影響反應速率。
- 10.並將速率定律式的 k 值作正確調整。

(2)、原理：

1. 催化劑就是藉著改變反應的路徑催化劑的參與造成不同的活性錯合物，催化劑可降低活化能，達到催化的目的，依動力學的觀點來看，活化能愈大的反應，添加催化劑其效果愈好。

2.



(3)、催化劑的性質：氯金酸： $(\text{HAuCl}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}=412)$

1. 氯金酸為橘黃色結晶，極易潮解，易溶於水，是常見的金的化合物。
2. 金與王水反應經濃縮後加鹽酸去除氮化物，再經濃縮結晶，磨碎而得。



3. 氯金酸水溶液含正平面四方形的 AuCl_4^- 。

【實驗五：】(二)添加催化劑(二氧化鈦)之速率常數(k)測定：

1. 配製、步驟皆與氯金酸($\text{HAuCl}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)當催化劑相同，葡萄糖溶液濃度 = 8 mg/ml
2. 分別加入 1、2、3、4、5 g 的二氧化鈦(TiO_2)，再依據氯金酸($\text{HAuCl}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)【實驗五-1】的步驟重新再做一遍

【實驗六：】改變溫度及添加催化劑之速率常數(k)測定：

1. 25°C 下將(1)葡萄糖 (2)葡萄糖 + TiO_2 (3)葡萄糖 + $\text{HAuCl}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
(4)葡萄糖 + TiO_2 + $\text{HAuCl}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 按實驗數據比例配備，
再依據氯金酸【實驗五-1】的步驟重新再做一遍
2. 75°C 下將(1)葡萄糖 (2)葡萄糖 + TiO_2 (3)葡萄糖 + $\text{HAuCl}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
(4)葡萄糖 + TiO_2 + $\text{HAuCl}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 按實驗數據比例配備，
再依據氯金酸【實驗五-1】的步驟重新再做一遍
3. 兩者溫度不同再做比較

【實驗七：】澱粉水解的轉化率：

(1)斐林試劑配製：主要用於區分可溶於水的醛和酮

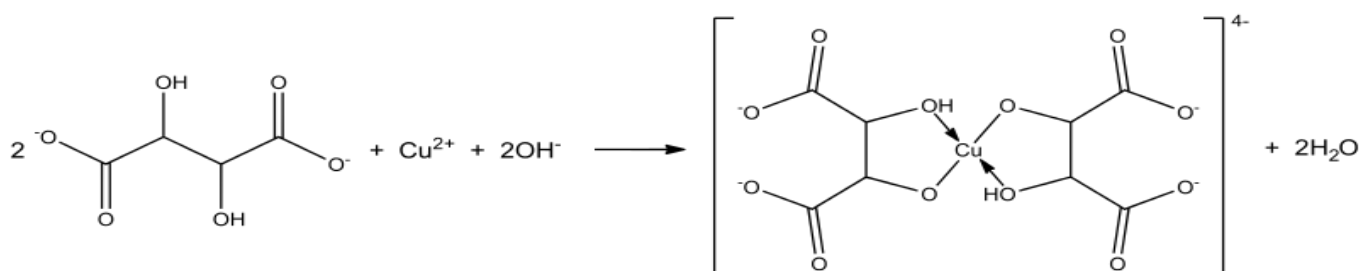
1.斐林試液 A：由 69.28g 的五水合硫酸銅溶於 1L 蒸餾水中得到

斐林試液 B：由 346g 的四水合酒石酸鉀鈉和 120g 氫氧化鈉溶於 1L 蒸餾水中得到

2.將以上兩試液等體積混合即可得到藍色的斐林試劑。

3.斐林試劑中由酒石酸鉀鈉解離出來的酒石酸根離子 ($C_4H_4O_6^{2-}$) 與銅離子 ($Cu^{2+}_{(aq)}$)

螯合形成雙齒配合物二酒石酸根合銅(II)離子，從而防止溶液中的硫酸銅和氫氧化鈉反應形成氫氧化銅 ($CuSO_4+NaOH\rightarrow Cu(OH)_2$)



4.斐林試劑可以用於鑑定含有羰基的化合物是否為醛或酮。斐林試劑常用於醴類的檢測

(2)實驗步驟：

1.精秤 3.0g 澱粉於 250ml 燒杯中，加 100ml 蒸餾水。

2.加 10ml 3M H_2SO_4 ，置於加熱板上，隔水加熱迴流 1 小時水解。

3.放置於室溫中水解，放置時間分別為 0 天~5 天，加入斐林試劑檢測

4.離心後將沉澱物烘乾稱重，。

5.吸取澄清液檢測，2ml 檢測液中再各加入 2ml DNS 試劑，混合均勻，沸水浴中加熱 10 min，各加 15ml 蒸餾水，以波長 540nm，測其吸光度。

6.以每次 1ml $KMnO_4$ 滴定求轉化反應速率。

五、研究結果：

(一)葡萄糖氧化的動力學理論：

$aA \rightarrow bB$	零級反應	一級反應	二級反應
反應速率(R)	$r = k[A]^0 = k$	$r = k[A]$	$r = k[A]^2$
意義	r 與反應物的任何時刻的濃度大小無關，即反應物在固定時間間隔內的濃度成等差數列減少	r 與反應物的濃度成正比，即反應物在固定時間間隔內的濃度成等比級數減少	r 與反應物的濃度之關聯性比一級反應還大，反應物的濃度隨時間減少後，反應速率下降程度更大
[A]-t 關係式	$[A]_t = [A]_0 - kt$	$\log \frac{[A]_0}{[A]_t} = \frac{kt}{2.303}$	$\frac{1}{[A]_t} = kt + \frac{1}{[A]_0}$
半生期	$t_{1/2} = \frac{[A]_0}{2k}$	$t_{1/2} = \frac{0.693}{k}$	$t_{1/2} = \frac{1}{k [A]_0}$

(二)實驗結果及數據分析：

【實驗一：】葡萄糖最大吸光度波長分析：

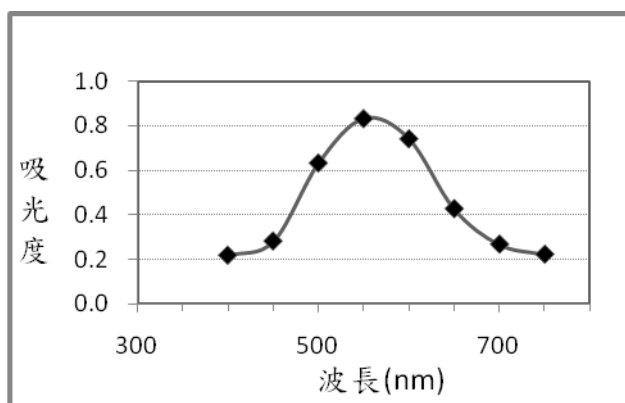
(1)實驗結果：【表一】

波長 (nm)	吸光度				吸光度 平均值
	實驗一	實驗二	實驗三	實驗四	
400	0.231	0.215	0.217	0.210	0.218
450	0.277	0.287	0.275	0.290	0.282
500	0.625	0.624	0.637	0.645	0.633
550	0.835	0.826	0.822	0.845	0.832
600	0.742	0.736	0.752	0.736	0.742
650	0.425	0.426	0.429	0.431	0.428
700	0.261	0.278	0.266	0.267	0.263
750	0.209	0.222	0.234	0.226	0.223

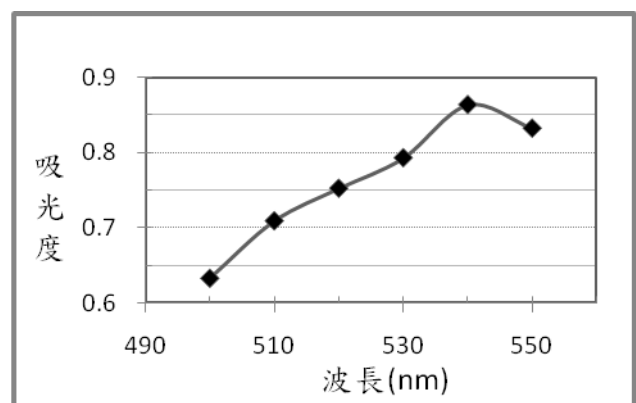
【表二】

波長 (nm)	吸光度				吸光度 平均值
	實驗一	實驗二	實驗三	實驗四	
500	0.625	0.6240	0.637	0.645	0.633
510	0.710	0.708	0.707	0.711	0.709
520	0.754	0.747	0.756	0.752	0.752
530	0.793	0.783	0.801	0.794	0.792
540	0.863	0.865	0.862	0.863	0.863
550	0.835	0.826	0.822	0.845	0.832

(2)數據分析及圖表：



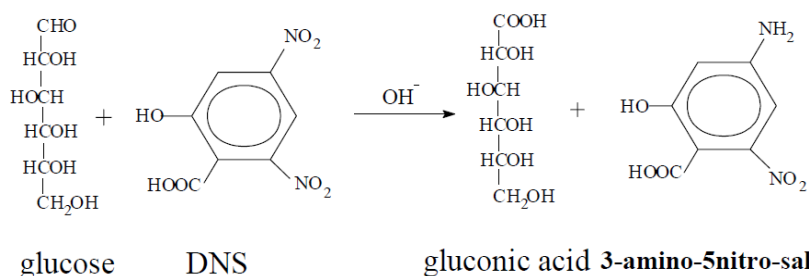
【圖一】



【圖二】

(3)結果與討論：

1.葡萄糖與 DNS 反應式如下：



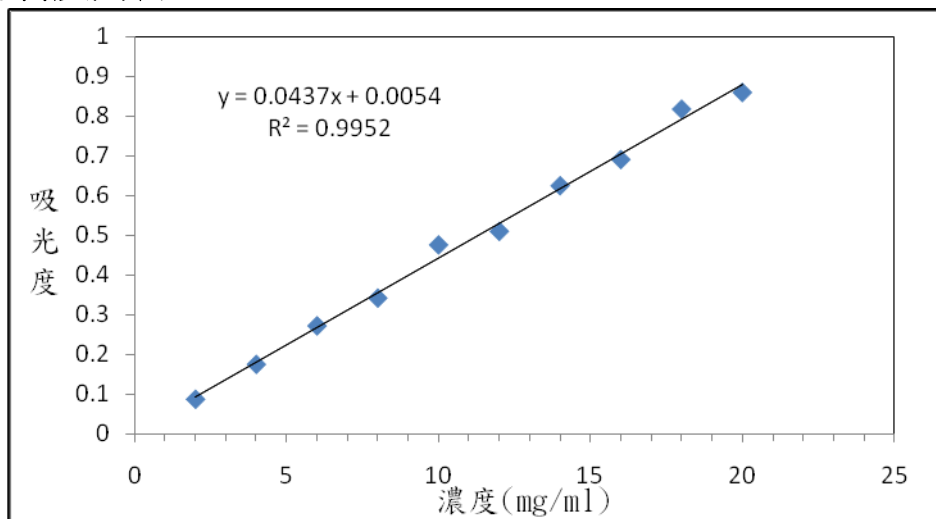
- 2.葡萄糖具有還原力，可使鹼性溶液 3,5-二硝基水楊酸還原成棕紅色的 3-胺基-5-硝基水楊酸，其產物穩定，當呈色劑
- 3.由表一及圖一可知，葡萄糖的最大吸光度大約在 500~550nm 之間。
- 4.最大吸光度在 500~550nm 之間，將波長範圍縮小為 10nm。
- 5.由表二及圖二可知，本實驗中研究測定的吸光度以 540nm 為基準。

【實驗二：】葡萄糖標準液的配製：

(1)實驗結果：

葡萄糖 (g)	葡萄糖標準液 (mg/ml)	標準液體積 (ml)	DNS (ml)	吸光度
0.5	2	10	30	0.088
1.0	4	10	30	0.176
1.5	6	10	30	0.273
2.0	8	10	30	0.343
2.5	10	10	30	0.477
3.0	12	10	30	0.511
3.5	14	10	30	0.626
4.0	16	10	30	0.692
4.5	18	10	30	0.819
5.0	20	10	30	0.851

(2)數據分析及圖表：



(3)照片：



(4)結果與討論：

- 1.吸光度相對於濃度準確性高，可由消耗 1ml KMnO_4 藉由吸光度馬上可知消耗的葡萄糖濃度
- 2.以分光光度計設定 $\lambda=540\text{nm}$ 測吸光度
- 3.以葡萄糖液的濃度為橫軸(x 軸)，吸光度為縱軸(y 軸)，製作標準曲線
- 4.從圖可知葡萄糖液的濃度與吸光度有線性關係，利用標準曲線的正比關係可求出未知液的濃度。

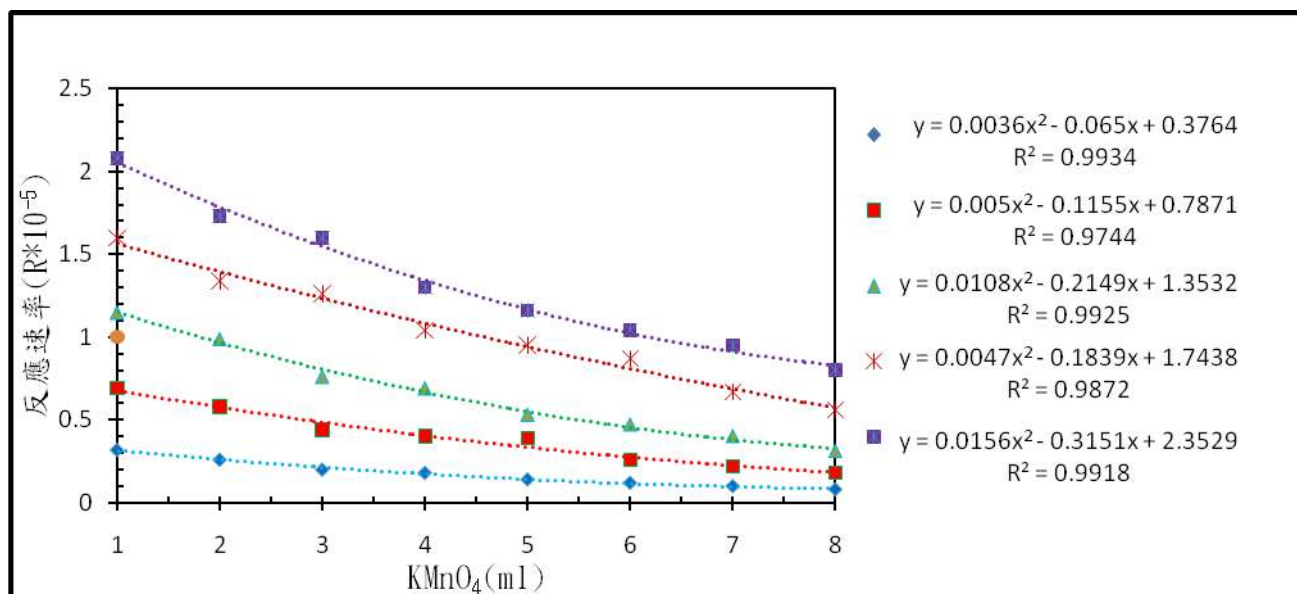
【實驗三：】濃度(M)對反應速率(R)的速率定律式：

(1)實驗結果：

KMnO_4 (ml)		0	1	2	3	4	5	6	7	8
葡=4 (mg/ml)	時間(S)	—	130	156	204	230	290	348	416	540
	吸光度	0.176	0.172	0.170	0.166	0.163	0.161	0.158	0.155	0.150
葡=8 (mg/ml)	時間(S)	—	60	72	94	103	106	161	193	231
	吸光度	0.343	0.340	0.337	0.333	0.330	0.327	0.323	0.320	0.317
葡=12 (mg/ml)	時間(S)	—	36	42	54	60	78	88	104	136
	吸光度	0.511	0.508	0.505	0.501	0.498	0.495	0.492	0.489	0.485
葡=16 (mg/ml)	時間(S)	—	26	31	33	40	44	48	62	74
	吸光度	0.692	0.689	0.686	0.682	0.679	0.676	0.673	0.670	0.666
葡=20 (mg/ml)	時間(S)	—	20	24	25	32	36	40	44	52
	吸光度	0.861	0.857	0.854	0.850	0.848	0.844	0.841	0.837	0.835

KMnO_4 (ml)		1 ml	2 ml	3 ml	4 ml	5 ml	6 ml	7 ml	8 ml
葡= 4	速率($\text{R} \times 10^{-5} \text{M/s}$)	0.32	0.26	0.20	0.18	0.14	0.12	0.10	0.08
葡= 8	速率($\text{R} \times 10^{-5} \text{M/s}$)	0.69	0.58	0.44	0.40	0.39	0.26	0.22	0.18
葡=12	速率($\text{R} \times 10^{-5} \text{M/s}$)	1.15	0.99	0.76	0.69	0.53	0.47	0.40	0.31
葡=16	速率($\text{R} \times 10^{-5} \text{M/s}$)	1.60	1.34	1.26	1.04	0.95	0.87	0.67	0.56
葡=20	速率($\text{R} \times 10^{-5} \text{M/s}$)	2.08	1.73	1.67	1.30	1.16	1.04	0.95	0.80

(2)數據分析及圖表：



(3)結果與討論：

- 1.按照碰撞學說，若反應物分子碰撞的頻率愈高，反應速率就愈快。由實驗顯示，在勻相反應中，反應速率和反應物濃度次方成正比，大部份先配製成溶液再進行實驗，因為溶液中反應物的粒子能均勻混合，因此碰撞機率大增。
- 2.以 0.005M KMnO₄ 滴入葡萄糖溶液中，消耗 0.005M KMnO₄ 1ml 相當於葡萄糖有 4.166×10^{-4} M 轉為葡萄糖酸，以吸光度換算葡萄糖消耗量，再除以時間即可知反應速率 R(M/s)
- 3.高中課程如需求反應速率是以達當量點時，反應物消耗量除時間，視為每秒皆相同的平均速率而視為零級。此實驗可改良課本以消耗 1ml KMnO₄ 當氧化劑所需的時間可看出未達當量點每 ml 的反應速率，由反應速率對濃度每 ml 的 KMnO₄ 反應速率皆不同，表葡萄糖氧化非零級
- 4.吸光度相對於濃度準確性高可由消耗 1ml KMnO₄ 藉由吸光度馬上可知消耗的葡萄糖濃度
- 5.在常溫下，葡萄糖的氧化速度相當慢，實驗過程中，老師要求並希望我們搖晃錐形瓶的速度在 3 次/s 上下，但滴入 0.05M 1ml 的 KMnO₄ 常需 1min~6min 左右，科展期間練就一身”搖晃”的好功夫，但也開心的順便減身上的掰掰袖
- 6.為讓實驗準確性增加，在 11~2 月時，水溫低於 25°C，需以加熱器加熱，配藥的水溫皆維持 25°C，提高準確性。
- 7.反應速率定律式 $r = k [A]^m [B]^n$ ，葡萄糖的氧化定律式可修正為 $R = k [C_6H_{12}O_6]^{1.2}$
- 8.H₂SO₄ 濃度改變，對反應速率影響不大，吸光度可準確測出[H⁺]濃度變化的影響，因此速率定律式可修正為 $R = k [C_6H_{12}O_6]^{1.2} [H^+]^{0.2}$ ，H₂SO₄ 濃度改變，對反應速率影響不大

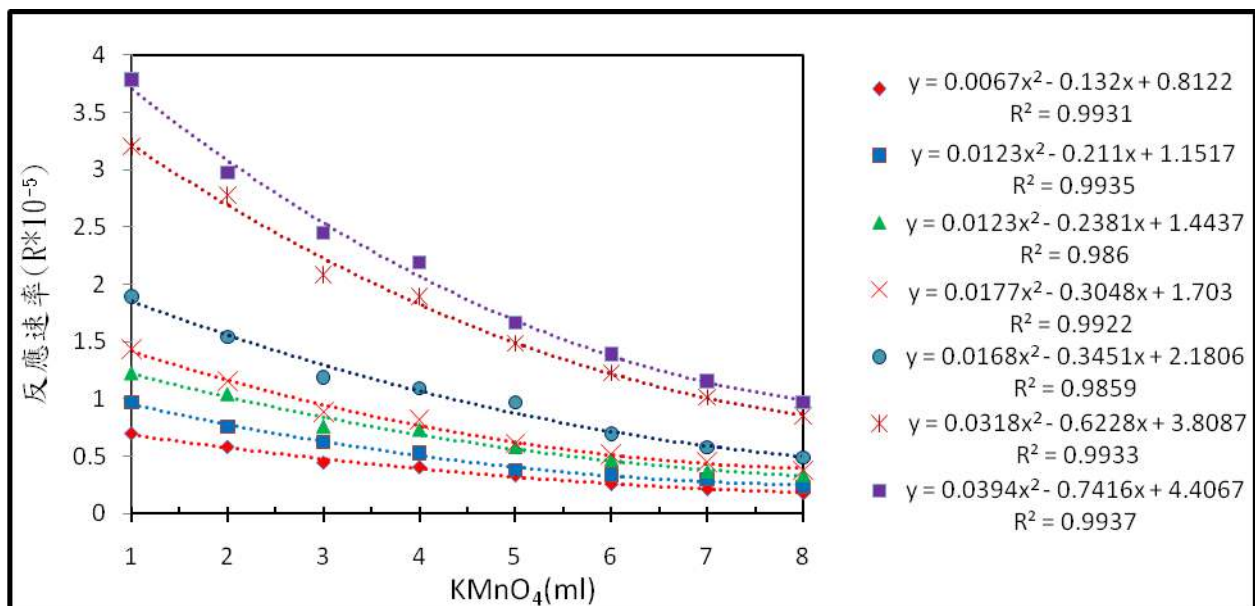
【實驗四：】溫度改變之速率常數(k)測定：

(1)實驗結果：

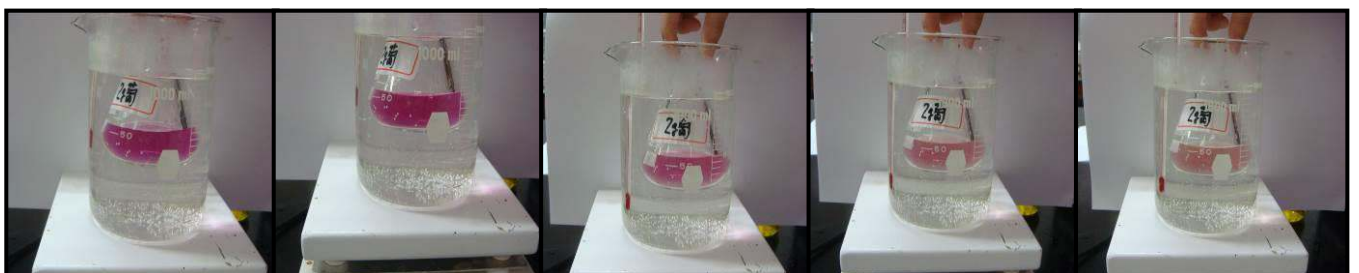
KMnO ₄ (ml)		0	1	2	3	4	5	6	7	8
25°C	時間(S)	—	60	72	94	103	125	161	193	231
35°C	時間(S)	—	43	55	67	79	110	123	138	178
45°C	時間(S)	—	34	40	55	57	72	89	114	126
55°C	時間(S)	—	29	36	47	51	68	81	92	110
65°C	時間(S)	—	22	27	35	38	43	60	72	85
75°C	時間(S)	—	13	15	20	22	28	34	41	49
85°C	時間(S)	—	11	14	17	19	25	30	36	43

KMnO ₄ (ml)		1 ml	2 ml	3 ml	4 ml	5 ml	6 ml	7 ml	8 ml
25°C	速率(R×10 ⁻⁵ M/s)	0.69	0.58	0.44	0.40	0.33	0.26	0.22	0.18
35°C	速率(R×10 ⁻⁵ M/s)	0.97	0.76	0.62	0.53	0.38	0.34	0.30	0.23
45°C	速率(R×10 ⁻⁵ M/s)	1.23	1.04	0.76	0.73	0.58	0.47	0.37	0.33
55°C	速率(R×10 ⁻⁵ M/s)	1.44	1.16	0.89	0.82	0.61	0.51	0.45	0.38
65°C	速率(R×10 ⁻⁵ M/s)	1.89	1.54	1.19	1.10	0.97	0.69	0.58	0.49
75°C	速率(R×10 ⁻⁵ M/s)	3.20	2.78	2.08	1.89	1.49	1.23	1.02	0.85
85°C	速率(R×10 ⁻⁵ M/s)	3.79	2.98	2.45	2.19	1.67	1.39	1.16	0.97

(2)數據分析及圖表：



(3)照片：【2g 葡萄糖+KMnO₄在75°C下顏色變化】



(4)結果與討論：

1.溫度愈高時，化學反應進行得愈快，分子的平均動能和絕對溫度成正比。溫度提高時，分子的碰撞頻率也隨之增加，分子所具有的動能曲線向右移，分子的動能必須超過低限能(E)的分子才能發生反應。當溫度提升時，高能分子的數目大幅增加，使有效的碰撞次數加多，反應速率因而增快。反應速率定律式 $r = k [A]^m [B]^n$ ，升高溫度使反應速率加快的最主要因素是k值變大。在定溫下k值雖為常數，但在不同的溫度下，會有不同的數值。因此實驗室加熱是最直接、有效增快反應速率的方法。

2. 溫度變化時，對反應物而言，其反應速率變化的倍率，由其活化能大小決定。

活化能愈大的反應，其反應速率變化倍率愈大。

3. 阿瑞尼士方程式： $\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT}$

$$\text{在 } T_1 : \ln k_1 = \ln A - \frac{E_a}{RT_1} \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{在 } T_2 : \ln k_2 = \ln A - \frac{E_a}{RT_2} \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$(1) - (2) \Rightarrow \ln k_1 - \ln k_2 = -\frac{E_a}{RT_1} + \frac{E_a}{RT_2}$$

$$\Rightarrow \ln \frac{k_1}{k_2} = \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

$$\Rightarrow \log \frac{k_1}{k_2} = \frac{E_a}{2.30 R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

4.溫度由 25°C 上升至 35°C，由阿瑞尼士方程式求得葡萄糖的活化能為 $E_a = 28.40 \text{ KJ/mole}$

5.在同溫度下，k 值(速率常數)固定，由濃度實驗得知的速率定率式： $R = k [C_6H_{12}O_6]^{1.2}$

由反應速率及濃度關係可求得 k 值(速率常數)

6. k 值大小會因溫度上升而隨之變大，實驗得知 k 值大小：

溫度	k 值(速率常數)(S^{-1})	溫度變化	反應速率(R)的倍數
25°C	2.894×10^{-4}	25°C ~ 35°C	1.45
35°C	4.068×10^{-4}	35°C ~ 45°C	1.22
45°C	5.159×10^{-4}	45°C ~ 55°C	1.20
55°C	6.040×10^{-4}	55°C ~ 65°C	1.30
65°C	7.928×10^{-4}	65°C ~ 75°C	1.74
75°C	1.342×10^{-3}	75°C ~ 85°C	1.13
85°C	1.589×10^{-3}		

7. 溫度每上升 10°C，反應速率(R)大約為原來溫度的 1.1~1.7 倍之間，溫度從 25°C ~ 85°C 反應速率(R)大約為原來溫度(25°C)的 5.43 倍

【實驗五：】(一)添加催化劑(氯金酸)之速率常數(k)測定：

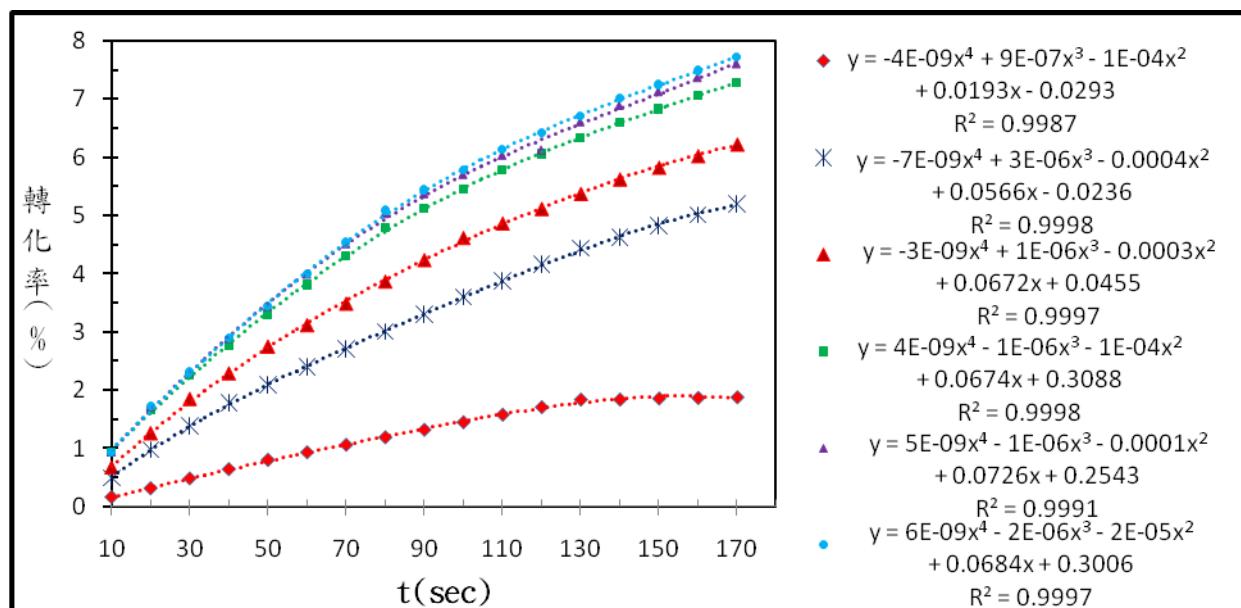
(1)原理：催化劑就是藉著改變反應的路徑催化劑的參與造成不同的活性錯合物，催化劑可降低活化能，達到催化的目的，依動力學的觀點來看，活化能愈大的反應，添加催化劑其效果愈好。

(2)實驗結果：

KMnO ₄ (ml)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
葡= 8 mg/ml	—	60	72	94	103	106	161	193	231
葡+0.1g Au	—	19	23	30	32	33	50	61	77
葡+0.2g Au	—	14	18	21	25	25	37	47	56
葡+0.3g Au	—	10	13	16	18	19	28	34	41
葡+0.4g Au	—	10	12	16	17	18	28	33	39
葡+0.5g Au	—	10	12	16	17	17	27	32	39

轉化率(%)	葡= 8 mg/ml	葡+0.1g Au	葡+0.2g Au	葡+0.3g Au	葡+0.4g Au	葡+0.5g Au
10 秒	0.16	0.49	0.67	0.94	0.94	0.94
20 秒	0.31	0.98	1.26	1.66	1.72	1.72
30 秒	0.48	1.38	1.85	2.25	2.31	2.31
40 秒	0.64	1.78	2.29	2.77	2.89	2.89
50 秒	0.80	2.09	2.75	3.29	3.44	3.44
60 秒	0.93	2.40	3.12	3.81	3.99	3.99
70 秒	1.06	2.71	3.49	4.30	4.51	4.54
80 秒	1.19	3.00	3.87	4.79	5.03	5.09
90 秒	1.32	3.30	4.24	5.12	5.37	5.44
100 秒	1.45	3.60	4.62	5.45	5.70	5.78
110 秒	1.58	3.88	4.87	5.78	6.03	6.13
120 秒	1.71	4.16	5.12	6.06	6.12	6.42
130 秒	1.84	4.44	5.38	6.33	6.60	6.71
140 秒	1.85	4.63	5.63	6.6	6.88	7.01
150 秒	1.86	4.82	5.83	6.83	7.12	7.25
160 秒	1.87	5.01	6.03	7.06	7.36	7.49
170 秒	1.87	5.20	6.23	7.29	7.60	7.73

(3)數據分析及圖表：



(4)照片：



【2g 葡萄糖及 2g 葡萄糖 + Au】

【 $\text{HAuCl}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 】

【2g 葡萄糖 + Au + KMnO_4 及 2g 葡萄糖 + KMnO_4 】

(5)結果與討論：

1. 催化劑分均相催化劑與非均相催化劑。非均相催化劑呈現在不同相的反應中，均相催化劑則是呈現在同一相的反應。
2. 此次科展選用兩種不同的催化劑，第一種為均相催化劑：氯金酸($\text{HAuCl}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)，第二種為非均相催化劑：二氧化鈦(TiO_2)，比較其催化效果
3. 葡萄糖分子本身有 5 個醇基(羥基) (OH)及 1 個醛基(CHO)，在醛及醇的競爭氧化劑測試中發現，醛氧化速率比醇快，且以 HAuCl_4 為催化劑對醇的氧化完全沒有活性，醛基和醇基的競爭氧化過程中只有醛基被氧化。
4. 葡萄糖氧化產物可由 HPLC(高效液相層析法)分析得知，只是高中未有如此高科技的儀器，我們是由維基百科及學校老師得知此資訊。

5. 葡萄糖氧化速度慢，加入催化劑提昇反應速率是動力學研究必須考慮的重要因素。
6. 由多方資訊及大陸的相關研究得知，以 HAuCl_4 為催化劑活性最高。
7. 此次科展實驗，才知為何高中實驗未使用它當催化劑，實因 HAuCl_4 的價格相當昂貴，但為了探討氧化動力學之完整性，實驗期間買了 3 罐(3g)超過高中預算的 HAuCl_4 (氯金酸)。
8. 實驗過程中， HAuCl_4 的潮解速度相當驚人，因此稱取藥品需精準迅速。
9. 氯金酸只有 3g，因此每次催化的變因只增加氯金酸 0.1g，求反應速率並換成相同時間內，葡萄糖的轉化率。
10. 葡萄糖中的醛基能在酸性條件下，氧化成羧酸，也能在鹼性條件下氧化成羧酸根。
 氧化： $\text{CH}_2\text{OH}(\text{CH}_2\text{OH})_4\text{CHO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_2\text{OH}(\text{CH}_2\text{OH})_4\text{COOH} + 2\text{e}^- + 2\text{H}^+$
 還原： $\text{MnO}_4^- + 5\text{e}^- + 8\text{H}^+ \rightarrow \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$
11. 以 HAuCl_4 對葡萄糖的高選擇性主要為醛基及醇基氧化速率差異大， HAuCl_4 對二級醇經基有無法反應的惰性。
12. 葡萄糖的轉化率與反應時間有高度的相關性，葡萄糖的轉化率會隨時間而愈來愈大，但相同時間內轉化率的增加量隨時間增加而降低。
13. 葡萄糖加催化劑 HAuCl_4 中，可由圖表得知，加催化劑的量愈多，轉化率愈大。
14. 添加 0.1g HAuCl_4 反應速率約為未添加時的 3.2 倍，依序為 0.1g(R=3.2 倍)，0.2g(R=4.3 倍)，0.3g(R=5.6 倍)，0.4g(R=6.0 倍)，0.5g(R=6.1 倍)。
15. 由以上數據可知，加入 0.1~0.3g HAuCl_4 時，反應速率有明顯增加的趨勢，但 0.3g 以上增加的速率即有限，0.3~0.5g 速率增加倍數即不明顯。

16. 25°C 葡萄糖的活化能為 28.4 kJ/mol，根據阿瑞尼士對降低活化能的計算公式：

$$\text{EXP}\left(\frac{\Delta E_a \times 1000}{8.314 \times T}\right) = k$$

(ΔE_a ：活化能的下降量)(KJ/mole) (T：絕對溫度) (k：速率常數)(S^{-1})

因 HAuCl_4 改變反應途徑，速率常數 $k \approx 3 \sim 6$ 倍，因此反應速率為原來 3~6 倍，

HAuCl_4 大幅限低反應活化能，藉以增快反應速率。

加 HAuCl_4 重(g)	活化能下降量(ΔE)	活化能(E)
0.1	2.88	25.52
0.2	3.61	24.79
0.3	4.27	24.13
0.4	4.43	23.97
0.5	4.48	23.92

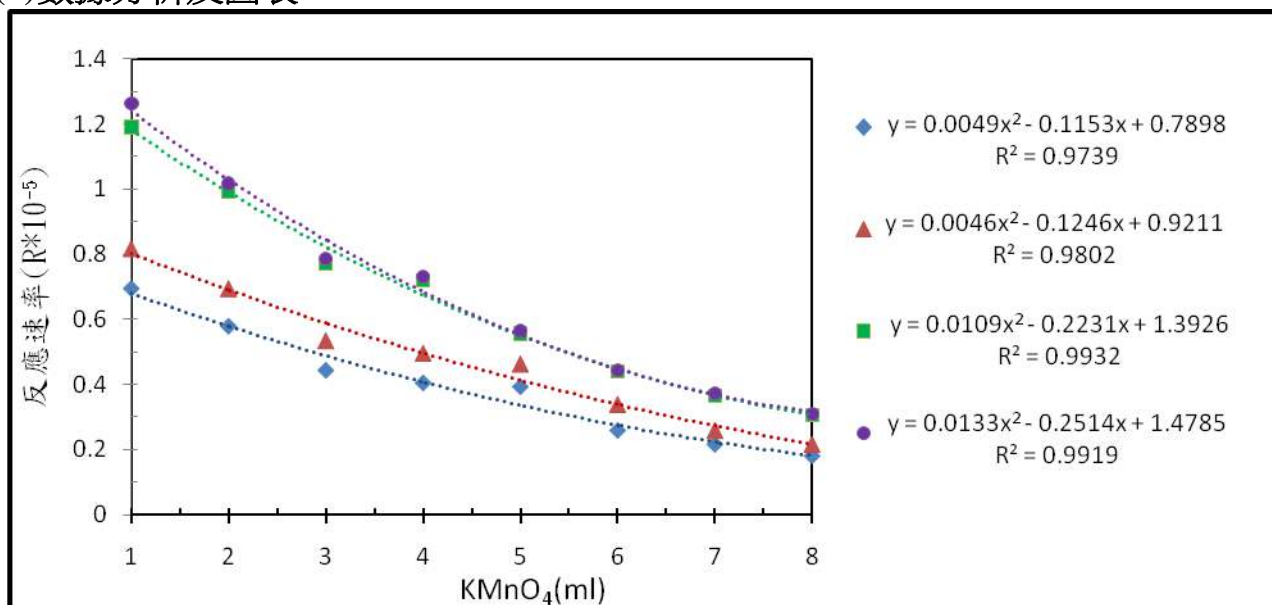
【實驗五：】(二)添加催化劑(二氧化鈦)之速率常數(k)測定：

(1)實驗結果：

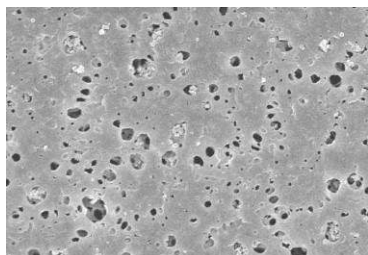
KMnO ₄ (ml)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
葡= 8 mg/ml	—	60	72	94	103	106	161	193	231
葡+ 1 g TiO ₂	—	51	60	78	84	90	123	161	193
葡+ 2 g TiO ₂	—	35	42	54	58	75	95	114	136
葡+ 3 g TiO ₂	—	33	41	53	57	74	94	112	135
葡+ 4 g TiO ₂	—	33	41	52	56	74	94	112	132
葡+ 5 g TiO ₂	—	33	40	52	56	72	92	110	131

KMnO ₄ (ml)		1 ml	2 ml	3 ml	4 ml	5 ml	6 ml	7 ml	8 ml
葡= 8	速率(R×10 ⁻⁵ M/s)	0.69	0.58	0.44	0.40	0.39	0.26	0.22	0.18
1gTiO ₂	速率(R×10 ⁻⁵ M/s)	0.82	0.69	0.53	0.50	0.46	0.34	0.26	0.22
2gTiO ₂	速率(R×10 ⁻⁵ M/s)	1.19	0.99	0.77	0.72	0.56	0.44	0.37	0.31
3gTiO ₂	速率(R×10 ⁻⁵ M/s)	1.26	1.02	0.79	0.73	0.56	0.44	0.37	0.31
4gTiO ₂	速率(R×10 ⁻⁵ M/s)	1.26	1.02	0.80	0.74	0.56	0.44	0.37	0.32
5gTiO ₂	速率(R×10 ⁻⁵ M/s)	1.26	1.02	0.80	0.74	0.58	0.45	0.38	0.32

(2)數據分析及圖表：



(3)照片 (I)：【TiO₂ 顆粒凝聚 SEM 圖】(維基百科)



(3)照片(II)：



【(1)葡萄糖 (2) 2gTiO₂ (3)0.3 gAu (4) 2gTiO₂+0.3gAu】【加 KMnO₄ 在 25°C 下顏色的變化】

(4)結果與討論：

1. 葡萄糖加催化劑 TiO₂ 中，可由圖表得知，加催化劑的量愈多，反應速率越快，轉化率愈大
2. TiO₂ 常作為光觸媒的材質，TiO₂ 所誘導的光催化反應主要是來自其價軌域能帶和傳導能帶間電子的轉移，當 TiO₂ 粒子受到光線的照射，如果光子的能量等於或大於 TiO₂ 的能隙，則此光子可被 TiO₂ 吸收並將價帶上的電子提升到傳導帶上。
3. TiO₂ 催化反應是屬於非均相催化包含反應物吸附在催化劑的表面，反應物內的鍵因十分的脆弱而導致新的鍵產生，但又因產物與催化劑間的鍵無法形成，使產物出現。
4. 此次科展實驗選用 TiO₂ 的原因，是因添加催化劑 H₂AuCl₄ 對葡萄糖的氧化速率的增加有極佳的效果，但因 H₂AuCl₄ 價格實在太貴，想找催化效果不錯，高中氧化還原反應也能加以配合使用者，參考多方資訊最後選用 TiO₂。
5. 科展實驗選用 TiO₂ 的原因：(1)經濟上便宜，還有 TiO₂ (2)化學性質穩定
(3)可促助反應的分子種類相當多
(4)吸光範圍與太陽光頻率部分重疊，白天實驗即有不錯的反應效果
(5)TiO₂ 接觸面積大，有細小的孔徑易於反應物與 TiO₂ 接觸的大面積中反應
6. 實驗過程中發現使用 TiO₂ 催化，因非均相催化，TiO₂ 與反應物攪拌的過程會形成膠體，經一段時間 TiO₂ 會沉積於底部，且有凝聚現象。(如上圖的 SEM 照片)(維基百科)
7. 添加 1g TiO₂ 反應速率約為未添加時的 1.2 倍，依序為 1.0g(R=1.2 倍)，2.0g(R=1.7 倍)，3.0g(R=1.71 倍)，4.0g(R=1.72 倍)，5.0g(R=1.72 倍)。
8. 由以上數據可知，加入 1~2 gTiO₂ 時，反應速率有明顯增加的趨勢，但 2 g 以上增加的速率即有限，可能 2 g 的 TiO₂ 的接觸面積已足夠葡萄糖氧化，2~5g 速率增加倍數即不明顯。

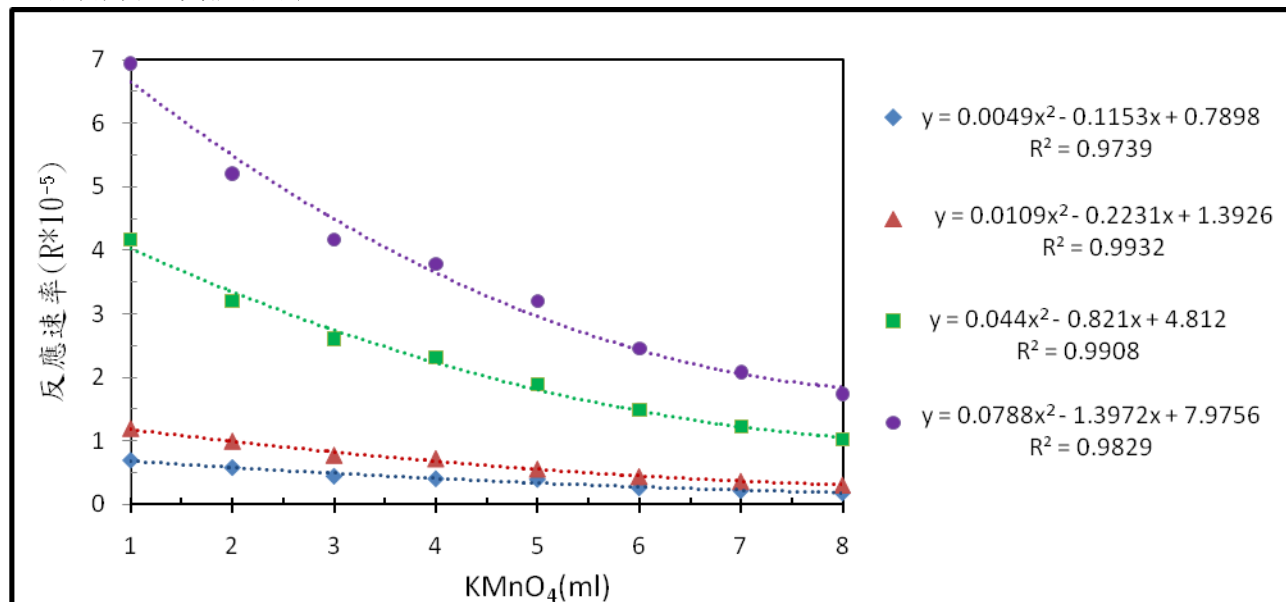
【實驗六：】改變溫度及添加催化劑之速率常數(k)測定：

(1-1)實驗結果：【25°C下反應】

KMnO ₄ (ml)		0	1	2	3	4	5	6	7	8
葡= 8 mg/ml	(S)	—	60	72	94	103	106	161	193	231
葡+ 2.0 g TiO ₂	(S)	—	35	42	54	58	75	95	114	136
葡+ 0.3 g Au	(S)	—	10	13	16	18	22	28	34	41
葡+ 0.3 g Au + 2gTiO ₂ (S)		—	6	8	10	11	13	17	20	24

KMnO ₄ (ml)		1 ml	2 ml	3 ml	4 ml	5 ml	6 ml	7 ml	8 ml
葡= 8 mg/ml	R×10 ⁻⁵ M/s	0.69	0.58	0.44	0.40	0.39	0.26	0.22	0.18
葡+ 2 g TiO ₂	R×10 ⁻⁵ M/s	1.19	0.99	0.77	0.72	0.56	0.44	0.37	0.31
葡+ 0.3 g Au	R×10 ⁻⁵ M/s	4.17	3.20	2.60	2.31	1.89	1.49	1.23	1.02
葡+ 0.3gAu + 2gTiO ₂	R×10 ⁻⁵ M/s	6.94	5.21	4.17	3.79	3.20	2.45	2.08	1.74

(2-1)數據分析及圖表：

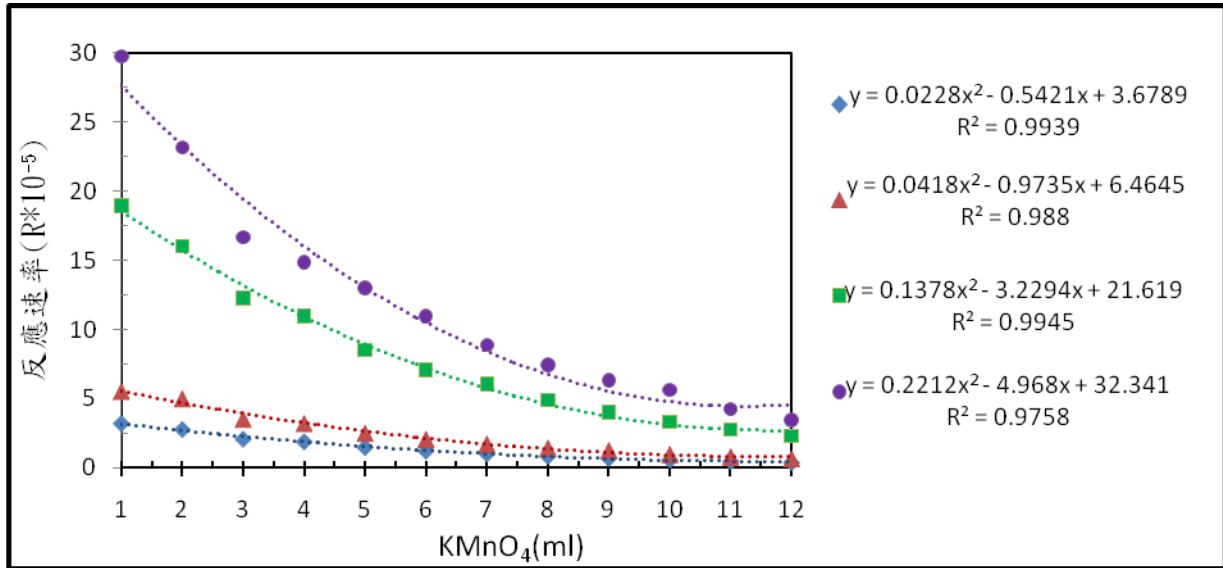


(1-2)實驗結果：【75°C下反應】

KMnO ₄ (ml)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
葡= 8 mg/ml	—	13	15	20	22	28	34	41	49	59	71	88	106
葡+ 2 g TiO ₂	—	7.5	8.3	11.8	12.9	16.5	20.1	24.1	28.8	32.7	42.0	51.8	62.4
葡+ 0.3 g Au	—	2.2	2.6	3.4	3.8	4.9	5.9	6.9	8.5	10.4	12.5	15.1	18.1
葡+ 0.3 g Au + 2gTiO ₂	—	1.4	1.8	2.5	2.8	3.2	3.8	4.7	5.6	6.6	7.4	9.8	12.1

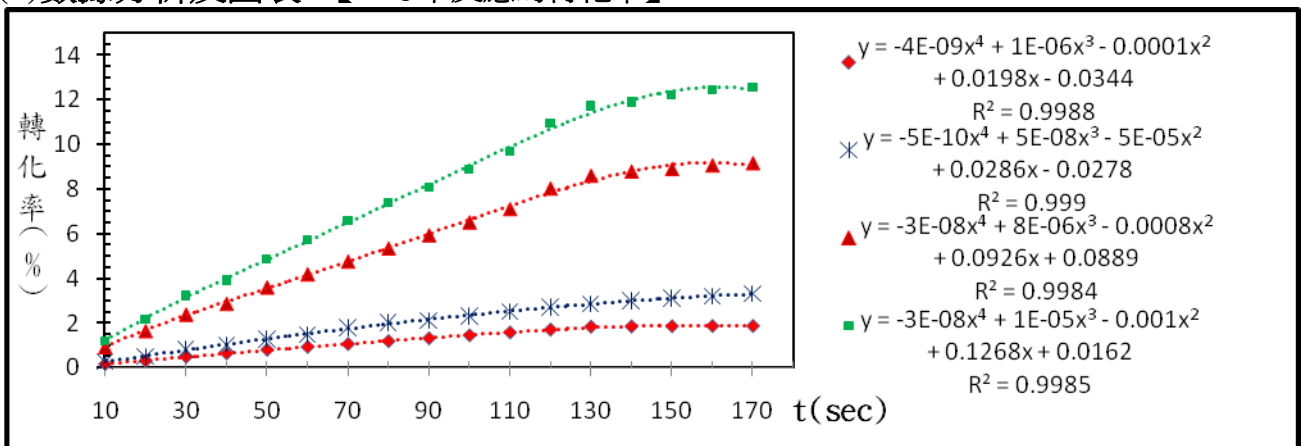
KMnO ₄ (ml)(R×10 ⁻⁵ M/s)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
葡= 8 mg/ml	3.2	2.8	2.1	1.9	1.5	1.2	1.0	0.9	0.7	0.6	0.5	0.4
葡+ 2 g TiO ₂	5.5	5.0	3.5	3.2	2.5	2.1	1.7	1.5	1.3	1.0	0.8	0.7
葡+ 0.3 g Au	18.9	16.0	12.3	11.0	8.5	7.1	6.0	4.9	1.0	3.3	2.8	2.3
葡+ 0.3gAu + 2gTiO ₂	29.8	23.1	16.7	14.8	13.0	10.9	8.9	7.4	6.3	5.6	4.2	3.4

(4)數據分析及圖表：

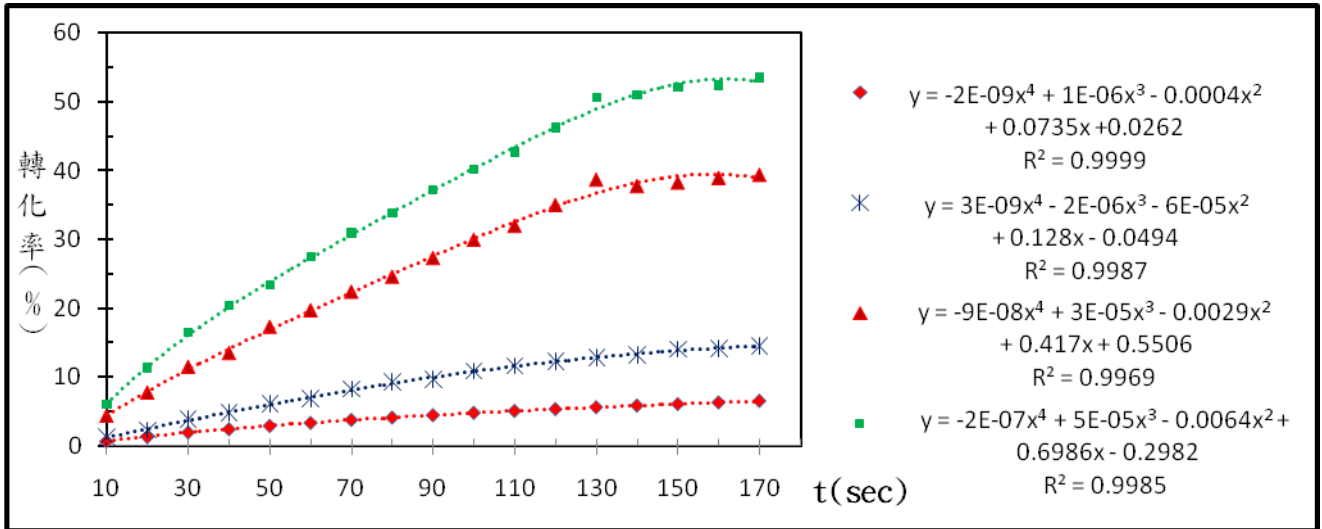


轉化率(%)	【25°C】				【75°C】			
	葡= 8	2gTiO ₂	0.3gAu	0.3g Au+2gTiO ₂	葡= 8	2gTiO ₂	0.3gAu	0.3g Au+2gTiO ₂
10 秒	0.16	0.27	0.94	1.20	0.72	1.29	4.42	6.04
20 秒	0.31	0.49	1.66	2.17	1.35	2.30	7.80	11.34
30 秒	0.48	0.82	2.40	3.23	1.98	3.85	11.52	16.43
40 秒	0.64	1.02	2.88	3.91	2.45	4.80	13.54	20.33
50 秒	0.80	1.28	3.61	4.86	2.92	6.14	17.33	23.40
60 秒	0.93	1.49	4.20	5.72	3.35	6.85	19.74	27.47
70 秒	1.06	1.80	4.77	6.57	3.78	8.28	22.42	30.95
80 秒	1.19	2.02	5.35	7.38	4.12	9.30	24.61	33.78
90 秒	1.32	2.11	5.94	8.10	4.46	9.70	27.32	37.12
100 秒	1.45	2.32	6.52	8.88	4.80	10.91	29.98	40.12
110 秒	1.58	2.52	7.11	9.68	5.07	11.60	32.01	42.70
120 秒	1.71	2.72	8.03	10.95	5.34	12.24	35.01	46.23
130 秒	1.84	2.85	8.60	11.73	5.61	12.82	38.70	50.63
140 秒	1.85	3.01	8.79	11.90	5.84	13.24	37.78	51.05
150 秒	1.86	3.12	8.90	12.21	6.06	14.08	38.27	52.10
160 秒	1.87	3.20	9.06	12.45	6.29	14.15	38.95	52.36
170 秒	1.87	3.30	9.16	12.56	6.51	14.52	39.39	53.52

(2)數據分析及圖表：【25°C下反應的轉化率】



【75°C下反應的轉化率】

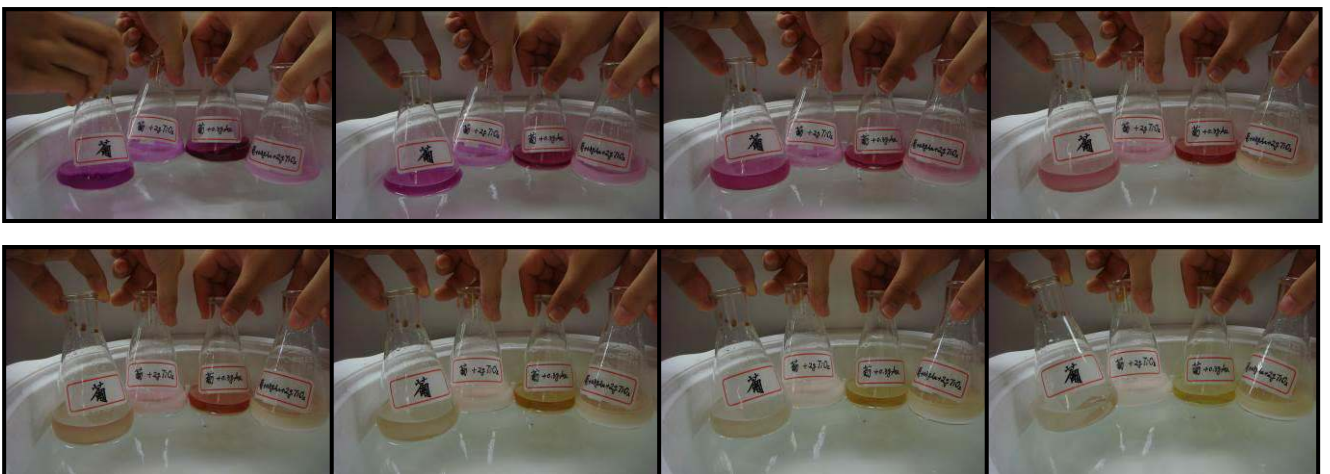


(3)照片(I) :



【2g 葡萄糖 + 0.3gAu + KMnO₄ 在 75°C 下顏色的變化】

(3)照片(II) :



【(1)葡萄糖 (2) 2gTiO₂ (3)0.3 gAu (4) 2gTiO₂+0.3gAu】【加 KMnO₄ 在 75°C 下顏色的變化】

(4)結果與討論：

- 1.水溫 75°C時，以 HAuCl_4 及 TiO_2 做為催化劑的實驗過程中，有趣且像在打戰，速度快到放入水浴槽，顏色立即有明顯變化。按碼錶的速度需快狠準，否則時間就會有誤差。
- 2.照片中的顏色變化是以連拍方式呈現，可看出顏色的快速變化。
- 3.葡萄糖溶液 + KMnO_4 的顏色變化：

試 劑	顏 色 變 化
葡萄糖	紫紅 → 無
葡 + 2 g TiO_2	紫紅 → 白
葡 + 0.30 g Au	紫紅(深) → 金黃色
葡 + 0.30 g Au + 2g TiO_2	紫紅 → (上層)金黃色(下層)白色

- 4.比較在常溫(25°C)及高溫(75°C)時的葡萄糖轉化率的倍數關係：

試 劑	25°C(倍數)	75°C(倍數)
葡萄糖	1.00	3.48
葡 + 2 g TiO_2	1.76	7.76
葡 + 0.30 g Au	5.61	21.06
葡 + 0.30 g Au + 2g TiO_2	6.72	28.62

加入催化劑及升高溫度轉化率及反應速率皆有大幅提升的現象

5. 25°C 葡萄糖的活化能為 28.40 kJ/mol，根據阿瑞尼士對降低活化能的計算公式：

$$\text{EXP}\left(\frac{\Delta E_a \times 1000}{8.314 \times T}\right) = k$$

試 劑	活化能下降量(ΔE)	活化能(E)
葡萄糖	0.00	28.40
葡 + 2 g TiO_2	1.40	27.00
葡 + 0.30 g Au	4.27	24.13
葡 + 0.30 g Au + 2g TiO_2	4.72	23.68

- 6.由前面的反應速率圖表可知，相同溫度下，實驗加入 TiO_2 後，反應速率雖有增加，但並不顯著；加入氯金酸後，反應速率則大幅增加；當 TiO_2 與氯金酸一起加入時，效果最佳。
- 7.升高溫度至 75°C 時，反應速率明顯比 25°C 時加快許多，而且當 TiO_2 與氯金酸共同催化本實驗時，反應速度快得驚人。
- 8.由前面的轉化率圖表可知，25°C 時 170 秒時轉化率約為 1.87 %，75°C 時 170 秒時轉化率約為 6.51%，升高溫度至 75°C 時，相同時間內，四組實驗的轉化率增加量皆較 25°C 時大許多。
- 9.相同溫度下，加入氯金酸為催化劑，轉化率雖已比原先無催化劑時增加，但 TiO_2 與氯金酸一起加入時，葡萄糖的轉化效果最好。而溫度高至 75°C 時， TiO_2 與氯金酸一起加入時轉化率已高達將近 60%
- 10.由此可知，加入催化劑及升高溫度，轉化率及反應速率皆有大幅提升的現象。

【實驗七：】澱粉水解：

(1)實驗結果：

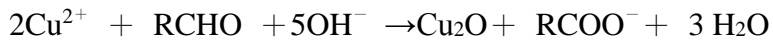
1. 澱粉水解百分比(%)的求得

a. 測出葡萄糖重 = x g b. 澱粉樣品重 = y g

$$P(\%) = \frac{x(\text{g}) \times 250(\text{ml}) \times 0.9}{2(\text{ml}) \times y(\text{g})} \times 100\%$$

2. 經不同的日照天數，可求澱粉水解的百分率。

3. 葡萄糖與斐林試劑反應方程式：

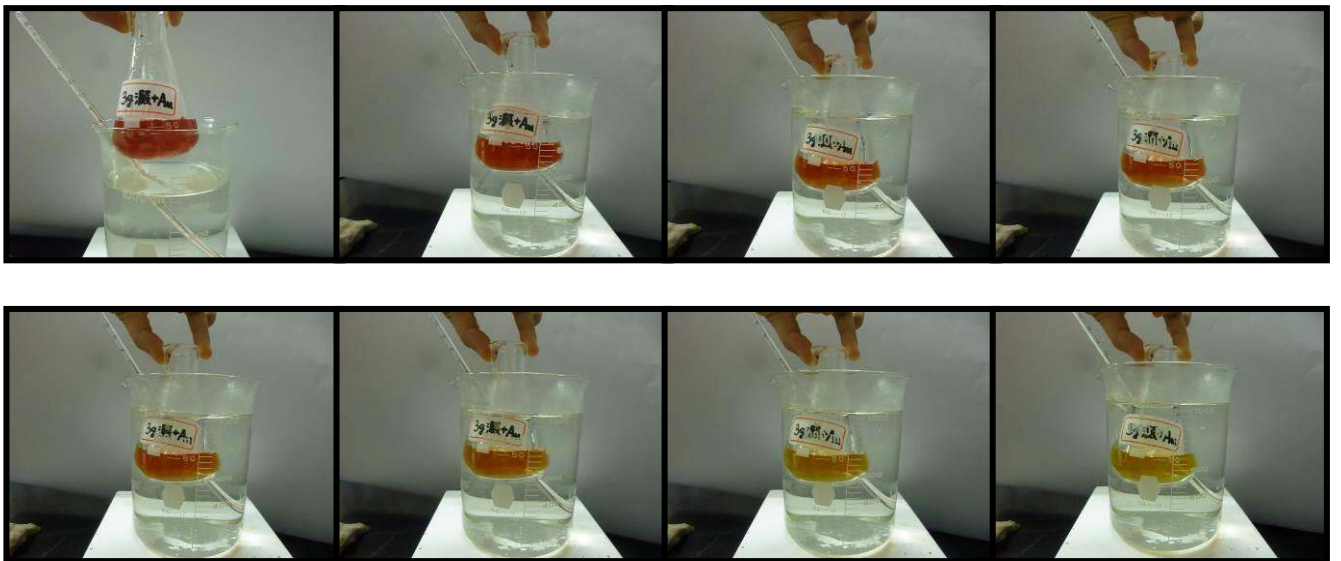


天數	Cu ₂ O 沉澱量	葡萄糖重(g)	轉化率(%)
1天	0.010	0.0126	47.25
2天	0.013	0.0164	61.50
3天	0.015	0.0189	70.87
4天	0.016	0.0201	75.37
5天	0.018	0.0226	84.75

(2)照片：



【澱粉水解後+斐林試劑在不同天數的顏色變化】



【澱粉水解+0.3gAu+KMnO₄在75°C下顏色的變化】

(3)結果與討論：

- 1.澱粉是較難溶於水的顆粒，澱粉在酸中可水解成葡萄糖，利用葡萄糖的吸光度，找出澱粉水解的反應速率，及水解百分率，並作出校正曲線讓實驗更加完整。
- 2.澱粉水解百分率隨天數增加而增加，以第一天轉化率最大

六、結果與討論：

- 1.傳統氧化還原，只能視反應速率為零級，因為未達到終點時皆未知消耗量，但如修正用吸光度可準確測出每秒消耗量，且可測出真正有機物反應過程中速率定律式的級數。
- 2.葡萄糖最大吸光度在 500~550nm 之間，本實驗中研究測定的吸光度以 540nm 為基準
- 3.葡萄糖液的濃度與吸光度有線性關係，利用標準曲線的正比關係可求出未知液的濃度
- 4.反應速率定律式 $r = k [A]^m [B]^n$ ，葡萄糖的氧化定律式可修正為 $R = k[C_6H_{12}O_6]^{1.2}$
5. H_2SO_4 濃度改變，對反應速率影響不大，吸光度可準確測出 $[H^+]$ 濃度變化的影響，因此速率定律式可修正為 $R = k[C_6H_{12}O_6]^{1.2}[H^+]^{0.2}$

6.阿瑞尼士方程式： $\Rightarrow \ln \frac{k_1}{k_2} = \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \Rightarrow \log \frac{k_1}{k_2} = \frac{E_a}{2.30 R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$

溫度由 25°C 上升至 35°C，由阿瑞尼士方程式求得葡萄糖的活化能為 $E_a = 28.40 \text{ KJ/mole}$

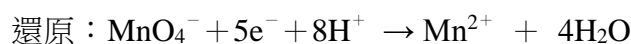
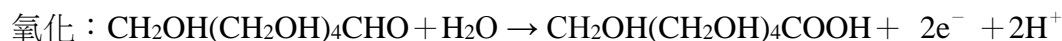
- 7.k 值大小會因溫度上升而隨之變大，實驗得知 k 值大小：

溫度	k 值(速率常數)(S^{-1})	溫度變化	反應速率(R)的倍數
25°C	2.894×10^{-4}	25°C ~ 35°C	1.45
35°C	4.068×10^{-4}	35°C ~ 45°C	1.22
45°C	5.159×10^{-4}	45°C ~ 55°C	1.20
55°C	6.040×10^{-4}	55°C ~ 65°C	1.30
65°C	7.928×10^{-4}	65°C ~ 75°C	1.74
75°C	1.342×10^{-3}	75°C ~ 85°C	1.13
85°C	1.589×10^{-3}		

- 8.溫度每上升 10°C，反應速率(R)大約為原來溫度的 1.1~1.7 倍之間，溫度從 25°C ~ 85°C

反應速率(R)大約為原來溫度(25°C)的 5.43 倍

- 9.葡萄糖中的醛基能在酸性條件下，氧化成羧酸，也能在鹼性條件下氧化成羧酸根



- 10.以 HAuCl_4 對葡萄糖的高選擇性主要為醛基及醇基氧化速率差異大， HAuCl_4 對二級醇羥基有無法反應的惰性。加催化劑的量愈多，轉化率愈大。

11. 添加 0.1g HAuCl₄ 反應速率約為未添加時的 3.2 倍，依序為 0.1g(R=3.2 倍)，0.2g(R=4.3 倍)，0.3g(R=5.9 倍)，0.4g(R=6.0 倍)，0.5g(R=6.1 倍)。0.3~0.5g 速率增加倍數即不明顯
12. 催化劑的氧化率：HAuCl₄ > TiO₂，TiO₂ 可搭配溫度提升氧化率。
13. 25°C 葡萄糖的活化能為 28.4 kJ/mol，根據阿瑞尼士對降低活化能的計算公式：

$$\text{EXP}\left(\frac{\Delta E_a \times 1000}{8.314 \times T}\right) = k \quad (\Delta E_a : \text{活化能的下降量})(\text{KJ} / \text{mole})$$

加 HAuCl ₄ 重(g)	活化能下降量(ΔE)	活化能(E)
0.1	2.88	25.52
0.2	3.61	24.79
0.3	4.27	24.13
0.4	4.43	23.97
0.5	4.48	23.92

14. 25°C 葡萄糖的活化能為 28.40 kJ/mol，根據阿瑞尼士對降低活化能的計算公式：

試 劑	活化能下降量(ΔE)	活化能(E)
葡萄糖	0.00	28.40
葡 + 2 g TiO ₂	1.40	27.00
葡 + 0.30 g Au	4.27	24.13
葡 + 0.30gAu + 2g TiO ₂	4.72	23..68

15. 葡萄糖溶液 + KMnO₄ 的顏色變化：

試 劑	顏 色 變 化
葡萄糖	紫紅 → 無
葡 + 2 g TiO ₂	紫紅 → 白
葡 + 0.30 g Au	紫紅(深) → 金黃色
葡 + 0.30 g Au + 2g TiO ₂	紫紅 → (上層)金黃色(下層)白色

16. 加入催化劑及升高溫度轉化率及反應速率皆有大幅提升的現象
17. 在實驗過程中，H₂SO₄ 的加入多寡，會稍微影響 R 之外，[H⁺] 的濃度及溫度也會造成反應過程中顏色的不同，實驗中有可能發現的相關方程式
- 方程式：a. $\text{MnO}_4^- + 3\text{e}^- + 4\text{H}^+ \rightarrow \text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
- b. $3\text{Mn}^{2+} + 2\text{MnO}_4^- + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 5\text{MnO}_2 + 4\text{H}^+$
- c. $3\text{MnO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ \rightarrow 2\text{MnO}_4^- + \text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
- d. $\text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Mn}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$
18. 澱粉水解百分率隨天數增加而增加，以第一天轉化率最大
19. 此次反應速率的實驗，經一連串的討論後，覺得自己動腦思考感覺真好，且在研究及探討上，有更深一層的認識。

七、未來展望：

- 1.由於分光光度計可以較準確的測量葡萄糖的轉化率，未來希望能以此測量方法測定其他醣類的水解速率。
- 2.我們希望將來能更深入的探討 TiO_2 催化反應機制，由於 TiO_2 是光觸媒，我們希望能設計不同光照情況對 TiO_2 催化效果的影響，以期能對 TiO_2 的催化流程有更深入的了解。
- 3.我們認為這個實驗非常適合放入高中實驗課程中。除了鮮明的顏色變化外，此實驗可以結合高中課程中的許多單元，例如：反應速率、氧化還原...等。
- 4.雖然 TiO_2 的催化效果沒有氯金酸來的好，但相對便宜許多，我們希望未來能找出 TiO_2 +氯金酸的最佳比例，再金錢與反應速率間取得一個平衡點。

八、參考資料：

- 1.科學 online：科技部高瞻自然科學資源平台。
- 2.葡萄糖催化成葡萄糖酸催化劑研究發展：鄭州大學化學系，河南。
- 3.葡萄糖氧化及葡萄糖酸生產技術的研究－食品工業科技：楊瑞金，聞方。
- 4.食品化學六版：張為憲編著，華香園出版社。
- 5.二氧化鈦奈米顆粒複合高分子電解質在染料敏化太陽能：國立清華大學
- 6.基礎化學(III)，民國 102 年，龍騰文化，第三章反應速率
- 7.邱承美：儀器分析原理，科文出版社。
- 8.遠哲科學教育基金會：發現月刊第 57 期
- 9.Chemistry,J.P.Birk；Houghton Mifflin Co.,1994,
- 10.Standard Methods for Examination of Water and Wastewater,16th Edition,1985
- 11.本氏液：<http://residence.educities.edu.tw/yenwen/science/questions/chem/1.htm>
- 12.斐林試劑(維基百科)：
<http://zh.wikipedia.org/zh-hant/%E6%96%90%E6%9E%97%E8%AF%95%E5%89%82>
13. TiO_2 光催化原理和應用例子
http://proj3.sinica.edu.tw/~chem/servxx6/files/paper_1321_1231752390.pdf
- 14.環保新尖兵—二氧化鈦光催化反應及應用
<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/p=43788>
- 15.二氧化鈦光催化原理：<http://wenku.baidu.com/view/58cf502d7375a417866f8fff.html>
- 16.右旋糖酐葡萄糖注射液—葡萄糖的測定—氧化還原滴定法
http://www.med126.com/pharm/2009/20090109142956_72028.shtml
- 17.熱化學與氧化還原：湯元吉主編徐氏出版
- 18.化學平衡與反應速率：湯元吉主編徐氏出版

【評語】 040208

研究數據豐富，探討因素詳細，建議可就 $\text{HAuCl}_4(\text{g})$ 以及 $\text{TiO}_2(\text{s})$ 的催化機制多做文獻收集及討論，並就假設之反應機構設計控制實驗加以驗證。