

# 中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 化學科

第三名

030209

捕捉你的點點滴滴 — 二氧化碳溶解度的探討

學校名稱：新北市立五峰國民中學

作者：  國二 薄詠心  國二 王咸婷  國二 楊淳鈞	指導老師：  龔韞瑤  徐增錦
---	-----------------------------

關鍵詞：二氧化碳、氣體溶解度、二氧化碳捕捉

# 捉你的點點滴滴—二氧化碳溶解度的探討

## 摘要

本研究自製二氧化碳溶解度測量裝置，探討【一】物理性捕捉：在1013百帕的壓力、26°C的溫度，每升水溶解0.7升的二氧化碳。氣體飽和溶解度隨食鹽水、糖水溶液濃度增加而減少。壓力增加、溫度降低，會增加二氧化碳在水中的溶解度。【二】化學性捕捉：二氧化碳溶解度隨氫氧化鈉及氫氧化鈣水溶液濃度的增加而提高，溶解度受水溶液酸鹼性的影響—鹼性的溶解度>純水>中性鹽類、酸性。二氧化碳溶解度隨水溶液中解離的離子濃度與離子電荷密度的增加而下降。菠菜的溶解度比自來水高。【三】生物性捕捉：以六種小盆栽植物在密閉容器中，因光合及呼吸作用所產生的二氧化碳濃度變化，經測試計測量可達277ppm，每日二氧化碳吸收、排放的循環量維持平衡。

## 壹、研究動機

現在地球上溫室效應嚴重，節能減碳的口號四處響應，要怎麼做才能有效降低溫室氣體，現在還是一大議題，希望減少空氣中二氧化碳的含量，就是這次實驗的主要動機，而在生活中，有許多關於二氧化碳的生活應用，例如：將二氧化碳溶解到糖水中製成汽水、將二氧化碳經由高壓製成乾冰、利用二氧化碳製成滅火器……等，而二氧化碳在多少壓力下最容易溶於水？容易溶解在重量百分濃度多少的溶液中？使用澄清石灰水溶液能吸收多少的CO<sub>2</sub>？種樹可以為環保、為地球暖化盡一份心力，何種植物較能吸收二氧化碳？這也是這次實驗所要探討的問題。藉著上學期剛學習完溶解度與排水集氣法的課程後，我們可以與課程內容做一驗證，是一件值得開心又有意義的事！

## 貳、研究目的

- 一、自製二氧化碳溶解度測量實驗裝置(如右圖)：上方為點滴瓶、中間為點滴注射器、下方為集氣瓶
- 二、物理性捕捉二氧化碳的探討：
  - (一) 研究二氧化碳與空氣對水的溶解度大小。
  - (二) 研究二氧化碳在不同壓力下對水的溶解度變化。
  - (三) 研究二氧化碳在不同濃度的食鹽水與糖水水中的溶解度變化。



(四) 研究二氧化碳在不同溫度下對食鹽水的溶解度變化。

### 三、化學性捕捉二氧化碳的探討：

(一) 研究二氧化碳對不同濃度氫氧化鈉水溶液的溶解度大小。

(二) 研究二氧化碳對不同濃度氫氧化鈣水溶液的溶解度大小。

(三) 研究二氧化碳對不同濃度氯化鈣水溶液的溶解度大小。

(四) 研究二氧化碳對相同濃度但不同離子數的水溶液溶解度大小。

(五) 研究二氧化碳對相同濃度但不同酸鹼性的水溶液的溶解度大小

(六) 研究二氧化碳對蔬果汁的溶解度大小。

### 四、生物性捕捉二氧化碳的探討：

(一) 研究袖珍椰子、星點木、白玉萬年青、圓葉椒草、山蘇、白鶴芋六種植物吸收二氧化碳的效果比較。

(二) 研究以氫氧化鈣水溶液搭配植物光合及呼吸作用對吸收二氧化碳之效果。

## 參、研究設備、器材及藥品

量杯、量筒、水槽、燒杯、滴管、玻璃棒、溫度計、濾紙、漏斗、碼錶、捲尺、食鹽、白砂糖、氫氧化鈉、氫氧化鈣、氯化鈣、硝酸鉀、硫酸鈉，檸檬酸

		
寶特瓶 (600ml)	點滴注射器 (長180cm)	氣壓、溫溼度計
		
集氣瓶、瓶蓋	電子天平	二氧化碳鋼瓶
		
熱熔槍、熱熔膠條	保溫桶	果汁機

		
非色散式二氧化碳測試計	定時器	PH計
		
袖珍椰子	星點木	白玉萬年青
		
圓葉椒草	山蘇	白鶴芋

## 肆、研究過程

1. 準備日常生活中的飲料玻璃瓶九個作為集氣瓶，一一分別編號，用電子天平測量空瓶的質量。
2. 集氣瓶內裝滿水後，再測量空瓶加水的總質量，兩者差值即為水的質量。再換算為水的體積，即可得知空瓶內的體積 $V_1$ 。

### 實驗一：設計二氧化碳溶解度滴定裝置與各種物理量的量測：

3. 使用二氧化碳鋼瓶經由排水集氣法，將二氧化碳收集於集氣瓶內，量測並記錄所收集到的氣體體積 $V_1$ 。並使用熱熔膠使接縫處完全密合不會漏氣。
4. 量測集氣瓶內的氣體壓力 $P_1$ ＝此時的大氣壓力；溫度 $T_1$ ＝室溫。
5. 以600毫升的寶特瓶當作點滴瓶，裝入150毫升的水。
6. 將點滴瓶吊掛在牆上，點滴注射器的注射針頭由氣體收集瓶的瓶蓋插入，形成二氧化碳溶解度滴定裝置，如右圖所示。

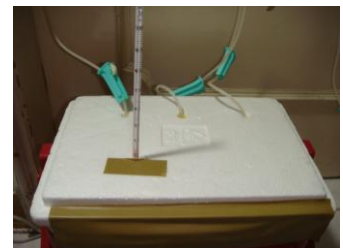


7. 旋開並調整點滴注射器上的流量控制鈕，讓水開始滴入集氣瓶內。
8. 觀察點滴注射器的滴水頻率，當超過4小時不再有水滴滴出，表示本實驗的二氧化碳溶解度已到達飽和，測量點滴瓶內液面至注射針頭所產生的水柱高 $h$ 。集氣瓶內的密閉容器氣體壓力 $P_2 = P_{air} + 0.98 \times \text{液體壓力} \times h$ 。(大氣壓力單位為百帕， $hd$ 的單位為 $gw/cm^2$ ，故相差0.98倍)
9. 以量筒量測並記錄滴入集氣瓶的水體積 $V_w$ 。
10.  $V_2 = \text{集氣瓶容積} V_1 - \text{水的體積} V_w$ ，紀錄 $V_2$  及此時的大氣壓力 $P_{air2}$  及室溫 $T_2$ 。
11. 利用波查定理計算 $V_2$ 修正值( $V_2$ 修正值 $= V_1 \times P_1 \times T_2 / P_2 \times T_1$ ，其中之 $T_1$ 、 $T_2$ 需換算為絕對溫度)， $V_2$ 修正值與 $V_2$ 實驗值之相差值即為溶入 $V_w$ 之氣體體積， $(V_2$ 修正值 $- V_2$ 實驗值) $/ V_w = \text{氣體的體積百分比溶解度}$ 。



## 實驗二：二氧化碳之物理性捕捉：

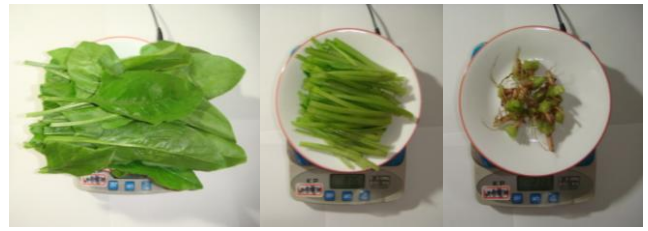
12. 將集氣瓶內氣體改為空氣，重複實驗一。
13. 調整點滴瓶吊掛的三種不同高度，利用改變點滴瓶至注射針頭所產生的水柱壓力，使集氣瓶內的密閉容器壓力發生改變，重複實驗一。
14. 點滴瓶內的水溶液改為食鹽水，食鹽30克、60克、90克、120克、180克分別加上450克水，重複實驗一。
15. 點滴瓶內的水溶液改為糖水，白砂糖30克、60克、90克、120克、180克分別加上450克水，重複實驗一。
16. 調配濃度3%的食鹽水溶液，使食鹽水的濃度與海水相似，並將其裝入點滴瓶中。
17. 準備保溫桶，桶內置入溫度 $17.0^\circ\text{C}$ 的水，將集氣瓶放入水中（玻璃瓶會浮起，故將瓶子固定於陶瓷小黑杯中，整體平均密度大於水，就可以平放於保溫桶中），重複實驗一。
18. 保溫桶內分別改置入溫度 $31.5^\circ\text{C}$ 的水、溫度 $7.0^\circ\text{C}$ 的水，重複實驗一。



## 實驗三：二氧化碳之化學性捕捉：

19. 調配0.1M、0.05M、0.01 M氫氧化鈉水溶液900毫升，將水溶液倒入三個寶特瓶中，當為點滴瓶使用。重複實驗一。
20. 調配0.1M、0.05M、0.01 M的氫氧化鈣水溶液、氯化鈉水溶液、氯化鈣水溶液，重複實驗一。
21. 點滴液分別為0.05M的硝酸鉀水溶液、硫酸鈉水溶液、硫酸水溶液、檸檬酸水溶液，重複實驗一。

22. 準備新鮮的蔬菜：菠菜，將根、莖、葉分開，秤取相同重量60克，加入450克的水後，用果汁機打成菠菜水溶液。
23. 使用濾紙等器材，分別過濾根部、莖部、葉部菠菜水溶液，再將無殘渣的過濾液分裝在九個點滴瓶中。重複實驗一。



#### 實驗四：二氧化碳之生物性捕捉：

24. 將六個透明壓克力水槽直立當作密閉容器，將植物：袖珍椰子、星點木、白玉萬年青、圓葉椒草、山蘇、白鶴芋等不同種類的植物分別放入每一個水槽中。
25. 每一個容器周圍以雙面膠貼上透明PE膠片加以密封，將六個容器擺放在室外。持續三天每隔六個小時將非色散式二氧化碳測試計的探測頭由PE膠片上的探測孔伸入容器中，以每4秒鐘取樣一次，持續測量容器中二氧化碳的濃度3分鐘，並取後面1.5分鐘的量測平均值作為實驗紀錄。
26. 將非色散式二氧化碳測試計探測頭固定在袖珍椰子的密封植物容器內，並將植物容器放置在遮光紙箱內，以定時器設定每日早上六時啟動檯燈光源，由遮光紙箱上方照射植物容器至每日下午六時，並設定非色散式測試計每四分鐘取樣一次，持續量測容器內二氧化碳濃度變化情形24小時。
27. 步驟26完成後，將植物容器的密封膠片打開，讓袖珍椰子透氣一天。調配濃度0.3M的澄清氫氧化鈣水溶液30毫升，將氫氧化鈣水溶液置入袖珍椰子植物容器內，重複實驗步驟26。觀察氫氧化鈣水溶液變化情形，並與步驟26的實驗結果做一分析比較。



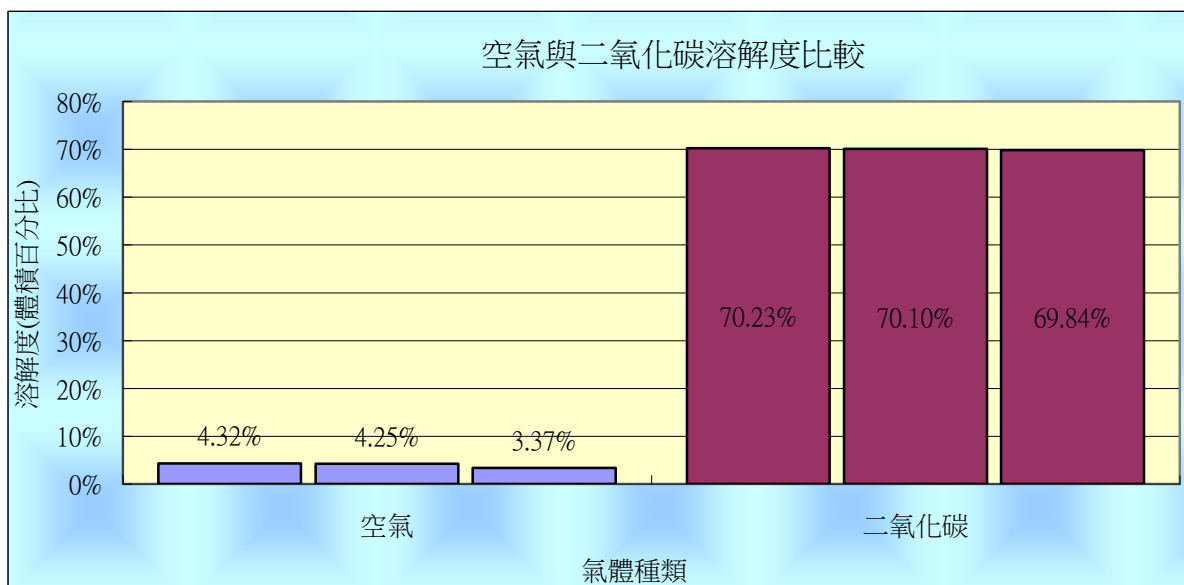
## 伍、研究結果與討論

實驗二 - 1 二氧化碳與空氣對水的溶解度大小(I)

氣體：【空氣】 滴定溶液：【水】 密度：【1.000 g/cm <sup>3</sup> 】					
集氣瓶內氣體體積 V <sub>1</sub> (ml)	實驗前集氣瓶內氣體壓力 P <sub>1</sub> (hPa)	實驗前集氣瓶內氣體溫度 T <sub>1</sub> (°C)	實驗終了時大氣壓力 P <sub>air2</sub> (hPa)	實驗終了時集氣瓶內氣體溫度 T <sub>2</sub> (°C)	點滴瓶內水面的水柱高度 h(cm)
268.60 ml	1013 hPa	26.30 °C	1013 hPa	26.70 °C	149.00 cm
268.50 ml	1013 hPa	26.30 °C	1013 hPa	26.70 °C	149.00 cm
267.80 ml	1013 hPa	26.30 °C	1013 hPa	26.70 °C	148.80 cm
集氣瓶內氣體壓力 P <sub>2</sub> = P <sub>air</sub> +0.98hd(hPa)	集氣瓶內滴入液體體積 V <sub>w</sub> (ml)	集氣瓶內氣體體積 V <sub>2</sub> 實驗值 V <sub>2</sub> = V <sub>1</sub> - V <sub>w</sub> (ml)	V <sub>2</sub> 修正值(ml) = V <sub>1</sub> × P <sub>1</sub> × T <sub>2</sub> / P <sub>2</sub> × T <sub>1</sub> (T <sub>1</sub> 、T <sub>2</sub> 絕對溫度)	體積百分比飽和溶解度 (V <sub>2</sub> 修 - V <sub>2</sub> 實) ÷ V <sub>w</sub>	
1159.02 hPa	35.04 ml	233.56 ml	235.07 ml	4.32 %	
1159.02 hPa	35.00 ml	233.50 ml	235.00 ml	4.25 %	
1158.82 hPa	34.55 ml	233.25 ml	234.41 ml	3.37 %	

實驗二 - 2 二氧化碳與空氣對水的溶解度大小(II)

氣體：【二氧化碳】 滴定液體：【水】 密度：【1.000 g/cm <sup>3</sup> 】					
集氣瓶內氣體體積 V <sub>1</sub> (ml)	實驗前集氣瓶內氣體壓力 P <sub>1</sub> (hPa)	實驗前集氣瓶內氣體溫度 T <sub>1</sub> (°C)	實驗終了時大氣壓力 P <sub>air2</sub> (hPa)	實驗終了時集氣瓶內氣體溫度 T <sub>2</sub> (°C)	點滴瓶內水面的水柱高度 h(cm)
268.90 ml	1013 hPa	26.30 °C	1014 hPa	26.50 °C	146.20 cm
268.80 ml	1013 hPa	26.30 °C	1014 hPa	26.50 °C	146.00 cm
269.50 ml	1013 hPa	26.30 °C	1014 hPa	26.50 °C	146.10 cm
集氣瓶內氣體壓力 P <sub>2</sub> = P <sub>air</sub> +0.98hd(hPa)	集氣瓶內滴入液體體積 V <sub>w</sub> (ml)	集氣瓶內氣體體積 V <sub>2</sub> 實驗值 V <sub>2</sub> = V <sub>1</sub> - V <sub>w</sub> (ml)	V <sub>2</sub> 修正值(ml) = V <sub>1</sub> × P <sub>1</sub> × T <sub>2</sub> / P <sub>2</sub> × T <sub>1</sub> (T <sub>1</sub> 、T <sub>2</sub> 絕對溫度)	體積百分比飽和溶解度 (V <sub>2</sub> 修 - V <sub>2</sub> 實) ÷ V <sub>w</sub>	
1157.28 hPa	112.10 ml	156.80 ml	235.53 ml	70.23 %	
1157.28 hPa	111.40 ml	157.40 ml	235.49 ml	70.10 %	
1157.18 hPa	110.80 ml	158.70 ml	236.08 ml	69.84 %	



實驗二 -3 二氧化碳在不同壓力下對水的溶解度變化(I)

氣體：【二氧化碳】 滴定液體：【水】 密度：【1.000 g/cm <sup>3</sup> 】					
集氣瓶內氣體體積 V <sub>1</sub> (ml)	實驗前集氣瓶內氣體壓力 P <sub>1</sub> (hPa)	實驗前集氣瓶內氣體溫度 T <sub>1</sub> (°C)	實驗終了時大氣壓力 P <sub>air2</sub> (hPa)	實驗終了時集氣瓶內氣體溫度 T <sub>2</sub> (°C)	點滴瓶內水面的水柱高度 h(cm)
268.90 ml	1008 hPa	27.00 °C	1007 hPa	28.70 °C	157.20 cm
268.80 ml	1008 hPa	27.00 °C	1007 hPa	28.70 °C	156.20 cm
269.50 ml	1008 hPa	27.00 °C	1007 hPa	28.70 °C	156.00 cm
集氣瓶內氣體壓力 P <sub>2</sub> = P <sub>air</sub> + 0.98hd (hPa)	集氣瓶內滴入液體體積 V <sub>w</sub> (ml)	集氣瓶內氣體體積 V <sub>2</sub> 實驗值 V <sub>2</sub> = V <sub>1</sub> - V <sub>w</sub> (ml)	V <sub>2</sub> 修正值 (ml) = V <sub>1</sub> × P <sub>1</sub> × T <sub>2</sub> / P <sub>2</sub> × T <sub>1</sub> (T <sub>1</sub> 、T <sub>2</sub> 絕對溫度)	體積百分比飽和溶解度 (V <sub>2</sub> 修 - V <sub>2</sub> 實) ÷ V <sub>w</sub>	
1171.93 hPa	126.00 ml	142.90 ml	232.60 ml	71.19 %	
1173.40 hPa	127.20 ml	141.60 ml	232.22 ml	71.24 %	
1173.77 hPa	121.70 ml	147.80 ml	232.75 ml	69.80 %	

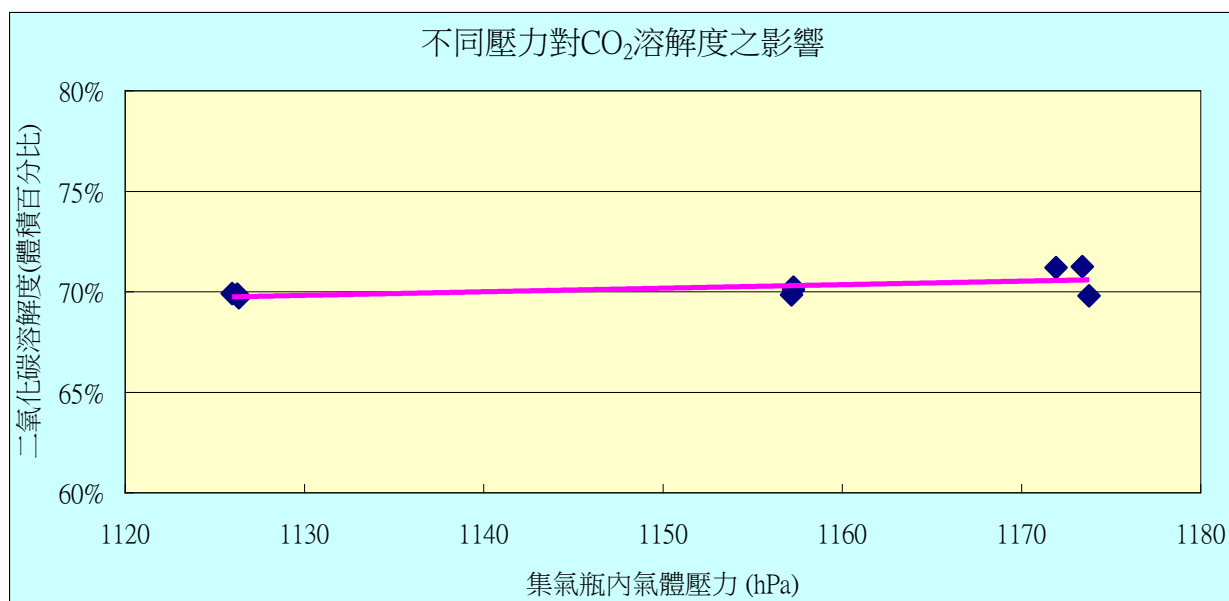
實驗二 -4 二氧化碳在不同壓力下對水的溶解度變化(II)

氣體：【二氧化碳】 滴定液體：【水】 密度：【1.000 g/cm <sup>3</sup> 】					
集氣瓶內氣體體積 V <sub>1</sub> (ml)	實驗前集氣瓶內氣體壓力 P <sub>1</sub> (hPa)	實驗前集氣瓶內氣體溫度 T <sub>1</sub> (°C)	實驗終了時大氣壓力 P <sub>air2</sub> (hPa)	實驗終了時集氣瓶內氣體溫度 T <sub>2</sub> (°C)	點滴瓶內水面的水柱高度 h(cm)
268.90 ml	1013 hPa	26.30 °C	1014 hPa	26.50 °C	146.20 cm
268.80 ml	1013 hPa	26.30 °C	1014 hPa	26.50 °C	146.00 cm
269.50 ml	1013 hPa	26.30 °C	1014 hPa	26.50 °C	146.10 cm
集氣瓶內氣體壓力 P <sub>2</sub> = P <sub>air</sub> + 0.98hd (hPa)	集氣瓶內滴入液體體積 V <sub>w</sub> (ml)	集氣瓶內氣體體積 V <sub>2</sub> 實驗值 V <sub>2</sub> = V <sub>1</sub> - V <sub>w</sub> (ml)	V <sub>2</sub> 修正值 (ml) = V <sub>1</sub> × P <sub>1</sub> × T <sub>2</sub> / P <sub>2</sub> × T <sub>1</sub> (T <sub>1</sub> 、T <sub>2</sub> 絕對溫度)	體積百分比飽和溶解度 (V <sub>2</sub> 修 - V <sub>2</sub> 實) ÷ V <sub>w</sub>	
1157.28 hPa	112.10 ml	156.80 ml	235.53 ml	70.23 %	
1157.28 hPa	111.40 ml	157.40 ml	235.49 ml	70.10 %	
1157.18 hPa	110.80 ml	158.70 ml	236.08 ml	69.84 %	

實驗二 -5 二氧化碳在不同壓力下對水的溶解度變化(III)

氣體：【二氧化碳】 滴定液體：【水】 密度：【1.000 g/cm <sup>3</sup> 】					
集氣瓶內氣體體積 V <sub>1</sub> (ml)	實驗前集氣瓶內氣體壓力 P <sub>1</sub> (hPa)	實驗前集氣瓶內氣體溫度 T <sub>1</sub> (°C)	實驗終了時大氣壓力 P <sub>air2</sub> (hPa)	實驗終了時集氣瓶內氣體溫度 T <sub>2</sub> (°C)	點滴瓶內水面的水柱高度 h(cm)
268.60 ml	1008 hPa	27.00 °C	1007 hPa	28.70 °C	121.70 cm
268.50 ml	1008 hPa	27.00 °C	1007 hPa	28.70 °C	121.80 cm
267.80 ml	1008 hPa	27.00 °C	1007 hPa	28.70 °C	121.40 cm
集氣瓶內氣體壓力 P <sub>2</sub> = P <sub>air</sub> + 0.98hd (hPa)	集氣瓶內滴入液體體積 V <sub>w</sub> (ml)	集氣瓶內氣體體積 V <sub>2</sub> 實驗值 V <sub>2</sub> = V <sub>1</sub> - V <sub>w</sub> (ml)	V <sub>2</sub> 修正值 (ml) = V <sub>1</sub> × P <sub>1</sub> × T <sub>2</sub> / P <sub>2</sub> × T <sub>1</sub> (T <sub>1</sub> 、T <sub>2</sub> 絕對溫度)	體積百分比飽和溶解度 (V <sub>2</sub> 修 - V <sub>2</sub> 實) ÷ V <sub>w</sub>	
1126.27 hPa	89.10 ml	179.50 ml	241.76 ml	69.87 %	
1126.36 hPa	88.60 ml	179.90 ml	241.65 ml	69.69 %	
1125.97 hPa	88.70 ml	179.10 ml	241.10 ml	69.90 %	





實驗二 -6 二氧化碳在不同濃度的食鹽水中的溶解度變化(I)

氣體：【二氧化碳】 滴定液體：【食鹽水】 濃度【6.25 %】 密度【1.042 g/cm <sup>3</sup> 】					
集氣瓶內氣體體積 V <sub>1</sub> (ml)	實驗前集氣瓶內氣體壓力 P <sub>1</sub> (hPa)	實驗前集氣瓶內氣體溫度 T <sub>1</sub> (°C)	實驗終了時大氣壓力 P <sub>air2</sub> (hPa)	實驗終了時集氣瓶內氣體溫度 T <sub>2</sub> (°C)	點滴瓶內水面的水柱高度 h(cm)
268.90 ml	1016 hPa	21.20 °C	1016 hPa	22.00 °C	141.90 cm
268.80 ml	1016 hPa	21.20 °C	1016 hPa	22.00 °C	142.10 cm
269.50 ml	1016 hPa	21.20 °C	1016 hPa	22.00 °C	139.80 cm
集氣瓶內氣體壓力 P <sub>2</sub> = P <sub>air</sub> + 0.98hd (hPa)	集氣瓶內滴入液體體積 V <sub>w</sub> (ml)	集氣瓶內氣體體積 V <sub>2</sub> 實驗值 V <sub>2</sub> = V <sub>1</sub> - V <sub>w</sub> (ml)	V <sub>2</sub> 修正值(ml) = V <sub>1</sub> × P <sub>1</sub> × T <sub>2</sub> / P <sub>2</sub> × T <sub>1</sub> (T <sub>1</sub> 、T <sub>2</sub> 絕對溫度)	體積百分比飽和溶解度 (V <sub>2</sub> 修 - V <sub>2</sub> 實) ÷ V <sub>w</sub>	
1163.86 hPa	61.60 ml	207.30 ml	235.38ml	45.58 %	
1164.07 hPa	60.50 ml	208.30 ml	235.25ml	44.54 %	
1161.67 hPa	62.00 ml	207.50 ml	236.34ml	46.53 %	

實驗二 -7 二氧化碳在不同濃度的食鹽水中的溶解度變化(II)

氣體：【二氧化碳】 滴定液體：【食鹽水】 濃度【11.76 %】 密度【1.081 g/cm <sup>3</sup> 】					
集氣瓶內氣體體積 V <sub>1</sub> (ml)	實驗前集氣瓶內氣體壓力 P <sub>1</sub> (hPa)	實驗前集氣瓶內氣體溫度 T <sub>1</sub> (°C)	實驗終了時大氣壓力 P <sub>air2</sub> (hPa)	實驗終了時集氣瓶內氣體溫度 T <sub>2</sub> (°C)	點滴瓶內水面的水柱高度 h(cm)
268.90 ml	1016 hPa	22.30 °C	1016 hPa	22.30 °C	144.70 cm
268.80 ml	1016 hPa	22.30 °C	1016 hPa	22.30 °C	145.70 cm
268.70 ml	1016 hPa	22.30 °C	1016 hPa	22.30 °C	145.20 cm
集氣瓶內氣體壓力 P <sub>2</sub> = P <sub>air</sub> + 0.98hd (hPa)	集氣瓶內滴入液體體積 V <sub>w</sub> (ml)	集氣瓶內氣體體積 V <sub>2</sub> 實驗值 V <sub>2</sub> = V <sub>1</sub> - V <sub>w</sub> (ml)	V <sub>2</sub> 修正值(ml) = V <sub>1</sub> × P <sub>1</sub> × T <sub>2</sub> / P <sub>2</sub> × T <sub>1</sub> (T <sub>1</sub> 、T <sub>2</sub> 絕對溫度)	體積百分比飽和溶解度 (V <sub>2</sub> 修 - V <sub>2</sub> 實) ÷ V <sub>w</sub>	
1172.42 hPa	49.00 ml	219.90 ml	232.76 ml	26.78 %	
1173.50 hPa	50.00 ml	218.50 ml	232.59 ml	27.85 %	
1172.96 hPa	50.50 ml	218.20 ml	232.74 ml	28.80 %	

實驗二 -8 二氧化碳在不同濃度的食鹽水中的溶解度變化(III)

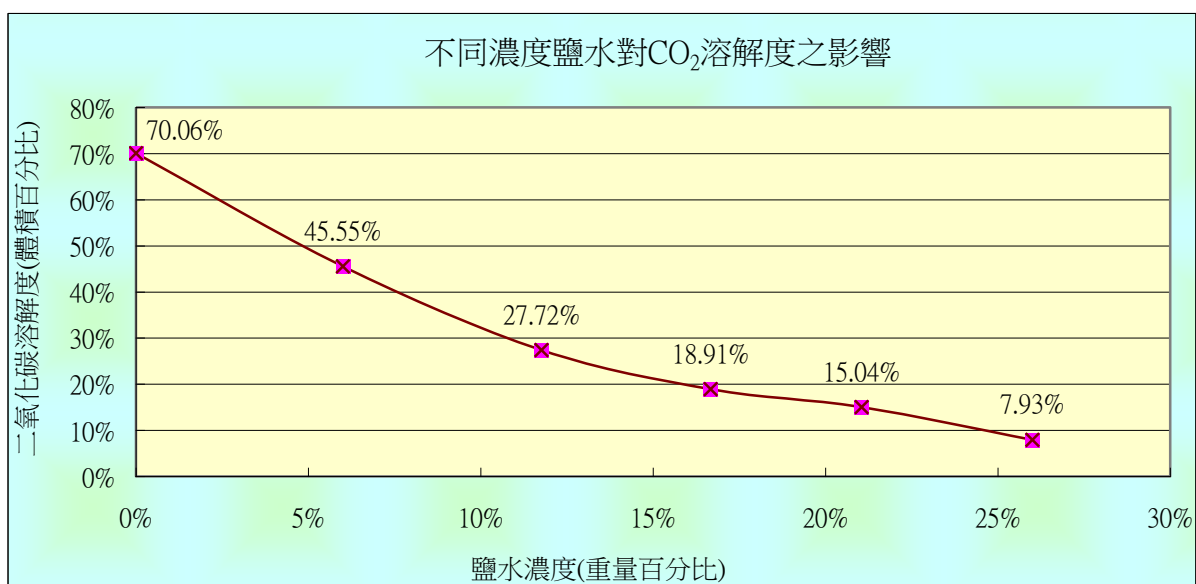
氣體：【二氧化碳】 滴定液體：【食鹽水】 濃度【16.67 %】 密度【1.103 g/cm <sup>3</sup> 】					
集氣瓶內氣體體積 V <sub>1</sub> (ml)	實驗前集氣瓶內氣體壓力 P <sub>1</sub> (hPa)	實驗前集氣瓶內氣體溫度 T <sub>1</sub> (°C)	實驗終了時大氣壓力 P <sub>air2</sub> (hPa)	實驗終了時集氣瓶內氣體溫度 T <sub>2</sub> (°C)	點滴瓶內水面的水柱高度 h(cm)
267.80 ml	1016 hPa	21.30 °C	1015 hPa	22.30 °C	144.80 cm
268.70 ml	1016 hPa	21.30 °C	1015 hPa	22.30 °C	144.60 cm
268.60 ml	1016 hPa	21.30 °C	1015 hPa	22.30 °C	146.20 cm
集氣瓶內氣體壓力 P <sub>2</sub> = P <sub>air</sub> +0.98hd(hPa)	集氣瓶內滴入液體體積 V <sub>w</sub> (ml)	集氣瓶內氣體體積 V <sub>2</sub> 實驗值 V <sub>2</sub> = V <sub>1</sub> - V <sub>w</sub> (ml)	V <sub>2</sub> 修正值(ml) = V <sub>1</sub> × P <sub>1</sub> × T <sub>2</sub> / P <sub>2</sub> × T <sub>1</sub> (T <sub>1</sub> 、T <sub>2</sub> 絕對溫度)	體積百分比飽和溶解度 (V <sub>2</sub> 修-V <sub>2</sub> 實) ÷ V <sub>w</sub>	
1180.65 hPa	43.50 ml	224.30 ml	231.24ml	15.94 %	
1180.42 hPa	46.00 ml	222.70 ml	232.06ml	20.34 %	
1182.25 hPa	46.50 ml	222.10 ml	231.61ml	20.46 %	

實驗二 -9 二氧化碳在不同濃度的食鹽水中的溶解度變化(IV)

氣體：【二氧化碳】 滴定液體：【食鹽水】 濃度【21.05 %】 密度【1.144 g/cm <sup>3</sup> 】					
集氣瓶內氣體體積 V <sub>1</sub> (ml)	實驗前集氣瓶內氣體壓力 P <sub>1</sub> (hPa)	實驗前集氣瓶內氣體溫度 T <sub>1</sub> (°C)	實驗終了時大氣壓力 P <sub>air2</sub> (hPa)	實驗終了時集氣瓶內氣體溫度 T <sub>2</sub> (°C)	點滴瓶內水面的水柱高度 h(cm)
268.90 ml	1015 hPa	22.60 °C	1016 hPa	22.30 °C	142.50 cm
268.80 ml	1015 hPa	22.60 °C	1016 hPa	22.30 °C	142.50 cm
269.50 ml	1017 hPa	21.20 °C	1016 hPa	21.00 °C	143.50 cm
集氣瓶內氣體壓力 P <sub>2</sub> = P <sub>air</sub> +0.98hd(hPa)	集氣瓶內滴入液體體積 V <sub>w</sub> (ml)	集氣瓶內氣體體積 V <sub>2</sub> 實驗值 V <sub>2</sub> = V <sub>1</sub> - V <sub>w</sub> (ml)	V <sub>2</sub> 修正值(ml) = V <sub>1</sub> × P <sub>1</sub> × T <sub>2</sub> / P <sub>2</sub> × T <sub>1</sub> (T <sub>1</sub> 、T <sub>2</sub> 絕對溫度)	體積百分比飽和溶解度 (V <sub>2</sub> 修-V <sub>2</sub> 實) ÷ V <sub>w</sub>	
1173.18 hPa	43.00 ml	225.90 ml	232.41 ml	15.14 %	
1173.18 hPa	42.80 ml	226.00 ml	232.32 ml	14.77 %	
1175.28 hPa	43.00 ml	226.50 ml	233.05 ml	15.22 %	

實驗二 -10 二氧化碳在不同濃度的食鹽水中的溶解度變化(V)

氣體：【二氧化碳】 滴定液體：【食鹽水】 濃度【 26.60 %】 密度【1.194 g/cm <sup>3</sup> 】					
集氣瓶內氣體體積 V <sub>1</sub> (ml)	實驗前集氣瓶內氣體壓力 P <sub>1</sub> (hPa)	實驗前集氣瓶內氣體溫度 T <sub>1</sub> (°C)	實驗終了時大氣壓力 P <sub>air2</sub> (hPa)	實驗終了時集氣瓶內氣體溫度 T <sub>2</sub> (°C)	點滴瓶內水面的水柱高度 h(cm)
266.50 ml	1015 hPa	21.80 °C	1015 hPa	21.20 °C	144.70 cm
269.20 ml	1015 hPa	21.80 °C	1015 hPa	21.20 °C	146.30 cm
266.90 ml	1015 hPa	21.80 °C	1015 hPa	21.20 °C	145.00 cm
集氣瓶內氣體壓力 P <sub>2</sub> = P <sub>air</sub> +0.98hd(hPa)	集氣瓶內滴入液體體積 V <sub>w</sub> (ml)	集氣瓶內氣體體積 V <sub>2</sub> 實驗值 V <sub>2</sub> = V <sub>1</sub> - V <sub>w</sub> (ml)	V <sub>2</sub> 修正值(ml) = V <sub>1</sub> × P <sub>1</sub> × T <sub>2</sub> / P <sub>2</sub> × T <sub>1</sub> (T <sub>1</sub> 、T <sub>2</sub> 絕對溫度)	體積百分比飽和溶解度 (V <sub>2</sub> 修-V <sub>2</sub> 實) ÷ V <sub>w</sub>	
1187.77 hPa	42.50 ml	224.00 ml	227.27 ml	7.70 %	
1189.68 hPa	43.80 ml	225.40 ml	229.20 ml	8.69 %	
1188.13 hPa	42.50 ml	227.54 ml	227.54 ml	7.40 %	



實驗二 -11 二氧化碳在不同濃度的糖水中的溶解度變化(I)

氣體：【二氧化碳】 滴定液體：【糖水】 濃度【6.25 %】 密度【1.022 g/cm <sup>3</sup> 】					
集氣瓶內氣體體積 V <sub>1</sub> (ml)	實驗前集氣瓶內氣體壓力 P <sub>1</sub> (hPa)	實驗前集氣瓶內氣體溫度 T <sub>1</sub> (°C)	實驗終了時大氣壓力 P <sub>air2</sub> (hPa)	實驗終了時集氣瓶內氣體溫度 T <sub>2</sub> (°C)	點滴瓶內水面的水柱高度 h(cm)
268.90 ml	1016 hPa	22.20 °C	1017 hPa	21.50 °C	141.60 cm
268.80 ml	1016 hPa	22.20 °C	1017 hPa	21.50 °C	141.70 cm
269.50 ml	1016 hPa	22.20 °C	1017 hPa	21.50 °C	140.80 cm
集氣瓶內氣體壓力 P <sub>2</sub> = P <sub>air</sub> + 0.98hd (hPa)	集氣瓶內滴入液體體積 V <sub>w</sub> (ml)	集氣瓶內氣體體積 V <sub>2</sub> 實驗值 V <sub>2</sub> = V <sub>1</sub> - V <sub>w</sub> (ml)	V <sub>2</sub> 修正值(ml) = V <sub>1</sub> × P <sub>1</sub> × T <sub>2</sub> / P <sub>2</sub> × T <sub>1</sub> (T <sub>1</sub> 、T <sub>2</sub> 絕對溫度)	體積百分比飽和溶解度 (V <sub>2</sub> 修 - V <sub>2</sub> 實) ÷ V <sub>w</sub>	
1158.82 hPa	86.20 ml	182.70 ml	235.20 ml	60.91 %	
1158.92 hPa	89.30 ml	179.50 ml	235.09 ml	62.25 %	
1158.02 hPa	86.80 ml	182.70 ml	235.89 ml	61.28 %	

實驗二 -12 二氧化碳在不同濃度的糖水中的溶解度變化(II)

氣體：【二氧化碳】 滴定液體：【糖水】 濃度【11.76 %】 密度【1.047 g/cm <sup>3</sup> 】					
集氣瓶內氣體體積 V <sub>1</sub> (ml)	實驗前集氣瓶內氣體壓力 P <sub>1</sub> (hPa)	實驗前集氣瓶內氣體溫度 T <sub>1</sub> (°C)	實驗終了時大氣壓力 P <sub>air2</sub> (hPa)	實驗終了時集氣瓶內氣體溫度 T <sub>2</sub> (°C)	點滴瓶內水面的水柱高度 h(cm)
267.80 ml	1016 hPa	22.20 °C	1017 hPa	21.50 °C	139.00 cm
268.70 ml	1016 hPa	22.20 °C	1017 hPa	21.50 °C	138.60 cm
268.60 ml	1016 hPa	22.20 °C	1017 hPa	21.50 °C	138.00 cm
集氣瓶內氣體壓力 P <sub>2</sub> = P <sub>air</sub> + 0.98hd (hPa)	集氣瓶內滴入液體體積 V <sub>w</sub> (ml)	集氣瓶內氣體體積 V <sub>2</sub> 實驗值 V <sub>2</sub> = V <sub>1</sub> - V <sub>w</sub> (ml)	V <sub>2</sub> 修正值(ml) = V <sub>1</sub> × P <sub>1</sub> × T <sub>2</sub> / P <sub>2</sub> × T <sub>1</sub> (T <sub>1</sub> 、T <sub>2</sub> 絕對溫度)	體積百分比飽和溶解度 (V <sub>2</sub> 修 - V <sub>2</sub> 實) ÷ V <sub>w</sub>	
1162.53 hPa	67.00 ml	200.80 ml	233.49 ml	48.79 %	
1162.11 hPa	70.50 ml	198.20 ml	234.36 ml	51.29 %	
1161.49 hPa	92.00 ml	176.60 ml	234.40 ml	62.82 %	

實驗二 -13 二氧化碳在不同濃度的糖水中的溶解度變化(III)

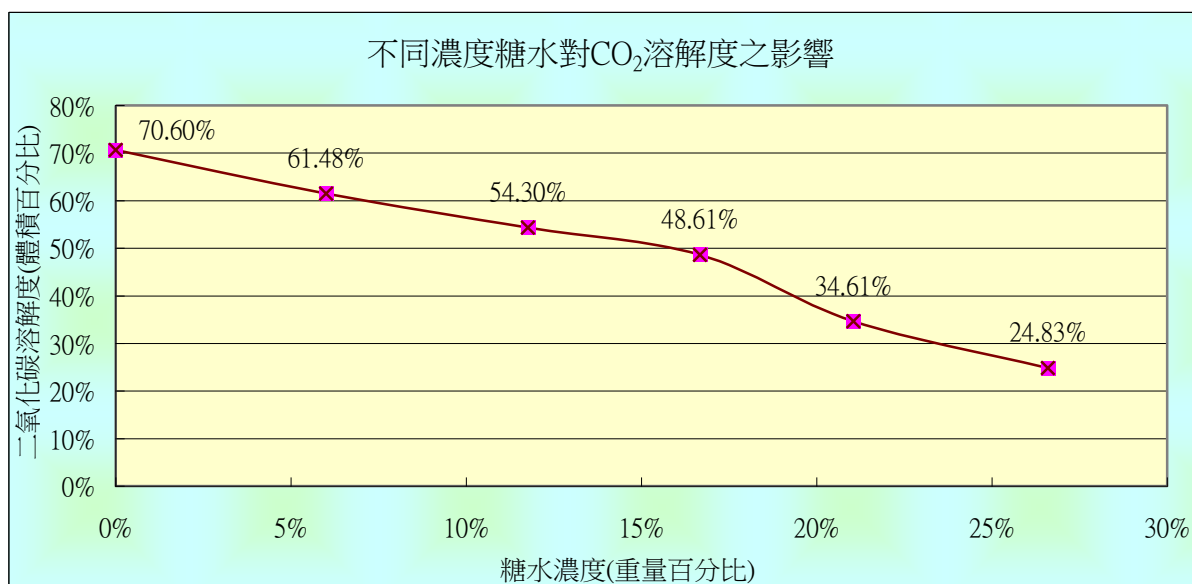
氣體：【二氧化碳】 滴定液體：【糖水】 濃度【16.67 %】 密度【1.065 g/cm <sup>3</sup> 】					
集氣瓶內氣體體積 V <sub>1</sub> (ml)	實驗前集氣瓶內氣體壓力 P <sub>1</sub> (hPa)	實驗前集氣瓶內氣體溫度 T <sub>1</sub> (°C)	實驗終了時大氣壓力 P <sub>air2</sub> (hPa)	實驗終了時集氣瓶內氣體溫度 T <sub>2</sub> (°C)	點滴瓶內水面的水柱高度 h(cm)
269.50 ml	1016 hPa	21.40 °C	1017 hPa	22.60 °C	141.50 cm
268.60 ml	1016 hPa	21.40 °C	1017 hPa	22.60 °C	141.30 cm
267.80 ml	1016 hPa	21.40 °C	1017 hPa	22.60 °C	140.70 cm
集氣瓶內氣體壓力 P <sub>2</sub> = P <sub>air</sub> +0.98hd(hPa)	集氣瓶內滴入液體體積 V <sub>w</sub> (ml)	集氣瓶內氣體體積 V <sub>2</sub> 實驗值 V <sub>2</sub> = V <sub>1</sub> - V <sub>w</sub> (ml)	V <sub>2</sub> 修正值(ml) = V <sub>1</sub> × P <sub>1</sub> × T <sub>2</sub> / P <sub>2</sub> × T <sub>1</sub> (T <sub>1</sub> 、T <sub>2</sub> 絕對溫度)	體積百分比飽和溶解度 (V <sub>2</sub> 修-V <sub>2</sub> 實) ÷ V <sub>w</sub>	
1166.70 hPa	66.00 ml	203.50 ml	235.65 ml	48.71 %	
1166.48 hPa	65.50 ml	203.10 ml	234.90 ml	48.55 %	
1168.05 hPa	65.30 ml	203.40 ml	235.12 ml	48.57 %	

實驗二 -14 二氧化碳在不同濃度的糖水中的溶解度變化(IV)

氣體：【二氧化碳】 滴定液體：【糖水】 濃度【21.05 %】 密度【1.082 g/cm <sup>3</sup> 】					
集氣瓶內氣體體積 V <sub>1</sub> (ml)	實驗前集氣瓶內氣體壓力 P <sub>1</sub> (hPa)	實驗前集氣瓶內氣體溫度 T <sub>1</sub> (°C)	實驗終了時大氣壓力 P <sub>air2</sub> (hPa)	實驗終了時集氣瓶內氣體溫度 T <sub>2</sub> (°C)	點滴瓶內水面的水柱高度 h(cm)
268.90 ml	1017 hPa	22.00 °C	1017 hPa	21.50 °C	139.50 cm
268.80 ml	1017 hPa	22.00 °C	1017 hPa	21.50 °C	140.40 cm
269.50 ml	1017 hPa	22.00 °C	1017 hPa	21.50 °C	139.60 cm
集氣瓶內氣體壓力 P <sub>2</sub> = P <sub>air</sub> +0.98hd(hPa)	集氣瓶內滴入液體體積 V <sub>w</sub> (ml)	集氣瓶內氣體體積 V <sub>2</sub> 實驗值 V <sub>2</sub> = V <sub>1</sub> - V <sub>w</sub> (ml)	V <sub>2</sub> 修正值(ml) = V <sub>1</sub> × P <sub>1</sub> × T <sub>2</sub> / P <sub>2</sub> × T <sub>1</sub> (T <sub>1</sub> 、T <sub>2</sub> 絕對溫度)	體積百分比飽和溶解度 (V <sub>2</sub> 修-V <sub>2</sub> 實) ÷ V <sub>w</sub>	
1167.94 hPa	54.20 ml	215.70 ml	233.75 ml	35.15 %	
1168.91 hPa	53.90 ml	215.90 ml	233.47 ml	34.45 %	
1168.05 hPa	53.60 ml	216.90 ml	234.25 ml	34.24 %	

實驗二 -15 二氧化碳在不同濃度的糖水中的溶解度變化(V)

氣體：【二氧化碳】 滴定液體：【糖水】 濃度【26.60 %】 密度【1.113 g/cm <sup>3</sup> 】					
集氣瓶內氣體體積 V <sub>1</sub> (ml)	實驗前集氣瓶內氣體壓力 P <sub>1</sub> (hPa)	實驗前集氣瓶內氣體溫度 T <sub>1</sub> (°C)	實驗終了時大氣壓力 P <sub>air2</sub> (hPa)	實驗終了時集氣瓶內氣體溫度 T <sub>2</sub> (°C)	點滴瓶內水面的水柱高度 h(cm)
266.50 ml	1016 hPa	21.60 °C	1017 hPa	22.60 °C	140.40 cm
269.20 ml	1016 hPa	21.60 °C	1017 hPa	22.60 °C	140.20 cm
266.90 ml	1016 hPa	21.60 °C	1017 hPa	22.60 °C	140.00 cm
集氣瓶內氣體壓力 P <sub>2</sub> = P <sub>air</sub> +0.98hd(hPa)	集氣瓶內滴入液體體積 V <sub>w</sub> (ml)	集氣瓶內氣體體積 V <sub>2</sub> 實驗值 V <sub>2</sub> = V <sub>1</sub> - V <sub>w</sub> (ml)	V <sub>2</sub> 修正值(ml) = V <sub>1</sub> × P <sub>1</sub> × T <sub>2</sub> / P <sub>2</sub> × T <sub>1</sub> (T <sub>1</sub> 、T <sub>2</sub> 絕對溫度)	體積百分比飽和溶解度 (V <sub>2</sub> 修-V <sub>2</sub> 實) ÷ V <sub>w</sub>	
1173.26 hPa	46.30 ml	220.20 ml	231.56 ml	24.54 %	
1173.04 hPa	46.50 ml	222.70 ml	233.95 ml	24.20 %	
1172.82 hPa	47.00 ml	219.90 ml	232.00 ml	25.74 %	



實驗二 -16 二氧化碳在不同溫度下對水的溶解度變化(I)

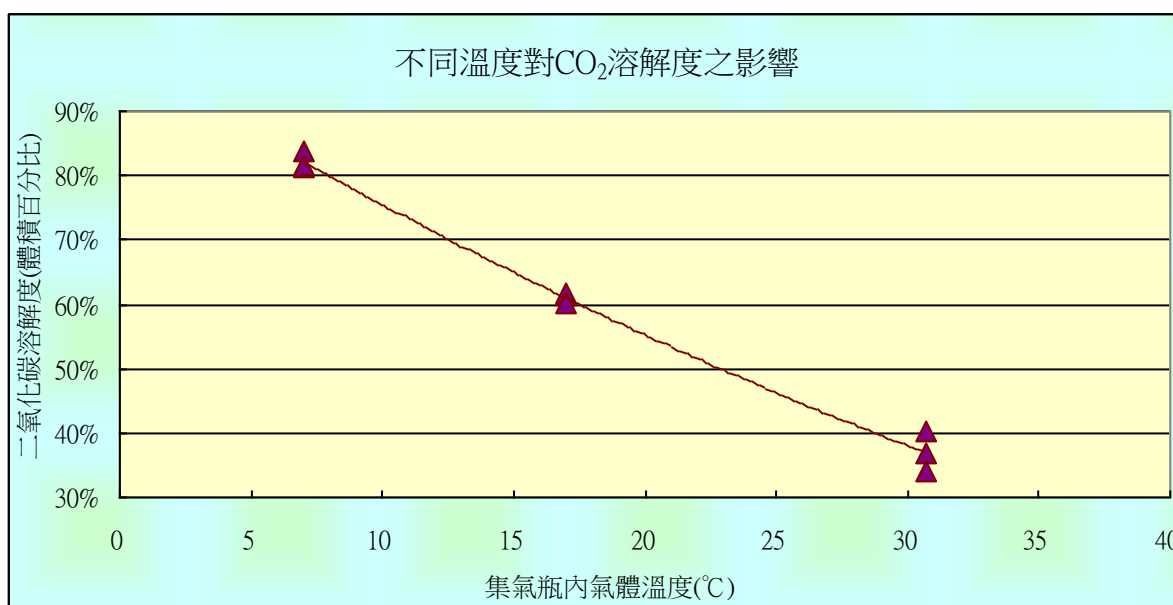
氣體：【二氧化碳】 滴定液體：【食鹽水】 濃度【3%】 密度【1.026 g/cm <sup>3</sup> 】					
集氣瓶內氣體體積 V <sub>1</sub> ( ml )	實驗前集氣瓶內氣體壓力 P <sub>1</sub> (hPa)	實驗前集氣瓶內氣體溫度 T <sub>1</sub> (°C)	實驗終了時大氣壓力 P <sub>air2</sub> (hPa)	實驗終了時集氣瓶內氣體溫度 T <sub>2</sub> (°C)	點滴瓶內水面的水柱高度 h(cm)
266.50 ml	1026 hPa	31.50 °C	1027 hPa	30.70 °C	139.40 cm
269.20 ml	1026 hPa	31.50 °C	1027 hPa	30.70 °C	139.30 cm
266.90 ml	1026 hPa	31.50 °C	1027 hPa	30.70 °C	139.70 cm
集氣瓶內氣體壓力 P <sub>2</sub> = P <sub>air</sub> +0.98hd(hPa)	集氣瓶內滴入液體體積 V <sub>w</sub> ( ml )	集氣瓶內氣體體積 V <sub>2</sub> 實驗值 V <sub>2</sub> =V <sub>1</sub> -V <sub>w</sub> ( ml )	V <sub>2</sub> 修正值(ml) =V <sub>1</sub> ×P <sub>1</sub> ×T <sub>2</sub> / P <sub>2</sub> ×T <sub>1</sub> (T <sub>1</sub> 、T <sub>2</sub> 絕對溫度)	體積百分比飽和溶解度 ( V <sub>2</sub> 修-V <sub>2</sub> 實 )÷ V <sub>w</sub>	
1170.02 hPa	52.90 ml	213.60 ml	233.08 ml	36.83 %	
1169.92 hPa	51.20 ml	218.00 ml	235.46 ml	34.11 %	
1170.33 hPa	56.00 ml	210.90 ml	233.37 ml	40.12 %	

實驗二 -17 二氧化碳在不同溫度下對水的溶解度變化(II)

氣體：【二氧化碳】 滴定液體：【食鹽水】 濃度【3%】 密度【1.026 g/cm <sup>3</sup> 】					
集氣瓶內氣體體積 V <sub>1</sub> ( ml )	實驗前集氣瓶內氣體壓力 P <sub>1</sub> (hPa)	實驗前集氣瓶內氣體溫度 T <sub>1</sub> (°C)	實驗終了時大氣壓力 P <sub>air2</sub> (hPa)	實驗終了時集氣瓶內氣體溫度 T <sub>2</sub> (°C)	點滴瓶內水面的水柱高度 h(cm)
267.80 ml	1025 hPa	18.80 °C	1026 hPa	17.00 °C	134.70 cm
268.70 ml	1025 hPa	18.80 °C	1026 hPa	17.00 °C	135.00 cm
268.60 ml	1025 hPa	18.80 °C	1026 hPa	17.00 °C	135.30 cm
集氣瓶內氣體壓力 P <sub>2</sub> = P <sub>air</sub> +0.98hd(hPa)	集氣瓶內滴入液體體積 V <sub>w</sub> ( ml )	集氣瓶內氣體體積 V <sub>2</sub> 實驗值 V <sub>2</sub> =V <sub>1</sub> -V <sub>w</sub> ( ml )	V <sub>2</sub> 修正值(ml) =V <sub>1</sub> ×P <sub>1</sub> ×T <sub>2</sub> / P <sub>2</sub> ×T <sub>1</sub> (T <sub>1</sub> 、T <sub>2</sub> 絕對溫度)	體積百分比飽和溶解度 ( V <sub>2</sub> 修-V <sub>2</sub> 實 )÷ V <sub>w</sub>	
1164.20 hPa	83.50 ml	184.30 ml	235.58 ml	61.41 %	
1164.51 hPa	84.55 ml	184.15 ml	236.21 ml	61.57 %	
1164.82 hPa	81.30 ml	187.30 ml	236.16 ml	60.10 %	

實驗二 -18 二氧化碳在不同溫度下對水的溶解度變化(III)

氣體：【二氧化碳】 滴定液體：【食鹽水】 濃度【3%】 密度【1.026 g/cm <sup>3</sup> 】					
集氣瓶內氣體體積 V <sub>1</sub> (ml)	實驗前集氣瓶內氣體壓力 P <sub>1</sub> (hPa)	實驗前集氣瓶內氣體溫度 T <sub>1</sub> (°C)	實驗終了時大氣壓力 P <sub>air2</sub> (hPa)	實驗終了時集氣瓶內氣體溫度 T <sub>2</sub> (°C)	點滴瓶內水面的水柱高度 h(cm)
268.90 ml	1026 hPa	4.50 °C	1029 hPa	7.00 °C	134.70 cm
268.80 ml	1026 hPa	4.50 °C	1029 hPa	7.00 °C	135.00 cm
269.50 ml	1026 hPa	4.50 °C	1029 hPa	7.00 °C	136.50 cm
集氣瓶內氣體壓力 P <sub>2</sub> = P <sub>air</sub> +0.98hd(hPa)	集氣瓶內滴入液體體積 V <sub>w</sub> (ml)	集氣瓶內氣體體積 V <sub>2</sub> 實驗值 V <sub>2</sub> = V <sub>1</sub> - V <sub>w</sub> (ml)	V <sub>2</sub> 修正值(ml) = V <sub>1</sub> × P <sub>1</sub> × T <sub>2</sub> / P <sub>2</sub> × T <sub>1</sub> (T <sub>1</sub> 、T <sub>2</sub> 絕對溫度)	體積百分比飽和溶解度 (V <sub>2</sub> 修 - V <sub>2</sub> 實) ÷ V <sub>w</sub>	
1167.20 hPa	117.50 ml	150.30 ml	246.00 ml	81.45 %	
1167.51 hPa	135.80 ml	133.00 ml	246.85 ml	83.84 %	
1169.05 hPa	120.50 ml	149.00 ml	247.17 ml	81.47 %	



實驗二 結果討論：

1. 比較二氧化碳及空氣滴定實驗結果，當滴定實驗完成時，可以明顯觀察到二氧化碳集氣瓶內滴入較多的水，從定性的角度分析，本實驗設計已經可以證明二氧化碳在水中的溶解度比空氣的溶解度大很多。在約 1013 百帕 (hPa) 的氣體壓力及約 26 °C 室溫下，二氧化碳的體積百分比飽和溶解度為 70.06%，在大約相同條件下空氣的體積百分比飽和溶解度約為 3.98 %；二氧化碳對水的溶解度大約是空氣的 17.6 倍。
2. 在食鹽及糖的水溶液為滴定液的實驗中可以發現，二氧化碳的氣體飽和溶解度會隨食鹽水或糖水溶液濃度增加而減少。顯示溶液中含有越多此類固態溶質時，二氧化碳的氣體溶解量會減小。其中以食鹽所產生的影響程度比糖大，依據各實驗結果之平均值，當食鹽水溶液之重量百分濃度達 26.60 %時，二氧化碳的體積百分比飽和溶解度下降到只剩 7.93 %，而相同濃度的糖水則使二氧化碳的體積百分比飽和溶解度下降為 24.83 %。

- 經由改變點滴瓶吊掛高度以調整集氣瓶內氣體壓力的實驗中，可以發現當壓力越大時二氧化碳的飽和溶解度也跟著變大。由於受到點滴注射器長度的限制，壓力增減的改變幅度無法太大，當集氣瓶內壓力由 1173 百帕(hPa)遞減為 1126 百帕(hPa)時，二氧化碳飽和溶解度亦隨之由 70.74 % 下降至 69.82%。壓力改變 47 百帕(hPa)佔一大氣壓的 4.6%時，二氧化碳飽和溶解度改變了 0.92%。
- 經由將集氣瓶浸泡於不同水溫的保溫桶中以調整集氣瓶內的氣體溫度，可以發現當溫度越高時二氧化碳的飽和溶解度也隨著變小。當集氣瓶內氣體溫度由 7.0°C 上升至 30.70°C 時，二氧化碳飽和溶解度則由 82.25 % 下降至 37.02 %。以上溫度及壓力改變對氣體溶解度大小的影響與課本所描述的現象相同。

### 實驗三 -1 二氧化碳對不同濃度氫氧化鈉水溶液的溶解度大小(I)

氣體：【二氧化碳】 滴定液體：【NaOH 水溶液】 濃度【0.05M】 密度【1.0016 g/cm <sup>3</sup> 】					
集氣瓶內氣體體積 $V_1$ (ml)	實驗前集氣瓶內氣體壓力 $P_1$ (hPa)	實驗前集氣瓶內氣體溫度 $T_1$ (°C)	實驗終了時大氣壓力 $P_{air2}$ (hPa)	實驗終了時集氣瓶內氣體溫度 $T_2$ (°C)	點滴瓶內水面的水柱高度 $h$ (cm)
268.90 ml	1012 hPa	22.60 °C	1013 hPa	23.00 °C	141.80 cm
268.80 ml	1012 hPa	22.60 °C	1013 hPa	23.00 °C	142.00 cm
269.50 ml	1012 hPa	22.60 °C	1013 hPa	23.00 °C	141.60 cm
集氣瓶內氣體壓力 $P_2 = P_{air} + 0.98hd$ (hPa)	集氣瓶內滴入液體體積 $V_w$ (ml)	集氣瓶內氣體體積 $V_2$ 實驗值 $V_2 = V_1 - V_w$ (ml)	$V_2$ 修正值(ml) $= V_1 \times P_1 \times T_2 / P_2 \times T_1$ ( $T_1$ 、 $T_2$ 絕對溫度)	體積百分比飽和溶解度 ( $V_2$ 修- $V_2$ 實) ÷ $V_w$	
1153.03 hPa	268.90 ml	0 ml	236.10-	100% (未飽和)	
1155.11 hPa	268.80 ml	0 ml	234.82-	100% (未飽和)	
1154.71 hPa	269.50 ml	0 ml	236.69-	100% (未飽和)	

### 實驗三 -2 二氧化碳對不同濃度氫氧化鈉水溶液的溶解度大小(II)

氣體：【二氧化碳】 滴定液體：【NaOH 水溶液】 濃度【0.03M】 密度【1.0012 g/cm <sup>3</sup> 】					
集氣瓶內氣體體積 $V_1$ (ml)	實驗前集氣瓶內氣體壓力 $P_1$ (hPa)	實驗前集氣瓶內氣體溫度 $T_1$ (°C)	實驗終了時大氣壓力 $P_{air2}$ (hPa)	實驗終了時集氣瓶內氣體溫度 $T_2$ (°C)	點滴瓶內水面的水柱高度 $h$ (cm)
268.90 ml	1011 hPa	21.20 °C	1013 hPa	21.90 °C	142.50 cm
268.80 ml	1011 hPa	21.20 °C	1013 hPa	21.90 °C	142.10 cm
269.90 ml	1011 hPa	21.20 °C	1013 hPa	21.90 °C	142.30 cm
集氣瓶內氣體壓力 $P_2 = P_{air} + 0.98hd$ (hPa)	集氣瓶內滴入液體體積 $V_w$ (ml)	集氣瓶內氣體體積 $V_2$ 實驗值 $V_2 = V_1 - V_w$ (ml)	$V_2$ 修正值(ml) $= V_1 \times P_1 \times T_2 / P_2 \times T_1$ ( $T_1$ 、 $T_2$ 絕對溫度)	體積百分比飽和溶解度 ( $V_2$ 修- $V_2$ 實) ÷ $V_w$	
1155.67 hPa	250.50 ml	18.40 ml	235.80 ml	86.79 %	
1155.27 hPa	250.00 ml	18.80 ml	235.79 ml	86.80 %	
1155.47 hPa	244.00 ml	25.90 ml	236.72 ml	86.40 %	

實驗三 -3 二氧化碳對不同濃度氫氧化鈉水溶液的溶解度大小(III)

氣體：【二氧化碳】 滴定液體：【NaOH 水溶液】 濃度【0.01M】 密度【1.0004 g/cm <sup>3</sup> 】					
集氣瓶內氣體體積 V <sub>1</sub> (ml)	實驗前集氣瓶內氣體壓力 P <sub>1</sub> (hPa)	實驗前集氣瓶內氣體溫度 T <sub>1</sub> (°C)	實驗終了時大氣壓力 P <sub>air2</sub> (hPa)	實驗終了時集氣瓶內氣體溫度 T <sub>2</sub> (°C)	點滴瓶內水面的水柱高度 h(cm)
269.50 ml	1012 hPa	22.60 °C	1014 hPa	23.30 °C	144.50 cm
268.60 ml	1012 hPa	22.60 °C	1014 hPa	23.30 °C	144.50 cm
268.50 ml	1012 hPa	22.60 °C	1014 hPa	23.30 °C	145.20 cm
集氣瓶內氣體壓力 P <sub>2</sub> = P <sub>air</sub> + 0.98hd(hPa)	集氣瓶內滴入液體體積 V <sub>w</sub> (ml)	集氣瓶內氣體體積 V <sub>2</sub> 實驗值 V <sub>2</sub> = V <sub>1</sub> - V <sub>w</sub> (ml)	V <sub>2</sub> 修正值(ml) V = V <sub>1</sub> × P <sub>1</sub> × T <sub>2</sub> / P <sub>2</sub> × T <sub>1</sub> (T <sub>1</sub> 、T <sub>2</sub> 絕對溫度)	體積百分比飽和溶解度 (V <sub>2</sub> 修 - V <sub>2</sub> 實) ÷ V <sub>w</sub>	
1158.56 hPa	160.10 ml	109.40 ml	235.97 ml	79.05 %	
1158.56 hPa	161.90 ml	107.60 ml	235.97 ml	79.29 %	
1159.26 hPa	153.20 ml	116.30 ml	235.82 ml	78.02 %	

實驗三 -4 二氧化碳對不同濃度氫氧化鈣水溶液的溶解度大小(I)

氣體：【二氧化碳】 滴定液體：【Ca(OH) <sub>2</sub> 水溶液】 濃度【0.05M】 密度【1.0024 g/cm <sup>3</sup> 】					
集氣瓶內氣體體積 V <sub>1</sub> (ml)	實驗前集氣瓶內氣體壓力 P <sub>1</sub> (hPa)	實驗前集氣瓶內氣體溫度 T <sub>1</sub> (°C)	實驗終了時大氣壓力 P <sub>air2</sub> (hPa)	實驗終了時集氣瓶內氣體溫度 T <sub>2</sub> (°C)	點滴瓶內水面的水柱高度 h(cm)
267.80 ml	1015 hPa	19.80 °C	1016 hPa	23.70 °C	142.00 cm
266.50 ml	1015 hPa	19.80 °C	1016 hPa	23.70 °C	142.30 cm
269.20 ml	1015 hPa	19.80 °C	1016 hPa	23.70 °C	142.40 cm
集氣瓶內氣體壓力 P <sub>2</sub> = P <sub>air</sub> + 0.98hd(hPa)	集氣瓶內滴入液體體積 V <sub>w</sub> (ml)	集氣瓶內氣體體積 V <sub>2</sub> 實驗值 V <sub>2</sub> = V <sub>1</sub> - V <sub>w</sub> (ml)	V <sub>2</sub> 修正值(ml) = V <sub>1</sub> × P <sub>1</sub> × T <sub>2</sub> / P <sub>2</sub> × T <sub>1</sub> (T <sub>1</sub> 、T <sub>2</sub> 絕對溫度)	體積百分比飽和溶解度 (V <sub>2</sub> 修 - V <sub>2</sub> 實) ÷ V <sub>w</sub>	
1158.34 hPa	261.00 ml	6.80 ml	237.78 ml	88.50 %	
1158.64 hPa	260.50 ml	7.30 ml	237.72 ml	88.45 %	
1158.74 hPa	262.50 ml	5.30 ml	237.70 ml	88.53 %	

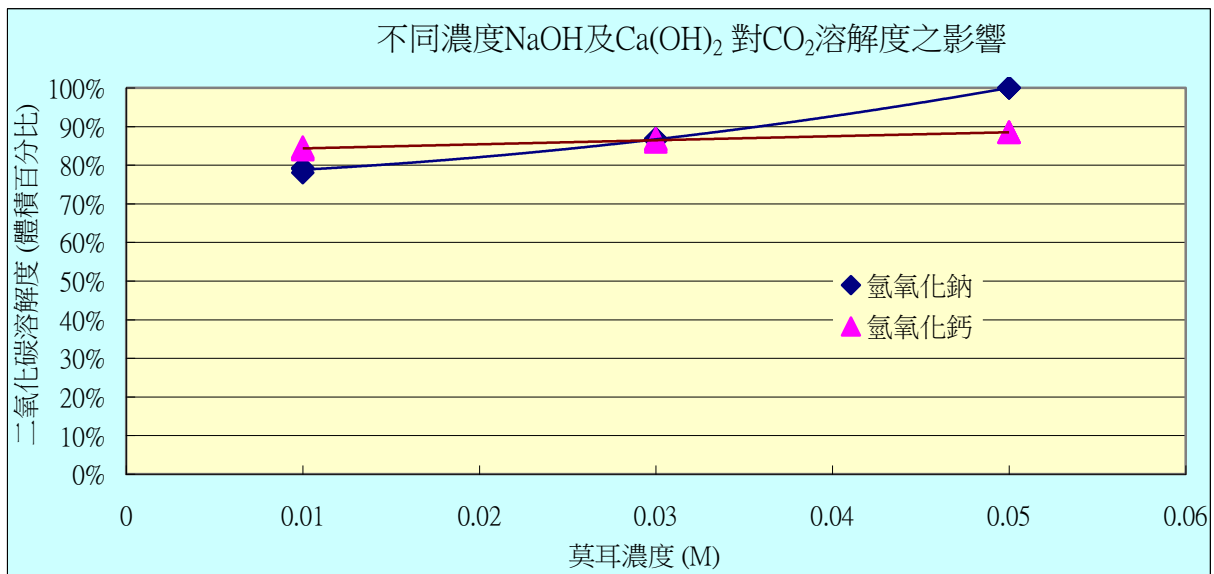
實驗三 -5 二氧化碳對不同濃度氫氧化鈣水溶液的溶解度大小(II)

氣體：【二氧化碳】 滴定液體：【Ca(OH) <sub>2</sub> 水溶液】 濃度【0.03M】 密度【1.0012 g/cm <sup>3</sup> 】					
集氣瓶內氣體體積 V <sub>1</sub> (ml)	實驗前集氣瓶內氣體壓力 P <sub>1</sub> (hPa)	實驗前集氣瓶內氣體溫度 T <sub>1</sub> (°C)	實驗終了時大氣壓力 P <sub>air2</sub> (hPa)	實驗終了時集氣瓶內氣體溫度 T <sub>2</sub> (°C)	點滴瓶內水面的水柱高度 h(cm)
267.80 ml	1011 hPa	21.50 °C	1013 hPa	21.9 °C	142.90 cm
268.70 ml	1011 hPa	21.50 °C	1013 hPa	21.9 °C	142.60 cm
268.60 ml	1011 hPa	21.50 °C	1013 hPa	21.9 °C	142.00 cm
集氣瓶內氣體壓力 P <sub>2</sub> = P <sub>air</sub> + 0.98hd(hPa)	集氣瓶內滴入液體體積 V <sub>w</sub> (ml)	集氣瓶內氣體體積 V <sub>2</sub> 實驗值 V <sub>2</sub> = V <sub>1</sub> - V <sub>w</sub> (ml)	V <sub>2</sub> 修正值(ml) = V <sub>1</sub> × P <sub>1</sub> × T <sub>2</sub> / P <sub>2</sub> × T <sub>1</sub> (T <sub>1</sub> 、T <sub>2</sub> 絕對溫度)	體積百分比飽和溶解度 (V <sub>2</sub> 修 - V <sub>2</sub> 實) ÷ V <sub>w</sub>	
1156.07 hPa	238.00 ml	29.80 ml	234.52 ml	86.01 %	
1155.77 hPa	245.00 ml	23.70 ml	235.61 ml	86.49 %	
1154.17 hPa	248.00 ml	20.60 ml	235.85 ml	86.79 %	



實驗三 -6 二氧化碳對不同濃度氫氧化鈣水溶液的溶解度大小(III)

氣體：【二氧化碳】 滴定液體：【Ca(OH) <sub>2</sub> 水溶液】 濃度【0.01M】 密度【1.0008 g/cm <sup>3</sup> 】					
集氣瓶內氣體體積 V <sub>1</sub> ( ml )	實驗前集氣瓶內氣體壓力 P <sub>1</sub> (hPa)	實驗前集氣瓶內氣體溫度 T <sub>1</sub> (°C)	實驗終了時大氣壓力 P <sub>air2</sub> (hPa)	實驗終了時集氣瓶內氣體溫度 T <sub>2</sub> (°C)	點滴瓶內水面的水柱高度 h(cm)
268.90 ml	1015 hPa	19.80 °C	1016 hPa	23.70 °C	144.50 cm
268.80 ml	1015 hPa	19.80 °C	1016 hPa	23.70 °C	144.50 cm
269.90 ml	1015 hPa	19.80 °C	1016 hPa	23.70 °C	144.35 cm
集氣瓶內氣體壓力 P <sub>2</sub> = P <sub>air</sub> +0.98hd(hPa)	集氣瓶內滴入液體體積 V <sub>w</sub> ( ml )	集氣瓶內氣體體積 V <sub>2</sub> 實驗值 V <sub>2</sub> = V <sub>1</sub> - V <sub>w</sub> (ml)	V <sub>2</sub> 修正值(ml) = V <sub>1</sub> ×P <sub>1</sub> ×T <sub>2</sub> / P <sub>2</sub> ×T <sub>1</sub> (T <sub>1</sub> 、T <sub>2</sub> 絕對溫度)	體積百分比飽和溶解度 ( V <sub>2</sub> 修-V <sub>2</sub> 實) ÷ V <sub>w</sub>	
1160.62 hPa	191.00 ml	77.90 ml	238.29 ml	83.98 %	
1160.62 hPa	199.00 ml	69.80 ml	238.20 ml	84.63 %	
1160.47 hPa	195.00 ml	73.32 ml	238.32 ml	84.32 %	



實驗三 -7 二氧化碳對不同濃度氯化鈉水溶液的溶解度大小(I)

氣體：【二氧化碳】 滴定液體：【NaCl 水溶液】 濃度【0.05M】 密度【 1.000 g/cm <sup>3</sup> 】					
集氣瓶內氣體體積 V <sub>1</sub> ( ml )	實驗前集氣瓶內氣體壓力 P <sub>1</sub> (hPa)	實驗前集氣瓶內氣體溫度 T <sub>1</sub> (°C)	實驗終了時大氣壓力 P <sub>air2</sub> (hPa)	實驗終了時集氣瓶內氣體溫度 T <sub>2</sub> (°C)	點滴瓶內水面的水柱高度 h(cm)
266.50 ml	1008 hPa	27.10 °C	1007 hPa	28.30 °C	145.40 cm
269.20 ml	1008 hPa	27.10 °C	1007 hPa	28.30 °C	146.00 cm
266.90 ml	1008 hPa	27.10 °C	1007 hPa	28.30 °C	146.50 cm
集氣瓶內氣體壓力 P <sub>2</sub> = P <sub>air</sub> +0.98hd(hPa)	集氣瓶內滴入液體體積 V <sub>w</sub> ( ml )	集氣瓶內氣體體積 V <sub>2</sub> 實驗值 V <sub>2</sub> = V <sub>1</sub> - V <sub>w</sub> (ml)	V <sub>2</sub> 修正值(ml) = V <sub>1</sub> ×P <sub>1</sub> ×T <sub>2</sub> / P <sub>2</sub> ×T <sub>1</sub> (T <sub>1</sub> 、T <sub>2</sub> 絕對溫度)	體積百分比飽和溶解度 ( V <sub>2</sub> 修-V <sub>2</sub> 實) ÷ V <sub>w</sub>	
1150.08 hPa	98.80 ml	167.70 ml	234.51 ml	67.62 %	
1150.08 hPa	98.00 ml	171.20 ml	236.89 ml	67.03 %	
1150.57 hPa	99.40 ml	167.50 ml	234.76 ml	67.67 %	

實驗三 -8 二氧化碳對不同濃度氯化鈉水溶液的溶解度大小(II)

氣體：【二氧化碳】 滴定液體：【NaCl 水溶液】 濃度【0.03M】 密度【 1.000 g/cm <sup>3</sup> 】					
集氣瓶內氣體體積 V <sub>1</sub> (ml)	實驗前集氣瓶內氣體壓力 P <sub>1</sub> (hPa)	實驗前集氣瓶內氣體溫度 T <sub>1</sub> (°C)	實驗終了時大氣壓力 P <sub>air2</sub> (hPa)	實驗終了時集氣瓶內氣體溫度 T <sub>2</sub> (°C)	點滴瓶內水面的水柱高度 h(cm)
268.60 ml	1008 hPa	27.10 °C	1007 hPa	28.30 °C	146.00 cm
268.50 ml	1008 hPa	27.10 °C	1007 hPa	28.30 °C	146.00 cm
267.80 ml	1008 hPa	27.10 °C	1007 hPa	28.30 °C	145.20 cm
集氣瓶內氣體壓力 P <sub>2</sub> = P <sub>air</sub> +0.98hd(hPa)	集氣瓶內滴入液體體積 V <sub>w</sub> (ml)	集氣瓶內氣體體積 V <sub>2</sub> 實驗值 V <sub>2</sub> = V <sub>1</sub> - V <sub>w</sub> (ml)	V <sub>2</sub> 修正值(ml) = V <sub>1</sub> × P <sub>1</sub> × T <sub>2</sub> / P <sub>2</sub> × T <sub>1</sub> (T <sub>1</sub> 、T <sub>2</sub> 絕對溫度)	體積百分比飽和溶解度 (V <sub>2</sub> 修-V <sub>2</sub> 實) ÷ V <sub>w</sub>	
1150.08 hPa	104.40 ml	164.20 ml	236.36 ml	69.12 %	
1150.08 hPa	101.10 ml	167.40 ml	236.27 ml	68.12 %	
1149.30 hPa	99.50 ml	168.30 ml	235.81 ml	67.85 %	

實驗三 -9 二氧化碳對不同濃度氯化鈉水溶液的溶解度大小 (III)

氣體：【二氧化碳】 滴定液體：【NaCl 水溶液】 濃度【0.01M】 密度【 1.000 g/cm <sup>3</sup> 】					
集氣瓶內氣體體積 V <sub>1</sub> (ml)	實驗前集氣瓶內氣體壓力 P <sub>1</sub> (hPa)	實驗前集氣瓶內氣體溫度 T <sub>1</sub> (°C)	實驗終了時大氣壓力 P <sub>air2</sub> (hPa)	實驗終了時集氣瓶內氣體溫度 T <sub>2</sub> (°C)	點滴瓶內水面的水柱高度 h(cm)
268.90 ml	1008 hPa	27.10 °C	1007 hPa	28.30 °C	145.40 cm
268.80 ml	1008 hPa	27.10 °C	1007 hPa	28.30 °C	146.00 cm
268.60 ml	1008 hPa	27.10 °C	1007 hPa	28.30 °C	145.70 cm
集氣瓶內氣體壓力 P <sub>2</sub> = P <sub>air</sub> +0.98hd(hPa)	集氣瓶內滴入液體體積 V <sub>w</sub> (ml)	集氣瓶內氣體體積 V <sub>2</sub> 實驗值 V <sub>2</sub> = V <sub>1</sub> - V <sub>w</sub> (ml)	V <sub>2</sub> 修正值(ml) = V <sub>1</sub> × P <sub>1</sub> × T <sub>2</sub> / P <sub>2</sub> × T <sub>1</sub> (T <sub>1</sub> 、T <sub>2</sub> 絕對溫度)	體積百分比飽和溶解度 (V <sub>2</sub> 修-V <sub>2</sub> 實) ÷ V <sub>w</sub>	
1149.49 hPa	108.30 ml	160.60 ml	236.74 ml	70.31 %	
1150.08 hPa	106.10 ml	162.70 ml	236.53 ml	69.59 %	
1149.79 hPa	107.40 ml	161.42 ml	236.42 ml	70.04 %	

實驗三 -10 二氧化碳對不同濃度氯化鈣水溶液的溶解度大小(I)

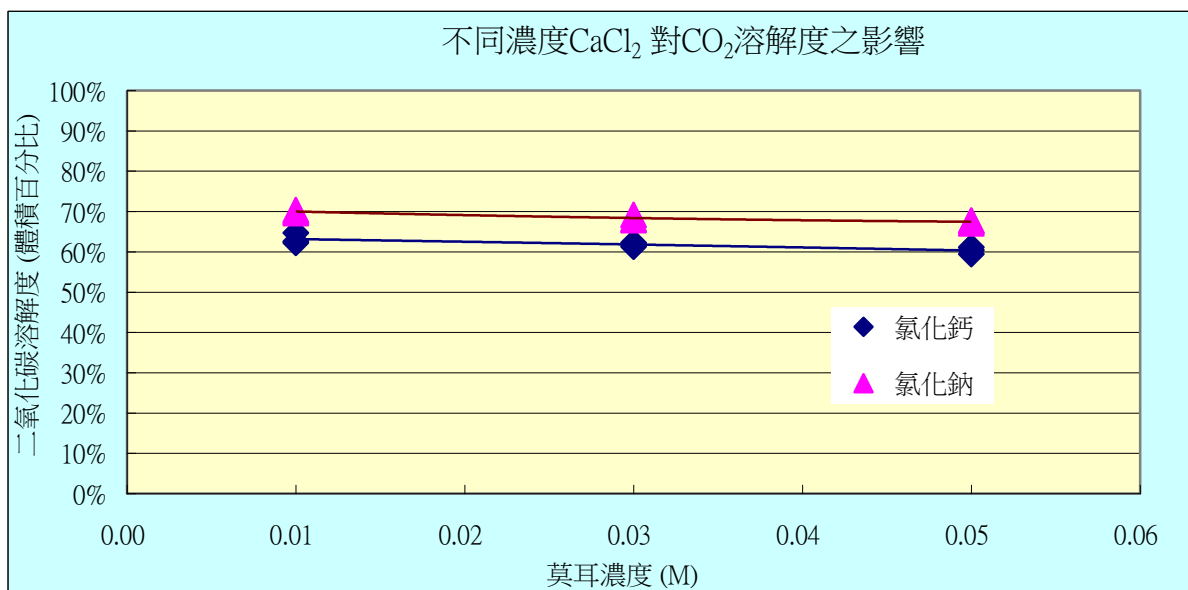
氣體：【二氧化碳】 滴定液體：【CaCl <sub>2</sub> 水溶液】 濃度【0.05M】 密度【 1.014 g/cm <sup>3</sup> 】					
集氣瓶內氣體體積 V <sub>1</sub> (ml)	實驗前集氣瓶內氣體壓力 P <sub>1</sub> (hPa)	實驗前集氣瓶內氣體溫度 T <sub>1</sub> (°C)	實驗終了時大氣壓力 P <sub>air2</sub> (hPa)	實驗終了時集氣瓶內氣體溫度 T <sub>2</sub> (°C)	點滴瓶內水面的水柱高度 h(cm)
268.60 ml	1006 hPa	25.50 °C	1007 hPa	25.30 °C	148.40 cm
268.50 ml	1006 hPa	25.50 °C	1007 hPa	25.30 °C	148.30 cm
267.80 ml	1006 hPa	25.50 °C	1007 hPa	25.30 °C	148.20 cm
集氣瓶內氣體壓力 P <sub>2</sub> = P <sub>air</sub> +0.98hd(hPa)	集氣瓶內滴入液體體積 V <sub>w</sub> (ml)	集氣瓶內氣體體積 V <sub>2</sub> 實驗值 V <sub>2</sub> = V <sub>1</sub> - V <sub>w</sub> (ml)	V <sub>2</sub> 修正值(ml) = V <sub>1</sub> × P <sub>1</sub> × T <sub>2</sub> / P <sub>2</sub> × T <sub>1</sub> (T <sub>1</sub> 、T <sub>2</sub> 絕對溫度)	體積百分比飽和溶解度 (V <sub>2</sub> 修-V <sub>2</sub> 實) ÷ V <sub>w</sub>	
1153.89 hPa	88.80 ml	179.80 ml	234.02 m;	61.06 %	
1153.79 hPa	85.20 ml	183.30 ml	233.95 °C	59.45 %	
1153.69 hPa	86.90 ml	180.90 ml	233.36 °C	60.37 %	

實驗三 -11 二氧化碳對不同濃度氯化鈣水溶液的溶解度大小(II)

氣體：【二氧化碳】 滴定液體：【CaCl <sub>2</sub> 水溶液】 濃度【0.03M】 密度【 1.009 g/cm <sup>3</sup> 】					
集氣瓶內氣體體積 V <sub>1</sub> (ml)	實驗前集氣瓶內氣體壓力 P <sub>1</sub> (hPa)	實驗前集氣瓶內氣體溫度 T <sub>1</sub> (°C)	實驗終了時大氣壓力 P <sub>air2</sub> (hPa)	實驗終了時集氣瓶內氣體溫度 T <sub>2</sub> (°C)	點滴瓶內水面的水柱高度 h(cm)
266.50 ml	1006 hPa	25.50 °C	1007 hPa	25.30 °C	148.10 cm
269.20 ml	1006 hPa	25.50 °C	1007 hPa	25.30 °C	147.90 cm
266.90 ml	1006 hPa	25.50 °C	1007 hPa	25.30 °C	148.60 cm
集氣瓶內氣體壓力 P <sub>2</sub> = P <sub>air</sub> + 0.98hd (hPa)	集氣瓶內滴入液體體積 V <sub>w</sub> (ml)	集氣瓶內氣體體積 V <sub>2</sub> 實驗值 V <sub>2</sub> = V <sub>1</sub> - V <sub>w</sub> (ml)	V <sub>2</sub> 修正值 (ml) = V <sub>1</sub> × P <sub>1</sub> × T <sub>2</sub> / P <sub>2</sub> × T <sub>1</sub> (T <sub>1</sub> 、T <sub>2</sub> 絕對溫度)	體積百分比飽和溶解度 (V <sub>2</sub> 修 - V <sub>2</sub> 實) ÷ V <sub>w</sub>	
1153.44 hPa	90.50 ml	176.00 ml	232.28 ml	62.19 %	
1153.25 hPa	89.20 ml	180.00 ml	234.67 ml	61.29 %	
1153.94 hPa	90.20 ml	176.70 ml	232.53 ml	61.89 %	

實驗三 -12 二氧化碳對不同濃度氯化鈣水溶液的溶解度大小(III)

氣體：【二氧化碳】 滴定液體：【CaCl <sub>2</sub> 水溶液】 濃度【0.01M】 密度【 1.007 g/cm <sup>3</sup> 】					
集氣瓶內氣體體積 V <sub>1</sub> (ml)	實驗前集氣瓶內氣體壓力 P <sub>1</sub> (hPa)	實驗前集氣瓶內氣體溫度 T <sub>1</sub> (°C)	實驗終了時大氣壓力 P <sub>air2</sub> (hPa)	實驗終了時集氣瓶內氣體溫度 T <sub>2</sub> (°C)	點滴瓶內水面的水柱高度 h(cm)
268.90 ml	1006 hPa	25.50 °C	1007 hPa	25.30 °C	148.10 cm
268.80 ml	1006 hPa	25.50 °C	1007 hPa	25.30 °C	148.20 cm
269.50 ml	1006 hPa	25.50 °C	1007 hPa	25.30 °C	148.10 cm
集氣瓶內氣體壓力 P <sub>2</sub> = P <sub>air</sub> + 0.98hd (hPa)	集氣瓶內滴入液體體積 V <sub>w</sub> (ml)	集氣瓶內氣體體積 V <sub>2</sub> 實驗值 V <sub>2</sub> = V <sub>1</sub> - V <sub>w</sub> (ml)	V <sub>2</sub> 修正值 (ml) = V <sub>1</sub> × P <sub>1</sub> × T <sub>2</sub> / P <sub>2</sub> × T <sub>1</sub> (T <sub>1</sub> 、T <sub>2</sub> 絕對溫度)	體積百分比飽和溶解度 (V <sub>2</sub> 修 - V <sub>2</sub> 實) ÷ V <sub>w</sub>	
1153.15 hPa	97.50 ml	171.40 ml	234.43 ml	64.64 %	
1153.25 hPa	92.00 ml	176.80 ml	234.32 ml	62.52 %	
1153.15 hPa	91.50 ml	178.00 ml	234.95 ml	62.24 %	



實驗三 -13 二氧化碳對濃度 0.05M 的硝酸鉀水溶液的溶解度大小(I)

氣體：【二氧化碳】 滴定液體：【KNO <sub>3</sub> 水溶液】 濃度【0.05M】 密度【 1.004 g/cm <sup>3</sup> 】					
集氣瓶內氣體體積 V <sub>1</sub> (ml)	實驗前集氣瓶內氣體壓力 P <sub>1</sub> (hPa)	實驗前集氣瓶內氣體溫度 T <sub>1</sub> (°C)	實驗終了時大氣壓力 P <sub>air2</sub> (hPa)	實驗終了時集氣瓶內氣體溫度 T <sub>2</sub> (°C)	點滴瓶內水面的水柱高度 h(cm)
266.50 ml	1012 hPa	26.90 °C	1013 hPa	27.00 °C	145.20 cm
269.20 ml	1012 hPa	26.90 °C	1013 hPa	27.00 °C	144.50 cm
266.90 ml	1012 hPa	26.90 °C	1013 hPa	27.00 °C	144.30 cm
集氣瓶內氣體壓力 P <sub>2</sub> = P <sub>air</sub> + 0.98hd(hPa)	集氣瓶內滴入液體體積 V <sub>w</sub> (ml)	集氣瓶內氣體體積 V <sub>2</sub> 實驗值 V <sub>2</sub> = V <sub>1</sub> - V <sub>w</sub> (ml)	V <sub>2</sub> 修正值(ml) = V <sub>1</sub> × P <sub>1</sub> × T <sub>2</sub> / P <sub>2</sub> × T <sub>1</sub> (T <sub>1</sub> 、T <sub>2</sub> 絕對溫度)	體積百分比飽和溶解度 (V <sub>2</sub> 修 - V <sub>2</sub> 實) ÷ V <sub>w</sub>	
1155.87 hPa	97.00 ml	169.50 ml	233.41 ml	65.88 %	
1155.18 hPa	108.60 ml	160.60 ml	235.91 ml	69.35 %	
1154.98 hPa	102.20 ml	164.70 ml	233.94 ml	67.75 %	

實驗三 - 14 二氧化碳對濃度 0.05M 的硫酸鈉水溶液的溶解度大小(II)

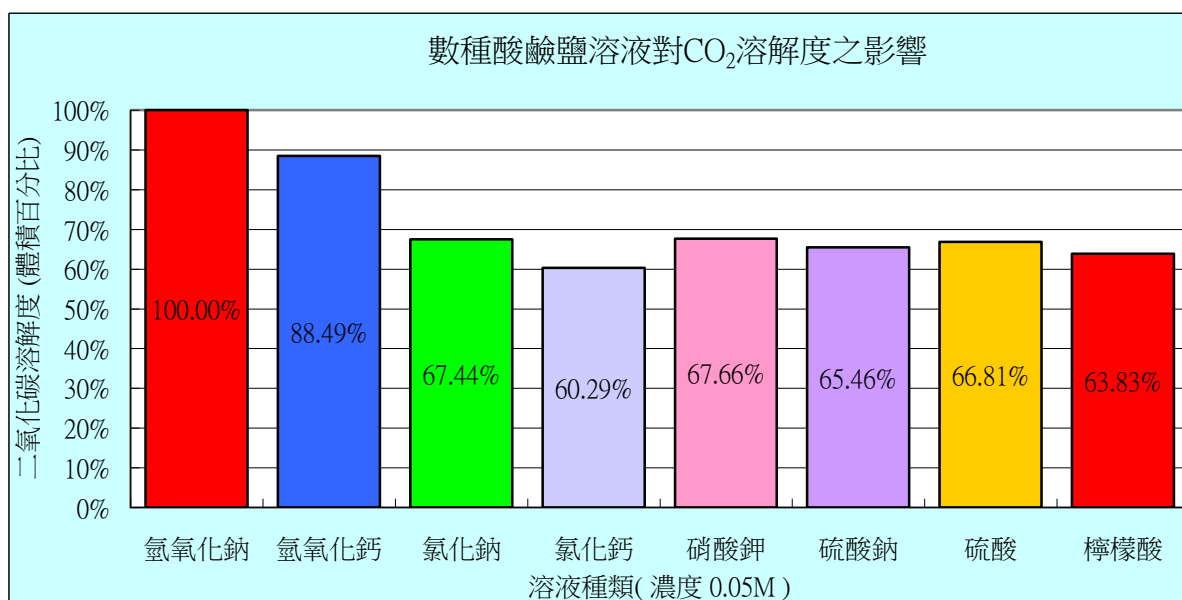
氣體：【二氧化碳】 滴定液體：【Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 水溶液】 濃度【0.05M】 密度【 1.004 g/cm <sup>3</sup> 】					
集氣瓶內氣體體積 V <sub>1</sub> (ml)	實驗前集氣瓶內氣體壓力 P <sub>1</sub> (hPa)	實驗前集氣瓶內氣體溫度 T <sub>1</sub> (°C)	實驗終了時大氣壓力 P <sub>air2</sub> (hPa)	實驗終了時集氣瓶內氣體溫度 T <sub>2</sub> (°C)	點滴瓶內水面的水柱高度 h(cm)
268.90 ml	1006 hPa	27.70 °C	1007 hPa	28.50 °C	147.10 cm
268.80 ml	1006 hPa	27.70 °C	1007 hPa	28.50 °C	146.70 cm
269.50 ml	1006 hPa	27.70 °C	1007 hPa	28.50 °C	147.00 cm
集氣瓶內氣體壓力 P <sub>2</sub> = P <sub>air</sub> + 0.98hd(hPa)	集氣瓶內滴入液體體積 V <sub>w</sub> (ml)	集氣瓶內氣體體積 V <sub>2</sub> 實驗值 V <sub>2</sub> = V <sub>1</sub> - V <sub>w</sub> (ml)	V <sub>2</sub> 修正值(ml) = V <sub>1</sub> × P <sub>1</sub> × T <sub>2</sub> / P <sub>2</sub> × T <sub>1</sub> (T <sub>1</sub> 、T <sub>2</sub> 絕對溫度)	體積百分比飽和溶解度 (V <sub>2</sub> 修 - V <sub>2</sub> 實) ÷ V <sub>w</sub>	
1151.73 hPa	96.70 ml	172.20 ml	235.50 ml	65.46 %	
1151.34 hPa	97.50 ml	171.30 ml	235.49 ml	65.84 %	
1151.64 hPa	95.80 ml	173.70 ml	236.04 ml	65.08 %	

實驗三 -15 二氧化碳對濃度 0.05M 的硫酸水溶液的溶解度大小(III)

氣體：【二氧化碳】 滴定液體：【H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 水溶液】 濃度【0.05M】 密度【 1.000 g/cm <sup>3</sup> 】					
集氣瓶內氣體體積 V <sub>1</sub> (ml)	實驗前集氣瓶內氣體壓力 P <sub>1</sub> (hPa)	實驗前集氣瓶內氣體溫度 T <sub>1</sub> (°C)	實驗終了時大氣壓力 P <sub>air2</sub> (hPa)	實驗終了時集氣瓶內氣體溫度 T <sub>2</sub> (°C)	點滴瓶內水面的水柱高度 h(cm)
267.80 ml	1007 hPa	28.30 °C	1005 hPa	28.10 °C	146.00 cm
266.50 ml	1007 hPa	28.30 °C	1005 hPa	28.10 °C	146.00 cm
266.90 ml	1007 hPa	28.30 °C	1005 hPa	28.10 °C	145.70 cm
集氣瓶內氣體壓力 P <sub>2</sub> = P <sub>air</sub> + 0.98hd(hPa)	集氣瓶內滴入液體體積 V <sub>w</sub> (ml)	集氣瓶內氣體體積 V <sub>2</sub> 實驗值 V <sub>2</sub> = V <sub>1</sub> - V <sub>w</sub> (ml)	V <sub>2</sub> 修正值(ml) = V <sub>1</sub> × P <sub>1</sub> × T <sub>2</sub> / P <sub>2</sub> × T <sub>1</sub> (T <sub>1</sub> 、T <sub>2</sub> 絕對溫度)	體積百分比飽和溶解度 (V <sub>2</sub> 修 - V <sub>2</sub> 實) ÷ V <sub>w</sub>	
1148.08 hPa	98.40 ml	169.40 ml	234.74 ml	66.40 %	
1148.08 hPa	100.10 ml	166.40 ml	233.60 ml	67.13 %	
1147.79 hPa	99.40 ml	167.50 ml	234.01 ml	66.91 %	

實驗三 -16 二氧化碳對濃度 0.05M 的檸檬酸水溶液的溶解度大小(IV)

氣體：【二氧化碳】 滴定液體：【C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub> 水溶液】 濃度【0.05M】 密度【1.000 g/cm <sup>3</sup> 】					
集氣瓶內氣體體積 V <sub>1</sub> (ml)	實驗前集氣瓶內氣體壓力 P <sub>1</sub> (hPa)	實驗前集氣瓶內氣體溫度 T <sub>1</sub> (°C)	實驗終了時大氣壓力 P <sub>air2</sub> (hPa)	實驗終了時集氣瓶內氣體溫度 T <sub>2</sub> (°C)	點滴瓶內水面的水柱高度 h(cm)
266.50 ml	1006 hPa	25.50 °C	1008 hPa	24.60 °C	147.50 cm
269.20 ml	1006 hPa	25.50 °C	1008 hPa	24.60 °C	147.60 cm
266.90 ml	1006 hPa	25.50 °C	1008 hPa	24.60 °C	147.70 cm
集氣瓶內氣體壓力 P <sub>2</sub> = P <sub>air</sub> +0.98hd(hPa)	集氣瓶內滴入液體體積 V <sub>w</sub> (ml)	集氣瓶內氣體體積 V <sub>2</sub> 實驗值 V <sub>2</sub> = V <sub>1</sub> - V <sub>w</sub> (ml)	V <sub>2</sub> 修正值(ml) = V <sub>1</sub> × P <sub>1</sub> × T <sub>2</sub> / P <sub>2</sub> × T <sub>1</sub> (T <sub>1</sub> 、T <sub>2</sub> 絕對溫度)	體積百分比飽和溶解度 (V <sub>2</sub> 修-V <sub>2</sub> 實) ÷ V <sub>w</sub>	
1152.55 hPa	98.80 ml	167.70 ml	231.91 ml	64.99 %	
1152.65 hPa	95.40 ml	173.80 ml	234.24 ml	63.36 %	
1152.75 hPa	94.10 ml	172.80 ml	232.22 ml	63.15 %	



實驗三 -17 二氧化碳對不同濃度蔬果汁的溶解度大小(I)

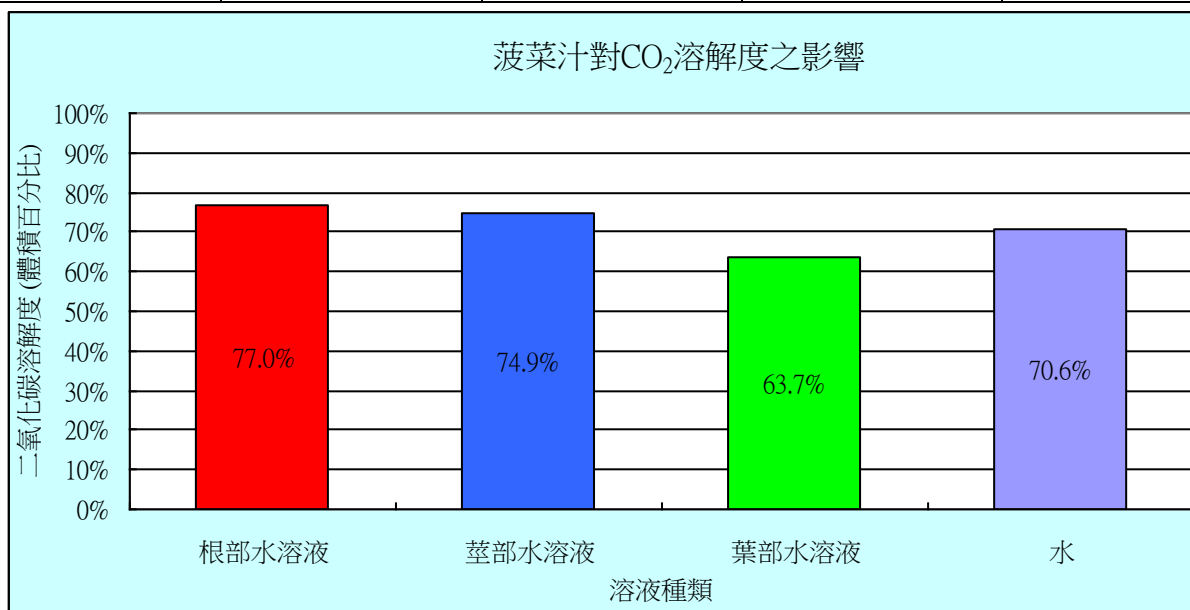
氣體：【二氧化碳】 滴定液體：【菠菜根部水溶液】 密度【1.000 g/cm <sup>3</sup> 】					
集氣瓶內氣體體積 V <sub>1</sub> (ml)	實驗前集氣瓶內氣體壓力 P <sub>1</sub> (hPa)	實驗前集氣瓶內氣體溫度 T <sub>1</sub> (°C)	實驗終了時大氣壓力 P <sub>air2</sub> (hPa)	實驗終了時集氣瓶內氣體溫度 T <sub>2</sub> (°C)	點滴瓶內水面的水柱高度 h(cm)
268.90 ml	1023 hPa	21.40 °C	1017 hPa	19.70 °C	144.35 cm
268.80 ml	1023 hPa	21.40 °C	1017 hPa	19.70 °C	144.30 cm
269.90 ml	1023 hPa	21.40 °C	1017 hPa	19.70 °C	144.50 cm
集氣瓶內氣體壓力 P <sub>2</sub> = P <sub>air</sub> +0.98hd(hPa)	集氣瓶內滴入液體體積 V <sub>w</sub> (ml)	集氣瓶內氣體體積 V <sub>2</sub> 實驗值 V <sub>2</sub> = V <sub>1</sub> - V <sub>w</sub> (ml)	V <sub>2</sub> 修正值(ml) = V <sub>1</sub> × P <sub>1</sub> × T <sub>2</sub> / P <sub>2</sub> × T <sub>1</sub> (T <sub>1</sub> 、T <sub>2</sub> 絕對溫度)	體積百分比飽和溶解度 (V <sub>2</sub> 修-V <sub>2</sub> 實) ÷ V <sub>w</sub>	
1168.00 hPa	137.00 ml	131.90 ml	235.50 ml	75.62 %	
1168.90 hPa	146.00 ml	122.80 ml	235.42 ml	77.14 %	
1168.50 hPa	153.00 ml	116.50 ml	235.99 ml	78.10 %	

實驗三 -18 二氧化碳對不同濃度蔬果汁的溶解度大小(II)

氣體：【二氧化碳】 滴定液體：【菠菜莖部水溶液】 密度【1.000 g/cm <sup>3</sup> 】					
集氣瓶內氣體體積 V <sub>1</sub> (ml)	實驗前集氣瓶內氣體壓力 P <sub>1</sub> (hPa)	實驗前集氣瓶內氣體溫度 T <sub>1</sub> (°C)	實驗終了時大氣壓力 P <sub>air2</sub> (hPa)	實驗終了時集氣瓶內氣體溫度 T <sub>2</sub> (°C)	點滴瓶內水面的水柱高度 h(cm)
268.60 ml	1021 hPa	19.00 °C	1017 hPa	18.60 °C	143.80 cm
268.50 ml	1021 hPa	19.00 °C	1017 hPa	18.60 °C	144.00 cm
267.80 ml	1021 hPa	19.00 °C	1017 hPa	18.60 °C	144.00 cm
集氣瓶內氣體壓力 P <sub>2</sub> = P <sub>air</sub> + 0.98hd (hPa)	集氣瓶內滴入液體體積 V <sub>w</sub> (ml)	集氣瓶內氣體體積 V <sub>2</sub> 實驗值 V <sub>2</sub> = V <sub>1</sub> - V <sub>w</sub> (ml)	V <sub>2</sub> 修正值 (ml) = V <sub>1</sub> × P <sub>1</sub> × T <sub>2</sub> / P <sub>2</sub> × T <sub>1</sub> (T <sub>1</sub> 、T <sub>2</sub> 絕對溫度)	體積百分比飽和溶解度 (V <sub>2</sub> 修 - V <sub>2</sub> 實) ÷ V <sub>w</sub>	
1160.80 hPa	129.50 ml	139.10 ml	235.93 ml	74.77 %	
1161.00 hPa	126.90 ml	141.60 ml	235.80 ml	74.23 %	
1161.00 hPa	134.30 ml	133.50 ml	235.18 ml	75.71 %	

實驗三 -19 二氧化碳對不同濃度蔬果汁的溶解度大小(III)

氣體：【二氧化碳】 滴定液體：【菠菜葉部水溶液】 密度【1.000 g/cm <sup>3</sup> 】					
集氣瓶內氣體體積 V <sub>1</sub> (ml)	實驗前集氣瓶內氣體壓力 P <sub>1</sub> (hPa)	實驗前集氣瓶內氣體溫度 T <sub>1</sub> (°C)	實驗終了時大氣壓力 P <sub>air2</sub> (hPa)	實驗終了時集氣瓶內氣體溫度 T <sub>2</sub> (°C)	點滴瓶內水面的水柱高度 h(cm)
268.60 ml	1022 hPa	21.40 °C	1021 hPa	18.10 °C	144.90 cm
268.50 ml	1022 hPa	21.40 °C	1021 hPa	18.10 °C	144.60 cm
267.80 ml	1022 hPa	21.40 °C	1021 hPa	18.10 °C	145.10 cm
集氣瓶內氣體壓力 P <sub>2</sub> = P <sub>air</sub> + 0.98hd (hPa)	集氣瓶內滴入液體體積 V <sub>w</sub> (ml)	集氣瓶內氣體體積 V <sub>2</sub> 實驗值 V <sub>2</sub> = V <sub>1</sub> - V <sub>w</sub> (ml)	V <sub>2</sub> 修正值 (ml) = V <sub>1</sub> × P <sub>1</sub> × T <sub>2</sub> / P <sub>2</sub> × T <sub>1</sub> (T <sub>1</sub> 、T <sub>2</sub> 絕對溫度)	體積百分比飽和溶解度 (V <sub>2</sub> 修 - V <sub>2</sub> 實) ÷ V <sub>w</sub>	
1165.90 hPa	96.00 ml	172.60 ml	232.81 ml	62.72 %	
1161.60 hPa	105.50 ml	163.00 ml	232.78 ml	66.15 %	
1162.10 hPa	94.50 ml	173.30 ml	232.08 ml	62.20 %	

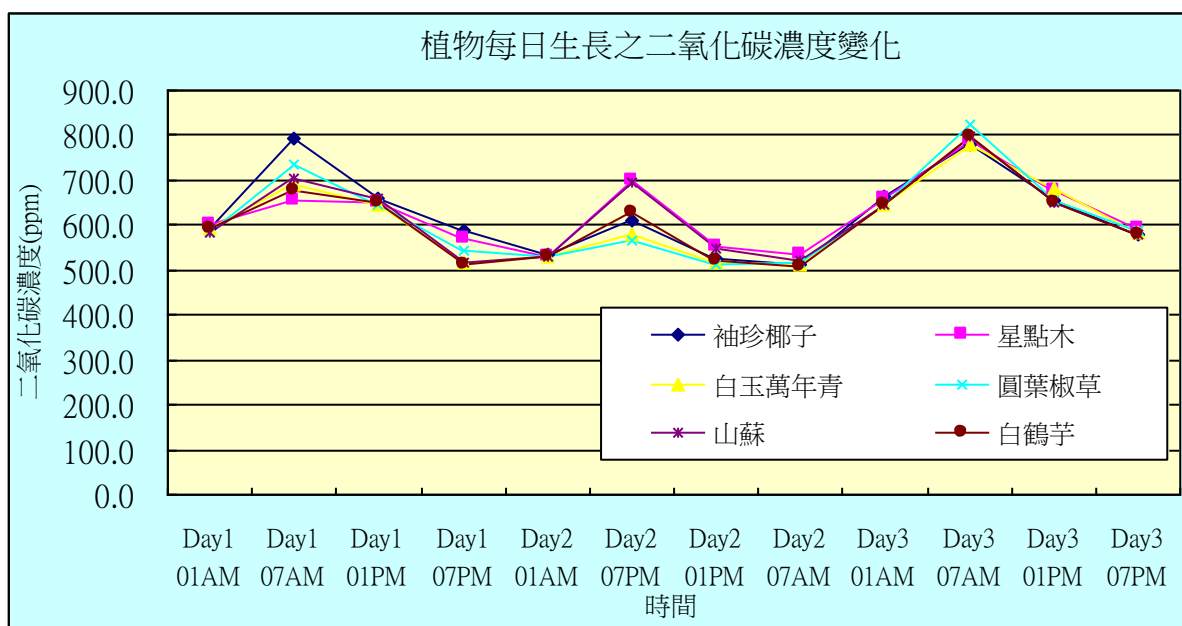


### 實驗三 結果討論：

1. 由氫氧化鈉及氫氧化鈣水溶液滴定完成後的計算結果，可以明顯發現二氧化碳對該類溶液的溶解度比先前以自來水滴定的實驗結果高出許多，證明氫氧化鈉及氫氧化鈣水溶液具有吸收二氧化碳的能力。且澄清的氫氧化鈣水溶液滴入集氣瓶後，會與已溶解在溶液中的二氧化碳發生作用，迅速形成一圈白色的碳酸鈣混濁懸浮顆粒，證明其中化學反應的產生。此外，以 pH 計檢驗實驗前後水溶液的酸鹼值，可以發現實驗前三種濃度(0.01M、0.03M 及 0.05M)的氫氧化鈉及氫氧化鈣水溶液屬於強鹼(PH 均在 12.0 左右)，但滴定完成後的二氧化碳飽和溶液之酸鹼值則近乎中性，此亦證明此實驗中有酸鹼中和的反應發生。
2. 實驗結果發現二氧化碳溶解度會隨著氫氧化鈉及氫氧化鈣水溶液的濃度增加而提高，其中氫氧化鈉濃度改變的影響較為明顯，二氧化碳對濃度 0.01M 的氫氧化鈉水溶液的體積百分比飽和溶解度約為 78.8 %，當氫氧化鈉溶液濃度提高為 0.05M 時，氫氧化鈉水溶液會將集氣瓶完全注滿，也就是說此時的二氧化碳已完全溶入氫氧化鈉水溶液中，其氣體體積百分比溶解度為 100%，並且可能為非飽和狀態。二氧化碳對濃度 0.01M 的氫氧化鈣水溶液的體積百分比飽和溶解度約為 84.3 %，當氫氧化鈣溶液濃度提高為 0.05M 時，二氧化碳的飽和溶解度則增加為 88.5 %。
3. 從數種酸鹼鹽溶液對二氧化碳溶解度的圖形可得知  $\text{CO}_2$  氣體對水的溶解度會受水溶液的酸鹼性影響。例如：鹼性  $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 、 $\text{Ca}(\text{OH})_{2(\text{aq})}$  的溶解度 > 純水 > 中性  $\text{KNO}_{3(\text{aq})}$ 、 $\text{Na}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ 、 $\text{CaCl}_{2(\text{aq})}$  與酸性  $\text{H}_2\text{SO}_4$  的溶解度。原因應是二氧化碳氣體溶於水會形成碳酸，而鹼性水溶液會與碳酸產生酸鹼中和反應，造成二氧化碳氣體溶解度增加，依照化學平衡觀點－勒沙特列原理可以判斷。
4.  $\text{CO}_2$  氣體對水的溶解度隨水溶液中的離子數濃度增大而下降，例如：(1)  $\text{CO}_2$  氣體對純水溶液的溶解度 > 中性鹽類水溶液，(2)  $\text{CO}_2$  氣體對 0.01M  $\text{NaCl}_{(\text{aq})}$  的溶解度 > 0.03M > 0.05M。(3) 在相同濃度的鹼性水溶液的  $\text{CO}_2$  氣體溶解度為  $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$  >  $\text{Ca}(\text{OH})_{2(\text{aq})}$ 。(4) 相同濃度的中性  $\text{KNO}_{3(\text{aq})}$  的  $\text{CO}_2$  氣體溶解度 >  $\text{Na}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ 、 $\text{CaCl}_{2(\text{aq})}$ 。(5) 相同濃度的中性  $\text{NaCl}_{(\text{aq})}$  的  $\text{CO}_2$  氣體溶解度 >  $\text{Na}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ 、 $\text{CaCl}_{2(\text{aq})}$ 。原因應是水溶液中的離子與二氧化碳競爭水分子，而離子與水結合的能力又都比二氧化碳強，使得二氧化碳氣體溶解度因離子數越多而下降得越明顯。
5.  $\text{CO}_2$  氣體對水的溶解度受水溶液中的離子電荷密度越大而下降，例如： $\text{CO}_2$  氣體對水溶液的溶解度中，相同濃度的中性  $\text{KNO}_{3(\text{aq})}$  >  $\text{NaCl}_{(\text{aq})}$ 。原因應是水溶液中的離子電荷密度愈高，例如：鈉離子的電荷密度比鉀離子大，氯離子的電荷密度比硝酸根離子大，故可形成較穩定的水合離子，使得二氧化碳氣體溶解度因此而下降越明顯。
6. 其中讓我們出乎意料的是  $\text{CaCl}_{2(\text{aq})}$  < 純水的  $\text{CO}_2$  氣體的溶解度。原先的想法是氯化鈣水溶液會與碳酸產生沉澱，進而增加  $\text{CO}_2$  氣體的溶解度，但結果卻不盡然。經參考相關資料及討論後，我們認為應是許多碳酸鈣沉澱分散於水中形成  $\text{CO}_2$  的成核位置而使溶入水中的  $\text{CO}_2$  又冒出，反而減少  $\text{CO}_2$  氣體的溶解度。
7. 以菠菜的根、莖及葉的水溶液進行滴定，亦可發現二氧化碳對該類溶液的溶解度比一般自來水的溶解度高，其中二氧化碳對菠菜根部水溶液的體積百分比飽和溶解度約為 77.0 %，菠菜葉的部分雖較低，但也達到 63.7 %。

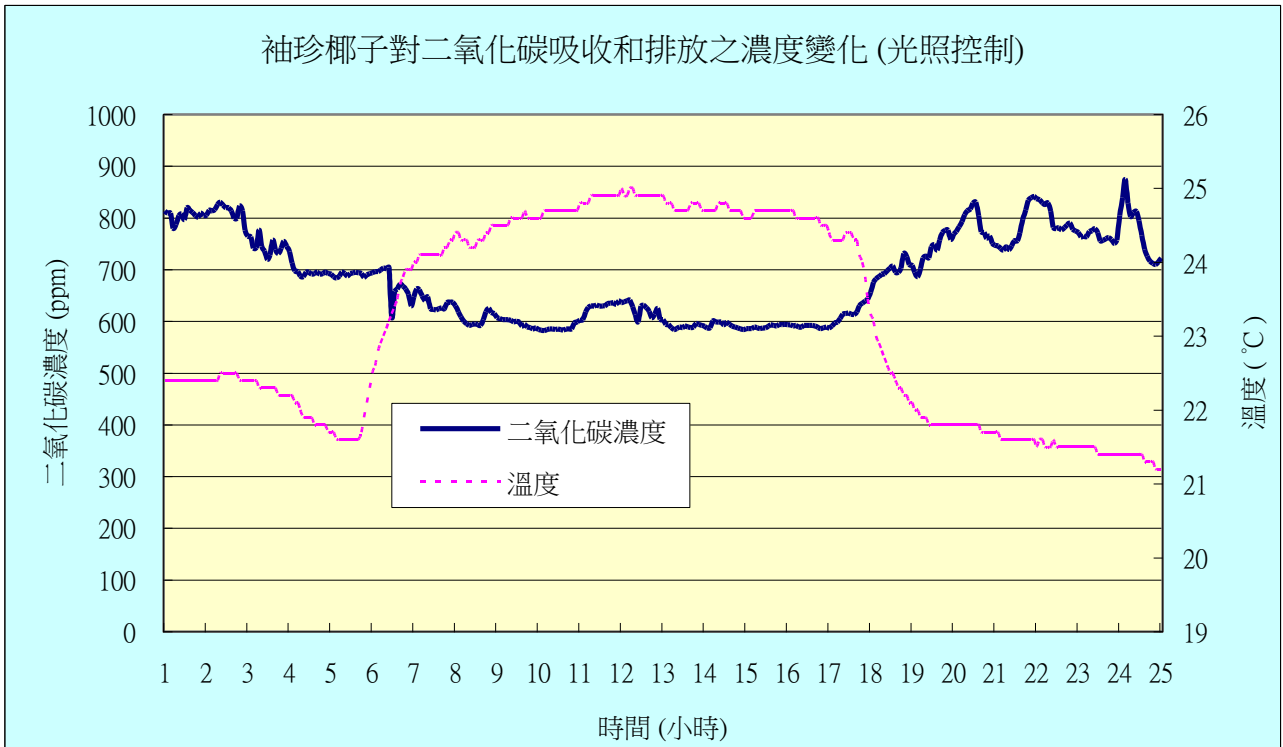
實驗四 -1 密閉容器中六種植物對二氧化碳吸收和排放之濃度變化

植物名稱 時間	袖珍椰子	星點木	白玉萬年青	圓葉椒草	山蘇	白鶴芋	平均值
第一天01:00	590.4	600.8	590.5	585.5	584.5	594.0	591.0
第一天07:00	794.4	655.9	691.4	735.4	704.9	675.7	709.6
第一天 13:00	660.9	648.5	647.9	646.0	660.9	652.0	652.7
第一天 19:00	587.4	569.0	516.6	543.2	518.5	511.6	541.1
第二天01:00	534.5	529.3	530.7	531.0	530.6	529.9	531.0
第二天07:00	611.5	701.4	579.8	567.6	697.0	626.7	630.7
第二天 13:00	527.5	553.1	516.2	512.3	548.1	519.6	529.5
第二天 19:00	512.5	533.4	510.9	514.8	523.1	508.4	517.2
第三天 01:00	663.6	661.3	644.5	647.0	648.0	646.7	651.9
第三天 07:00	781.6	790.5	777.6	823.9	795.3	799.2	794.7
第三天 13:00	656.5	677.9	682.2	657.0	650.5	650.7	662.5
第三天 19:00	579.2	590.4	585.0	589.1	580.5	578.6	583.8
平均值	625.0	626.0	606.1	612.7	620.2	607.8	616.3

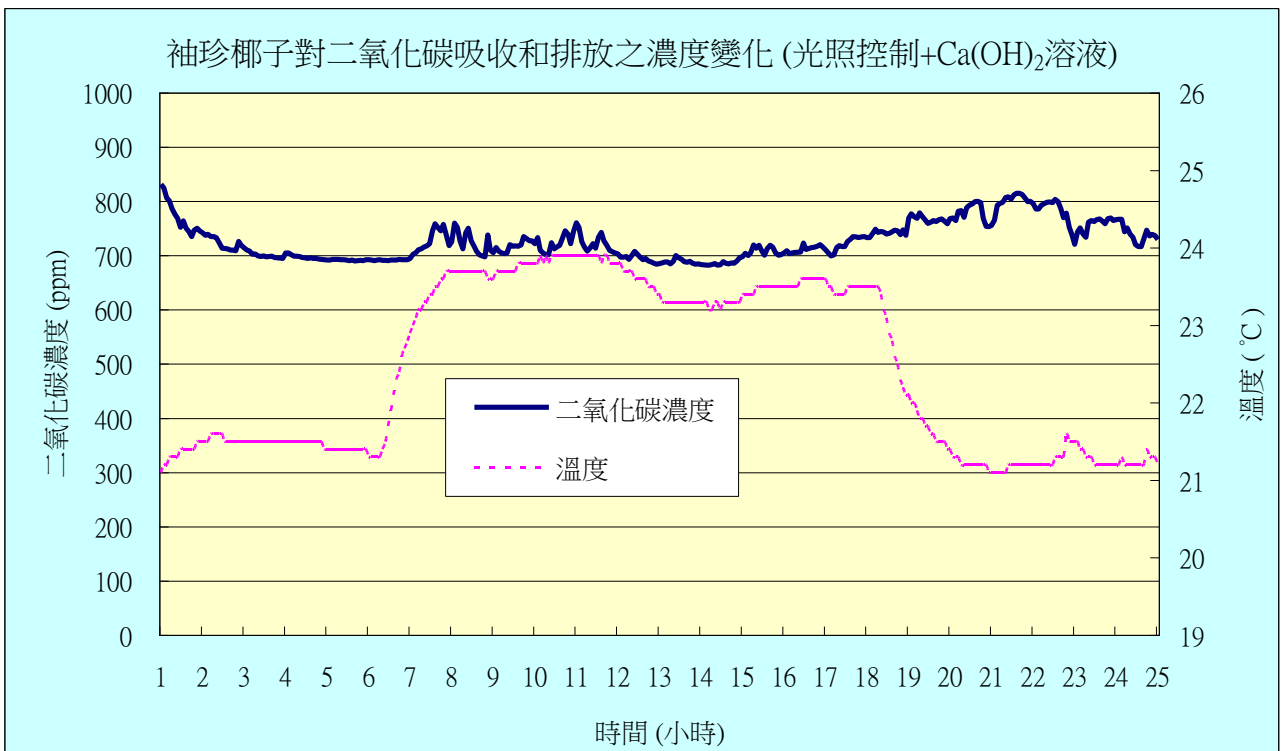




實驗四 -2 密閉容器中袖珍椰子對二氧化碳吸收和排放之濃度變化 (光照控制)



實驗四 -3 密閉容器中袖珍椰子對二氧化碳吸收和排放之濃度變化 (光照控制+氫氧化鈣水溶液)



#### 實驗四 結果討論：

1. 觀察密閉容器內 6 種植物在自然光照環境下的二氧化碳濃度變化，可以發現每種植物都會隨著白天及黑夜的變化循環吸收和排放二氧化碳，經過一個晚上的累積，每天早上 7 點的二氧化碳濃度量測值都是最高，在大約 7500 立方公分(17cmx17cmx26cm)的密閉容器中，以 6 種植物的平均值計算，第三天早上 7 點的量測值最大，約為 794ppm；除了第一天的袖珍椰子、星點木及圓葉椒草略有差異之外，其他兩天所有植物的二氧化碳濃度都是在傍晚 7 點的量測值呈現最小，最小平均量測值則是在第二天傍晚，約為 517ppm，最大與最小濃度平均值相差約為 277ppm。三天的實驗期間，6 種植物個別的二氧化碳濃度量測平均值約在 616ppm 左右，最大值與最小值也僅相差 20ppm。
2. 為控制變因，本實驗以密閉容器進行植物的生長觀測，但為避免與外界環境隔絕太久，影響植物自然生長所需其他條件，故無法持續長時間觀察，然而，從本實驗仍可發現，植物行光合作用雖可吸收二氧化碳，但短週期內，與夜間因呼吸作用所產生的二氧化碳量幾乎呈現平衡狀態，無法實際達到降低二氧化碳的目的。
3. 基於上述原因，本實驗另設計加入氫氧化鈣水溶液，藉此將植物所產生的二氧化碳加以吸收，為更精確的控制實驗變因以利進行對照實驗比較，本實驗改採人工光源，並以定時器設定同樣的光照時間，為避免氫氧化鈣吸收二氧化碳後大幅度改變植物生長的實驗條件，故實驗時間設計為 24 小時，前後 6 小時為暗室，中間 12 小時則提供人工照明，由於光照會提高遮光箱內的溫度，故從實驗紀錄圖的溫度曲線變化既可判斷光源開啟及關閉的時間。
4. 經比較兩組實驗數據圖可以發現，只有控制光源的實驗對照組，大致與自然光照實驗的情形一致，在暗室中二氧化碳濃度較高，前 6 小時平均濃度為 749ppm，後 6 小時平均濃度為 780ppm，當中間 12 小時有光線照射時二氧化碳濃度變低，平均值為 625ppm；加入氫氧化鈣水溶液的實驗控制組，前 3 個小時的二氧化碳濃度下降速度較快，之後穩定的維持在 700ppm 左右，直到最後 6 小時進入光源關閉的暗室循環，二氧化碳濃度才又逐漸回升，此時平均值為 772ppm，實驗控制組在光照期間沒有明顯的光合作用是比較特殊的現象。
5. 觀察實驗後的氫氧化鈣水溶液可以明顯發現溶液表面有一層白色的懸浮物質，顯示密閉容器中的二氧化碳與氫氧化鈣水溶液發生化學反應，產生了碳酸鈣微小顆粒，因液體表面張力而懸浮在表面。



## 陸、研究結論與建議

- 一、使用傳統的排水集氣法在蓋上瓶蓋的時候，仍不免會有部分的水殘留在瓶內，因而影響瓶內實際氣體體積的大小，同時為控制瓶口與水面同高又不能離開水面，非常耗費時間和精力，因此，我們思考加以改良。首先，我們在集氣瓶的瓶蓋上另打了一個排水小孔，將瓶子裝滿水後在水槽內先將瓶蓋蓋上，移出水面後將瓶身倒置，再透過瓶蓋上的點滴針頭連接二氧化碳鋼瓶，藉由鋼瓶產生的氣壓，將瓶內的水從排水孔完全擠壓出去，然後再用熱熔膠將排水孔封住。需靜置一分鐘，才接上點滴注射器開始進行實驗的原因是由於二氧化碳鋼瓶儲存的是液態二氧化碳，雖經過排水集氣法吸收了水中部分熱量，氣體溫度仍低於室溫，故需靜置一分鐘，讓瓶內氣體溫度上升到室溫左右，因體積膨脹而多餘的二氧化碳氣體，則會從瓶蓋點滴針頭的小孔緩緩逸出，如此瓶內的壓力會與外界大氣壓力相同。收集好氣體的集氣瓶要避免用手觸碰玻璃瓶身，以免體溫經傳導，使瓶內二氧化碳受熱體積膨脹而由點滴針頭逸出瓶外，導致實驗誤差。
- 二、點滴注射器可以說是本實驗的關鍵器材。利用液體壓力的原理，它一方面當作注射器，在氣密情況下把溶液滴進溶質中，另一方面經由液體壓力的計算( $P=hd$ )，它便成為本實驗所需的氣體壓力計。導管內如果含有空氣，則氣泡產生的表面張力會阻塞導管，影響水柱高度產生的壓力及排水速度，所以應該輕輕敲打注射管將空氣排出。
- 三、本氣體溶解度實驗的設計原理為利用體積已知的密閉容器，收集待測定的氣體(溶質：空氣、二氧化碳)，再利用點滴注射瓶吊掛高度產生一定的液柱壓力將溶液(水、鹽水、糖水、氫氧化鈉水溶液、菠菜水溶液等)緩慢的滴入集氣瓶內，由於集氣瓶內溶液增加使氣體體積受到壓縮因而壓力變大，當氣體壓力逐漸變大，便會有一部分氣體溶解進入溶液中，最後當氣體溶解度在一定壓力下到達飽和，點滴注射器內的溶液便無法再滴入集氣瓶內。量測此時滴入集氣瓶內的溶液體積及剩餘氣體體積，利用波查定律的氣體體積與壓力關係( $P_1 \times V_1 / T_1 = P_2 \times V_2 / T_2$ )，計算該一定壓力下無氣體溶解時的氣體體積修正值，該修正值與實驗值的差值便是溶解於溶劑中的氣體體積，該體積除以溶液體積便可得該氣體在一定壓力下的體積百分比飽和溶解度。
- 四、本研究之過程及方法中，包括了學習過的相關課程有：大氣壓力、液體壓力、溶解度、重量百分濃度、體積百分濃度、水溶液密度、排水集氣法、水溶液解離度、酸鹼性、反應速率及其他相關知識，例如密閉容器壓力、波以耳定律、查理定律、波查定律等。
- 五、二氧化碳溶解度點滴實驗約需4個小時的時間才會到達飽和，由於實驗室並無恆溫及恆壓的控制設備，因此各實驗組別之間，其大氣壓力及室溫這兩項變因無法精確控制為一致，因此在比較不同實驗組別的結果方面，除控制變因的差異外，實驗結束時的大氣壓力及室溫差異也會造成些許影響。若單純以波查定理公式計算，在相同實驗條件下，大氣壓力每增加 1百帕(pHa)所產生的二氧化碳溶解度差異值大約僅有0.45 %；而室溫每升高 1°C所產生的二氧化碳溶解度差異則約為1.55 %，溫度的影響因素雖然較大，但實驗過程中若有溫度上升將使密閉容器內壓力變大，以致實際滴入點滴瓶的液體減少，故實際的溫度差異值應該會比理論計算值更小。

- 六、比較二氧化碳及空氣滴定實驗結果，定量分析在約1013百帕 (hPa) 的氣體壓力及約26 °C室溫下，二氧化碳的體積百分比飽和溶解度為70.06%，在大約相同條件下空氣的體積百分比飽和溶解度約為3.98 %；二氧化碳對水的溶解度大約是空氣的17.6倍。
- 七、在以摻有食鹽及糖的水溶液為滴定液的實驗中可以發現，二氧化碳的氣體飽和溶解度會隨食鹽或糖水的溶液濃度增加而減少。顯示溶液中含有越多此類固態溶質時，二氧化碳氣體溶解度會減小。可能原因為.鹽析效應及鹽、糖粒子提供了成核位置。將完成二氧化碳滴定實驗的自來水、食鹽水及糖水靜置一天，可發現集氣瓶的內部瓶壁上附著許多微小氣泡，與開瓶後的汽水很像，證明二氧化碳在該類溶液中屬物理性溶解。
- 八、經由改變點滴瓶吊掛高度以調整集氣瓶內氣體壓力的實驗中，可以發現當壓力越大則二氧化碳的飽和溶解度也隨著變大。經由將集氣瓶浸泡在不同水溫的保溫桶中，以控制集氣瓶內的氣體溫度，可以發現當溫度越高時二氧化碳的飽和溶解度也隨著變小。以上壓力及溫度改變對氣體溶解度大小的影響與課本所描述的現象相同。
- 九、比較氫氧化鈉及氫氧化鈣水溶液滴完成後的實驗結果，可以明顯發現二氧化碳對該類溶液的溶解度比先前以自來水滴定的實驗結果高出許多，證明氫氧化鈉及氫氧化鈣水溶液具有吸收二氧化碳的能力，且澄清的氫氧化鈣水溶液滴入集氣瓶後，會與已溶解在溶液中的二氧化碳發生作用，迅速形成一圈白色的碳酸鈣混濁懸浮顆粒，證明其中化學反應的產生。實驗結果發現二氧化碳溶解度會隨著氫氧化鈉及氫氧化鈣水溶液的濃度增加而提高，其中氫氧化鈉濃度改變的影響較為明顯。
- 十、從數種酸鹼鹽溶液對二氧化碳溶解度的圖形可得知（1）CO<sub>2</sub>氣體對水的溶解度會受水溶液的酸鹼性影響。鹼性水溶液的溶解度 > 純水 > 中性鹽類與酸性水溶液的溶解度。原因應是二氧化碳氣體溶於水會形成碳酸，而鹼性水溶液會與碳酸產生酸鹼中和反應，造成二氧化碳氣體溶解度增加，依照化學平衡觀點勒沙特列原理可以判斷：氫氧化鈉與二氧化碳產生碳酸鈉和水，碳酸鈉會再解離，化學平衡驅向正反應，故氫氧化鈉會不斷吸收二氧化碳。（2）CO<sub>2</sub>氣體對水的溶解度隨水溶液中的離子數濃度增大而下降。例：NaOH<sub>(aq)</sub> > Ca(OH)<sub>2(aq)</sub>、NaCl<sub>(aq)</sub> > CaCl<sub>2(aq)</sub>。原因應是水溶液中的離子與二氧化碳競爭水分子，而離子與水結合的能力又都比二氧化碳強，使得二氧化碳氣體溶解度因離子數越多而下降得越明顯。（3）CO<sub>2</sub>氣體對水的溶解度受水溶液中的離子電荷密度越大而下降，應是水溶液中的離子電荷密度愈高，可形成較穩定的水合離子，使得二氧化碳氣體溶解度因此而下降越明顯。
- 十一、比較菠菜的根、莖及葉的水溶液滴定實驗，亦可發現二氧化碳對該類溶液的溶解度比一般自來水的溶解度高出許多，菠菜中含有某種特定成分可幫助二氧化碳的吸收。查閱過一篇來自科學月刊的報導－馬丁的鐵假說，了解鐵離子對二氧化碳吸收之影響。而根部菠菜水溶液對二氧化碳溶解度稍大的原因可能是根部與土壤接觸，吸附了較高濃度的礦物質包含鐵、鋅、銅、錳等。
- 十二、本物理與化學性的捕捉實驗可能產生的誤差及因應的方法為：
1. 排水集氣時集氣瓶內的氣體壓力並非一大氣壓或含過高的水蒸氣。控制集氣瓶內壓力接近一大氣壓的方法是讓瓶內水位與外面水位一樣高的時候，將瓶口在水面下密

封，因此我們的實驗採用瓶口有螺紋的玻璃瓶，在水面下將瓶口旋緊密封。如要避免水氣偏高，氣體產生的速度要夠快，以二氧化碳鋼瓶為例，如操作熟練，利用我們設計的排水集氣法，幾乎不到3秒鐘內就能集滿一瓶二氧化碳氣體(260ml)，由於原本瓶內的水被急速排出，水蒸氣的含量應會降到最低。

2. 集氣瓶氣密不佳，造成實驗過程中瓶內氣體逸失，因此點滴液不停的滴入。解決方法是選用品質較好的瓶蓋。注射針頭插入後，馬上以熱熔膠封住插孔的四週。
3. 量筒等計量設備之準確度及讀數判讀誤差。因應方式是使用刻度較細密的量測設備。而讀數判讀誤差的控制則是要使實驗操作更加熟練，或由不同成員重複觀測量測結果，我們每一種實驗項目都完整地測量三次，就是希望能減少實驗造成的誤差。
4. 本實驗的氣壓溫溼度計，是ABH-4225風速/氣壓/溫溼度計，屬於液晶顯示器，氣壓與溫度是半導體感應方式，取樣時間是一次一秒，即時數字顯示當時的大氣壓力與環境的溫度，因此可以準確地進行量測。

十三、生物性的捕捉實驗，會選用這六種小盆栽植物的原因是因小盆栽不僅可美化室內空間，許多常見居家盆栽亦有淨化室內空氣品質的妙用，減少室內二氧化碳的能力較強，也有吸附灰塵的能力。我們查了台北市環保局提供能淨化空氣的室內植物，包括黛粉葉、袖珍椰子、山蘇、波士頓腎蕨、椒草、白鶴芋等共50種植物，每一種都經過學者研究證實有淨化空氣的能力。我們到附近賣小盆栽的店家詢問，最後以能取得的這六種植物進行實驗。

十四、觀察密閉容器內6種植物在自然光照環境下的二氧化碳濃度變化，可以發現每種植物都會隨著白天及黑夜的變化循環吸收和排放二氧化碳，經過一個晚上的累積，每天早上7點的二氧化碳濃度量測值都是最高。為控制實驗變因，本實驗以密閉容器進行植物的生長觀測，但為避免與外界環境隔絕太久，影響植物自然生長所需其他條件，故無法持續長時間觀察，然而，從本實驗仍可發現，植物行光合作用雖可吸收二氧化碳，但短週期內，與夜間因呼吸作用所產生的二氧化碳量幾乎呈現平衡狀態，無法實際達到降低二氧化碳的目的。本實驗另設計加入氫氧化鈣水溶液，藉此將植物所產生的二氧化碳加以吸收，經比較兩組實驗數據圖可以發現，只有控制光源的實驗對照組，大致與自然光照實驗的情形一致，實驗控制組在光照期間沒有明顯的光合作用是比較特殊的現象。

十五、加入氫氧化鈣水溶液的實驗對照組在光照期間沒有明顯的光合作用，經討論可能有下列數項原因：（1）因為在暗室循環時，氫氧化鈣水溶液已吸收了大部份的二氧化碳，導致植物沒有足夠條件行光合作用。（2）因為在暗室循環時，氫氧化鈣水溶液已吸收了大部份的二氧化碳，且日光燈之光線亦不足，導致植物沒有足夠條件行光合作用。（3）非色散式二氧化碳測試計的設計，適合偵測紅外線，而日光燈的光線多屬可見光，導致測量失準。（4）植物蒸散作用的水蒸氣，在探測頭凝結成水珠，導致其數據出現誤差。

十六、在溫度及壓力控制變因實驗中，我們刻意將滴定液設定為與海水濃度相當的食鹽水溶液，因夏季臺灣附近海域在100公尺深度之水溫約為15°C，冬季則可降到 8~10°C，再加上100公尺水深所產生的壓力，依本實驗結果推估，要利用深層海水捕捉二氧化碳在理論上具有可行性，問題在於如何以最具節能的方式將二氧化碳氣體壓送至100公尺深的海裡，以及二氧化碳氣泡大小如何控制，才能使氣泡上升速度不至於大過二氧化碳的溶解

速率。事實上，有關二氧化碳溶解速率及二氧化碳氣泡在水中上升速度的研究，是本實驗可以衍生的研究主題。近幾十年來由於人類大量排放二氧化碳造成地球溫室效應，許多科學家及研究機構均致力於研究解決的方法，其中包括研究減少二氧化碳排放量及增加二氧化碳吸附回收的方法。目前全世界各國無不致力於碳的捕捉、運送與封存。從本實驗與參考資料中我們發現，瞭解二氧化碳溶解於水的物理特性，及相關影響因素，對解決溫室效應或許能有一點幫助，希望大家都能正視地球環境生態的嚴重浩劫，然後一起為地球的明天努力！

## 柒、參考資料及其他

- 1、自然與生活科技課本第三冊、第四冊，康軒版。
- 2、維基百科—注射器-<http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%B3%A8%E5%B0%84%E5%99%A8>。
- 3、周建和—「1033.6 擎天水柱-大氣壓力」，物理教學藝術與教具研究實驗室。
- 4、台灣大百科全書—海水鹽度、海水溫度<http://taiwanpedia.culture.tw/web/content?ID=3357>
- 5、百萬小學堂—50種淨化植物還你好空氣  
<http://tw.group.knowledge.yahoo.com/primary-school/article/view?aid=681>
- 6、淨化室內空氣之植物應用及管理手冊 行政院環境保護署 編印。
- 7、范光龍-「台灣附近的海域」科學月刊 第221期 1988年5月。
- 8、何東垣-馬丁的鐵假說與溫室效應 科學月刊 第0291 期 1994年3月。

## 【評語】 030209

本作品以點滴瓶中之水或溶液滴入充滿 CO<sub>2</sub> 的密封瓶中，以探討水或水溶液 CO<sub>2</sub> 的溶解度，實驗裝置設計上具巧思。實驗中亦探討果汁 CO<sub>2</sub> 的溶解度，唯果汁中成分複雜，難以規納出重要結論。實驗最後一部分觀察植物生長二氧化碳的變化，這一部分與前面主題似乎不相關，科學研究應避免主題分散問題。