

# C1<sup>-</sup>的穿壁、腐蝕功夫！

## ( C1<sup>-</sup>與SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>對物質溶解力、氧化力 差異性的探討研究 )

### 國中組化學科第三名

雲林縣立馬光國民中學

作者：吳玫瑩、張瑛琪、張議升、楊朝琮

指導教師：許錦文

#### 一、研究動機

在操作理化第三冊，實驗17-2步驟4，碳酸鈣與稀鹽酸、稀硫酸反應時，發現濃度低的稀鹽酸產生CO<sub>2</sub>速率比濃度高的稀硫酸來得快，後者往往要等一會兒才會看到CO<sub>2</sub>冒出。平素實驗時，我們也有這種經驗：同樣滴稀硫酸或稀鹽酸到實驗室的大理石地面上，只見稀鹽酸冒出氣泡，而稀硫酸卻無。理論上，碳酸鹽均會與氫離子發生碰撞反應，而放出CO<sub>2</sub>，但為什麼濃度較低的稀鹽酸反而較快呢？同樣在有氧的環境下，稀鹽酸與稀硫酸都能與銅箔反應，但為何0.5M的稀鹽酸能把銅箔完全溶解掉，但0.5M的稀硫酸卻不能，只產生微量的Cu<sup>2+</sup>，這實在值得推敲。

老師告訴我們，硫酸是二質子酸，雖可分二階段解離，但濃度較低時，二段均可視為完全解離，即一個分子的稀硫酸，可解離出兩個氫離子。若依17-2這個實驗，稀釋所得 [ HCl ] = 0.48M； [ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ] = 0.72M，則稀硫酸完全解離出 [ H<sup>+</sup> ] = 1.44M，幾乎是稀鹽酸的3倍，照理說，稀硫酸的反應速率應較快才對，但為何慢了？同理，銅箔各與稀鹽酸、稀硫酸在有氧的環境下，放置一星期，為何稀鹽酸能把銅箔完全腐蝕掉，但稀硫酸卻無此能力？即使放置二個月也無法溶解掉。對銅箔而言，是否稀鹽酸中的Cl<sup>-</sup>，在密閉有空氣的試管中，容易與氧結合成另一種氧化酸，而SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>卻無此性質？

對大理石或貝殼、珊瑚而言，這是否與溶液中Cl<sup>-</sup>與SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>對這些物質的穿透力（或氧化力）不同有關，Cl<sup>-</sup>半徑較小(1.81Å)，若其穿透力大，則H<sup>+</sup>容易隨之進入大理石反應，當然較容易產生CO<sub>2</sub>↑。這也讓我們了解到稀鹽酸為何比稀硫酸對澱粉的催化水解效果佳之因。況且，稀鹽酸可當除銹劑，但稀硫酸卻不能，為了要證實這些現象，解開其真正面紗，我們在老師的指導下做了以下的探討研究。

## 二、實驗目的

- (一)藉由稀鹽酸與稀硫酸對銅箔的溶解力不同，使瞭解 $\text{Cl}^-$ 與 $\text{SO}_4^{2-}$ 在有氧的環境下，其對物質的溶解力（氧化力）的差異性。
- (二)藉由同濃度的稀鹽酸與稀硫酸對碳酸鹽的反應速率不同，瞭解 $\text{Cl}^-$ 對物質的溶解力較大，容易瓦解碳酸鹽（如大理石、貝殼或蛋殼）表面，致反應速率快。
- (三)藉由稀鹽酸對澱粉的催化水解效果較稀硫酸佳，使了解 $\text{Cl}^-$ 容易切斷澱粉的單糖鍵結（Glycosidic bond），而使之水解成葡萄糖。
- (四)設計實驗，使了解 $\text{Cl}^-$ 對半透膜、玻璃紙、白蠟的穿透力確比 $\text{SO}_4^{2-}$ 大，這些都是影響反應速率的因素。
- (五)設計實驗裝置，使瞭解 $\text{Cl}^-$ 在銅箔的溶解過程確較易與密閉試管中的 $\text{O}_2$ 結合成 $\text{ClO}^-$ ，而 $\text{SO}_4^{2-}$ 卻無法與 $\text{O}_2$ 結合成具氧化力的離子，以致對物質無腐蝕力。

## 三、研究設備器材

- (一)藥品：HCl(conc)， $\text{H}_2\text{SO}_4$ (conc)，LiCl，NaCl，KCl， $\text{AlCl}_3$ ， $\text{ZnCl}_2$ ， $\text{Li}_2\text{SO}_4$ ， $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ， $\text{AgNO}_3$ ， $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ ， $\text{K}_2\text{SO}_4$ ， $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ， $\text{ZnSO}_4$ ， $\text{CaCO}_3$ ， $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ， $\text{NaHCO}_3$ ， $(\text{MgCO}_3)_4$ ， $\text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ， $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ，白蠟，洋菜，牡蠣殼，蛋殼，珊瑚，大理石，鋅片，鎂帶，澱粉，本氏液（Benedict's solution）。
- (二)器材：1.恆溫水槽。2.微調毫克天平（OHAUS）。3.加熱板。4.試管（ $25 \times 150\text{mm}$ ）。5.銅箔。6.試管架。7.燒杯。8.Y形管。9.U形管（連接三路活栓）。10.注射針筒。11.賽洛凡（cello-phane）半透膜（日製）。12.保鮮膜。13.滴定管夾。14.鐵架。15.棉布。16.枝形試管。17.薊頭漏斗。18.過濾瓶。19.餘氯檢定器。

## 四、實驗內容

- (一)實驗〔I-A〕：設計、組合實驗儀器，來證明稀鹽酸的 $\text{Cl}^-$ 能與密閉試管中的氧結合成 $\text{ClO}^-$ ，將銅箔溶解掉，U形管中硫酸銅溶液產生極大液面差，但稀硫酸卻無此能力。

1.步驟：略

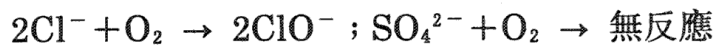
2.結果：(1)放置一天，即能見出接稀鹽酸的U形管開始產生液面差，但稀硫

酸卻無法產生液面差，即使放置二個星期。

(2)隨著稀鹽酸內銅箔的逐漸變黑且溶解，溶液逐漸變藍色( $\text{Cu}^{2+}$ )，U形管中硫酸銅溶液液面差也漸加大，足見銅箔溶解過程中會消耗試管、Y形管及橡皮管中的氧。

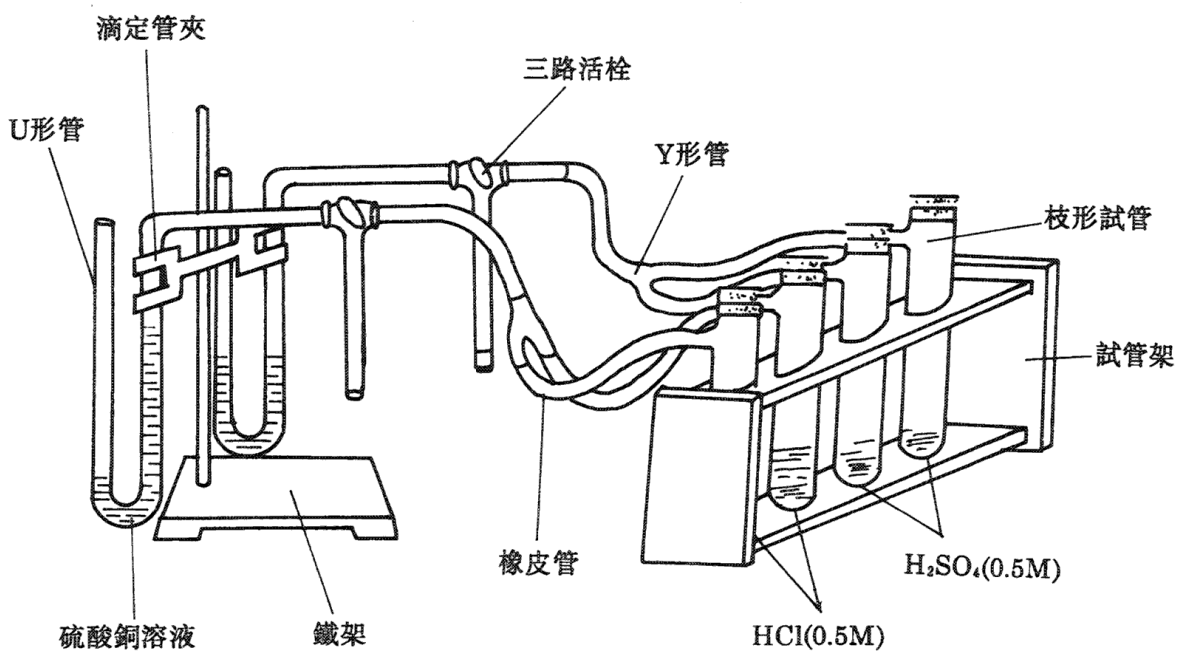
(3)約一星期，銅箔全部溶解於稀鹽酸中，但稀硫酸內只產生微量 $\text{Cu}^{2+}$ ，銅箔光澤依舊，表面為不會變黑。

3.討論：(1)依此組合儀器，可證明在密閉試管中， $\text{Cl}^-$ 會與試管中的 $\text{O}_2$ 結合，使得內壓小於外界空氣壓力，U形管於是產生液面差，但 $\text{SO}_4^{2-}$ 無法氧化，致U形管液面齊高。

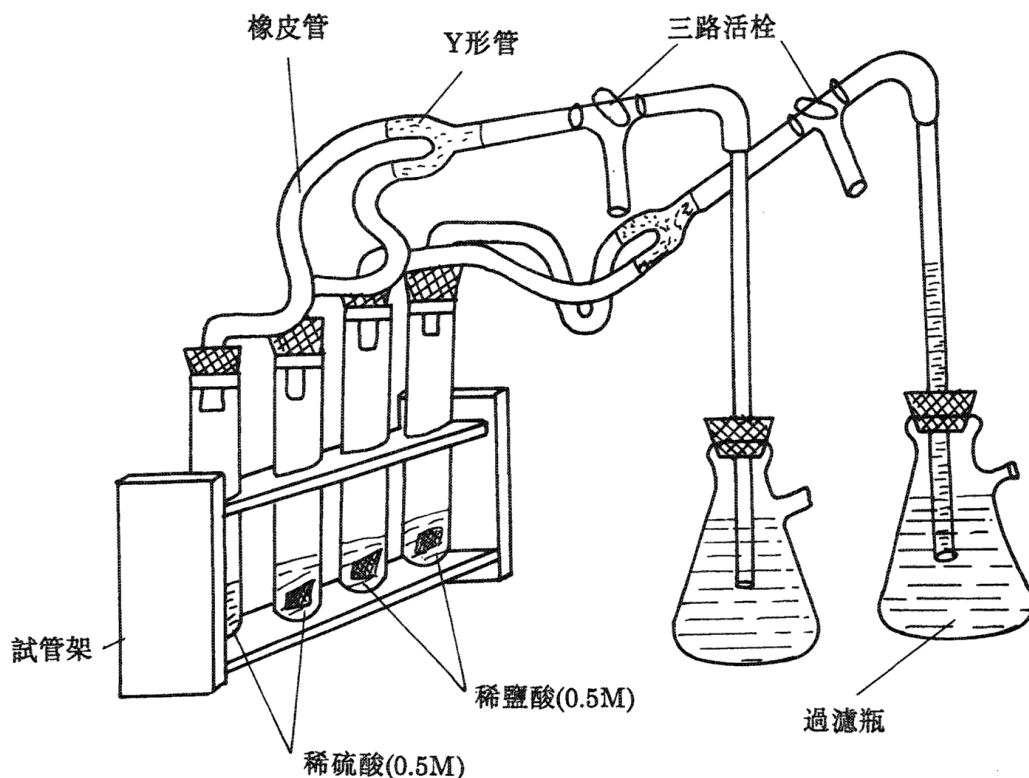


(2)是否有 $\text{ClO}^-$ 產生，可用碘化鉀-澱粉試紙檢驗。

(3)U形管內必須裝無氧化性的液體，若液體或溶液會氧化，一樣會消耗試管中氧，則實驗即不準確。硫酸銅溶液在空氣中穩定，又有顏色，容易觀察液面差。



圖一：利用U形管、三路活栓、Y形管組合裝置、研究 $\text{Cl}^-$ 是否會與密閉試管中的氧結合，令U形管產生液面差。



圖二：利用過濾瓶、Y形管組合裝置、研究 $\text{Cl}^-$ 是否會與密閉試管中的氧結合，令玻璃管水位上升。

〔I-B〕：由稀鹽酸在有氧狀況下能完全溶解銅箔，但稀硫酸卻不能，探討 $\text{Cl}^-$ 與 $\text{SO}_4^{2-}$ 氧化力的差異性。

1. 步驟：略

2. 結果：(1) 放置七天，0.5M稀鹽酸能把銅箔溶解，溶液中含多量的 $\text{Cu}^{2+}$ ，但稀鹽酸卻不能，放置20天甚或二個月，稀硫酸亦無法把銅箔溶解。

(2) 0.1M稀鹽酸雖能與銅箔作用，但無法把它溶解，銅箔表面有黑色氧化銅，試管內並產生不溶性的氧氯化銅( $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{CuO} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ )。

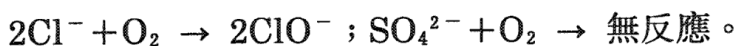
(3) 4.0M及6.0M稀鹽酸中，有黃綠色的氯產生，可用餘氯檢驗器測之。

(4) 所有濃度的稀硫酸，在有氧狀況下，僅輕微的和銅箔反應，銅箔保持完整且不變黑，溶解中僅含微量的 $\text{Cu}^{2+}$ 。

(5) 空氣柱愈高，銅箔愈容易和氧反應，產生 $\text{Cu}^{2+}$ 也愈多，但空氣量對稀硫酸的影響不大。

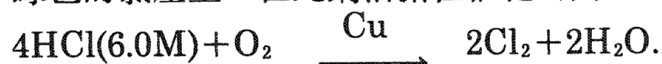
3. 討論：(1) 理論上，銅箔無法與稀鹽酸或稀硫酸作用，但在有氧的狀況下，

稀鹽酸(0.5M)能把銅箔完全溶解掉，而稀硫酸卻不能，此乃在有氧的密閉試管中， $\text{Cl}^-$ 與氧結合成 $\text{ClO}^-$ ，次氯酸是強氧化酸，能把銅箔氧化，而 $\text{SO}_4^{2-}$ 無法氧化成其他離子。



(2) $\text{Cl}^-$ 的半徑較 $\text{SO}_4^{2-}$ 半徑小，其對銅箔穿透力及氧化力均比 $\text{SO}_4^{2-}$ 來得大。

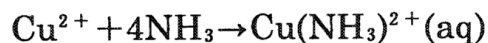
(3)4.0M與6.0M稀鹽酸，在有氧且密閉的試管中與銅箔反應，有黃綠色的氯產生，在此銅箔擔任催化的角色，即



對此發現，我們感到無比雀躍。同理，鉑亦能擔當濃鹽酸分解出氯的催化劑，即 $4\text{HCl}(\text{conc}) + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{Pt}} 2\text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ ，此黃綠色溶液，靜置二星期又會消失，即 $\text{Cl}_2$ 又與水反應， $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCl} + \text{HClO}$ 。

(4)依理，銅箔能與熱濃硫酸作用，但6.0M硫酸在常溫、有氧狀況下，仍無法將銅箔溶解。

(5)由於稀硫酸與銅箔的反應只產生微量藍色銅離子，肉眼不易觀察，必須用氨水檢驗 $\text{Cu}^{2+}$ 。



(6)低濃度鹽酸與銅箔的反應機制，與高濃度鹽酸與銅箔的反應機制，其間的不同處，我們將於未來繼續研究，以解其謎底。此研究只偏重 $\text{Cl}^-$ 與 $\text{SO}_4^{2-}$ 對銅箔溶解的差異性。

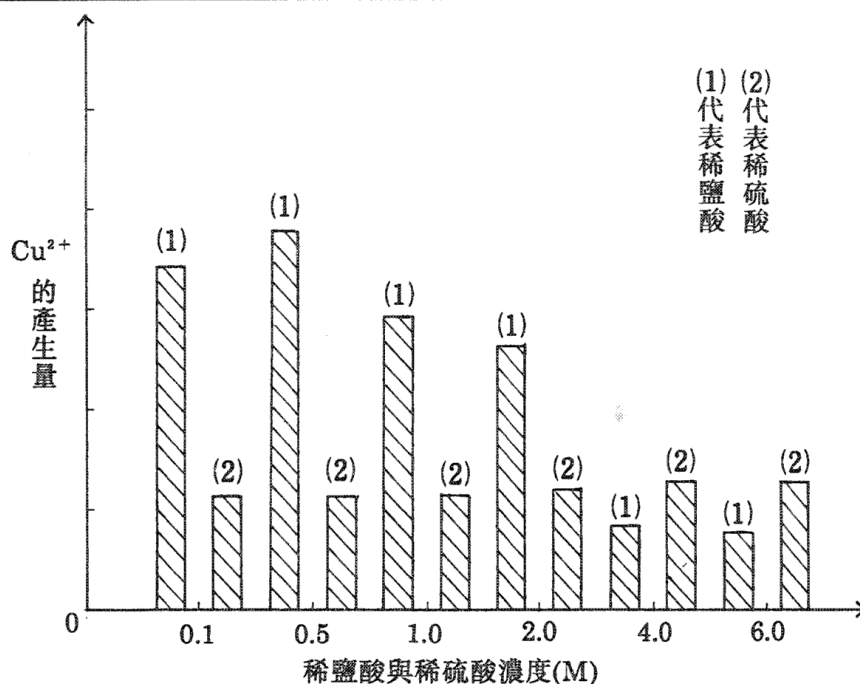
表一、銅箔與不同濃度稀鹽酸、稀硫酸在密閉有氧的試管中反應情形一覽  
 (溫度：室溫 銅箔面積：1×2cm<sup>2</sup> 酸液體積：10ml 空氣體積：54.4cm<sup>3</sup>)

濃度	日數 稀酸	5天	10天	15天	20天	25天
		0.1M	HCl + (溶液呈淡藍)	++	+++ (銅箔表面變黑,有 氧氯化銅產生)	++++ 同左
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	微量Cu <sup>2+</sup> (銅箔不變黑)	同左	同左	同左	同左
0.5M	HCl	+++ (銅箔表面被侵蝕成洞)	++++ (表面變黑)	++++ (表面變黑)	++++++ (侵蝕速度漸變慢)	+++++++ 同左
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	微量Cu <sup>2+</sup> (銅箔不變黑)	同左	同左	同左	同左
1.0M	HCl	+++ (銅箔表面被侵蝕一角)	+ (銅箔表面被侵蝕一小部)	++ (侵蝕漸增)	+++ (銅箔變黑)	+++ (變黑表面泛白)
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	微量Cu <sup>2+</sup> (銅箔不變黑)	同左	同左	同左	同左
2.0M	HCl	++ 銅箔被侵蝕	++ (侵蝕擴大)	++ (侵蝕再擴大)	++ (侵蝕變慢)	++ (繼續侵蝕)
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	微量Cu <sup>2+</sup> (表面不變黑)	同左	同左	同左	同左
4.0M	HCl	黃綠色Cl <sub>2</sub>	銅箔從邊緣被侵蝕,但不變黑	Cl <sub>2</sub> 消失	侵蝕增加	同左
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	微量Cu <sup>2+</sup> (表面不變黑)	同左	同左	同左	同左
6.0M	HCl	有Cl <sub>2</sub> 出現	銅箔不變黑,但 開始被侵蝕	同左	同左	同左
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	微量Cu <sup>2+</sup> (表面不變黑)	同左	同左	同左	同左

註：+的數目代表Cu<sup>2+</sup>的濃度

表二、銅箔與稀鹽酸、稀硫酸反應與密閉試管中空氣量的相關性  
(銅箔：1×2cm<sup>2</sup> 溫度：室溫)

體積	種類	濃度	日數				
			5天	10天	15天	20天	25天
10ml (54.4cm <sup>3</sup> )	HCl	0.5M	有Cu <sup>2+</sup> ，已開始侵蝕	侵蝕繼續	銅箔變黑	同左	同左
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.5M	微量Cu <sup>2+</sup>	侵蝕繼續	銅箔變黑	同左	同左
30ml (45.6cm <sup>3</sup> )	HCl	0.5M	Cu <sup>2+</sup> (微量)	Cu <sup>2+</sup> 增加	銅箔表面有小黑點	同左	同左
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.5M	沒反應	沒反應	沒反應	同左	同左
58ml 裝滿	HCl	0.5M	沒反應	沒反應	沒反應	同左	同左
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.5M	沒反應	沒反應	沒反應	同左	同左



圖三、不同濃度稀鹽酸及稀硫酸與銅箔反應產生Cu<sup>2+</sup>情形

[ I-C ] 稀硫酸雖在有氧環境下，不易與銅箔作用，但若加入Cl<sup>-</sup>，則是否容易發生反應？

1. 步驟：略

2. 結果：(1) 未加入NaCl的試管，即使放置30日，銅箔與各種濃度的稀硫酸幾乎沒有作用，溶液只含微量Cu<sup>2+</sup>。

(2) 加入NaCl的試管，每隻試管中均有明顯的Cu<sup>2+</sup>產生，且稀硫酸濃度愈低，產生的Cu<sup>2+</sup>愈多。

(3)各試管中的銅箔表面均變黑，顯示銅箔表面產生CuO之故。

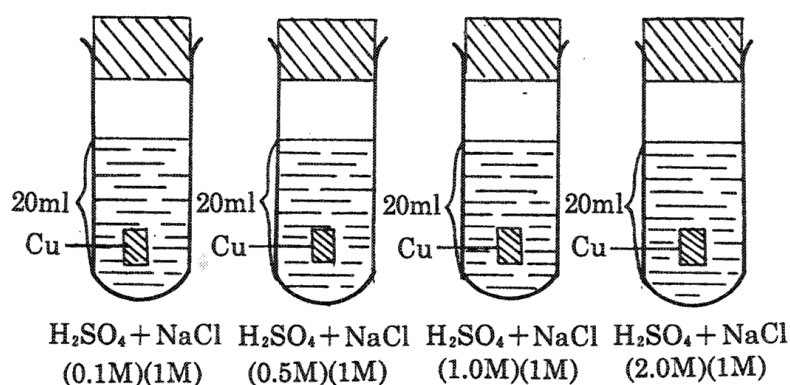
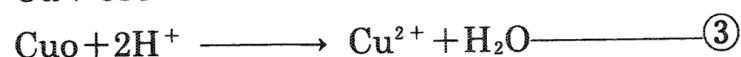
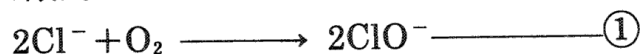
3.討論：(1)加入Cl<sup>-</sup>後，各試管均有明顯的Cu<sup>2+</sup>產生，足見在有氧的環境下，Cl<sup>-</sup>會加速銅箔的溶解。

(2)Cl<sup>-</sup>在有氧且密閉的試管中會與O<sub>2</sub>結合成ClO<sup>-</sup>，其反應原理與I-A，I-B實驗同。



(3)各試管中的銅箔表面均變黑(CuO)，而只裝稀硫酸的試管內，銅箔均不變黑，可見兩者的反應機制不同。

(4)銅箔變黑，且溶液中有多量藍色Cu<sup>2+</sup>，其反應過程為：



圖四、在不同濃度稀硫酸加入Cl<sup>-</sup>，即能溶解銅箔。



表三、銅箔在 $H_2SO_4 + NaCl(aq)$ 溶液內之反應情形  
 ( 銅箔 :  $1 \times 2cm^2$      $H_2SO_4$  : 10ml     $NaCl$  : 10ml )

稀硫酸濃度 \ 日數	5天	10天	15天	20天	25天
0.1M +NaCl(1.0M)	++ 銅箔變黑且被侵蝕一角	+++ 銅箔變黑且被侵蝕一角	+++ 銅箔變黑 (漸深)	+++ 黑色漸深	++++ 銅箔變薄
0.5M +NaCl(1.0M)	++ 變黑	+++ 同上	+++ 變黑	+++ 深黑	同左++++
1.0M +NaCl(1.0M)	++	+++ 同上	+++ 變黑	+++ 深黑	同左++++
2.0M +NaCl(1.0M)	++	+++ 同上	+++ 變黑	+++ 深黑	同左++++
4.0M +NaCl(1.0M)	++	++ 同上	微黑	同左	同左+++
6.0M +NaCl(1.0M)	+ (微量 $Cu^{2+}$ )	+ (微量 $Cu^{2+}$ )	+ 微黑	同左	同左+++

[ I-D ] : 藉由銅箔與具相同金屬的氯化物與硫酸鹽溶液的反應，瞭解 $Cl^-$ 與 $SO_4^{2-}$ 對物質腐蝕力、溶解力的差異性。

2.步驟：略

3.結果：(1)由表四，可知銅箔在氯化物溶液中的減少質量較多，如在 $AlCl_3(aq)$ 中的減少量為0.09g，但在 $Al_2(SO_4)_3$ 中只減少0.01g，其質量差為0.08g；在 $ZnCl_2$ 與 $ZnSO_4$ 中之質量差0.01g。

(2)銅箔與 $LiCl$ ， $NaCl$ ， $ZnCl_2$ 反應，會產生不溶性的氧氯化銅，但在 $KCl$ 及 $AlCl_3$ 中，不產生沈澱物（見表四）。

4.討論：(1)由反應結果，可看出 $Cl^-$ 的腐蝕力比 $SO_4^{2-}$ 強，因此，銅箔在氯化物中減少的質量較在硫酸鹽來得多。

(2)不溶性的沉澱物應為氧氯化銅而非 $Cu(OH)_2 \downarrow$ ，此與銅箔在極稀的鹽酸（0.05~0.15M）中亦會產生不溶性的氧氯化銅（ $CuCl_2 \cdot 2CuO \cdot 4H_2O$ ），其反應原理同。

(3)是氧氯化銅抑或氫氧化銅，可用定性分析法來辨明。

表四、氯化物與硫酸鹽對銅箔溶解的差異性  
 ( 溶液體積：10ml 銅箔：1×2cm<sup>2</sup> 溫度：室溫 )

氯化物與硫酸鹽	反應前質量 (g)	反應後質量 (g)	減少量 (g)	質量差 (g)	沈澱物
LiCl	0.12	0.10	0.02	0.01	氧氯化銅
Li <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.12	0.11	0.01		無
NaCl	0.13	0.10	0.03	0.01	氧氯化銅
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.13	0.11	0.02		無
KCl	0.14	0.10	0.03	0.02	無
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.13	0.13	0.01		無
AlCl <sub>3</sub>	0.13	0.04	0.09	0.08	無
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	0.13	0.12	0.01		無
ZnCl <sub>2</sub>	0.13	0.11	0.02	0.01	氧氯化銅
ZnSO <sub>4</sub>	0.14	0.13	0.01		無

註：銅箔與氯化物、硫酸鹽反應15天，後取出稱量。

(二)實驗〔 II - A 〕：利用排量法研究大理石、貝殼、蛋殼、珊瑚等與同濃度稀鹽酸、稀硫酸反應速率之不同，證明Cl<sup>-</sup>對物質的穿透力確比SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>強。

1.步驟：略

2.結果：(1)由表五對大理石言，17分鐘排量稀鹽酸12ml，1分鐘排0.7ml。稀硫酸與大理石反應慢，24分鐘排4ml而已，換成1分鐘，只排0.17ml，其反應速率差距極大。

(2)對貝殼而言，稀鹽酸：20ml / 1min；稀硫酸：1.25ml / 1min。

對蛋殼而言，2分鐘半排稀鹽酸20ml，13分鐘排稀鹽酸13ml，各換算成1分鐘，則稀鹽酸：8ml / 1min；稀硫酸：1ml / 1 min。

(3)對珊瑚言，稀鹽酸：40ml / 1 min；稀硫酸：0.14ml / 1 min。

(4)同濃度稀鹽酸(1.0M)及稀硫酸(1.0M)其對大理石、貝殼、蛋殼、珊瑚之反應速率差異大。

3.討論：理論上，1.0M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>解離出的[ H<sup>+</sup> ] ≙ 2.0M，但反應產生CO<sub>2</sub>速率還是比[ H<sup>+</sup> ] = 1.0M的稀鹽酸慢，可見Cl<sup>-</sup>穿透溶解大理石及

貝殼表面的能力較之 $\text{SO}_4^{2-}$ 強。

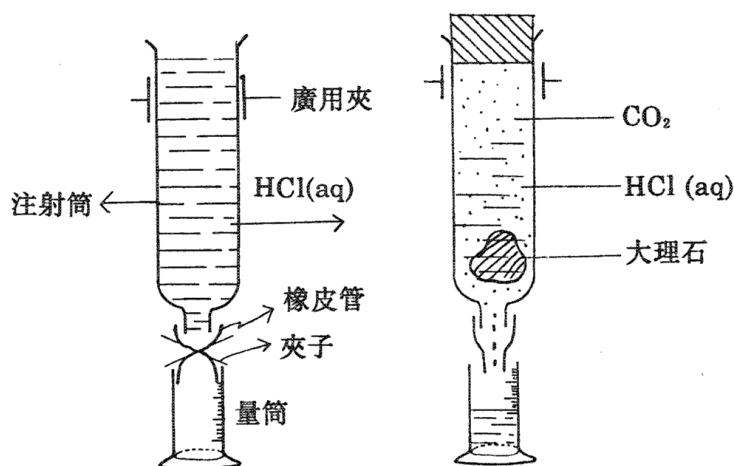
[ II - B ] 利用排量法，研究塗上白臘的鋅片，鎂帶、大理石、貝殼與同濃度稀鹽酸、稀硫酸反應速率的差異，進一步瞭解 $\text{Cl}^-$ 與 $\text{SO}_4^{2-}$ 溶解力的不同。

1. 步驟：略

2. 結果：(1) 塗臘鋅片與 $1.0\text{M}$   $\text{HCl}$ 作用經過40分鐘排出 $9\text{ml}$ ，與 $0.5\text{M}$   $\text{H}_2\text{SO}_4$ 作用，40分鐘排出才 $1\text{ml}$ ，可見稀鹽酸容易溶解白臘，進去跟鋅片反應。而稀硫酸對白臘幾乎無法溶解。

(2) 塗臘的大理石，與稀鹽酸( $1.0\text{M}$ )反應，三天才產生 $2\text{ml}$ ，稀硫酸產生 $1\text{ml}$ ，其反應速率相當慢。

3. 結論：由塗臘的實驗，知 $\text{Cl}^-$ 對白臘的穿透力較 $\text{SO}_4^{2-}$ 要強很多。



圖五、利用排量法研究產生 $\text{CO}_2 \uparrow$ 速率。

表五、稀鹽酸、稀硫酸對大理石、貝殼、蛋殼、珊瑚反應速率差異情形

(酸濃度： $1.0\text{M}$  溫度：室溫)

物質種類	反應情形		排稀酸量 ( $\text{CO}_2$ 體積) (ml)	排量 時間 (min)	反應 速率 (ml/min)
	稀酸	濃度			
大理石	HCl	$1.0\text{M}$	12	17	0.7
	$\text{H}_2\text{SO}_4$	$1.0\text{M}$	4	24	0.27
貝殼	HCl	$1.0\text{M}$	20	1	20.0
	$\text{H}_2\text{SO}_4$	$1.0\text{M}$	1.25	1	1.3
蛋殼	HCl	$1.0\text{M}$	20	2.5	8.0
	$\text{H}_2\text{SO}_4$	$1.0\text{M}$	13	13	1.0
珊瑚	HCl	$1.0\text{M}$	20	0.5	40.0
	$\text{H}_2\text{SO}_4$	$1.0\text{M}$	3	21	0.14

表六、塗臘鋅片、鎂帶、大理石、貝殼與二種稀酸反應情形

(溫度：室溫)

物質種類	反應情形		排稀酸量 ( $\text{CO}_2$ 體積) (ml)	排量 時間 (min)	反應 速率 (ml/min)
	稀酸	濃度			
大理石 (塗臘)	HCl	$1.0\text{M}$	2.0	1440 (約三日)	0.0014
	$\text{H}_2\text{SO}_4$	$1.0\text{M}$	1.0	1440 (約三日)	0.0007
貝殼 (塗臘)	HCl	$1.0\text{M}$	4.0	40	0.10
	$\text{H}_2\text{SO}_4$	$1.0\text{M}$	1.0	40	0.02
鋅片 (塗臘)	HCl	$1.0\text{M}$	9.0	40	0.23
	$\text{H}_2\text{SO}_4$	$0.5\text{M}$	0.5	40	0.01
鎂帶 (塗臘)	HCl	$1.0\text{M}$	7.0	40	0.18
	$\text{H}_2\text{SO}_4$	$0.5\text{M}$	3.0	40	0.07

〔 II - C 〕 利用排量法研究粉末狀  $\text{CaCO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ 、 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 、 $(\text{MgCO}_3)_4$ 、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 、 $5\text{H}_2\text{O}$  與同濃度稀硫酸、稀鹽酸反應，其反應速率之差異情形

1. 步驟：略

2. 結果：(1)  $\text{CaCO}_3 \mid \text{HCl}(1.0\text{M}) : 20\text{ml} / 30\text{s} = 0.67\text{ml} / \text{s}$

$\text{CaCO}_3 \mid \text{H}_2\text{SO}_4(0.5\text{M}) : 20\text{ml} / 545\text{s} = 0.06\text{ml} / \text{s}$

$\text{Na}_2\text{CO}_3 \mid \text{HCl}(1.0\text{M}) : 20\text{ml} / 1.5\text{s} = 1.3\text{ml} / \text{s}$

$\text{Na}_2\text{CO}_3 \mid \text{H}_2\text{SO}_4(0.5\text{M}) : 20\text{ml} / 28\text{s} = 0.7\text{ml} / \text{s}$

$\text{NaHCO}_3 \mid \text{HCl}(1.0\text{M}) : 20\text{ml} / 9\text{s} = 2.2\text{ml} / \text{s}$

$\text{NaHCO}_3 \mid \text{H}_2\text{SO}_4(0.5\text{M}) : 20\text{ml} / 13\text{s} = 1.50\text{ml} / \text{s}$

$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 \mid \text{HCl}(1.0\text{M}) : 20\text{ml} / 9\text{s} = 2.2\text{ml} / \text{s}$

$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 \mid \text{H}_2\text{SO}_4(0.5\text{M}) : 20\text{ml} / 12\text{s} = 1.67\text{ml} / \text{s}$

(2) 由表七知，即使是粉末且  $[\text{H}^+]$  濃度相同，稀鹽酸的反應速率仍然較快，〔如  $\text{NaHCO}_3$  與  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ 〕。

(3) 討論：由於藥品係粉末狀， $\text{H}^+$  容易直接與其反應，不須突破物質表面，致稀硫酸濃度應為稀鹽酸一半，如此二種酸  $[\text{H}^+]$  即相同。

表七、粉末狀碳酸鹽或酸式碳酸鹽與稀鹽酸、稀硫酸反應速率情形

(常溫常壓)

碳酸 (酸式 碳酸鹽)	稀酸濃度		反應情形	使用質量 (g)	反應時間 (S)	排量 (ml)	速率 (m / s)	備註
	酸	鹽						
$\text{MgCO}_3$	HCl	1.0M		2.53	8	20	2.50	
	$\text{H}_2\text{SO}_4$	0.5M			28	20	0.71	
$\text{CaCO}_3$	HCl	1.0M		3.50	30	20	0.67	
	$\text{H}_2\text{SO}_4$	0.5M			345	20	0.06	
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	HCl	1.0M		3.70	15	20	1.33	
	$\text{H}_2\text{SO}_4$	0.5M			28	20	0.71	
$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$	HCl	1.0M		4.39	9	20	2.22	2.22(ml / s)
	$\text{H}_2\text{SO}_4$	0.5M			12	20	1.67	(1.0M) 1.67(ml / s)
$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	HCl	1.0M		4.80	46	20	0.43	
	$\text{H}_2\text{SO}_4$	0.5M			62	20	0.32	
$\text{NaHCO}_3$	HCl	1.0M		5.90	9	20	2.22	2.22(ml / s)
	$\text{H}_2\text{SO}_4$	0.5M			13	20	1.54	(0.0M) 0.86(ml / s)

(三)實驗〔Ⅲ-A〕設計實驗，進一步證明 $\text{Cl}^-$ 之穿透力確比 $\text{SO}_4^{2-}$ 來得強。

1.步驟：(1)配製 $0.5\text{M HCl}$ 與 $0.5\text{M H}_2\text{SO}_4$ 各 $20\text{ml}$ ，置入乙隻試管（ $25 \times 150\text{m}$ ）中，於試管口綁上一層賽珞凡（cellophane），倒架於滴定管夾上。

(2)於倒放的試管下，各置一小燒杯，內各放 $0.5\text{M AgNO}_3$ 與 $0.5\text{M Ba}(\text{NO}_3)_2$ 。調整試管與承接燒杯之高度（見劃圖）。

(3)置放一天，觀察那個燒杯先產生白色沈澱物？若裝 $\text{AgNO}_3$ 的燒杯先有 $\text{AgCl}$ 沈澱，表示 $\text{Cl}^-$ 先穿透半透膜。

(4)同步驟(1)，試管口改綁上保鮮膜後觀察。

2.結果：(1)裝 $\text{AgNO}_3$ 溶液的燒杯確先產生 $\text{AgCl} \downarrow$ ，裝 $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ 溶液較晚產生。

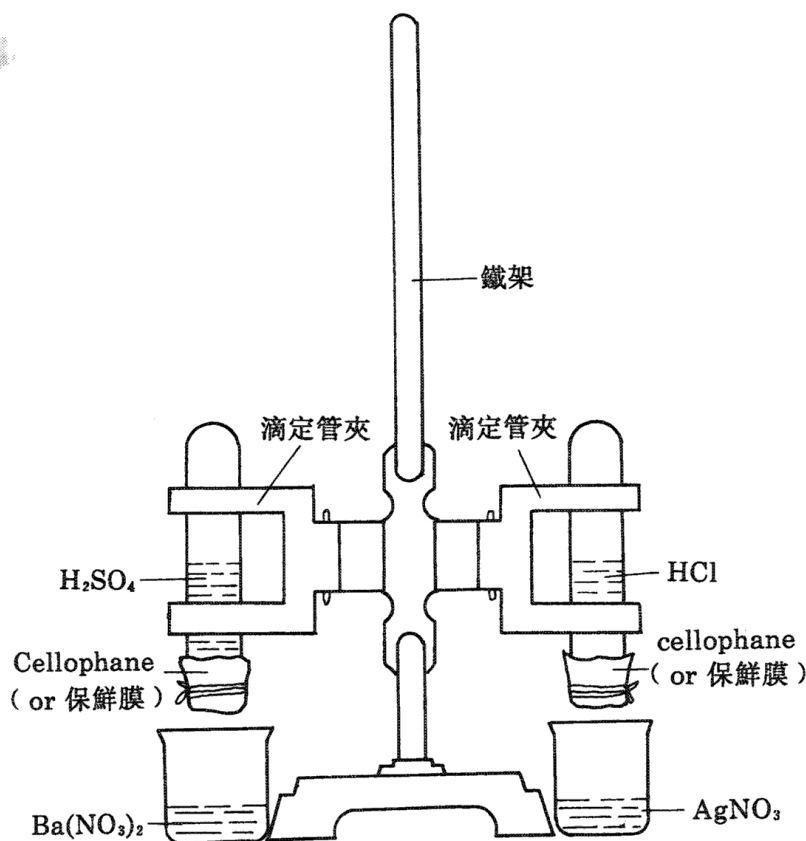
(2)保鮮膜亦有同樣結果。產生的 $\text{AgCl} \downarrow$ ，放久會變灰色。

3.討論：(1)賽珞凡及保鮮膜必須於試管口綁緊，以免溶液由旁邊細縫流出。

(2)也可用薊頭漏斗代替試管做實驗。

(3) $\text{HCl} + \text{AgNO}_3 \rightarrow \text{AgCl} \downarrow + \text{HNO}_3$

$\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Ba}(\text{NO}_3)_2 \rightarrow \text{BaSO}_4 \downarrow + 2\text{HNO}_3$



圖六、設計實驗裝置，比較 $\text{Cl}^-$ 與 $\text{SO}_4^{2-}$ 之穿透力

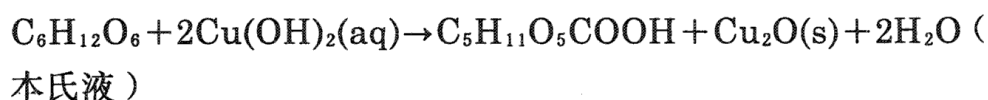
實驗〔Ⅲ-B〕：藉由稀鹽酸與稀硫酸對澱粉催化水解成葡萄糖效果不同，瞭解 $\text{Cl}^-$ 比 $\text{SO}_4^{2-}$ 較易裂解澱粉之單糖鍵結（Glycosidic bond）。

(1)步驟：略

2.結果：(1)不管是1%，2%或3%，4%澱粉液，稀鹽酸對其催化水解的效果，均比具相同 $[\text{H}^+]$ 的稀硫酸要來得好，產生較多的 $\text{Cu}_2\text{O}$ ，本氏液剩餘的 $\text{Cu}^{2+}$ 也較少，顏色較淺。

(2)4%的澱粉液，不管加熱水解時間係5min，10min，15min，或20min，本氏液中的 $\text{Cu}^{2+}$ 幾乎全部被葡萄糖還原。（見照片及實物）。

3.討論：(1)加入本氏液前，要先用 $\text{NaOH}$ 溶液，把水解後的澱粉液中和成中性或弱鹼性，再加入本氏液，繼續加熱之。如此，本氏液才能與葡萄糖產生反應而生成 $\text{Cu}_2\text{O}$ 。



(2)1%的澱粉液，只加熱催化水解5分鐘，尚無法產生葡萄糖，致加入本氏液繼續加熱，反應並無 $\text{Cu}_2\text{O}$ 產生。

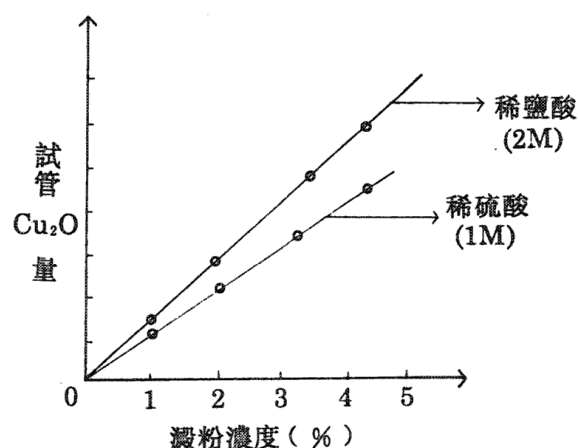
(3)稀鹽酸中之 $\text{Cl}^-$ 容易切斷澱粉之葡萄糖鍵結（Glycosidic bond），致澱粉以稀鹽酸作為催化劑，其水解效果較稀硫酸來得好。

表八、稀鹽酸與稀硫酸對澱粉催化水解效果一覽

（溫度：72℃ 本氏液：5ml）

澱粉濃度	稀酸	加熱水解時間			
		5min	10min	15min	20min
1.0%	HCl	-	+	++	++
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	-	+	+
2.0%	HCl	+	+++	++++	++++
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	+	++	++
3.0%	HCl	++	+++	++++	+++++
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	+	++	+++	+++
4.0%	HCl	++	++++	+++++	+++++
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	+	++	+++	+++

註：+，-表示有無 $\text{Cu}_2\text{O}$ ，+號愈多，表示 $\text{Cu}_2\text{O}$ 量多，催化水解效果愈好。

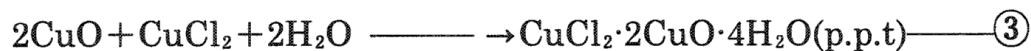
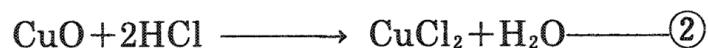
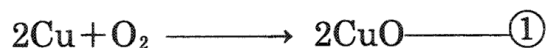


圖七 澱粉濃度與催化水解產生 $\text{Cu}_2\text{O}$ 量關係

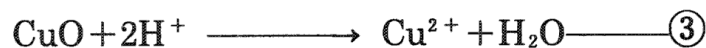
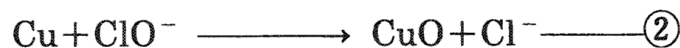
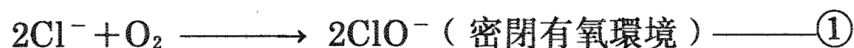
## 五、總結論與檢討

(一)大理石、貝殼、蛋殼、珊瑚言， $\text{Cl}^-$ 容易穿透(腐蝕)其表面， $\text{H}^+$ 進入與碳酸鈣反應， $\text{SO}_4^{2-}$ 離子半徑大，穿透及腐蝕力小，以致雖然稀硫酸解離出氫離子濃度大，但其對大理石的反應速率較稀鹽酸慢。由實驗Ⅱ-A，利用排量法研究反應速率的過程中均可窺知其道理。尤其是Ⅱ-B實驗，在這些物質表面塗以白臘，結果顯示 $\text{Cl}^-$ 比 $\text{SO}_4^{2-}$ 容易突破白臘而與碳酸鹽或鋅片、鎂帶反應(見表六)。即使是粉末狀的碳酸鹽或酸式碳酸鹽，稀鹽酸對其反應速率仍較稀硫酸快(見表七)。

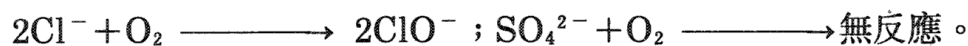
(二)對銅箔言，0.5M稀鹽酸在密閉具有空氣的試管中，放置七天，銅箔能被溶解，溶液有大量 $\text{Cu}^{2+}$ 。對稀硫酸言，在有空氣的試管內，即使放置二個月，銅箔亦不會被溶解，溶液只含微量 $\text{Cu}^{2+}$ 。0.05M~0.15M稀鹽酸雖不能完全溶解銅箔，但仍能與銅箔反應而生成不溶性氧氯化銅( $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{CuO} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ )，且銅箔表面變黑，其反應過程為：



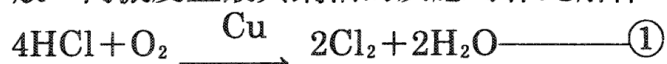
(三)由實驗Ⅰ-C得知稀硫酸本不易與銅箔反應，但若加入 $\text{Cl}^-$ ，則容易產生 $\text{Cu}^{2+}$ ，且銅箔表面均變黑，其反應原理與0.5MHCl對銅箔的反應一樣，我們認為其反應機制為：

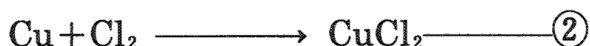


(四)所有濃度的硫酸(0.1M~6.0M)與銅箔在密閉有氧的環境下反應，銅箔表面均不變黑，即使放置二個月，溶液也僅含微量的 $\text{Cu}^{2+}$ 而已。因此，它與稀鹽酸的反應機制是不同的。即 $\text{Cl}^-$ 在密閉有氧的試管中會與氧結合成次氯酸根離子( $\text{ClO}^-$ )，而 $\text{SO}_4^{2-}$ 卻無法與氧結合成新的離子。



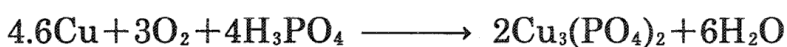
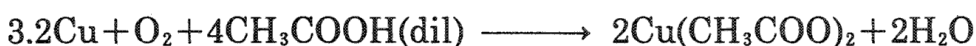
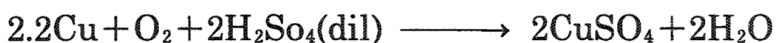
(五)由實驗Ⅱ-B知，銅箔在密閉有氧的試管中與4.0M及6.0MHCl作用均會產生黃綠色的 $\text{Cl}_2$ ，銅箔不變黑，銅箔從邊緣被氯溶解，可用餘氯檢定器測氯的其p.p.m.我們認為銅箔在此先當催化劑，如同鉑(pt)亦可當此反應催化劑般。高濃度鹽酸與銅箔的反應可作此解釋。



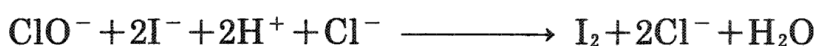


可見低濃度鹽酸與高濃度鹽酸對銅箔的反應機制是不同的。對此，我們將於未來繼續探討研究。

(六)德國無機化學家查波 (Z.G.Szabo'1969) 言，銅無法與無氧化力的稀酸作用如  $\text{HCl}(\text{dil})$ 、 $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{dil})$ 、 $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{dil})$ ，但在有氧的環境下，銅可與這些稀酸反應：即：



但稀硫酸、稀醋酸、稀磷酸均不會讓銅變黑，且溶液只含微量  $\text{Cu}^{2+}$ ，此與低濃度稀鹽酸與銅箔反應的過程不同。顯然， $\text{Cl}^-$  容易與試管中的  $\text{O}_2$  產生  $\text{ClO}^-$  而把銅箔氧化變黑，甚至把銅箔溶解掉。 $\text{ClO}^-$  可用碘化鉀-澱粉試紙檢驗，會讓試紙轉藍。



(七)由實驗 III-A，自行設計的實驗，得知  $\text{Cl}^-$  比  $\text{SO}_4^{2-}$  容易穿透賽珞凡 (cellophane) 及保鮮膜而與燒杯內的  $\text{AgNO}_3$  溶液產生  $\text{AgCl}$ 。而由實驗 I-A 自行設計組合的儀器中，由 U 形管的內外液面差，也能得知稀鹽酸中的  $\text{Cl}^-$  確實比稀硫酸的  $\text{SO}_4^{2-}$  容易與空氣中的氧結合，而加速氧化腐蝕銅箔。

(八)由實驗 III-B 知，稀鹽酸對澱粉催化水解成葡萄糖的效果要比稀硫酸好。依理，氫離子係當催化劑而稀鹽酸 (2M) 與稀硫酸 (1M) 具相同濃度的氫離子，但為何稀鹽酸的催化水解效果較好呢？顯然， $\text{Cl}^-$  與  $\text{SO}_4^{2-}$  在此擔當重要角色，即  $\text{Cl}^-$  容易切斷澱粉之單糖鍵結 (Glycosidic bond) 而轉變成葡萄糖，此與  $\text{Cl}^-$  容易穿透大理石或貝殼而與碳酸鈣反應產生  $\text{CO}_2$ ，其道理是一樣的。 $\text{Cl}^-$  的穿透力、腐蝕力、溶解力或氧化力確比  $\text{SO}_4^{2-}$  要優良許多。

(九)稀鹽酸對碳酸鹽、酸式碳酸鹽、銅箔的溶解力或對澱粉的催化水解效果均比稀硫酸來得好，除  $\text{Cl}^-$  之離子半徑比  $\text{SO}_4^{2-}$  小，且  $\text{Cl}^-$  的氧化力比  $\text{SO}_4^{2-}$  大，這些因素外，是否與  $\text{Cl}^-$  與  $\text{SO}_4^{2-}$  之負電度 (陰電性標) (electronegativity) 及  $\text{SO}_4^{2-}$  極化性 (polarizability) 有關，值得探究。負電度： $\text{Cl} = 0.70$ ； $\text{SO}_4^{2-} = 2.04$ ，依查波 (Z.G.Szabo') 的觀點，極化性的變化與負電度變化方向相反，即一個複合離子 (如  $\text{SO}_4^{2-}$ ， $\text{CO}_3^{2-}$ ) 的負電度愈大，其極化性愈小，因而推之  $\text{SO}_4^{2-}$  之極化性小，而  $\text{Cl}^-$  之極化性大。稀硫酸與碳酸鹽之反應速率較慢，是否與  $\text{SO}_4^{2-}$  之極化性小有關，值得進入高中後，繼續探討



研究。

(十)為保證稀鹽酸與稀硫酸品質，本實驗所用之鹽酸與硫酸均為德國製，且均以蒸餾水稀釋。本研究若有缺陋處，尚祈專家學者指教。

## 六、參考資料

(一)國中理化第三冊：國立編譯館P.72。

(二)國中化學第四冊：國立編譯館P.36—37。

(三)熱化學與化學動力論：曾國輝編著，一流出版社P.65。

(四)無機化學：曾國輝編著，一流出版社P.10。

(五)基本無機化學：Z.G.Szabo'著，周良翰譯，徐氏基金會。P.58 P.100。

(六)分析化學：鄭華生著，三民書局P.68；P.131。

(七)應用化學辭典：朱宣編著，宏業書局，P.244。

(八)專科化學（下冊）：石延平總訂正，正中書局，P.39。

(九)生物化學實驗：何芳陔、張為憲、丁一倪編著，環球書社P.248。

(十)中學化學實驗：沈正功編，五州出版社，P.129。

(十一)中華民國第十九屆中小學科學展覽優勝作品專輯（國中組），國立科教館彙編，P.41~51。

## 評語

本研究對氯離子( $\text{Cl}^-$ )有相當深入的研究也有相當好的研究成果，在此研究中瞭解氯離子不是氧化劑而發現氯離子具有相當好還原力及對某些物質（賽路凡半透膜）穿透力來探究，本研究作者科學研究精神亦值得肯定。

# 談連環葉話水芙蓉

## 國中組生物科第一名

臺北市私立復興中學（國中部）

作者：朱芯儀、盛心怡、王培仲、鄭家沐

指導教師：吳榮二

### 一、研究動機

去年綠化校園，小水池內一片綠意盎然吸引了我們。多年前，父親和我到建國花市，早見過它的蘆山真面目，並帶回家培養，原來它就是水芙蓉啊！好奇心帶領我們踏上這趟科學之旅。

### 二、研究目的

水芙蓉如何繁殖？根莖葉有何特色？會開花嗎？能不能結種子？對人類生活又有何關係？都是我們急待解開的迷惑。

### 三、文獻探討

- (一)植物世界一書中，提到水芙蓉的果實、種子不發育，真的嗎？甚至它又說雄蕊只有五枚，我們也持懷疑的態度。
- (二)觀葉植物中指出：水芙蓉常串連成龐大群落，自然繁衍下，會造成嚴重的雜草問題。我們認為適度的栽培，不僅可綠化河川，說不定還有淨化水質之效。

### 四、研究設備器材

培養用的水芙蓉、顯微鏡、玻片、蓋玻片、吸管、濾紙、燒杯、丙酮、電子秤、研鉢（杵）、肥料（花寶）、沙拉脫、幻燈片、幻燈機、相機、及校內五樓花房中大量培養的水芙蓉。

### 五、研究過程及結果

#### (一)水芙蓉簡介

##### 1.產地及分布：

水芙蓉是多年生漂浮性草本植物。原產美洲，廣泛分佈於世界各地的熱帶及亞熱帶水塘及埤圳中。在臺灣，除少數人家栽培觀賞外，已算是罕見的水生植物了。