

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

030210

「銅」「矽」合力-探討不同條件下矽藻土吸附
銅離子的差異

學校名稱：高雄市立福山國民中學

作者： 國二 陳品亦 國二 葉仲凱 國二 方怡晴	指導老師： 鄭士鴻
---	------------------

關鍵詞：矽藻土、重金屬、吸附作用

摘要

本研究探討「矽藻土」對重金屬吸附的特性，**利用其高孔隙率以及其他性質來吸附重金屬**，並改變不同的變因來觀察其對重金屬吸附的影響。

首先，我們探討不同矽藻土的狀況對吸附量的影響，發現使用 2g 矽藻土靜置 24 小時吸附銅離子的效益最高，當溶液 50°C 時吸附量最大、吸附速率最快。在不同種類矽藻土的吸附效果比較中發現農業用的吸附效果最好，但工業用矽藻土吸附性價比最高。另外我們觀察不同溶液特性對吸附的影響，發現背景電解質濃度愈高，吸附效果愈差；矽藻土吸附銅離子的能力會隨著溶液的 pH 值降低而變差，並以此原理反脫附矽藻土進行再利用。最後使用氫氧化鈉改質矽藻土，發現改質後矽藻土的表面特性會隨之改變，進而增加對銅離子的吸附能力。

壹、研究動機

住在高雄的我們，常看到新聞報導說後勁溪是條惡名昭彰的溪流，原因是後勁溪中、上游有許多重工業工廠及有心人士常將重金屬及工業廢料倒入溪流中，導致嚴重的溪流污染。經環保局檢測後，發現後勁溪重金屬含量是標準值的 100 倍。到今日，後勁溪的污染問題仍然沒有改善。所以我們希望可以藉由本實驗發現更多能幫助減少重金屬污染的材料與方法。

在某個因緣際會下，我們在市面上查到一種能製作杯墊的吸水材質－矽藻土，且對它吸水的原理很好奇，上網查證後發現是因為矽藻土本身的孔隙率非常高，於是就想到，是否能利用「高孔隙率」的這個特性來吸附重金屬，就開始了這次的研究。

貳、研究目的

- 一、探討不同條件下(矽藻土質量、吸附過程有無持續攪拌、矽藻土種類、放置時間、溶液溫度)矽藻土對銅離子吸附的差異。
- 二、觀察不同溶液特性對矽藻土吸附銅離子的影響：
 - (一)溶液中不同電解質濃度
 - (二)不同溶液 pH 值
 - (三)使用強酸使矽藻土脫附與再利用的探討
- 三、利用氫氧化鈉改質矽藻土表面後，對銅離子吸附的差異。

參、研究設備與器材

一、研究設備					
冰箱	分光光度計	磁石攪拌器	比色管	恆溫槽	烤箱
					
二、實驗藥品					
含水硫酸銅	氫氧化鈉	氯化鈉	氨水	鹽酸	
					
農業用矽藻土	工業用矽藻土		食品級矽藻土		
					
三、研究器材					
<p>溫度計、刮勺、橡皮塞、蒸發皿、量筒、坩鍋鉗</p> <p>燒杯、滴管、漏斗、濾紙、玻璃棒、定量瓶、電子天平、攪拌子。</p>					

肆、文獻探討與實驗流程

一、文獻探討

(一)矽藻土：

1.在中華民國第 55 屆中小學科學展覽會的論文【石破天驚要「住益」~海岸山脈北段岩石特性之探討與應用】中，我們發現矽藻土為一種生物化學沉積岩，主要是由矽藻的細胞壁所構成，其內部的主要成分為二氧化矽(SiO₂)，約含有 80~90%，其餘成分如氧化鋁(約含 2~4%)、鐵氧化物(0.5~2%)。而矽藻土內的二氧化矽又可分為結晶二氧化矽與非結晶二氧化矽，結晶二氧化矽吸入後對人體有害。

2.矽藻土的表面具有非常多的孔隙(也就是孔隙率非常高)，而其多孔特性，非常容易吸收水分，在孔隙內的水分也非常容易蒸發，這也就是為甚麼矽藻土吸水力這麼強的原因。

(二)我們由誼華實業股份有限公司的網站(<https://www.gihwa.com/tw/DE.html>)發現矽藻土有不同種類與用途：

1.種類：矽藻土依據結晶二氧化矽的含量分成工業用矽藻土與食品級矽藻土，而食品級的矽藻土又可分為食品級矽藻土與農業用矽藻土。

(1)工業用矽藻土：廠商將較低純度的矽藻土高溫鍛燒後所形成之材料，其中結晶二氧化矽的含量大於 3%(通常含有 70%)，常用於工業用途，長期吸入對人體有害。

(2)食品級矽藻土：內含大約 85%二氧化矽，但世界衛生組織 WHO 安全標準規定其所含結晶型二氧化矽的含量需小於 3%，通常未經過鍛燒，對人體無害，可用於製作矽藻土杯墊，矽藻土地墊、環保油漆材料。

(3)農業用矽藻土：常用於農業用途，為土壤改質劑之一。

2.用途：

(1)工業用矽藻土：常用於工業用途、是最佳的吸附材料。

(2)食品級矽藻土：矽藻土杯墊、矽藻土地墊及環保油漆材料等。

(3)農業用矽藻土：可用於驅蟲、改良土壤品質等功能。

(三)重金屬的定義與影響：

1.重金屬離子，即是重金屬失去電子所形成的正離子，一般在工業生產過程中發生，其排放出來會造成嚴重環境汙染。重金屬如何處理也是一個重要課題。其定義為：比重大於 5 和原子量大於 55 的金屬。

2.銅的性質與危害：銅離子為人的身體中所必須含有的微量元素，但不能攝取過

量，否則會導致大腦、胰臟、肝臟及皮膚的累積，危害健康。

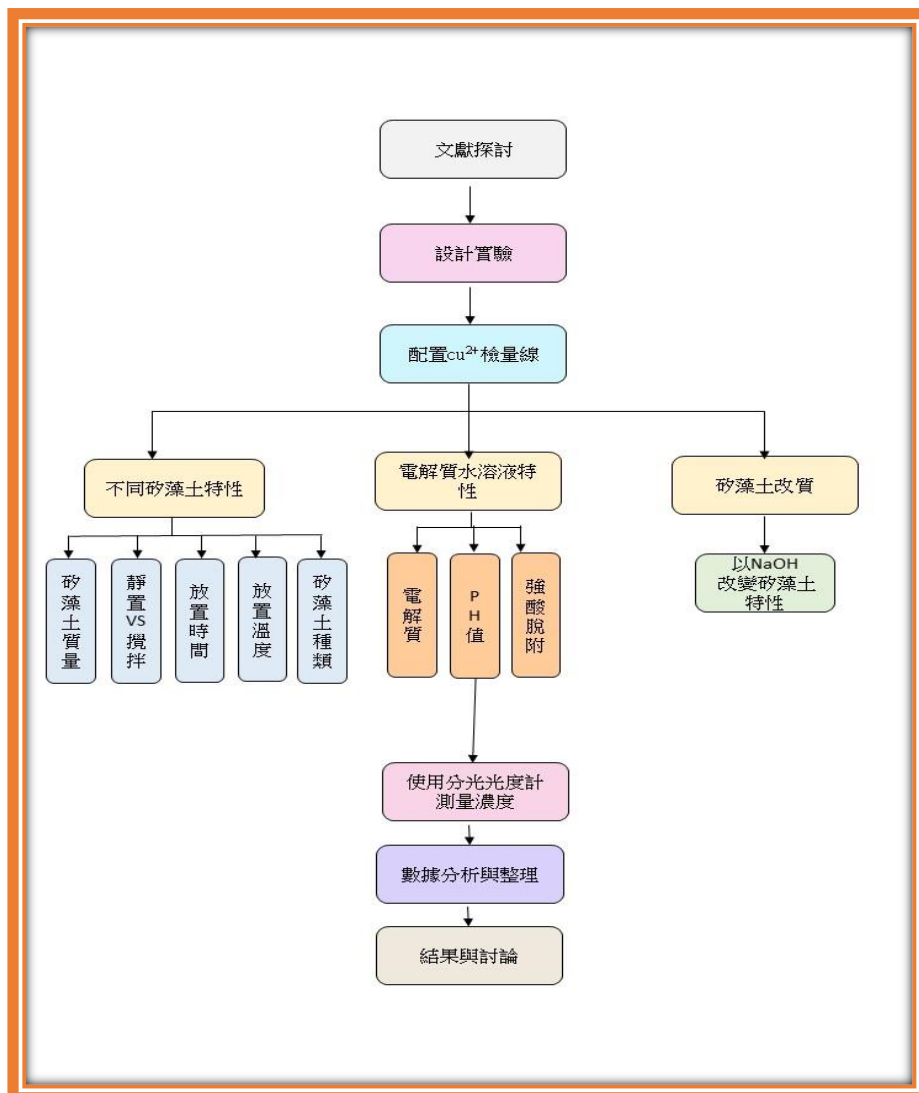
(四) 吸附原理

物質中的分子與分子間皆具有吸引力，故當物質外出現其他分子時，這些分子會被物體表面吸引，而吸附又可分為「物理吸附」與「化學吸附」

1. 物理吸附：物體間以力的作用，如**吸附劑與吸附質有相反電荷而產生靜電力**，使其聚集吸附在表面，物理吸附通常作用力較小，反應具有可逆性，放出的吸附熱較小，且吸附速度快。
2. 化學吸附：吸附劑與吸附質表面因親和力產生電子共用的化學鍵結，吸引力比物理吸附強，反應具有不可逆性，且此反應已經產生了化學變化，不再是原來的物質。化學吸附所放出的吸附熱比物理吸附所放出的吸附熱大且進行得較慢，吸附平衡也需要相當長時間才能達到。

而在本研究中矽藻土吸附重金屬(銅離子)主要使用的原理是以**物理吸附**為主。

二、實驗流程



伍、研究過程、結果與討論

一、【實驗 1-1】探討不同質量的矽藻土對銅離子的吸附差異

(一)研究目的：我們知道矽藻土杯墊含有相當大的面積與豐富的孔隙結構可以吸收大量水分，所以我們想利用它多孔隙的特性來吸附重金屬，且找出吸附的最佳條件。首先我們秤取不同質量的矽藻土分別投入相同條件的硫酸銅水溶液中，觀察並記錄其吸附的狀況與差異。

(二)變因：

控制變因		操縱變因	應變變因
1.重金屬溶質：硫酸銅	5.放置時間：24 小時	矽藻土質量	不同質量矽藻土吸附銅離子程度的差異。
2.溶劑：RO 水	6.溫度：常溫		
3.溶液濃度：1000ppm	7.顯色劑：NH ₄ OH		
4.溶液體積：100ml	8.矽藻土種類：工業用矽藻土		

1.控制變因：

(1)重金屬溶質：我們使用實驗室常見的藥品硫酸銅 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 做為重金屬溶質的代表。

(2)溶劑：本實驗使用接近純水的 RO 水當溶劑。

(3)溶液濃度與體積：為了方便觀察與計算我們統一調配 1000ppm 的硫酸銅溶液 100ml 作為標準液濃度來放入矽藻土，並觀察其吸附的狀況。

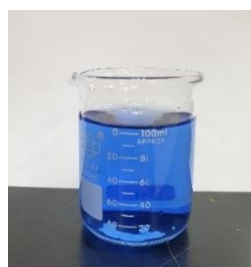
(4)放置時間：我們為了讓矽藻土的吸附效果較明顯，所以拉長放置時間到 24 小時，以方便觀察各個變因所造成的差異。

(5)溫度：本篇實驗的背景環境為冬天的封閉實驗室，常溫範圍穩定(約 22~25°C)。

(6)**顯色劑**：由於低濃度硫酸銅的色層辨識度相當低，所以本實驗採用氨水(NH₄OH)當顯色劑，**添加後可使硫酸銅變成明顯的深藍色溶液，有利於分光光度計的測量。**



▲圖 1 加氨水前



▲圖 2 加氨水後



▲圖 3 工業用矽藻土

(7)矽藻土種類：經過與廠商洽詢後我們發現工業用矽

藻土成本最便宜、性價比最高，故我們統一使用此款矽藻土作為濾材。

2. 操縱變因：

我們取不同質量矽藻土(分別為 1g、1.5g、2g、2.5g、3g)分別投入相同條件的 Cu^{2+} 溶液中，觀察並記錄其吸附量的差異。

(三) 實驗步驟：

1. 將 1g 的硫酸銅加入少量 RO 水使其充分溶解後，倒入 1000ml 定量瓶中配成濃度為 $1000\text{mg/L} \div 1000\text{ppm}$ 的硫酸銅水溶液，最後稱取 5 杯 100ml 的溶液備用。



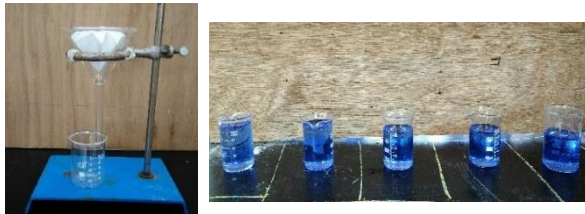
2. 秤量 5 份不同質量的矽藻土(分別為 1g、1.5g、2g、2.5g、3g)。



3. 將秤量好的矽藻土分別倒入步驟 1 中的 5 杯硫酸銅溶液中，靜置 24 小時。



4. 分別以濾紙過濾掉各杯的矽藻土，取澄清濾液 50ml，並加入氨水 3ml 作為顯色劑，以方便觀察。



5. 使用分光光度計測量不同條件下硫酸銅溶液中 Cu^{2+} 的濃度並記錄數據。

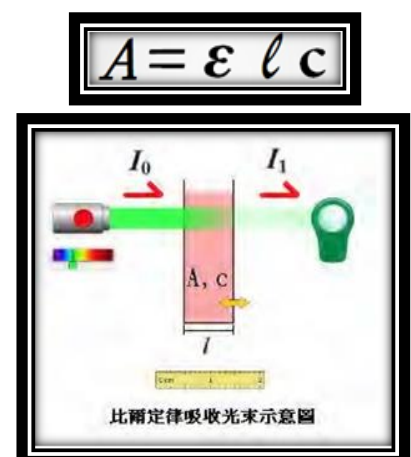


(四) 研究方法：分光光度計

1. 裝置目的：我們使用分光光度計測出不同 Cu^{2+} 水溶液的濃度差異。

2. 裝置原理：

朗伯一比爾定律：光的吸收作用受朗伯(Lambert)定律和比爾(Beer)定律所影響，合稱朗伯一比爾定律。其中，比爾定律指出，在一定的波長下，光的吸收量與吸光材料的濃度成正比。其中： A =溶液吸光度， l =光徑長度， c =待測樣品的濃度， ϵ =莫爾吸光係數，分光光度計就是利用這個原理，將光打入比色管中，測



▲圖 4 比爾定律示意圖

出吸光度，來換算出我們要的濃度。

3. 找出最大吸收波長與製作檢量線

(1) 配置硫酸銅標準溶液 1000ppm、500ppm、250ppm、125ppm。

(2) 用分光光度計測量 4000ppm 硫酸銅溶液中 Cu^{2+} 的最大吸收波長(604nm)，並以之為基礎製作溶液中 Cu^{2+} 檢量線，以利後續的測量。

(3) 將各濃度標準液裝入比色管，並記錄其相對應的吸收度與對應濃度。

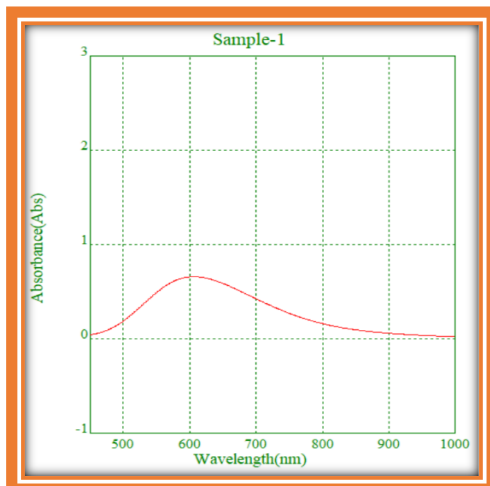
(4) 製作檢量線圖表與濃度方程式，後續實驗即可利用此方程式反推待測溶液中的 Cu^{2+} 濃度



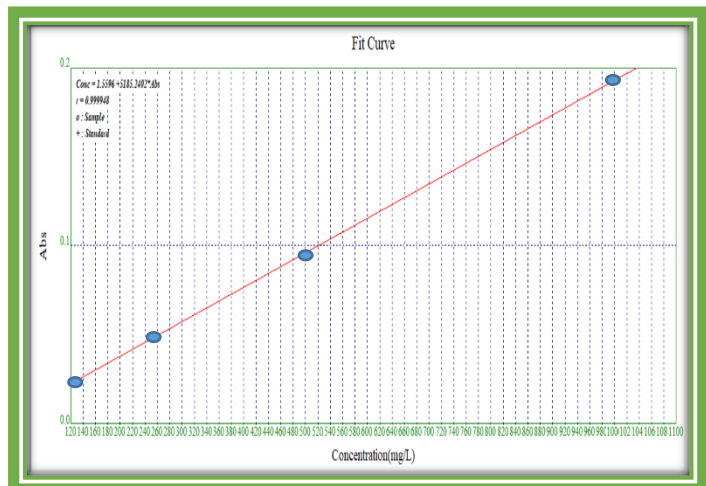
▲圖 5 不同濃度硫酸銅標準液(加氨水)

4. 檢量線數據

濃度(ppm)	1000	500	250	125
吸光度(Abs)	0.1930	0.0950	0.0481	0.0243



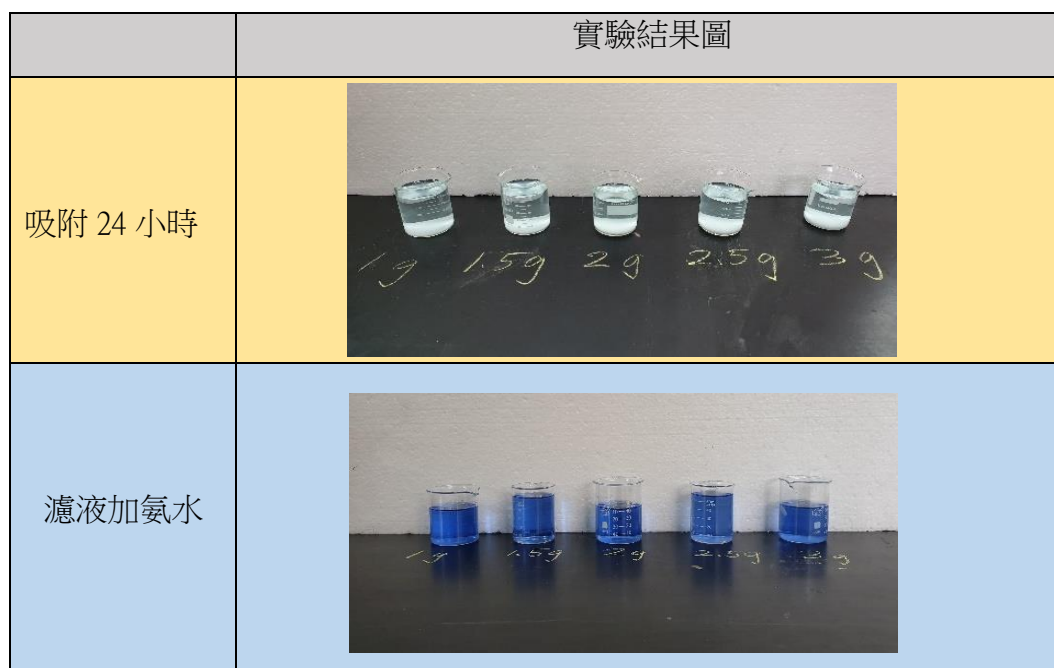
▲硫酸銅全波掃描圖(加氨水)



▲硫酸銅檢量線圖

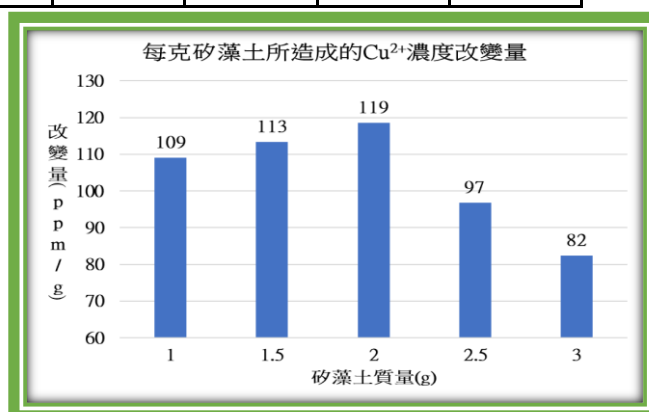
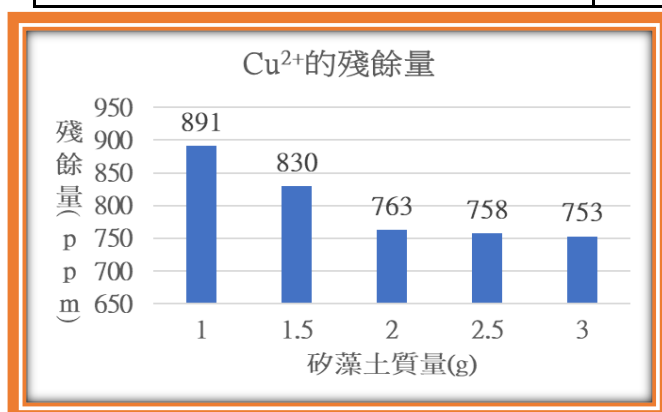
(五)實驗結果：

1.不同質量矽藻土，吸附後的濃度差異：



2.實驗數據與圖表：

矽藻土質量(g)	1	1.5	2	2.5	3
Cu ²⁺ 的殘餘量(ppm)	891	830	763	758	753
Cu ²⁺ 的改變量(ppm)	109	170	237	242	247
每克矽藻土造成的濃度改變量(ppm/g)	109	113	119	97	82

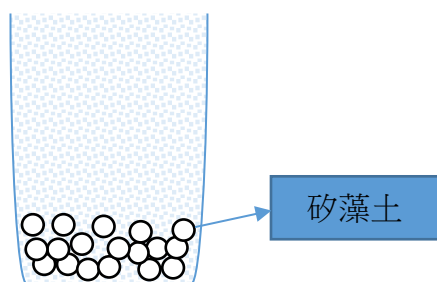


3.數據處理：

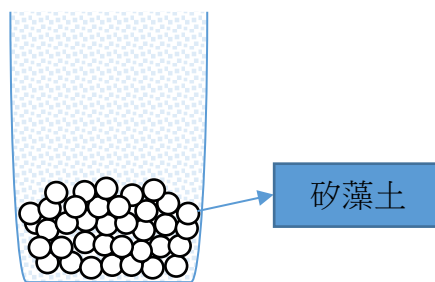
- (1)我們先以分光光度計測出 Cu²⁺的殘餘量(ppm)。
- (2)再以初始濃度(1000ppm)扣除 Cu²⁺的殘餘量，得到 Cu²⁺的改變量(ppm)。
- (3)最後，以 Cu²⁺的改變量除以矽藻土的質量之後四捨五入到整數，得到每克矽藻土所造成的濃度改變量(以 ppm/g 表示)。

(六)實驗討論

- 1.由實驗結果發現，隨著**矽藻土的質量增加**，**溶液中的 Cu^{2+} 濃度的改變量愈大**，這是因為矽藻土越多，可容納、吸附 Cu^{2+} 的**孔隙總量會愈多**，使吸附總量隨之增加。
- 2.另外我們發現每克矽藻土所能吸附的銅離子量**不是與矽藻土總質量成正比**，而是以**2克矽藻土達到吸附的最佳效益**，超過 2g 之後的效益逐漸變差，我們推論這是因為投入矽藻土到水溶液後，會逐漸沉入杯底而開始有**重疊的部分**，此現象會使矽藻土能與硫酸銅水溶液直接**接觸的面積減少**，如圖 6 (100ml 的燒杯杯底裝入 2g 矽藻土的堆疊程度)。故當矽藻土的量超過某限度時，**重複堆疊的部分過多**，如圖 7，使投入的矽藻土量與孔隙增加率不成正比(可接觸 Cu^{2+} 的表面積減少過多)，導致吸附量不隨矽藻土質量增加而等比例上升，這也就是為什麼我們在實驗操作靜置 24 小時下，**2 克的吸附效益**最高的原因。



▲圖 6 2g 矽藻土堆疊程度



▲圖 7 3g 矽藻土堆疊程度

二、【實驗 1-2】探討吸附過程有無持續攪拌對矽藻土吸附銅離子的差異

(一)研究目的：我們由實驗 1-1 的結果知道，矽藻土在吸附的過程中會有堆疊的情況而使吸附效果變差，所以我們想藉由吸附過程不斷攪拌來減少堆疊的狀況，並觀察其對矽藻土吸附銅離子的差異。

(二)變因：

控制變因		操縱變因	應變變因
1.重金屬溶質：硫酸銅	5.放置時間：24 小時	吸附過程 中有無持 續攪拌	吸附過程中有無 持續攪拌對矽藻 土吸附銅離子程 度的差異。
2.溶劑：RO 水	6.溫度：常溫		
3.溶液濃度：1000ppm	7.顯色劑： NH_4OH		
4.溶液體積：100ml	8.矽藻土種類：工業用矽藻土		

操縱變因：我們取不同質量矽藻土(分別為 1g、1.5g、2g、2.5g、3g)分別投入相同條件的 Cu^{2+} 溶液中，再分別**投入攪拌子並放到磁石攪拌器攪拌**，觀察並記錄其吸附量

的差異。

(三) 實驗步驟

1. 配置 Cu^{2+} 濃度為 1000ppm、體積 100ml 的水溶液並投入 **1g** 的工業用矽藻土。

2. 在燒杯中**放入攪拌子並置於磁石攪拌器上**，常溫下攪拌 24 小時後過濾。



▲圖 8 步驟 2 示意圖

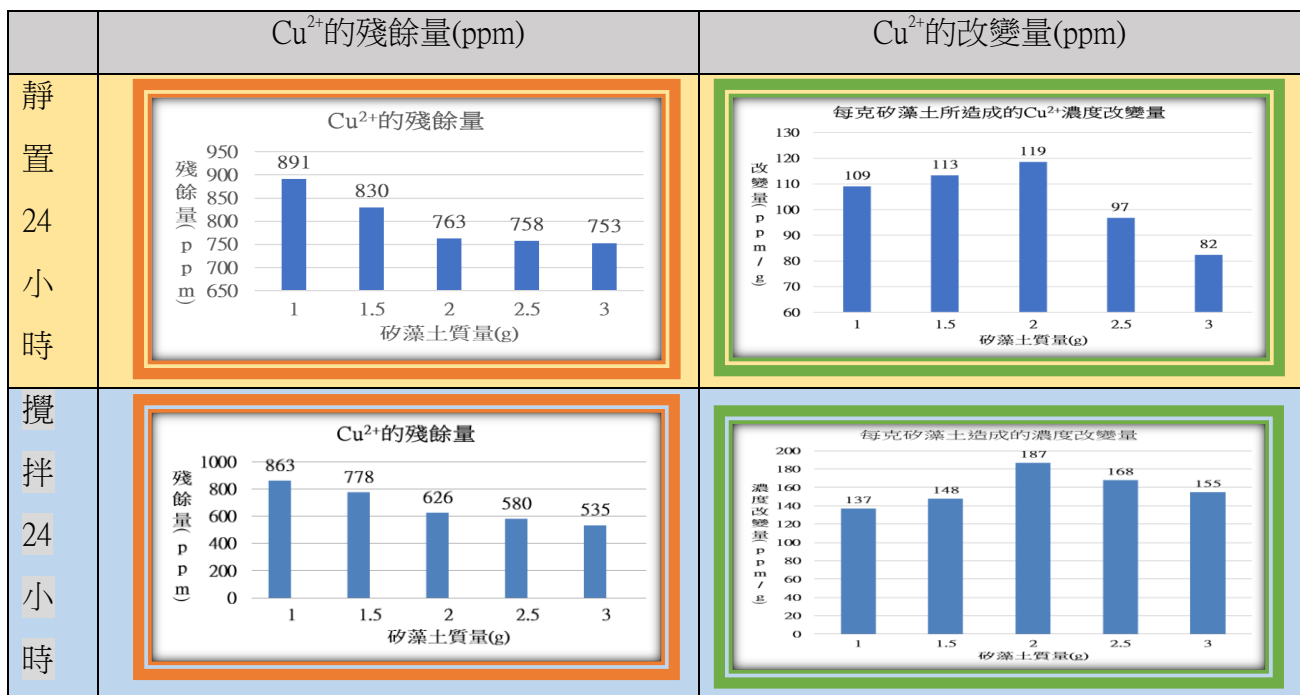
3. 加入氨水作為顯色劑，並使用分光光度計記錄其吸附量。

4. 秤取不同質量的工業用矽藻土(1.5g、2g、2.5g、3g)，重複步驟 1~3 並紀錄其吸附差異。

(四) 研究結果：

1. 實驗數據與圖表：

	矽藻土質量(g)	1	1.5	2	2.5	3
靜置 24 小時	Cu^{2+} 的殘餘量(ppm)	891	830	763	758	753
	Cu^{2+} 的改變量(ppm)	109	170	237	242	247
	每克矽藻土造成的濃度改變量(ppm/g)	109	113	119	97	82
攪拌 24 小時	Cu^{2+} 的殘餘量(ppm)	863	778	626	580	535
	Cu^{2+} 的改變量(ppm)	137	222	374	420	465
	每克矽藻土造成的濃度改變量(ppm/g)	137	148	187	168	155



2. 數據處理：靜置 24 小時數據採用實驗 1-1 的數據，以方便做比較。

(五)實驗討論

實驗結果發現各質量矽藻土在吸附過程中持續攪拌會使矽藻土吸附銅離子的效果都比靜置好，因為較不會有堆疊現象而導致較大質量的矽藻土(大於 2 克時)每克的吸附效益變差的現象，這是因為矽藻土藉由攪拌而擴散到整杯溶液，重複堆疊的部分減少，矽藻土與銅離子的直接接觸面積也增加了，使銅離子更容易被吸引、進入孔隙，吸附能力因而增強。

但是我們在實驗過程發現，矽藻土粉末極輕，會因為攪拌 24 小時而四散且漂浮在水溶液中如圖 9，相較於靜置 24 小時需要(1)更多次的過濾以及(2)額外的靜置時間才能取出澄清的濾液來測濃度，這兩個因素反而導致我們在操作與測量上更容易出現誤差與困擾，且我們後續實驗常需要一次比較多組溶液，操作更於不便且不符合時間效益。故我們在後續實驗統一使用「靜置 2g 矽藻土」的方式來統一控制變因，以達較大的時間與操作效益。



▲圖 9 靜置 24 小時(左) VS 攪拌 24 小時(右)

三、【實驗 1-3】探討不同放置時間下，矽藻土對銅離子的吸附差異

(一)研究目的：我們在實驗過程中發現其實矽藻土對銅離子的吸附量並非與吸附時間完全成正比，也不是一開始就達到吸附終點，所以我們便設計此實驗來觀察隨著時間經過，矽藻土對 Cu^{2+} 的吸附量會有什麼變化。

(二)變因：

控制變因		操縱變因	應變變因
1.重金屬溶質：硫酸銅	5.矽藻土質量：2g	放置時間	不同的放置時間對矽藻土吸附銅離子程度的差異。
2.溶劑：RO 水	6.溫度：常溫		
3.溶液濃度：1000ppm	7.顯色劑： NH_4OH		
4.溶液體積：100ml	8.矽藻土種類：工業用矽藻土		

1.控制變因：

矽藻土質量：我們由實驗 1-2 得知若為靜置狀態，使用 2g 矽藻土來吸附性價比會最高，故我們使用 2g 矽藻土投入相同條件的 Cu^{2+} 溶液中，觀察並記錄其吸附量的差異。

2.操縱變因：

放置時間：我們分別將六份 2g 的矽藻土放入 1000ppm 的硫酸銅水溶液 100ml 後，靜置不同時間(分別為 2 小時、4 小時、6 小時、8 小時、24 小時、48 小時、72 小時、96 小時)後，測量溶液被吸附後 Cu^{2+} 的濃度差異。

(三)實驗步驟：

- 1.配置 6 杯濃度 1000ppm、體積 100ml 的硫酸銅水溶液。
- 2.秤量 6 份 2g 的矽藻土並分別倒入步驟 1 的 6 杯溶液中。
- 3.常溫下放置不同時間(2hr、4hr、6hr、8hr、24hr、48hr、72hr、96hr)。
- 4.時間到後分別取出並過濾。
- 5.加入氨水當顯色劑，並使用分光光度計測量 Cu^{2+} 濃度並記錄數據。

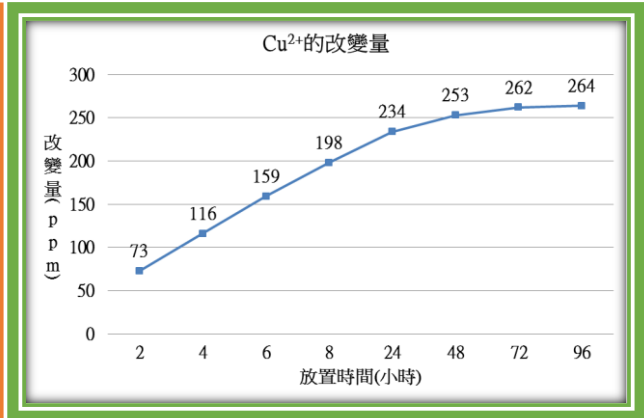
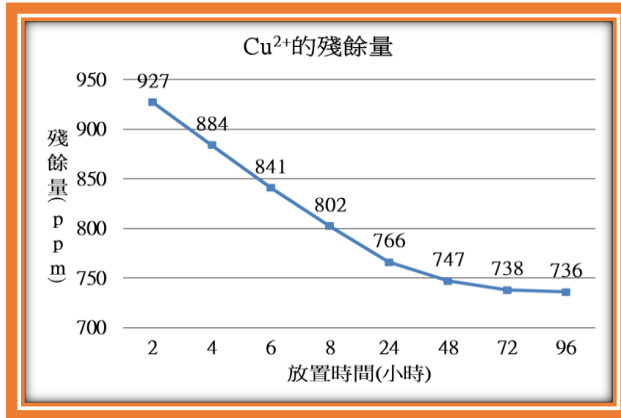
(四)實驗結果：

1. 矽藻土在不同放置時間，吸附後的濃度差異：



2.實驗數據與圖表：

放置時間(小時)	2	4	6	8	24	48	72	96
Cu ²⁺ 的殘餘量(ppm)	927	884	841	802	766	747	738	736
Cu ²⁺ 的改變量(ppm)	73	116	159	198	234	253	262	264



(五)實驗討論

- 1.觀察實驗結果可發現矽藻土的**改變量會隨著時間的增加而變大**，這是因為放置時間越長，矽藻土能吸附銅離子的時間越多。
- 2.由實驗前期(2~24 小時)殘餘量的變化，可以推算出**矽藻土的吸附速率較快且穩定**，到了後期(24~96 小時)，雖然給予矽藻土相當長的吸附時間，但其**吸附效率則相對減慢非常多**。
- 3.實驗結果發現，放置時間到了 48 小時後，吸附速率會變得非常緩慢，此時**矽藻土的吸附已將近飽和**；與 24 小時相比較，雖然其吸附時間為 24 小時的兩倍，但吸附量並沒有跟著變兩倍，所以為了後續實驗的方便，我們選擇吸附量已大致接近飽和的 **24 小時來當後續實驗的標準吸附時間**，以達較高的操作效益。

四、【實驗 1-4】探討不同溶液溫度矽藻土對銅離子的吸附差異

(一)研究目的：我們知道工廠在不同的工作環境及不同的季節當中，廢液所處的溫度也不同，因此我們想知道在不同水溶液溫度下，矽藻土對 Cu²⁺的吸附量會有什麼差異。

(二)變因：

控制變因		操縱變因	應變變因
1.重金屬溶質：硫酸銅	5.矽藻土質量：2g	不同溫度	不同溫度下矽藻土吸附銅離子的效果差異。
2.溶劑：RO 水	6.放置時間：2~96 小時		
3.溶液濃度：1000ppm	7.顯色劑：NH ₄ OH		
4.溶液體積：100ml	8.矽藻土種類：工業用矽藻土		

1.控制變因：

放置時間：我們由實驗 1-3 的結果可以發現放置 24 小時和 48 小時的總吸附量差異不大，我們推測放置 **24 小時以後的吸附量已經接近最大值**，所以我們以此時間作為最大基準點來設計後續的實驗。

2.操縱變因：

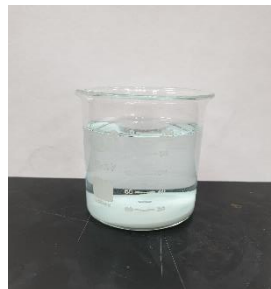
溫度：我們分別將相同條件的硫酸銅水溶液放置於**冰箱(10°C)**、**常溫下(約 25°C)**、**恆溫槽(設定為 50°C)**，並各放入 2g 矽藻土觀察三者的吸附差異。

(三)實驗步驟：

- 1.配置 5 杯濃度 1000ppm、體積 100ml 的硫酸銅水溶液。
- 2.秤量 5 份 2g 的矽藻土，分別倒入 5 杯溶液中，並放入 10°C 的冰箱。
- 3.分別放置 2 小時、4 小時、6 小時、8 小時、24 小時、48 小時、72 小時及 96 小時後取出觀察，並以分光光度計記錄其吸附量的差異。
- 4.分別在常溫下(約 25°C)與恆溫槽中(50°C)重複步驟 1~3 並記錄其數據差異。



▲圖 10 置於冰箱中



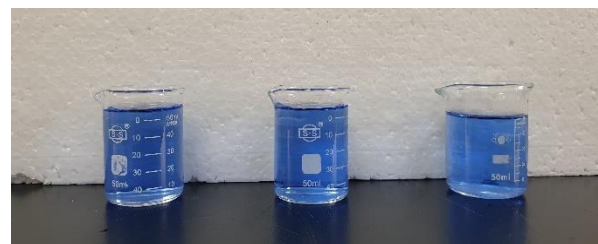
▲圖 11 置於常溫下



▲圖 12 置於恆溫槽中



▲圖 13 不同溫度硫酸銅水溶液 (過濾前)

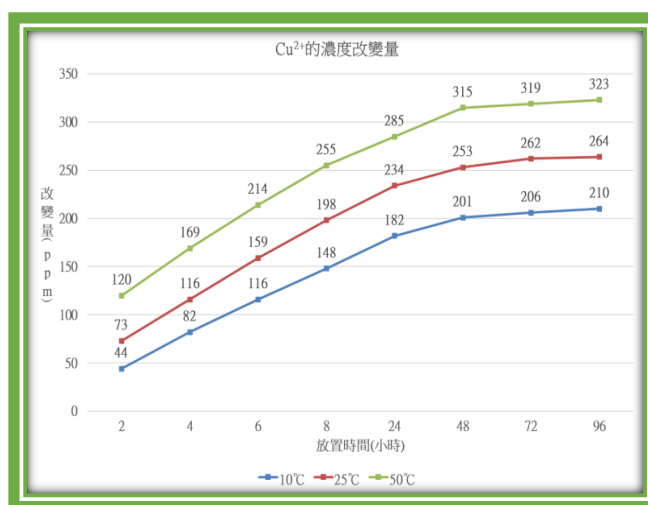
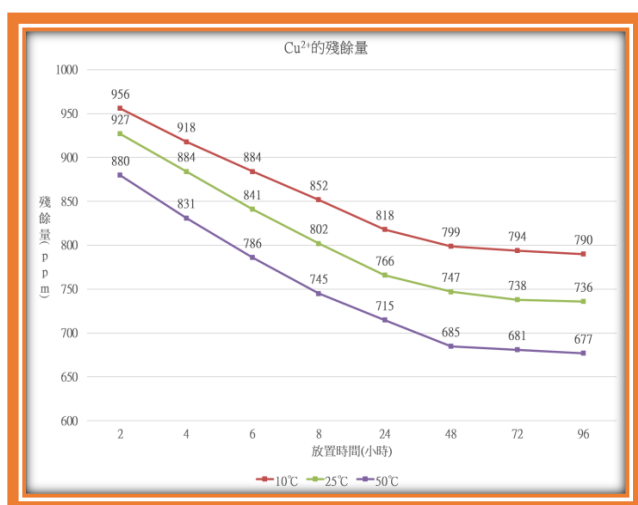


▲圖 14 不同溫度硫酸銅水溶液 (加氨水後)

(四)實驗結果：

1.實驗數據與圖表：

放置時間(小時)		2	4	6	8	24	48	72	96
Cu ²⁺ 的殘餘量(ppm)	10°C	956	918	884	852	818	799	794	790
	25°C	927	884	841	802	766	747	738	736
	50°C	880	831	786	745	715	685	681	677
Cu ²⁺ 的改變量(ppm)	10°C	44	82	116	148	182	201	206	210
	25°C	73	116	159	198	234	253	262	264
	50°C	120	169	214	255	285	315	319	323



(五)實驗討論

實驗結果發現，當溫度愈高時，矽藻土的吸附速率會愈快，這是因為粒子在高溫的環境下運動速率會加快，動能會加大，與矽藻土的碰撞頻率增加，而使矽藻土的吸附速率加快；且矽藻土在高溫的環境下會因熱漲冷縮使表面的孔隙變大，讓銅離子更容易進入孔隙內而被吸附，此現象可造成吸附效率提高，也導致矽藻土能吸附的粒子總量變多，故最後的吸附終點 50°C 的吸附總量也比另外兩組高很多。

五、【實驗 1-5】探討不同矽藻土種類對吸附銅離子的影響

(一)研究目的：我們從先前的實驗發現到工業用矽藻土可以吸附重金屬，而市面上的矽藻土大致可以分為三大類，分別為農業用、工業用及食品級的矽藻土，我們想知道哪一種矽藻土對吸附銅離子的效果最好以及其差異？

(二)變因：

控制變因		操縱變因	應變變因
1.重金屬溶質：硫酸銅	5.放置時間：24 小時	不同矽藻土種類	不同矽藻土種類對吸附銅離子的程度差異。
2. 溶劑：RO 水	6.溫度：常溫		
3.溶液濃度：1000ppm	7.顯色劑：NH ₄ OH		
4.溶液體積：100ml	8.矽藻土質量：2g		

1.操縱變因：

矽藻土種類：我們分別使用農業用、工業用及食品級的矽藻土來做此次實驗。



▲圖 15 農業用矽藻土



▲圖 16 工業用矽藻土



▲圖 17 食品級矽藻土

(三)實驗步驟：

- 1.配置濃度 1000ppm、體積 100ml 的硫酸銅水溶液。
- 2.秤量 2g 的**農業用矽藻土**，倒入步驟 1 的溶液中。
- 3.常溫下靜置 24 小時後過濾。
- 4.加入氨水作為顯色劑，使用分光光度計記錄其吸附量。
- 5.分別使用**工業用及食品級矽藻土**重複步驟 1~4，並記錄數據。



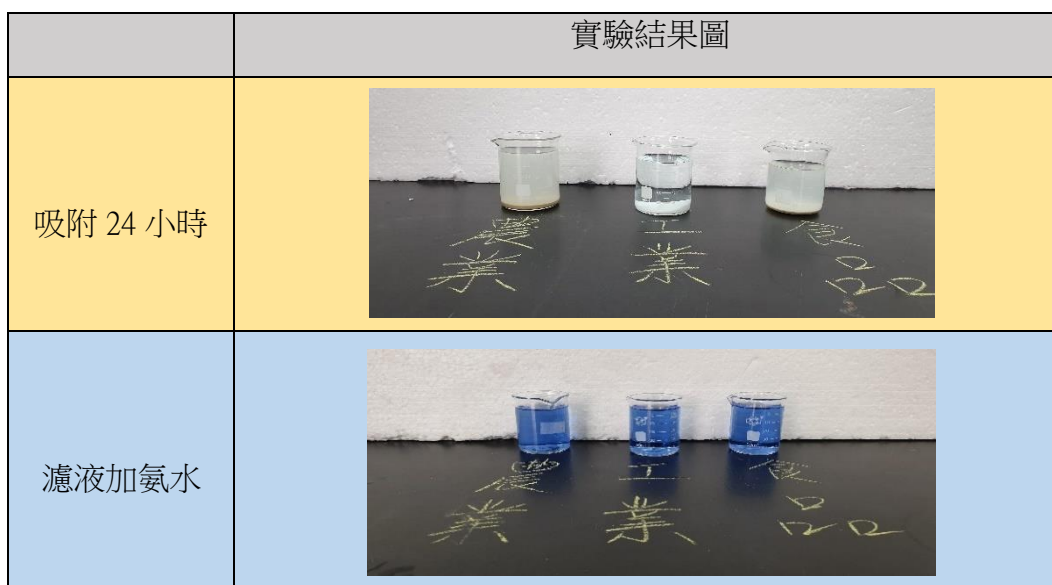
▲圖 18 2g 不同種矽藻土



▲圖 19 步驟 3 示意圖

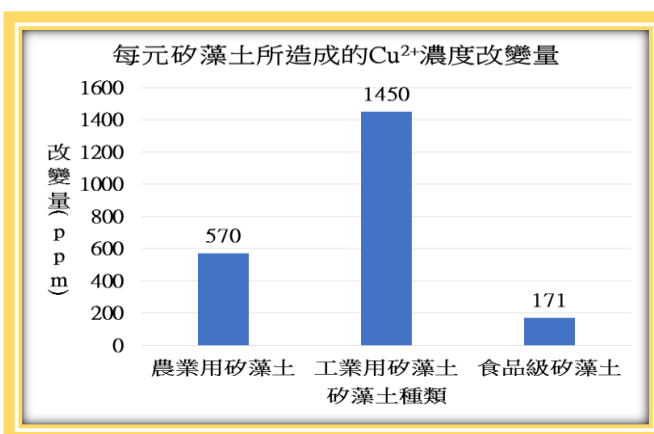
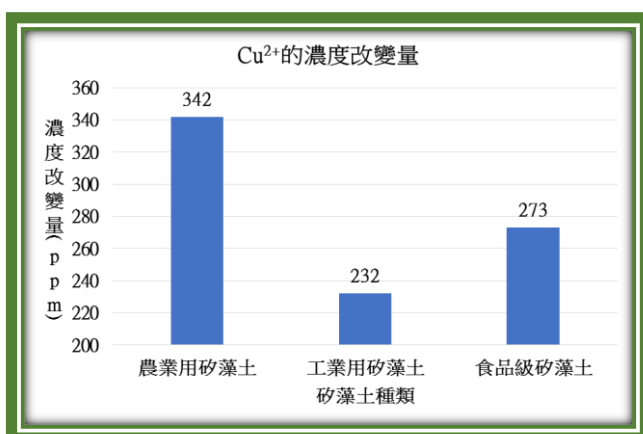
(四)實驗結果：

1.不同矽藻土種類，吸附後的濃度差異：



2.實驗數據與圖表：

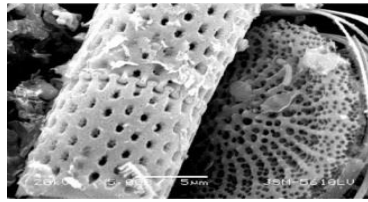
	農業用矽藻土	工業用矽藻土	食品級矽藻土
Cu ²⁺ 的殘餘量(ppm)	658	768	727
Cu ²⁺ 的改變量(ppm)	342	232	273
每克矽藻土造成的濃度改變量(ppm/g)	171	116	137
每克矽藻土價格(元/g)	0.3 元	0.08 元	0.8 元
每元矽藻土造成的濃度改變量(ppm/元)	570	1450	171



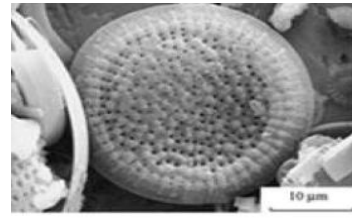
(五)實驗討論

我們可以由實驗結果發現，每克矽藻土所造成的濃度改變量以農業用效果最佳，工業用效果最差，我們由「台灣永衛有限公司」的網站中查詢發現這是因為：

1. **食品級矽藻土**：內含**二氧化矽比率相當高**(大約 85%)，而且**未經過鍛燒**(故結晶型二氧化矽的含量小於 3%)，其表面原始結構的**堅硬銳利突刺結構**仍在，使其能**吸附的銅離子總量**(二氧化矽含量高)與**單位表面積**(矽體孔洞與突刺結構皆有)皆**大於工業用矽藻土**，故吸附能力最強。



▲圖 20-1 食品級矽藻土結構
(資料來源:參考資料 9)



▲圖 20-2 工業級矽藻土結構
(資料來源:參考資料 10)

2. **工業用矽藻土**：所含的**二氧化矽純度最低**，且**經過鍛燒**，使其表面突刺結構溶解消失如圖 20-2，故**能吸附銅離子的總量較低**，單位表面積也較小。
3. **農業用矽藻土**：經過多番查詢，我們發現它並沒有如前兩者這麼明確的定義，大部分是商人**依照”食品級矽藻土”的純度不同再細分出來(越純越貴)**，通常會以**更高純度(二氧化矽含量高於食品級的平均值)**的矽藻土當原料調配而成，故**吸附效果極佳**。
4. 但特別的是我們發現當商人在處理重金屬廢液時不單要考慮吸附成效，同時也需要考慮成本效益，故我們將不同矽種的「**總吸附量**」除以不同種類的「**每克矽藻土價格**」，**換算出每元矽藻土可吸附的銅離子總量**。結果發現雖然農業用與食品用矽藻土吸附效果很好，但單位成本太高，不適合大量投入廢液處理中，相反的，雖然工業用的吸附效果在三者中最差，但其成本非常便宜(單位價格為食品級 1/10)，其性價比也是最高的(將近食品級的 10 倍)，故**我們建議選擇工業用矽藻土當廢液吸附劑最符合輸入成本與輸出效益**。

六、【實驗 2-1】探討當水溶液含有不同濃度的其他電解質對矽藻土吸附 Cu^{2+} 的影響

(一)研究目的：當廢液的水質來源不同時，其溶液所含其他電解質濃度也不相同，所以我們設計此實驗來探討不同濃度的其他電解質會對矽藻土吸附 Cu^{2+} 產生什麼影響？

(二)變因：

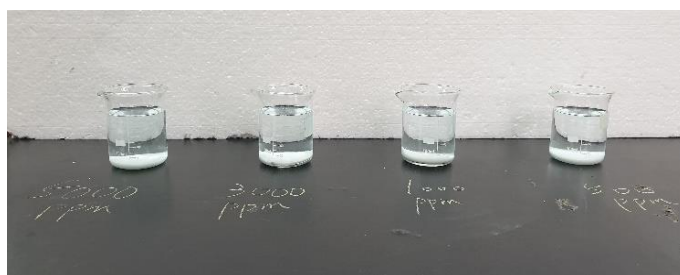
控制變因		操縱變因	應變變因
1.重金屬溶質：硫酸銅 2.溶劑：RO 水 3. Cu^{2+} 濃度：1000ppm 4.溶液體積：100ml	5.放置時間：24 小時 6.溫度：常溫 7.顯色劑： NH_4OH 8.矽藻土質量：2g 9.矽藻土種類：工業用矽藻土	不同濃度的氯化鈉水溶液	水溶液含有不同濃度的氯化鈉對矽藻土吸附 Cu^{2+} 的影響。

1.操縱變因：

(1)氯化鈉水溶液：我們分別配置 5000ppm、3000ppm、1000ppm 及 500ppm 的氯化鈉水溶液 1L，再加入同量硫酸銅(1000mg)至各水溶液中，形成氯化鈉濃度不同，但 Cu^{2+} 濃度相同(1000ppm)的水溶液。

(三)實驗步驟：

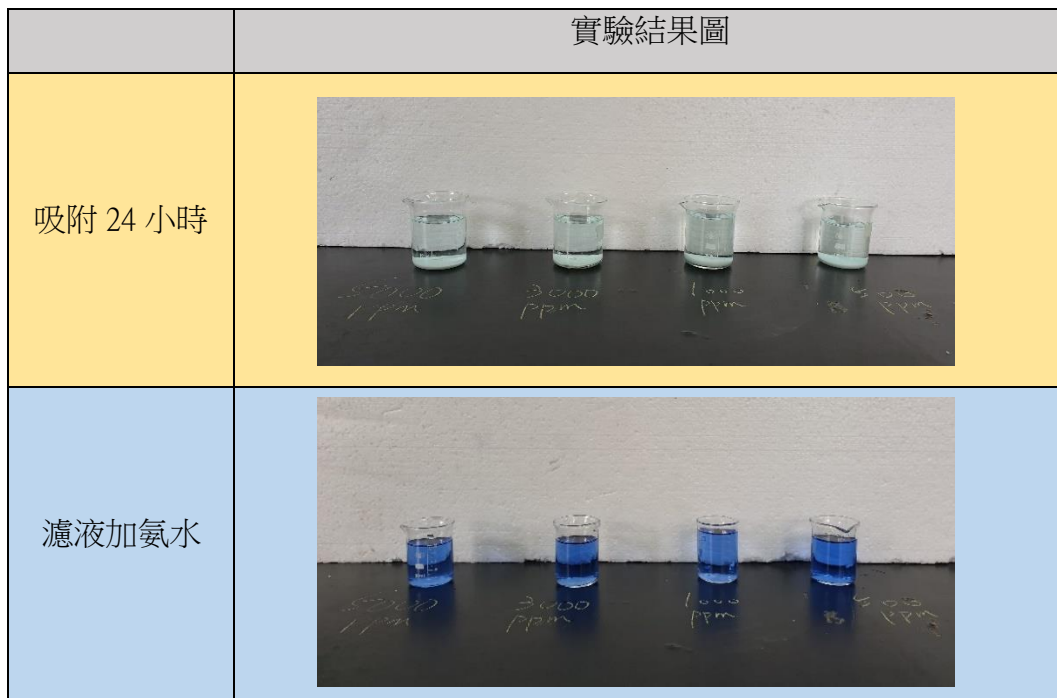
- 1.配置氯化鈉濃度不同(分別為 5000ppm、3000ppm、1000ppm 及 500ppm)，但 Cu^{2+} 濃度相同(1000ppm)的水溶液 4 杯。
- 2.將步驟 1 的水溶液各取 100ml 後，分別投入 2g 的工業用矽藻土。
- 3.常溫下靜置 24 小時後過濾。
- 4.加入氨水當顯色劑，並使用分光光度計記錄其吸附量。



▲圖 21 不同濃度的 NaCl 配置出硫酸銅水溶液加矽藻土

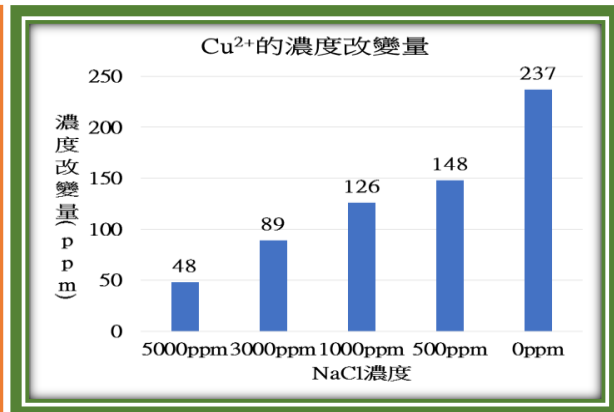
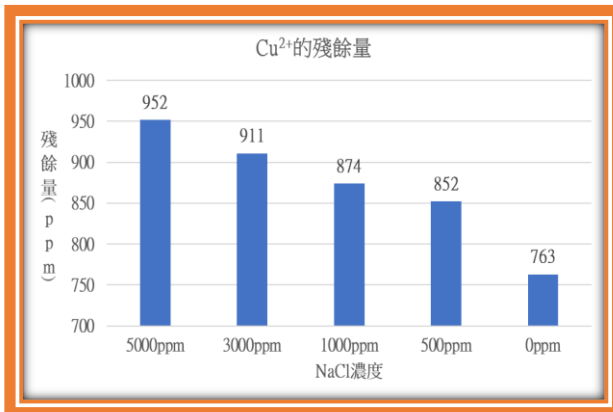
(四)實驗結果

1. 矽藻土在不同濃度 NaCl 溶液中，吸附後的濃度差異：



2. 實驗數據與圖表

NaCl 的濃度	5000ppm	3000ppm	1000ppm	500ppm	0ppm
Cu ²⁺ 的殘餘量(ppm)	952	911	874	852	763
Cu ²⁺ 的改變量(ppm)	48	89	126	148	237



3. 數據處理：0ppm 的數據使用 1-1(2g 矽藻土的實驗結果)，來做一個比較。

(五)實驗討論

由實驗結果圖我們可以發現，與 NaCl 濃度 0ppm 的純硫酸銅溶液的數據相比，其他有添加電解質 NaCl 的實驗都會使矽藻土的吸附量相對減少；且**添加越多 NaCl 到硫酸銅水溶液中，會使矽藻土吸附銅離子的效果愈差。**

經過查詢與討論我們發現這是因為**矽藻土表面會帶有負電荷**(許嘉慧, 1999), 此帶負電的特性**可以幫助矽藻土更好的吸附重金屬陽離子**, 但是這個實驗中, 水溶液中帶正電的不只有銅離子, 還有**氯化鈉解離出的 Na^+** , 兩者**互相干擾**而有競爭吸附的現象, 導致矽藻土對銅離子的**吸附量減少**, 故當硫酸銅水溶液中含有越多 NaCl, 矽藻土對銅離子的吸附會越差。

七、【實驗 2-2】探討矽藻土在不同 pH 值的溶液中對銅離子的吸附差異

(一)研究目的：我們發現不同類型工廠或不同用途電解液所排放出的廢液酸鹼值並非相同，所以我們想知道不同 pH 值會對矽藻土吸附 Cu^{2+} 產生什麼影響？

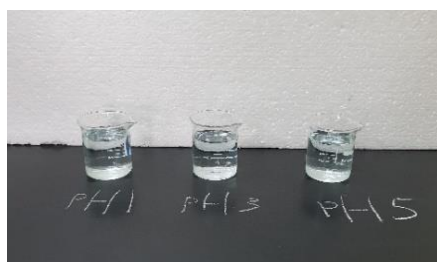
(二)變因：

控制變因		操縱變因	應變變因
1.重金屬溶質：硫酸銅	5.放置時間：24 小時	不同 pH 值的溶液	不同 pH 值的溶液對矽藻土吸附銅離子程度的差異。
2.溶劑：RO 水	6.溫度：常溫		
3.溶液濃度：1000ppm	7.顯色劑： NH_4OH		
4.溶液體積：100ml	8.矽藻土質量：2g		
	9.矽藻土種類：工業用矽藻土		

1.操縱變因：我們在事前準備及查詢資料中**發現鹼性溶液會和銅離子產生沉澱**, 使實驗產生極大誤差, 故本實驗沒有探討鹼性溶液對吸附量的影響, 而是使用鹽酸將 pH 值調配為 1、3、5 的水溶液, 來觀察它們對矽藻土吸附銅離子的影響。

(三) 實驗步驟

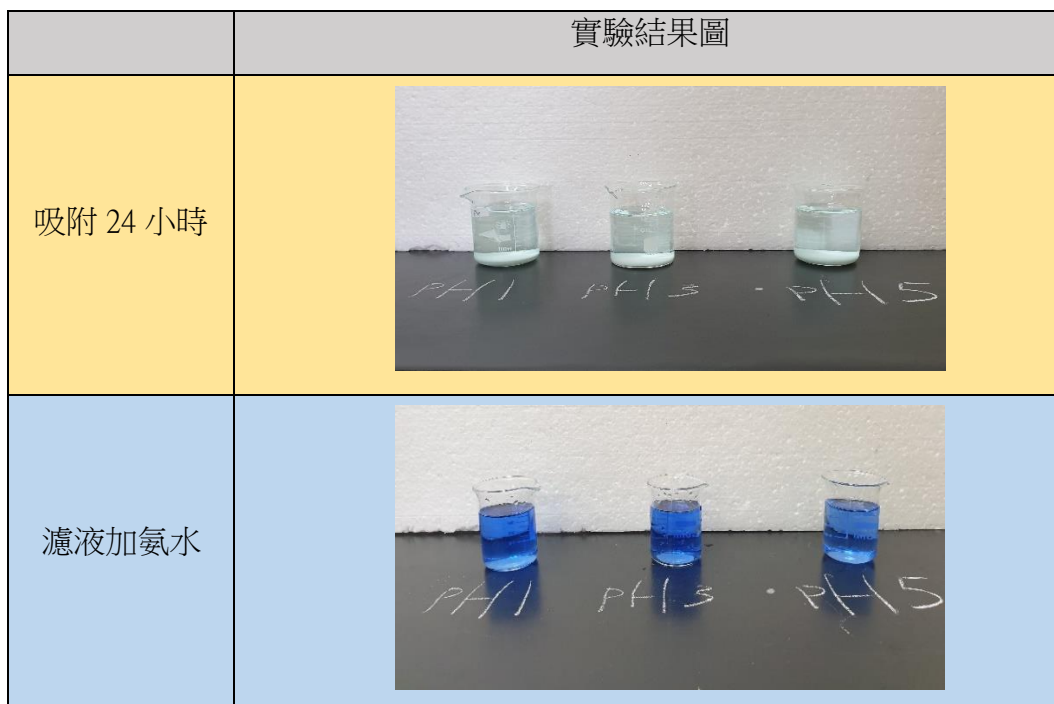
- 1.配置 pH 值不同(分別為 1、3、5), 但 Cu^{2+} 濃度相同(1000ppm)的水溶液各一杯。
- 2.將步驟 1 的水溶液各取 100ml 後投入 2g 的工業用矽藻土。
- 3.常溫下靜置 24 小時後過濾。
- 4.加入氨水作為顯色劑, 並使用分光光度計記錄其吸附量。



▲圖 22 不同 pH 值的溶液

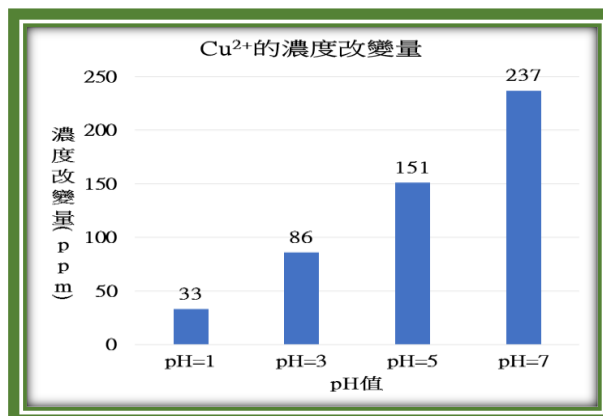
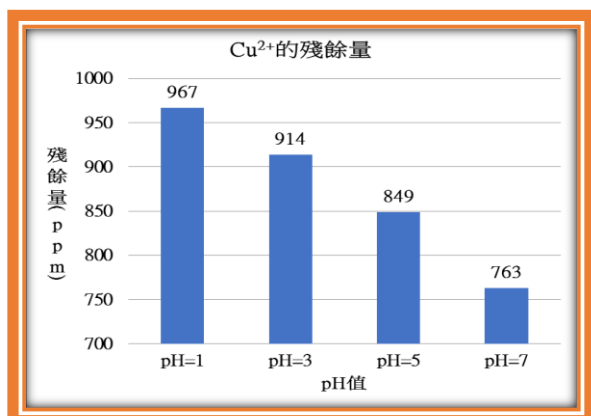
(四)研究結果：

1. 矽藻土在不同 pH 值溶液中，吸附後的濃度差異：



2. 實驗數據與圖表：

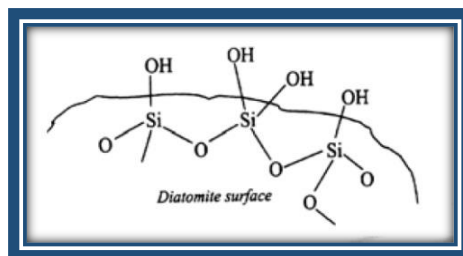
pH 值	pH=1	pH=3	pH=5	pH=7
Cu ²⁺ 的殘餘量(ppm)	967	914	849	763
Cu ²⁺ 的改變量(ppm)	33	86	151	237



3. 數據處理：本實驗以實驗 1-1 中 2g 矽藻土的數據當 pH=7 的對照組

(五)實驗討論

由實驗結果可以發現，當矽藻土吸附銅離子的環境 pH 值愈低時，其吸附效果會愈差，這結果讓我們很好奇為什麼水中的酸鹼性會如此明顯的影響矽藻土的吸附能力，經過多番查詢資料與討論我們發現這是因為**矽藻土的表面含有大量的羧基**，而部分**羧基在水中會解離出氫離子，使矽藻土表面帶有負電的特性**(化學式： $\text{SiOH} \rightarrow \text{SiO}^- + \text{H}^+$)(蔡文田，2003)，故帶有負電的表層對於吸附金屬陽離子會有很大的幫助。



▲圖 23 矽藻土表面結構圖
(資料來源:參考資料 7)

但是，如果將**矽藻土放置在酸性濃度較高的環境中**，其表面**羧基的氫離子會較難解離，甚至有被質子化而帶正電的狀況**(朱健，2012)。故矽藻土表面會由帶負電的特性變成帶正電，而大大的影響其吸附 Cu^{2+} 的能力，故矽藻土在環境 pH 值愈低時，其**吸附效果會愈差**。

不過矽藻土表面電性並非完全決定其吸附能力的唯一因素，實驗數據顯示矽藻土在強酸(pH=1)的環境下，仍然會吸附少許的銅離子，並沒有產生「完全不吸附」的情形，故我們知道雖然矽藻土表面變為帶正電的狀態，對銅離子沒有這麼強的吸引力，但其**實矽藻土本身的結構就含有大量孔隙**，就算表面對銅離子的吸引力不強，但銅離子仍然處於一個活動的狀態，自然會有銅離子**擴散進入矽藻土的孔隙內而有被吸附的狀況**。

八、【實驗 2-3】以強酸使矽藻土脫附與再利用的探討

(一)研究目的：近年來人們的環保意識逐漸提高，所以我們想是否能夠重複使用矽藻土，以達到資源回收再利用的效果。

(二)變因：

控制變因		操縱變因	應變變因
1.重金屬溶質：硫酸銅	6.溫度：常溫	使用高濃度鹽酸使其脫附	以高濃度的鹽酸將使用過的矽藻土脫附後，測量其對銅離子再次吸附的能力。
2. 溶劑：RO 水	7.顯色劑： NH_4OH		
3.溶液濃度：1000ppm	8.矽藻土質量：2g		
4.溶液體積：100ml	9.矽藻土種類：工業用矽藻土		
5.放置時間：24 小時	10.鹽酸濃度：0.1M		

1.操縱變因：由實驗 2-2 的結果得知環境 pH 值愈低時，矽藻土吸附銅離子的效果會

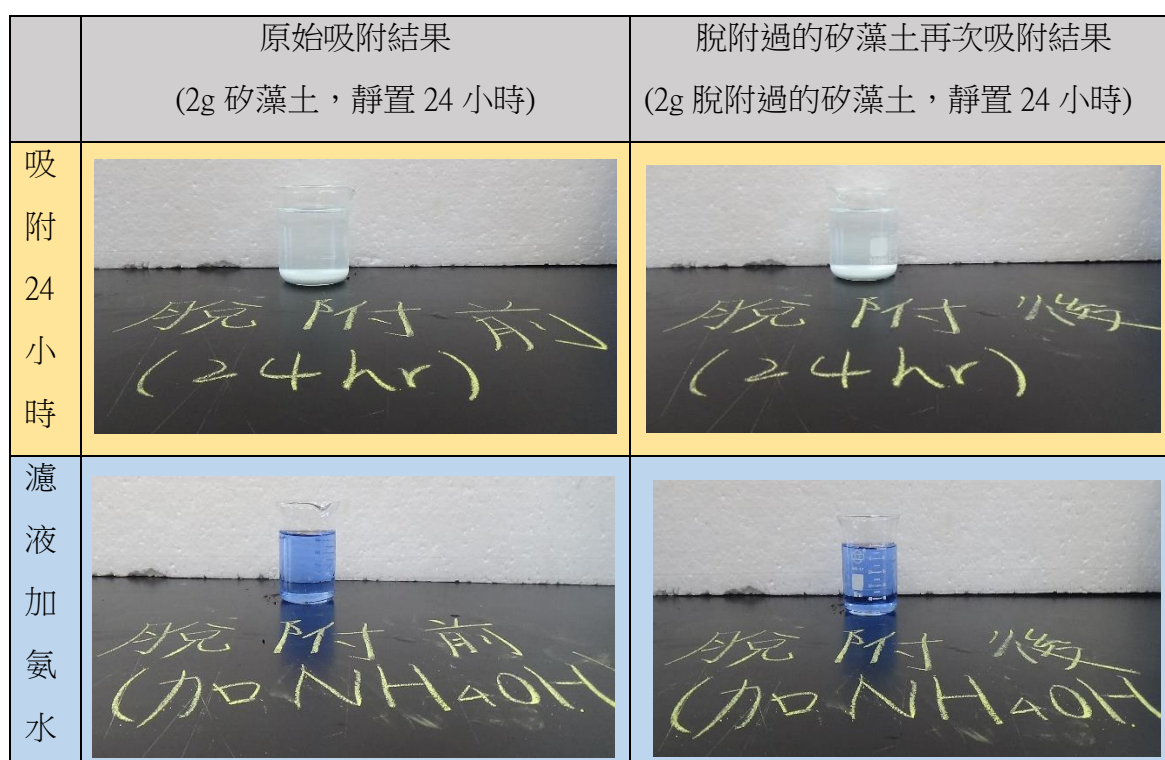
越差，故我們想用此效應來試著脫附使用過後的矽藻土並看其後續再次吸附的能力

(三)實驗步驟：

- 1.配置濃度 1000ppm、體積 100ml 的硫酸銅水溶液，加入 2g 矽藻土後靜置 24 小時(代表使用過的矽藻土)。
- 2.靜置時間結束後，使用 RO 水重複清洗並放入烤箱烘乾。
- 3.將烘乾後的矽藻土投入 pH=1、體積 100ml 的鹽酸中靜置 24 小時進行脫附。
- 4.使用 RO 水清洗步驟 3 的矽藻土並放入烤箱烘乾(代表脫附過的矽藻土)。
- 5.將脫附過的矽藻土再次投入 1000ppm、體積 100ml 的硫酸銅水溶液中，靜置 24 小時後過濾、加氨水顯色劑，並以分光光度計測其吸附量。

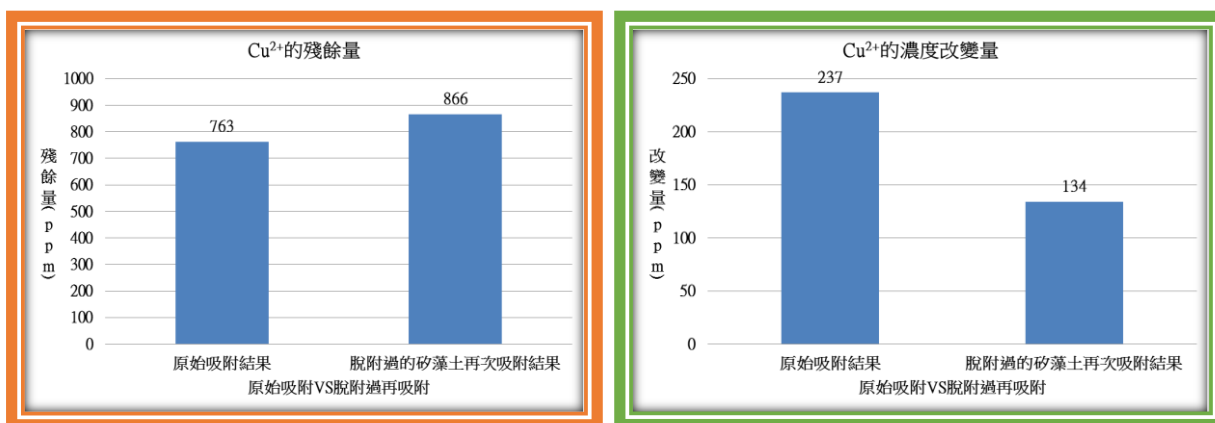
(四)研究結果

1.實驗吸附、脫附差異的結果圖：



2.實驗數據與圖表：

	原始吸附結果 (2g 矽藻土，靜置 24 小時)	脫附過的矽藻土再次吸附結果 (2g 脫附過的矽藻土，靜置 24 小時)
Cu ²⁺ 的殘餘量(ppm)	763	866
Cu ²⁺ 的改變量(ppm)	237	134



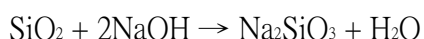
(五)實驗討論

實驗結果發現高濃度的酸可以使原本將近吸附飽和的矽藻土進行脫附，且脫附後的矽藻土還可以進行再次吸附達到二次利用的效果，這是因為如同實驗 2-2 的結果討論：矽藻土在低 pH 的環境下，表面羧基的特性會因為被質子化而帶正電，使其對銅離子作用力由正負吸引變成正正相斥，部分銅離子因此被脫附而出。

另外我們也發現，雖然脫附後仍然可以再吸附，但其吸附率僅為原始矽藻土的 56.54%，證明仍然有少許銅離子仍留在孔隙內無法脫附。因此，雖然矽藻土可以藉由脫附的方式再次利用，但其效果並沒有像第一次使用來的那麼好。

九、【實驗 3】探討以化學方法改質矽藻土對其吸附銅離子的影響。

(一)研究目的：我們在查詢實驗 2-2 溶液酸鹼性對矽藻土吸附重金屬影響的資料時，發現矽藻土的主成分：二氧化矽(SiO₂) 會和氫氧化鈉產生化學反應，其化學式為：



所以我們想試著用氫氧化鈉來改變矽藻土表面的性質，藉此觀察改質矽藻土對銅離子吸附的影響。


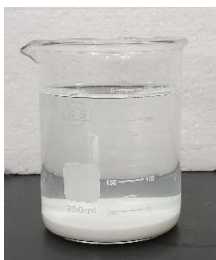



(二)變因：

控制變因		操縱變因	應變變因
1.重金屬溶質：硫酸銅	5.放置時間：24 小時	用不同濃度的氫氧化鈉改變矽藻土的表面性質。	不同濃度 NaOH 改質矽藻土後，對吸附銅離子量的差異。
2. 溶劑：RO 水	6.溫度：常溫		
3.溶液濃度：1000ppm	7.顯色劑：NH ₄ OH		
4.溶液體積：100ml	8.矽藻土質量：2g		
	9.矽藻土種類：工業用矽藻土		

1.操縱變因：用不同濃度的氫氧化鈉(1M、0.1M、0.01M)侵蝕矽藻土表面，來改變其



表面性質，並與未改質前的矽藻土做吸附量的比較。

(三)實驗步驟：

<p>1.配置濃度為 1M 的氫氧化鈉水溶液 250ml。</p> 	<p>2.將 10g 矽藻土置於步驟 1 的溶液中。</p> 	<p>3.靜置兩小時後使用 RO 水重複浸泡、清洗，以去除矽藻土中殘餘的氫氧化鈉。</p> 
<p>4.將洗淨後的矽藻土放入烤箱中烘乾後取出。</p> 	<p>5.秤量烘乾後的矽藻土 2g，並放入 1000ppm 的硫酸銅水溶液中。</p> 	<p>6.靜置 24 小時後過濾，加入氨水並使用分光光度計記錄其吸附量。</p>
<p>7.分別配置濃度 0.1M、0.01M 的氫氧化鈉水溶液 250ml 重複以上步驟 1~6，並記錄數據。</p>		

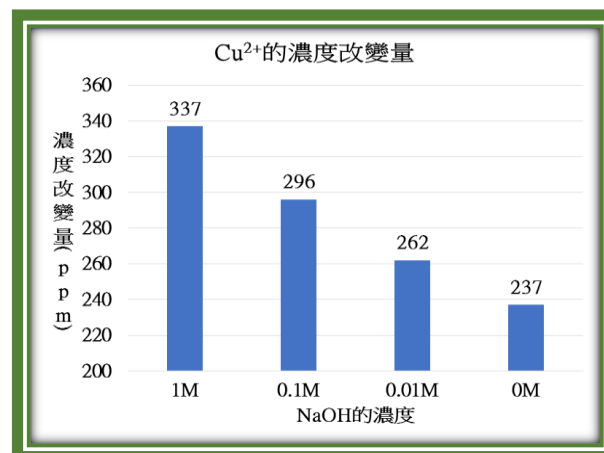
(四)實驗結果：

1. 矽藻土以不同濃度氫氧化鈉改質，吸附後的濃度差異：

實驗結果圖	
<p>吸附 24 小時</p>	
<p>濾液加氨水</p>	

2.實驗數據與圖表：

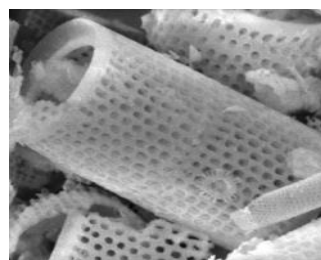
NaOH 的濃度	1M	0.1M	0.01M	0M
Cu ²⁺ 的殘餘量(ppm)	663	704	738	763
Cu ²⁺ 的改變量(ppm)	337	296	262	237



3.數據處理：0M 的數據使用 1-1(2g 矽藻土的實驗結果)，來做一個比較

(五)實驗討論

我們從實驗結果中發現，使用愈高濃度的氫氧化鈉改質矽藻土，會使銅離子的被吸附量愈高。原先的矽藻土表面本身就含有許多孔隙如圖 24(蘇育煒，2007)，而當矽藻土遇到氫氧化鈉時，會產生化學反應，其反應式為： $\text{SiO}_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ 。矽藻土表面會被氫氧化鈉慢慢侵蝕，侵蝕的過程中，其表面的孔隙會因侵蝕作用而變大，故銅離子就更容易進入矽藻土的孔隙內，吸附能力也就因此而變強。



▲圖 24 矽藻土放大圖
(資料來源:參考資料 11)

但實驗結果也顯示，矽藻土的吸附量並非隨著濃度等比例上升，由此顯示氫氧化鈉改質矽藻土的助益過程並非穩定的正成長，我們推論這是因為氫氧化鈉侵蝕矽藻土表面的過程雖然會增加孔隙大小，但同時也會使矽藻土表面積變小，使其帶負電的部分隨之減少(對 Cu²⁺的吸引力降低)，故表面積與孔隙率兩者並非隨濃度增加而同步變大，導致改質的 NaOH 濃度增加，吸附效率沒有等比例上升的現象。

陸、結論

一、【實驗 1-1】探討不同矽藻土質量對吸附銅離子量的影響

- (一)投入**矽藻土的質量愈多**，其可容納、吸附 Cu^{2+} 的孔隙總量會愈多，使**吸附總量隨之增加**。
- (二)每克矽藻土所能吸附的銅離子數量並非與矽藻土總質量完全成正比，因為**矽藻土與矽藻土之間會有重疊的部分**，使矽藻土能與硫酸銅水溶液**直接接觸的面積減少**，故當矽藻土重複堆疊的部分過多時，會使**吸附量不隨矽藻土質量增加而等比例上升**。

二、【實驗 1-2】探討吸附過程有無持續攪拌對矽藻土吸附銅離子的差異

- (一)在吸附過程中**持續攪拌會使矽藻土吸附銅離子的效果都比靜置好**，可以**減少**因為**堆疊**現象導致較大質量的矽藻土每克的吸附效益變差的現象。
- (二)但因矽藻土粉末極輕，攪拌 24 小時後需要(1)更多次的過濾以及(2)額外的靜置時間才能取出澄清的濾液來測濃度，故我們在後續實驗統一使用「**靜置 2g 矽藻土**」的方式來統一控制變因以達較大的時間與操作效益。

三、【實驗 1-3】探討不同時間對吸附銅離子量的影響

- (一)隨著**放置時間的增加**，**銅離子的被吸附量也會跟著增加**。
- (二)矽藻土的吸附速率到達 24 小時後變得非常緩慢，推測是因為矽藻土在吸附了 **24 小時**以後，**已經快接近吸附飽和的狀態**，所以吸附效率變差了。故我們後續實驗統一使用 **24 小時來當標準吸附時間**，以達較高的吸附效益。

四、【實驗 1-4】探討不同溫度下矽藻土吸附銅離子能力的差異

反應的溫度愈高，**矽藻土吸附的速率愈快**，**吸附量也愈多**。這是因為**粒子在高溫的環境下運動速率加快、碰撞頻率增加**，且矽藻土在高溫的環境下熱漲冷縮使表面的**孔隙變大**，使銅離子更易進入孔隙內而被吸附，可造成其吸附銅離子的效率提高、總量變多，故最後的吸附終點 50°C 的吸附總量比另外兩組高很多。

五、【實驗 1-5】探討不同矽藻土種類對銅離子吸附能力的差異

實驗結果發現，每克矽藻土的吸附量以農業用>食品級>工業用矽藻土，其中：

- (一)食品級矽藻土：含**二氧化矽比率高**，**未經鍛燒**，表面原始結構的堅硬銳利突刺結構完整，能吸附銅離子的總量與單位表面積皆大於工業用矽藻土，**吸附能力強**。
- (二)工業用矽藻土：含二氧化矽**純度最低**，且經鍛燒使突刺結構消失，能**吸附銅離子的總量較低**，單位表面積也較小。

(三)農業用矽藻土：通常會以**更高純度(含量高於平均值)的食品級矽藻土**當原料調配而成，故**吸附效果極佳**。

(四)但若以「**每元矽藻土所造成的 Cu^{2+} 濃度改變量(ppm/元)**」做比較，會發現工業用(1450 ppm/元)>農業用(570 ppm/元)>食品級(171 ppm/元)，代表**工業用矽藻土的性價比最高**，最適合當濾材使用。

六、【實驗 2-1】探討當水溶液含有不同濃度的其他電解質對矽藻土吸附 Cu^{2+} 的影響

(一)與 NaCl 濃度 0ppm 的純硫酸銅溶液相比，**有添加電解質 NaCl 的實驗都會使矽藻土的吸附量相對減少**；添加越多 NaCl 到硫酸銅水溶液，矽藻土吸附銅離子的效果愈差。

(二)矽藻土表面帶有負電荷，此帶**負電的特性可以幫助矽藻土更好的吸附重金屬陽離子**，但是這個實驗中，水溶液中帶正電的不只有銅離子，**還有氯化鈉解離出的 Na^+** ，兩者**互相干擾，導致矽藻土對銅離子的吸附量減少**。

七、【實驗 2-2】探討矽藻土在不同 pH 值的溶液中對銅離子的吸附差異

(一)當矽藻土吸附銅離子的**環境 pH 值愈低時，其吸附效果會愈差**，這是因為**矽藻土的表面含有大量的羧基**，而部分**羧基在水中會解離出氫離子來使矽藻土表面帶有負電的特性**，故帶有負電的表層對**吸附金屬陽離子**會有很大的幫助。

(二)如果將矽藻土放置在**酸性濃度較高**的環境中，其表面**羧基的氫離子會較難解離**，甚至有被**質子化而帶正電**的狀況。故矽藻土表面會由帶負電的特性變成帶正電，而大大的**影響其吸附 Cu^{2+} 的能力**。

(三)矽藻土表面電性並非完全決定其吸附能力的唯一因素，**矽藻土在強酸(pH=1)的環境下，並沒有產生「完全不吸附」的情形**，雖然矽藻土表面變為帶正電的狀態，但其實**矽藻土本身的結構就含有大量孔隙**，且**銅離子仍處於一個活動的狀態**，自然會有**擴散進入矽藻土的孔隙內而有被吸附的狀況**。

八、【實驗 2-3】以強酸使矽藻土脫附與再利用的探討

(一)濃酸環境可以使矽藻土吸附的銅離子脫附，這是因為矽藻土在濃酸的環境下，**表面羧基的特性會因為被質子化而帶正電**，使其對銅離子作用力由正負吸引變成**正正相斥**，部分**銅離子因此被脫附而出**。

(二)**脫附後的再次吸附率僅為原本的 56.54%**，證明雖然矽藻土可以藉由脫附的方式再次利用，但其**效果並沒有像第一次使用來的那麼好**。

九、【實驗3】探討以化學方法改質矽藻土對其吸附銅離子的影響。

- (一)使用愈高濃度的氫氧化鈉改質矽藻土，會使銅離子的被吸附量愈高。當**矽藻土遇到氫氧化鈉時，會產生化學反應使表面的孔隙變大**，銅離子就更容易進入矽藻土的孔隙內，使**吸附能力變強**。
- (二)矽藻土的**吸附量並非隨著改質的濃度等比例上升**，我們推論是因為**侵蝕的過程雖然會增加孔隙大小，但同時矽藻土表面積也會變小，使其帶負電的部分隨之減少(對 Cu²⁺的吸引力降低)**，故表面積與孔隙率兩者並非隨濃度增加而同步變大。

柒、參考資料

- 1.范哲綸、曾新凱(2013)。「蔗」麼「C」力-利用甘蔗渣-碳粉吸附重金屬離子。中華民國第 53 屆科學展覽會。
- 2.陳敬翰(2012)。吸金大法-果皮改善重金屬污染水之研究。中華民國第 52 屆科學展覽會。
- 3.王胤之、陳苡承、王語彤(2015)。石破天驚要「住益」~海岸山脈北段岩石特性之探討與應用。中華民國第 55 屆科學展覽會。
- 4.李儀緣、林芮綺、王詩瑋(2018)。香菜吸附汞之能力探討。全國高級中等學校小論文比賽。取自 <https://www.shs.edu.tw/works/essay/2018/03/2018030217242672.pdf>
- 5.矽藻土(硅藻土)。誼華實業。取自 <https://www.gihhwa.com/tw/DE.html>
- 6.朱健、王平、雷明婧、張偉麗(2012)。中南林業科技大學學報。第 32 卷 第 12 期 第 61 頁。
- 7.蔡文田、謝國鎔、賴智濰(2004)。pH 值和鹽度對矽藻土界達電位(ξ -potential)及陽離子交換容量(CEC)之影響。嘉南藥理科技大學專題研究計畫成果報告。
- 8.食品級矽藻土。台灣永衛有限公司。取自 <http://www.p-g.com.tw/>
- 9.矽藻土。吉弈企業有限公司。取自 <http://www.progo-zt.com/矽藻土-硅藻土、珪藻土.html>
10. 焙燒和煨燒硅藻土工藝對硅藻泥的影響。[每日頭條](#)。
取自 <https://kknews.cc/zh-hk/home/zvmy9l.html>
11. 蘇育煒、楊志軍、周永章(2007)。矽藻土對重金屬離子的吸附作用及其用於環境重金屬污染修復的研究評述。中山大學研究生學刊。第 28 卷 第 1 期 第 95 頁。

【評語】 030210

1. 作品具生活及環保實用性。
2. 目前已有很多矽藻土吸附重金屬離子的研究參考文獻故較不具創意。
3. 部分實驗缺乏空白對照組。

「銅」「矽」合力

→探討不同條件下矽藻土吸附銅離子的差異

壹、研究動機

我們常看到新聞報導學校附近的溪流是惡名昭彰的溪流，原因是這條溪的中、上游有心人士常將重金屬倒入溪流中。經相關單位檢測後，發現重金屬含量是標準值的 100 倍。所以我們希望能藉由本實驗發現更多能幫助減少重金屬汙染的材料與方法。

在某個因緣際會下，我們發現一種能製作杯墊的吸水材質－矽藻土，上網查證後發現是因為矽藻土本身孔隙率非常高，於是就想到，是否能利用「高孔隙率」的這個特性來吸附重金屬，就開始了這次的研究。

貳、實驗目的

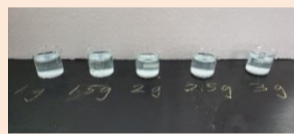
- 一、不同條件下(矽藻土質量、吸附過程有無持續攪拌、矽藻土種類、放置時間、溶液溫度)矽藻土對銅離子吸附的差異。
- 二、不同溶液的影響：(一)溶液中不同電解質濃度 (二)不同溶液 pH 值 (三)使用濃酸使矽藻土脫附與再再利用的探討
- 三、利用氫氧化鈉改質矽藻土表面對銅離子吸附的差異

參、研究過程、結果與討論

【實驗 1-1】探討不同質量的矽藻土對銅離子的吸附差異

實驗方法

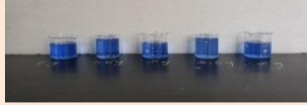
- 1.將 1g 的硫酸銅加入 RO 水溶解後，倒入 1000ml 定量瓶配成濃度為 1000mg/L \div 1000ppm 的硫酸銅水溶液，秤取 5 杯 100ml 的溶液。並秤量 5 份不同質量的矽藻土(分別為 1g、1.5g、2g、2.5g、3g)。
- 2.將秤量好的矽藻土分別倒入步驟 1 中的 5 杯硫酸銅溶液中，靜置 24 小時。
- 3.以濾紙過濾掉各杯的矽藻土，取澄清濾液 50ml，加入氨水 3ml 作為顯色劑。濾掉各杯的矽藻土，取澄清濾液 50ml，加入氨水 3ml 作為顯色劑。
- 4.使用分光光度計對硫酸銅進行全波掃描並製作檢量線測量硫酸銅溶液中 Cu^{2+} 的濃度並記錄數據。



▲1.配置溶液



▲2.過濾溶液

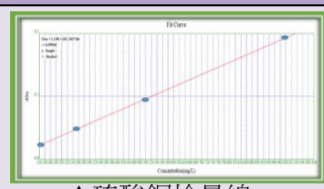


▲3.濾液加氨水

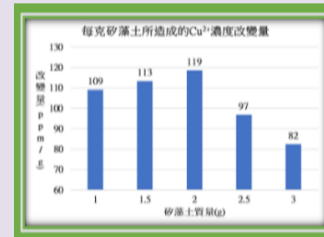


▲4.分光光度計測濃度

實驗結果

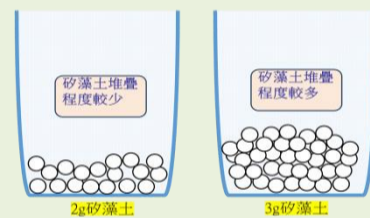


▲硫酸銅檢量線



實驗討論

- 1.隨著矽藻土的質量增加，溶液中的 Cu^{2+} 濃度的改變量愈大，因矽藻土越多，可容納 Cu^{2+} 的孔隙總量會愈多，吸附總量增加。
- 2.每克矽藻土所能吸附的銅離子量並不是與矽藻土總質量成正比，而是以 2 克矽藻土達到最佳效益，且超過 2g 之後的逐漸變差，因為矽藻土投入水中，會逐漸沉入杯底而有重疊的部分，使矽藻土與水溶液直接接觸的面積減少，且重複堆疊的部分過多，使投入的矽藻土量與孔隙增加率不成正比，吸附量不隨質量而等比例上升



【實驗 1-2】探討吸附過程有無持續攪拌對矽藻土吸附銅離子的差異

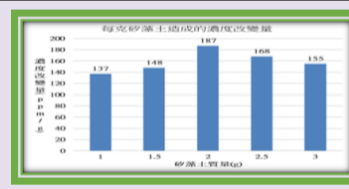
實驗方法

- 1.配置 Cu^{2+} 濃度為 1000ppm、體積 100ml 的水溶液並分別投入 1g、1.5g、2g、2.5g、3g 的工業用矽藻土。
- 2.在燒杯中放入攪拌子並置於磁石攪拌器上，於常溫下攪拌 24 小時後過濾。
- 3.時間到後取出並過濾，並測量其吸附量。



▲攪拌 24 小時

實驗結果



實驗討論

- 1.矽藻土持續攪拌會使吸附銅離子的效果比靜置好，因為較不會有堆疊現象使較大質量的矽藻土吸附效益變差，這是因為矽藻土由攪拌擴散到整杯溶液，減少堆疊的部分，矽藻土與銅離子的直接接觸面積增加，使銅離子更容易被吸引進孔隙，吸附能力因而增強。
- 2.我們發現矽藻土粉末輕，會因攪拌而四散在水溶液中，相較靜置 24 小時需更多次過濾、額外的靜置時間才能取出澄清的濾液，這些因素使我們在操作與測量上容易有誤差，且我們後續實驗需要較多組溶液，操作不便且不符合時間效益。故我們在後續實驗統一使用「靜置 2g 矽藻土」的方式來統一控制變因，以達較大的時間與操作效益。

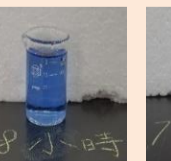
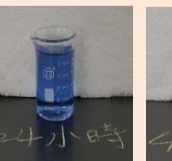
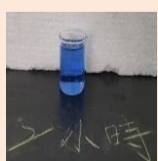


▲靜置 VS 攪拌

【實驗 1-3】探討不同放置時間下，矽藻土對銅離子的吸附差異

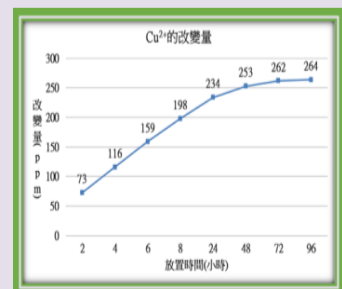
實驗方法

- 1.配置 6 杯濃度 1000ppm、體積 100ml 的硫酸銅水溶液，並加入 2 克矽藻土。
- 2.常溫下放置不同時間(2hr、4hr、6hr、8hr、24hr、48hr、72hr、96hr)。
- 3.時間到後分別取出並過濾，並測量其吸附量。



▲放置不同時間

實驗結果



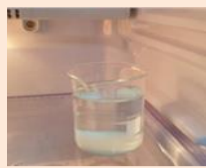
實驗討論

- 1.銅離子改變量會隨時間增加而變大，因為放置時間越長，矽藻土吸附銅離子的時間越多。
- 2.實驗前期殘餘量變化，矽藻土的吸附速率快且穩定，實驗後期，雖然有相當長的吸附時間，但吸附效率卻減慢非常多。
- 3.放置時間 48 小時後，吸附速率變得緩慢，吸附將近飽和；與 24 小時相比，雖然吸附時間兩倍，但吸附量沒有變兩倍，為了後續實驗的方便，我們選擇吸附量已大致接近飽和的 24 小時來當後續實驗的標準吸附時間，達較高的操作效益。

【實驗 1-4】探討不同溶液溫度矽藻土對銅離子的吸附差異

實驗步驟

- 1.配置濃度 1000ppm、體積 100ml 的硫酸銅水溶液後加入 2g 矽藻土，並放入 10°C 的冰箱、約 25°C 的常溫下和 50°C 的恆溫槽中。
- 2.分別放置 2、4、6、8、24、48、72 及 96 小時後取出觀察，並以分光光度計記錄其吸附量的差異。



▲置於恆溫槽中

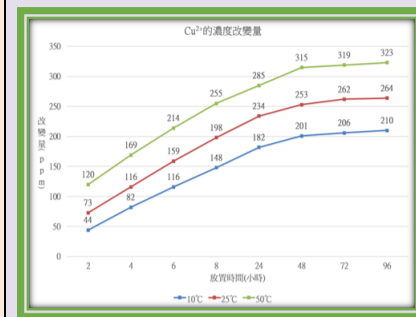
▲置於常溫下

▲置於冰箱中

▲不同溫度硫酸銅水溶液

▲濾液加氨水

實驗結果



實驗討論

- 1.溫度愈高，矽藻土的吸附速率愈快：因矽藻土在高溫的環境下因熱漲冷縮使表面的孔隙變大，讓銅離子更容易進入孔隙內造成吸附效率提高。
- 2.另外我們發現 50°C 的吸附效率在 2~8 小時的吸附量遠高於另外兩種溫度。但到 8~24 小時的每小時吸附量卻遠低於其他兩組，因為在 50°C 的反應溫度下，到了 8 小時已經快要到達吸附飽和的狀態，導致其吸附速率變得相當的慢。

【實驗 1-5】探討不同矽藻土種類對吸附銅離子的影響

實驗步驟

- 1.配置濃度 1000ppm、體積 100ml 的硫酸銅水溶液加入 2g 農業用、工業用及食品級矽藻土。
- 2.靜置於常溫下 24 小時後過濾並加入氨水作為顯色劑，使用分光光度計記錄其吸附量。



▲農業用

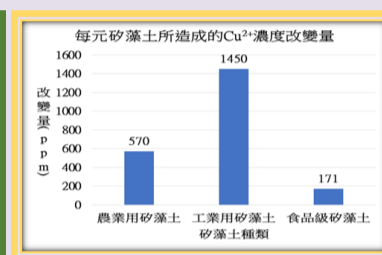
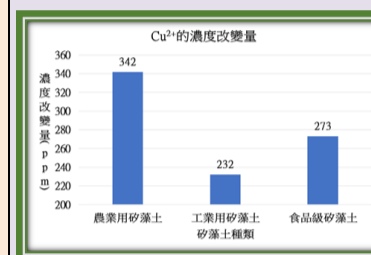
▲工業用

▲食品級

▲吸附 24 小時

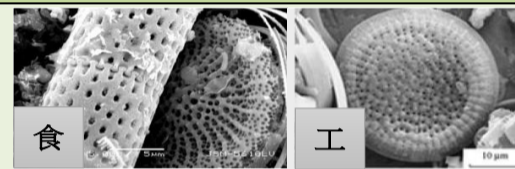
▲濾液加氨水

實驗結果



實驗討論

- 1.每克矽藻土所造成的濃度改變量以**農業用效果最佳，工業用效果最差**，這是因為食品與農業級的**二氧化矽含量較高**能吸附的銅離子總量較多，且**沒有經過鍛燒**，故其表面原始的**突刺結構仍在**，**單位表面積大於鍛燒過的工業用矽藻土**，故吸附能力佳。
- 2.另外我們將不同矽種的「**總吸附量**」除以他們的「**單位價格**」，得到**每元矽藻土可吸附的銅離子總量**後發現**農用與食用矽藻土的單位成本太高**，不適合大量投入廢液處理中，相反的**工業用矽藻土每單位台幣所能處理的廢液量是最大的**，其性價比相當高，故我們建議選擇工業用矽藻土當廢液吸附劑最符合經濟效益。



▲矽藻土結構：食品級 VS 工業用

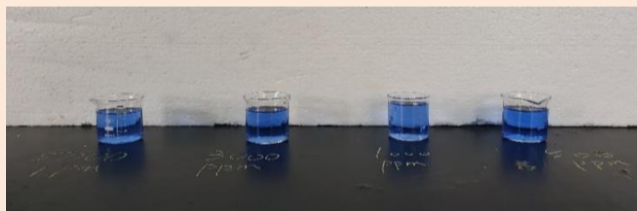
【實驗 2-1】探討當水溶液含有不同濃度的其他電解質對矽藻土吸附 Cu²⁺的影響

實驗步驟

- 1.配置氯化鈉濃度為 5000ppm、3000ppm、1000ppm 及 500ppm，Cu²⁺濃度相同(1000ppm)的水溶液 4 杯並各取 100ml 後，分別投入 2g 的工業用矽藻土。
- 2.靜置於常溫下 24 小時後過濾並加入氨水作為顯色劑，使用分光光度計記錄其吸附量。

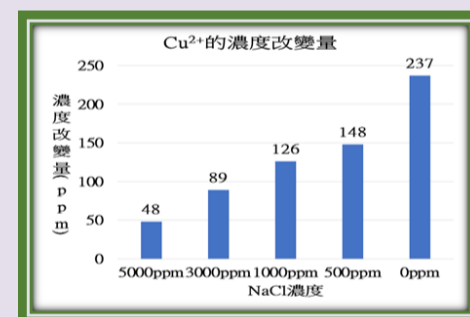


▲不同濃度的 NaCl 水溶液



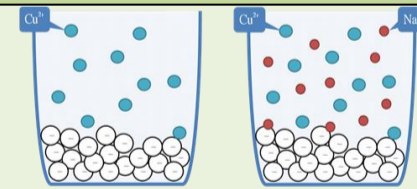
▲濾液加氨水

實驗結果



實驗討論

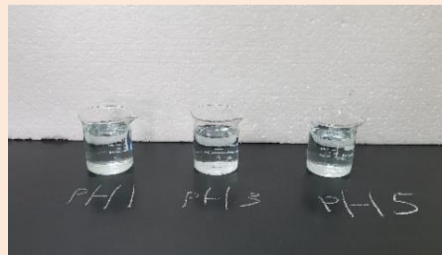
- 添加**越多 NaCl** 到硫酸銅水溶液中，會**使矽藻土吸附銅離子的效果愈差**，因矽藻土表面有帶負電的特性可以幫助矽藻土更好的吸附重金屬陽離子，但水溶液中帶正電的除了銅離子還有 Na⁺，故水中含越多 NaCl 使矽藻土對銅離子的吸附越差。



【實驗 2-2】探討矽藻土在不同 pH 值的溶液中對銅離子的吸附差異

實驗步驟

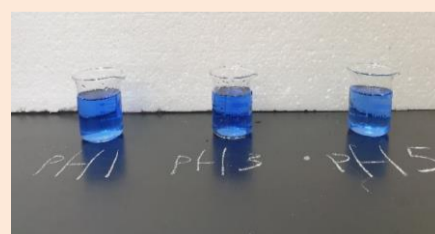
- 1.配置 pH 值不同(分別為 1、3、5)，但 Cu²⁺濃度相同(1000ppm)的水溶液各取 100ml 後投入 2g 的工業用矽藻土。
- 2.靜置於常溫下 24 小時後過濾並加入氨水作為顯色劑，使用分光光度計記錄其吸附量。



▲不同 pH 值的溶液

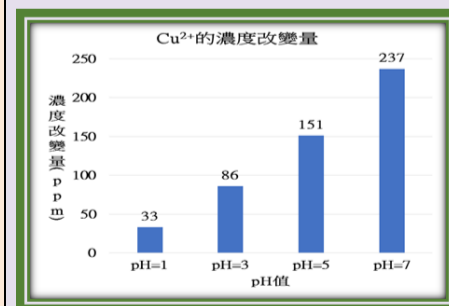


▲吸附 24 小時



▲濾液加氨水

實驗結果

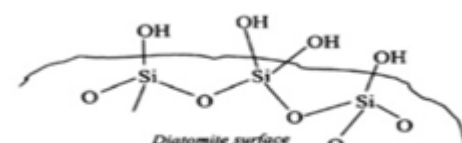


實驗討論

- 環境 pH 值愈低，矽藻土吸附銅離子的效果會愈差，經過多番查詢資料與討論我們發現這是因為**矽藻土的表面含有大量的羧基**，而部分羧基在水中會解離出氫離子，使矽藻土表面帶有負電的特性 (SiOH→SiO⁻+H⁺)，故帶有負電的表層對於吸附金屬陽離子會有很大的幫助。

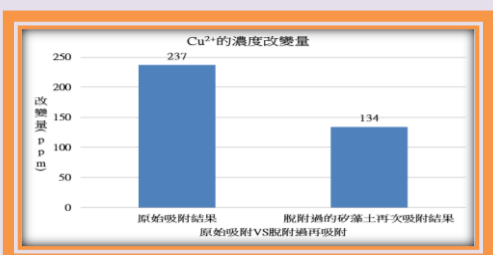
- 如果將**矽藻土放置在酸性濃度較高的環境中**，其表面**羧基的氫離子會較難解離**，甚至有被質子化而帶**正電的狀況**，而大大的影響其吸附 Cu²⁺的能力，故矽藻土在環境 pH 值愈低時，其吸附效果會愈差。

- 不過矽藻土表面電性並非完全決定其吸附能力的唯一因素，實驗數據顯示矽藻土在強酸(pH=1)的環境下，仍然會吸附少許的銅離子，並沒有產生「**完全不吸附**」的情形，但其實**矽藻土本身的結構就含有大量孔隙**，就算表面對銅離子的吸引力不強，但銅離子仍然處於一個活動的狀態，自然會有銅離子擴散進入矽藻土的孔隙內而有被吸附的狀況。



▲矽藻土表面結構圖

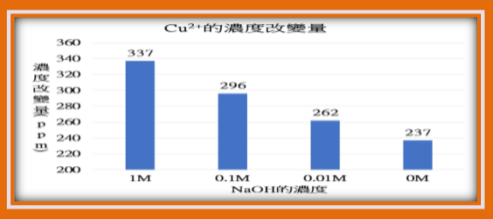
【實驗 2-3】以濃酸使矽藻土脫附與再利用的探討

實驗步驟	實驗結果
<p>1.將 2g 矽藻土加入 1000ppm、體積 100ml 的硫酸銅水溶液後靜置 24 小時，使用 RO 水重複清洗矽藻土並放入烤箱烘乾。</p> <p>2.再將烘乾的矽藻土投入 pH=1、體積 100ml 的鹽酸中靜置 24 小時進行脫附後，使用 RO 水清洗，並放入烤箱烘乾。</p> <p>3.最後把脫附過的矽藻土再次投入 1000ppm、體積 100ml 的硫酸銅水溶液中，靜置 24 小時後過濾、並測量其吸附量。</p>	 <p>▲酸洗</p> <p>▲入烤箱</p>

實驗討論

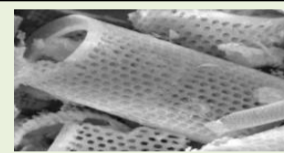
實驗結果發現高濃度的酸可以使原本將近吸附飽和的矽藻土進行脫附，且脫附後的矽藻土還可以進行第二次吸附，這是因為，矽藻土在低 pH 值的環境下，表面羧基的特性會因為被質子化而帶正電，使其對銅離子作用力由正負吸引變成正正相斥，部分銅離子因此被脫附而出。另外我們也發現，雖然脫附後仍然可以再吸附，但其吸附率僅為原始矽藻土的 56.54%，證明仍然有少許銅離子仍留在孔隙內無法脫附。

【實驗 3】探討以化學方法改質矽藻土對其吸附銅離子的影響

實驗步驟	實驗結果
<p>1.配置濃度為 1M、0.1M、0.01M 的氫氧化鈉溶液，再將 10g 的矽藻土置於其中，靜置兩小時後，使用 RO 水清洗，並放入烤箱烘乾。</p> <p>2.把改質過的矽藻土再次投入 1000ppm、體積 100ml 的硫酸銅水溶液中，靜置 24 小時後過濾，並測量其吸附量。</p>	 <p>▲放入烤箱烘乾</p> <p>▲泡於鹼液</p>

實驗討論

以愈高濃度的氫氧化鈉改質矽藻土，會使銅離子的被吸附量愈高。因為原先的矽藻土表面就含有許多孔隙，而矽藻土遇到氫氧化鈉時，會產生化學反應，其反應式為： $\text{SiO}_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ 。矽藻土表面會被氫氧化鈉慢慢侵蝕，侵蝕的過程中，其表面的孔隙會因侵蝕作用而變大，故銅離子就更容易進入矽藻土的孔隙內，吸附能力也就因此而變強。



▲矽藻土放大圖

肆、結論

一、【實驗 1-1】探討不同矽藻土質量對吸附銅離子量的影響：(一)投入矽藻土的質量愈多，其可容納、吸附 Cu^{2+} 的孔隙總量會愈多，使吸附總量隨之增加。(二)每克矽藻土所能吸附的銅離子數量並非與矽藻土總質量完全成正比，因為矽藻土與矽藻土之間會有重疊的部分，使矽藻土能與硫酸銅水溶液直接接觸的面積減少。

二、【實驗 1-2】探討吸附過程有無持續攪拌對矽藻土吸附銅離子的差異：(一)在吸附過程中持續攪拌會使矽藻土吸附銅離子的效果都比靜置好，這是因為可以減少堆疊現象使吸附效益變好。(二)但因矽藻土粉末極輕，攪拌 24 小時後需要(1)更多次的過濾以及(2)額外的靜置時間才能取出澄清的濾液來測濃度，故我們在後續實驗統一使用「靜置 2g 矽藻土」的方式來統一控制變因，以達較大的時間與操作效益。

三、【實驗 1-3】探討不同時間對吸附銅離子量的影響：(一)隨著放置時間的增加，銅離子的被吸附量也會跟著增加。(二)矽藻土的吸附速率到達 24 小時後變得非常緩慢，推測是因為矽藻土在吸附了 24 小時以後，已經快接近吸附飽和的狀態。故我們後續實驗統一使用 24 小時來當標準吸附時間。

四、【實驗 1-4】探討不同溫度下矽藻土吸附銅離子能力的差異：反應的溫度愈高，矽藻土吸附的速率愈快，吸附量也愈多。這是因為粒子在高溫的環境下運動速率加快、碰撞頻率增加，且矽藻土在高溫的環境下熱漲冷縮使表面的孔隙變大，使銅離子更易進入孔隙內而被吸附。

五、【實驗 1-5】探討不同矽藻土種類對銅離子吸附能力的差異：結果發現，每克矽藻土的吸附量以農業用>食品級>工業用 (一)食品級矽藻土含二氧化矽比率高，未經鍛燒，表面原始結構的堅硬銳利突刺結構完整，能吸附銅離子的總量與單位表面積皆大於工業用矽藻土，吸附能力強。(二)工業用矽藻土含二氧化矽純度最低，且經鍛燒使突刺結構消失，能吸附銅離子的總量較低，單位表面積也較小。(三)農業用矽藻土以更高純度的食品級矽藻土當原料調配，吸附效果極佳。(四)以「每元矽藻土所造成的 Cu^{2+} 濃度改變量(ppm/元)」做比較，會發現工業用>農業用>食品級，代表工業用矽藻土的性價比最高，最適合當濾材使用。

六、【實驗 2-1】探討當水溶液含有不同濃度的其他電解質對矽藻土吸附 Cu^{2+} 的影響：(一)與 NaCl 濃度 0ppm 的純硫酸銅溶液相比，有添加電解質 NaCl 的溶液使矽藻土的吸附量相對減少；添加越多 NaCl 到硫酸銅水溶液，矽藻土吸附銅離子的效果愈差。(二)矽藻土表面帶有負電荷，此帶負電的特性可以幫助矽藻土更好的吸附重金屬陽離子，但是這個實驗中，水溶液中帶正電的不只有銅離子，還有氯化鈉解離出的 Na^+ ，兩者互相干擾，導致矽藻土對銅離子的吸附量減少。

七、【實驗 2-2】探討矽藻土在不同 pH 值的溶液中對銅離子的吸附差異：(一)矽藻土吸附銅離子的環境 pH 值愈低時，其吸附效果會愈差，這是因為矽藻土的表面含有大量的羧基，而部分羧基在水中會解離出氫離子，使矽藻土表面帶有負電的特性，故帶有負電的表層對吸附金屬陽離子會有很大的幫助。(二)如果將矽藻土放置在酸性濃度較高的環境中，其表面羧基的氫離子會較難解離，甚至有被質子化而帶正電的狀況。矽藻土表面會由帶負電的特性變成帶正電，而影響其吸附 Cu^{2+} 的能力。(三)矽藻土表面電性並非完全決定其吸附能力的唯一因素，矽藻土在濃酸(pH=1)的環境下，並沒有產生「完全不吸附」的情形，因為矽藻土本身的結構就含有大量孔隙，就算吸引力不強，仍會有擴散進入矽藻土孔隙內的銅離子。

八、【實驗 2-3】以濃酸使矽藻土脫附與再利用的探討：(一)濃酸環境可以使矽藻土吸附的銅離子脫附，因矽藻土在濃酸環境下，表面羧基的特性會因為被質子化而帶正電，其對銅離子作用力由正負吸引變成正正相斥，部分銅離子被脫附而出。(二)脫附後的再次吸附率僅為原本的 56.54%，證明雖然矽藻土可以藉由脫附的方式再次利用，但效果並沒有像第一次使用來的那麼好。

九、【實驗 3】探討以化學方法改質矽藻土對其吸附銅離子的影響：(一)使用愈高濃度的氫氧化鈉改質矽藻土，會使銅離子的被吸附量愈高。當矽藻土遇到氫氧化鈉時，會產生化學反應使表面的孔隙變大，銅離子就更容易進入矽藻土的孔隙內，使吸附能力變強。(二)矽藻土的吸附量並非隨著改質濃度等比例上升，我們推論是因為侵蝕的過程雖然會增加孔隙大小，但同時矽藻土表面積也會變小，使其帶負電的部分隨之減少(對 Cu^{2+} 的吸引力降低)，故表面積與孔隙率並非隨濃度增加而同步變大。

伍、參考資料

- 1.范哲綸、曾新凱(2013)。「蔗」麼「C」力-利用甘蔗渣-碳粉吸附重金屬離子。中華民國第 53 屆科學展覽會。
- 2.陳敬翰(2012)。吸金大法-果皮改善重金屬污染水之研究。中華民國第 52 屆科學展覽會。
- 3.朱健、王平、雷明婧、張偉麗(2012)。中南林業科技大學學報。第 32 卷 第 12 期 第 61 頁。
- 4.蔡文田 (2004)。pH 值和鹽度對矽藻土界達電位及陽離子交換容量(CEC)之影響。嘉南藥理科技大學專題研究計畫成果報告。