

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國中組 化學科

最佳團隊合作獎

030206

磁性樹脂來連矽－磁性離子交換樹脂之探討

學校名稱：宜蘭縣立復興國民中學

作者：  國三 戴雅萱  國三 邱羿蓁  國三 林鈺庭	指導老師：  岩忠永  黃立宇
---	-----------------------------

關鍵詞：矽酸鈉、離子交換樹脂、pH 值

## 摘要

本實驗中的氧化鐵 ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )先以水玻璃(矽酸鈉)包覆在其表面，可避免其在受到酸鹼的腐蝕，由於表面帶電的影響，在pH值為7時， $\text{SiO}_2$ 在 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 表面膠結的效果最好，包覆過 $\text{SiO}_2$ 的 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 可穩定與離子交換樹脂結合，使離子交換樹脂具有磁性，經外加磁場將之與廢液更有效的分離，磁性陽離子交換樹脂對溶液中的 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$ 、 $\text{Cr}^{3+}$ ，進行吸附時，發現在pH值5至7時，對上述陽離子有很好的吸附效果；當溫度及磁性陽離子交換樹脂質量增加，也可增加吸附的效果，三種金屬離子的吸附效果則是 $\text{Cr}^{3+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+}$ 。磁性陰離子交換樹脂對溶液中的甲基藍及甲基橙進行吸附時，在pH值6至7時，對上述陰離子染劑有不錯的吸附效果，溫度及磁性陰離子交換樹脂質量增加，也可增加吸附的效果，兩種陰離子染劑的吸附效果則是甲基橙  $>$  甲基藍。

## 壹、研究動機

身為三個小小國中生的我們，一次在Youtube中看到有關廢水分離的影片，我們突然有了一個新奇的想法，想要將氧化鐵和離子交換樹脂結合，使離子交換樹脂帶有磁性，經由外加的磁場，更容易和廢液分離，經過許久的討論、資料的蒐集和題材的發想，我們便開始了這個研究。

## 貳、研究目的

- 一、了解離子交換樹脂及水玻璃( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )的原理
- 二、將離子交換樹脂透過 $\text{SiO}_2$ ，和 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 接合在一起，製成磁性離子交換樹脂。
- 三、了解以上所製作磁性陽離子交換樹脂對金屬離子吸附的狀況。
- 四、了解以上所製作磁性陰離子交換樹脂對陰離子染料的吸附能力。

## 參、研究原理及方法

### 一、矽酸鈉（化學式： $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ）

俗稱泡花鹼，是一種無色、透明的粘稠狀固體，矽酸鈉由石英砂與碳酸鈉熔合而成；溶於水呈鹼性，其透明的漿狀溶液稱為水玻璃，矽酸鈉遇酸分解，析出矽酸的膠狀溶液。裝有  $\text{NaOH}$  的玻璃容器（如試管）不能用玻璃塞塞住，因為  $\text{NaOH}$  會與玻璃中的  $\text{SiO}_2$  反應生成粘稠狀  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  堵塞試管口，矽酸鈉溶液也不可不用玻璃塞，而應用橡膠塞或軟木塞。

### 二、離子交換樹脂

離子交換樹脂常見的材質是聚苯乙烯-苯二乙烯 ( $\text{polystyrenedivinylbenzene}$ )，它是由苯乙烯 ( $\text{styrene}$ ) 和苯二乙烯 ( $\text{divinylbenzene}$ ) 聚合產生的三維網狀結構，根據交換樹脂的性能，分為陽離子與陰離子交換樹脂。

### 1. 陽離子交換樹脂

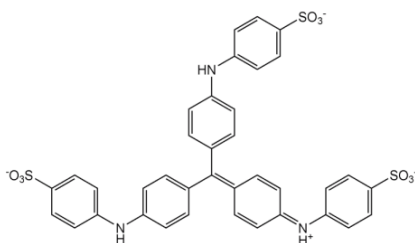
分為強酸型、中強酸型和弱酸型三類，強酸型樹脂含有  $-R-SO_3H$ ，中強酸型樹脂含有  $-PO_3H_2$ 、 $-PO_2H_2$  或  $-O-PO_2H_2$ ，弱酸型樹脂含有  $-COOH$  或  $-OH$ 。

### 2. 陰離子交換樹脂

分為強鹼型、中強鹼型和弱鹼型三類，含有銨鹽，四級銨鹽  $[-N^+(CH_3)_3]$  為強鹼型樹脂，三級以下銨鹽  $[-N(CH_3)_2]$ 、 $[-NHCH_3]$ 、 $[-NH_2]$  都屬弱鹼型樹脂；同時具有強鹼和弱鹼型基團的，為中強鹼型的樹脂。

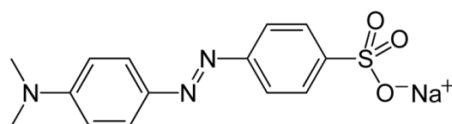
## 三、甲基藍 (Methyl blue)

甲基藍是弱酸性染料，能溶於水和酒精。甲基藍在動植物的製片技術方面應用極廣。它跟伊紅合用能染神經細胞，也是細菌製片中不可缺少的染料。它的水溶液是原生動物的活體染色劑。甲基藍極易氧化，因此用它染色後不能長久保存。



## 四、甲基橙 (Methyl orange)

甲基橙是一種常用的酸鹼指示劑或 pH 指示劑，橙黃色粉末或魚鱗狀晶體有時顯紅色，溶於水，較易溶於熱水，不溶於乙醇等有機溶劑，又名做金蓮橙 D、(酸性)Ⅲ號橙，甲基橙(methyl orange)本身為酸性，變色範圍為 pH:3.1~4.4，pH<3.1 時變紅，pH>4.4 時變黃，pH 在 3.1~4.4 時呈橙色。



## 五、比爾定律 (Beer law)

在單光輻射中，散射值直接正比於通過介質與濃度  $c$  之吸收物種的光徑  $b$ ，其關係式可表示成：

$$A = \epsilon bc$$

A：吸收值 (absorbance) = O.D (光學密度) = E (消光值)

$\epsilon$ ：莫耳吸收係數 (molar absorption coefficient)

單位為  $dm^3 / (mol \cdot cm) = L / mol \cdot cm$

b：cell thickness = 1 cm

c：容積莫耳濃度，單位: mol / L = mol /  $dm^3$

## 肆、研究設備及器材

(實驗器材)：電子秤、刮杓、量筒、試管、滴管、稱量紙、試管刷、分光光度計、

往復恆溫震盪器、pH 計、電子天平、乾燥箱、電動攪拌器。  
(實驗藥品)：矽酸鈉( $\text{NaO} \cdot \text{SiO}_2$ )、四氧化三鐵( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )、氫氧化鈉( $\text{NaOH}$ )、硫酸( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )、硫酸銅( $\text{CuSO}_4$ )、硫酸鋅( $\text{ZnSO}_4$ )、硝酸鉻  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ 、甲基藍( $\text{C}_{37}\text{H}_{27}\text{N}_3\text{Na}_2\text{O}_9\text{S}_3$ )、甲基橙( $\text{C}_{14}\text{H}_{14}\text{N}_3\text{NaO}_3\text{S}$ )、鉬酸銨  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 、陽離子交換樹脂、陰離子交換樹脂

## 伍、實驗步驟

### 實驗一 將二氧化矽包覆於 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 表面並接上離子交換樹脂

- 1.取 20 g 的  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  加入 1080 ml 的蒸餾水中混合，以 1M 的  $\text{NaOH}$  調整混合液的 pH 值約 9 再加熱。
- 2.當溫度達  $90^\circ\text{C}$  後加入 10% 矽酸鈉水溶液 120ml，以攪拌 30 分鐘，接著用 2.5M 的  $\text{H}_2\text{SO}_4$  調整混合液至 pH 值約為 2，再持續攪拌半小時。
- 3.以酒精及蒸餾水清洗反產物，放置於乾燥箱中烘乾。
- 4.重複步驟 1 至步驟 3，將步驟 2 中 10% 矽酸鈉水溶液 120ml 改為 20%。
- 5.將上述乾燥後的粒子，置於乾燥箱烘乾，測量質量。
- 6.將步驟 2 的 pH 值改別改為 3 至 9，重複步驟 1 至步驟 5，測量質量。
- 7.分別配置以  $\text{NaOH}$  及  $\text{H}_2\text{SO}_4$  配置 pH 值 2 ~ 12 的溶液 100ml，各加入 0.5g 的包覆過  $\text{SiO}_2$  的  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ，震盪 24 小時，以強力磁鐵將包覆過  $\text{SiO}_2$  的  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  吸附至底部，取上層溶液 25ml，加入 1ml 的鉬酸銨及 0.5ml 的  $\text{HCl}$ ，將分光光度計波長調整至 490nm，測量其吸收度。
- 8.將包覆好  $\text{SiO}_2$  的  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  分別加入陰、陽離子交換樹脂溶液，以電動攪拌器攪拌 24 小時將磁性離子交換樹脂取出後，以用蒸餾水清洗後，再置於乾燥箱中烘乾。

### 實驗二 以磁性陽離子交換樹脂對銅離子的吸附

- 1.將分光光度計波長調整至 600nm，繪製銅離子檢量線。
- 2.調製不同 pH 值(2~12) 500ppm  $\text{Cu}^{2+}$  溶液 100ml，分別加入 4g 陽離子樹脂粒子震盪 24 小時後，以強力磁鐵將磁性陽離子交換樹脂吸附至底部，取上層溶液，以分光光度計測量  $\text{Cu}^{2+}$  濃度。
- 3.取 2g、4g、6g、8g、10g 磁性陽離子交換樹脂，分別加入 500ppm、250ml 的  $\text{Cu}^{2+}$  溶液中震盪，每隔 2 小時以強力磁鐵將磁性陽離子交換樹脂吸附至底部，取上層溶液，以分光光度計測量  $\text{Cu}^{2+}$  濃度。
- 4.取 4g 磁性陽離子交換樹脂，分別加入 500ppm、100ml 的  $\text{Cu}^{2+}$  溶液中，放置在溫度分別為  $25^\circ\text{C}$ 、 $35^\circ\text{C}$ 、 $45^\circ\text{C}$ 、 $55^\circ\text{C}$ 、 $65^\circ\text{C}$ 、 $75^\circ\text{C}$ 、 $85^\circ\text{C}$  恆溫槽中震盪，每隔 6 小時以強力磁鐵將磁性陽離子交換樹脂吸附至底部，取上層溶液，以分光光度計測量  $\text{Cu}^{2+}$  濃度。
- 5.取 4g 磁性陽離子交換樹脂分別加入 100ppm、200ppm、300ppm、400ppm、500ppm 的 100 ml  $\text{Cu}^{2+}$  溶液中，震盪 24 小時後，以強力磁鐵將陽磁性陽

離子交換樹脂吸附至底部，以分光光度計測量  $\text{Cu}^{2+}$  濃度。

### 實驗三 以磁性陽離子交換樹脂對鋅離子的吸附

1. 調製不同 pH 值(2~12) 500ppm  $\text{Zn}^{2+}$  溶液 100ml，分別加入 4g 磁性陽離子交換樹脂震盪 24 小時後，以強力磁鐵將磁性陽離子交換樹脂吸附至底部，取上層溶液，測量  $\text{Zn}^{2+}$  濃度。
2. 取 2g、4g、6g、8g、10g 磁性陽離子交換樹脂，分別加入 500ppm、250ml 的  $\text{Zn}^{2+}$  溶液中震盪，每隔 2 小時以強力磁鐵將磁性陽離子交換樹脂吸附至底部，取上層溶液，測量  $\text{Zn}^{2+}$  濃度。
3. 取 4g 磁性陽離子交換樹脂，分別加入 500ppm、100ml 的  $\text{Zn}^{2+}$  溶液中，放置在溫度分別為 25°C、35°C、45°C、55°C、65°C、75°C、85°C 恆溫槽中震盪，每隔 6 小時以強力磁鐵將磁性陽離子交換樹脂吸附至底部，取上層溶液，測量  $\text{Zn}^{2+}$  濃度。
4. 取 4g 磁性陽離子交換樹脂分別加入 100ppm、200ppm、300ppm、400ppm、500ppm 的 100 ml  $\text{Zn}^{2+}$  溶液中，震盪 24 小時後，以強力磁鐵將磁性陽離子交換樹脂吸附至底部，測量  $\text{Zn}^{2+}$  濃度。
5. 以分光光度計測量鋅離子的檢測步驟如下所示：
  - (1) 鍵入 Zinc 儲存的程式號碼。
  - (2) 旋轉刻度盤至 620nm。
  - (3) 放入 10mL 的 Cell Riser。
  - (4) 倒入 10mL 的試劑。
  - (5) 加入 Zinco Ver 5 的粉末至粉末溶解。
  - (6) 倒出 10mL 試劑到空瓶中備用。
  - (7) 再加入 0.5mL 的 cyclohexanone。
  - (8) 用力搖晃 30 秒。
  - (9) 按下 SHIFT TIMER，等待三分鐘。
  - (10) 將試劑都倒出來。
  - (11) 歸零後，開始測量。

### 實驗四 以磁性陽離子交換樹脂對鉻離子的吸附

1. 將分光光度計波長調整至 415nm，繪製鉻離子檢量線。
2. 調製不同 pH 值(2~12) 500ppm  $\text{Cr}^{3+}$  溶液 100ml，分別加入 4g 磁性陽離子交換樹脂震盪 24 小時後，以強力磁鐵將磁性陽離子交換樹脂吸附至底部，取上層溶液，以分光光度計測量  $\text{Cr}^{3+}$  濃度。
3. 取 2g、4g、6g、8g、10g 磁性陽離子交換樹脂，分別加入 500ppm、250ml 的  $\text{Cr}^{3+}$  溶液震盪，每隔 2 小時以強力磁鐵將磁性陽離子交換樹脂吸附至底部，取上層溶液，以分光光度計測量  $\text{Cr}^{3+}$  濃度。
4. 取 4g 磁性陽離子交換樹脂，分別加入 500ppm、100ml 的  $\text{Cr}^{3+}$  溶液中，放

置在溫度分別為 25°C、35°C、45°C、55°C、65°C、75°C、85°C 恆溫槽中震盪，每隔 6 小時以強力磁鐵將磁性陽離子交換樹脂吸附至底部，取上層溶液，以分光光度計測量  $\text{Cr}^{3+}$  濃度。

5. 取 4g 磁性陽離子交換樹脂分別加入 100ppm、200ppm、300ppm、400ppm、500ppm 的 100 ml  $\text{Cr}^{3+}$  溶液中，震盪 24 小時後，以強力磁鐵將磁性陽離子交換樹脂吸附至底部，以分光光度計測量  $\text{Cr}^{3+}$  濃度。

#### 實驗五 以磁性陰離子交換樹脂對甲基藍的吸附

1. 將分光光度計波長調整至 620nm，繪製甲基藍檢量線。
2. 調製不同 pH 值(2~12) 100ppm 甲基藍溶液 100ml，分別加入 0.2g 磁性陰離子交換樹脂震盪 24 小時後，以強力磁鐵將磁性陰離子交換樹脂吸附至底部，取上層溶液，以分光光度計測量甲基藍濃度。
3. 取 0.2g、0.4g、0.6g、0.8g、1.0g 磁性陰離子交換樹脂，分別加入 100ppm、100ml 的甲基藍溶液中震盪，每隔 2 小時以強力磁鐵將磁性陰離子交換樹脂吸附至底部，取上層溶液，以分光光度計測量甲基藍濃度。
4. 取 0.2g 陰離子樹脂粒子，分別加入 100ppm、100ml 的甲基藍溶液中，放置在溫度分別為 25°C、35°C、45°C、55°C、65°C、75°C、85°C 恆溫槽中震盪，每隔 6 小時以強力磁鐵將磁性陰離子交換樹脂吸附至底部，取上層溶液，以分光光度計測量甲基藍濃度。
5. 取 0.2g 磁性陰離子交換樹脂分別加入 20ppm、40ppm、60ppm、80ppm、100ppm 的 100 ml 甲基藍溶液中震盪，震盪 24 小時後，以強力磁鐵將磁性陰離子交換樹脂吸附至底部，以分光光度計測量甲基藍濃度。

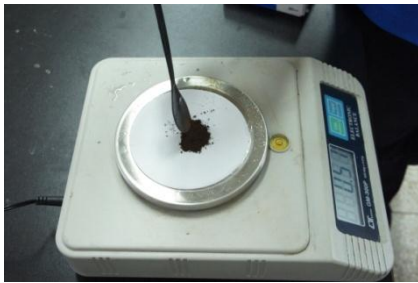





#### 實驗六 以磁性陰離子交換樹脂對甲基橙的吸附

1. 將分光光度計波長調整至 350nm，繪製甲基橙檢量線。
2. 調製不同 pH 值(2~12) 100ppm 甲基橙溶液 100ml，分別加入 0.2g 磁性陰離子交換樹脂震盪 24 小時後，以強力磁鐵將磁性陰離子交換樹脂吸附至底部，取上層溶液，以分光光度計測量甲基橙濃度。
3. 取 0.2g、0.4g、0.6g、0.8g、1.0g 磁性陰離子交換樹脂，分別加入 100ppm、100ml 的甲基橙溶液中震盪，每隔 2 小時以強力磁鐵將磁性陰離子交換樹脂吸附至底部，取上層溶液，以分光光度計測量甲基橙濃度。
4. 取 0.2g 磁性陰離子交換樹脂，分別加入 100ppm、100ml 的甲基橙溶液中，放置在溫度分別為 25°C、35°C、45°C、55°C、65°C、75°C、85°C 恆溫槽中震盪，每隔 6 小時以強力磁鐵將磁性陰離子交換樹脂吸附至底部，取上層溶液，以分光光度計測量甲基橙濃度。
5. 取 0.2g 磁性陰離子交換樹脂分別加入 20ppm、40ppm、60ppm、80ppm、100ppm 的 100 ml 甲基橙溶液中震盪，震盪 24 小時後，以強力磁鐵將磁性陰離子交換樹脂吸附至底部，以分光光度計測量甲基橙濃度。

## 陸、研究結果

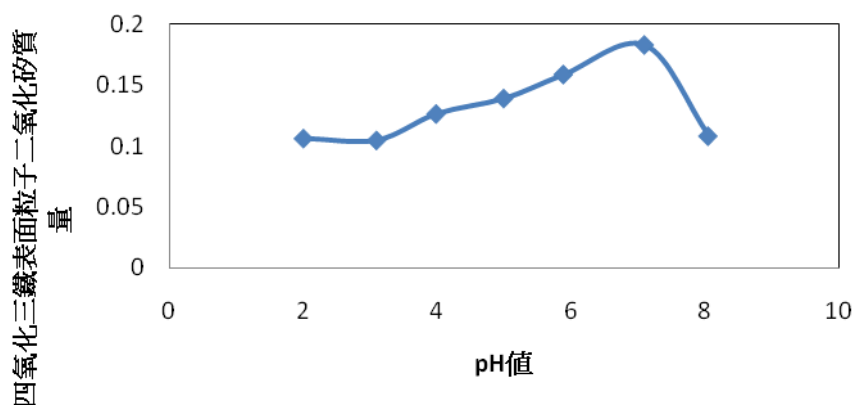
### 實驗一 將 $\text{SiO}_2$ 包覆於 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 表面並接上離子交換樹脂

#### 一、將 $\text{SiO}_2$ 包覆於 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 表面

		
量取適量的 $\text{Fe}_3\text{O}_4$	量取適量的 $\text{Na}_2\text{SiO}_3$	$\text{Na}_2\text{SiO}_3$ 和 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 混合加熱
		
以 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 調整混合液 pH 值，持續攪拌並降低溫度		乾燥後 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 表面已包覆 $\text{SiO}_2$

pH 值	2.01	3.1	3.99	5	5.89	7.1	8.05
包覆前質量	20	20	20	20	20	20	20
包覆後質量	22.13	22.1	22.53	22.78	23.17	23.65	22.17
包覆二氧化矽質量	2.13	2.1	2.53	2.78	3.17	3.65	2.17
每克 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 表面 $\text{SiO}_2$ 質量	0.1065	0.105	0.1265	0.139	0.1585	0.1825	0.1085

不同 pH 值二氧化矽膠結質量



由實驗的結果可以知道，當 pH 值接近中性時， $\text{Fe}_3\text{O}_4$  的表面可以包覆質量最多的  $\text{SiO}_2$ 。

## 二、不同 pH 值下矽溶解量

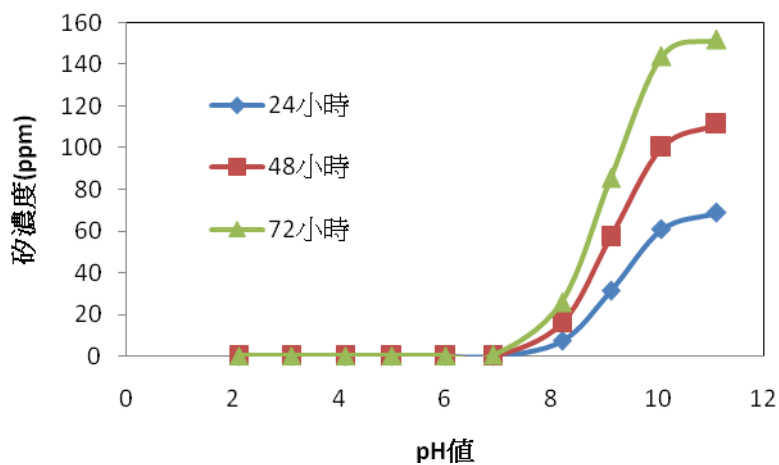


溶液中的矽和鉬酸鹽反應，生成黃色之矽鉬黃雜多酸，再由分光光度計測得吸收度，求出溶液中溶出矽的濃度

爲了測量  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  粒子包覆  $\text{SiO}_2$  完整程度，我們將其放置於不同 pH 值的環境中，測量溶液中矽的含量

pH 值	2.11	3.1	4.12	5	6.01
24 小時	0	0	0	0	0
48 小時	0	0	0	0	0
72 小時	0.12	0.15	0.14	0.11	0.13
pH 值	6.9	8.2	9.12	10.08	11.12
24 小時	0	7.21	31.12	60.88	68.98
48 小時	0	15.78	56.98	100.12	111.21
72 小時	0.56	25.89	85.31	143.98	151.98

## 不同pH值矽濃度



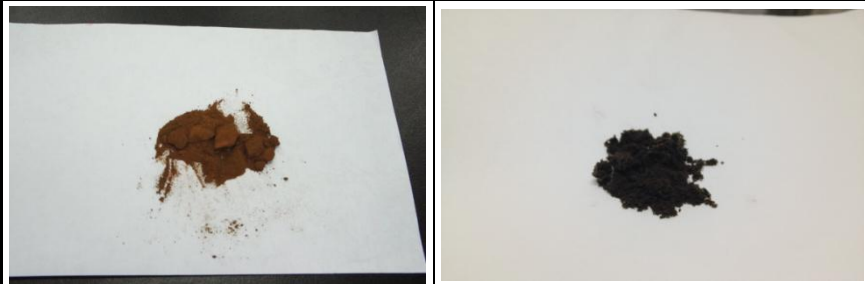
pH 值越大，二氧化矽越容易在溶解在溶液中。



### 三、將包覆過 $\text{SiO}_2$ 的 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 接上離子交換樹脂



包覆過  $\text{SiO}_2$  的  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ，於離子交換樹脂溶液中攪拌 24 小時後，再置於乾燥箱中烘乾。



磁性陽離子交換樹脂

磁性陰離子交換樹脂

### 實驗二 以磁性陽離子交換樹脂對銅離子的吸附

$\text{Cu}^{2+}$  的藍色非常淡，加入氨水會變成深藍色的錯離子，但也可能產生  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  的沉澱，故先調配 500ppm 的  $\text{Cu}^{2+}$  溶液，加入過量濃氨水，可得藍色的溶液。



將磁性陽離子交換樹脂加入  $\text{Cu}^{2+}$  溶液，置於震盪器中震盪  
以強力磁鐵將磁性陽離子交換樹脂吸附至底部，取上層溶液

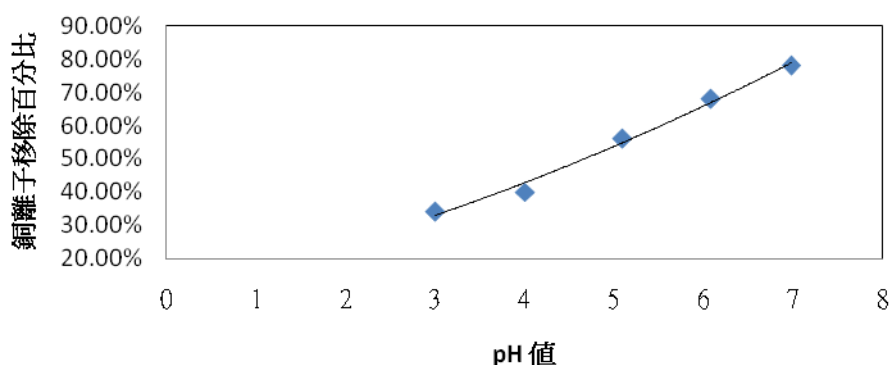


加入氨水，顏色由淺藍變深藍，以分光光度計測量  $\text{Cu}^{2+}$  濃度

(一)、不同 pH 值磁性陽離子交換樹脂對 Cu<sup>2+</sup>的吸附

pH 值	3.01	4.01	5.1	6.08	6.98
銅離子初始濃度 ppm	500	500	500	500	500
24 小時後濃度 ppm	330.12	300.12	220.12	160.12	110.12
銅離子移除百分比	33.98%	39.98%	55.98%	67.98%	77.98%
每克磁性陽離子交換樹脂吸附銅離子(mg)	4.25	5.00	7.00	8.50	9.75
pH 值	8.01	9.01	10.11	10.98	12.08
銅離子初始濃度 ppm	500	500	500	500	500
24 小時後濃度 ppm	95.4	50.1	52	51.2	49.3
銅離子移除百分比	80.92%	89.98%	89.60%	89.76%	90.14%
每克磁性陽離子交換樹脂吸附銅離子(mg)					

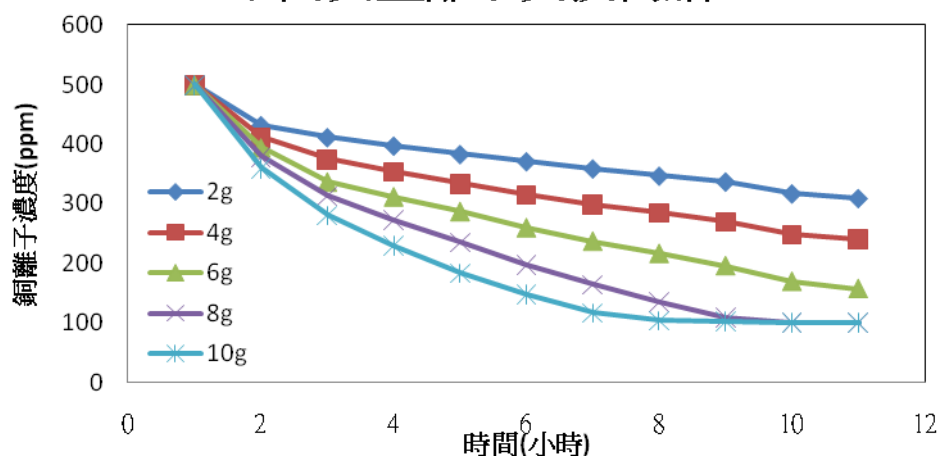
不同pH值銅離子吸附率



由上圖可以了解，pH 值越大，銅離子減少越多，但是當 pH 值大於 8 以後，有可能是產生 Cu(OH)<sub>2</sub>的沉澱，所以接下來實驗都在 pH 值=7 的環境下進行。

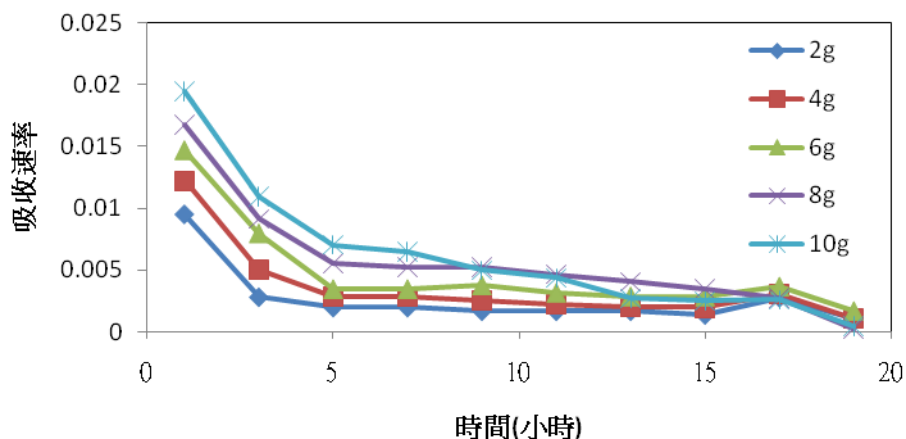
(二)、不同質量磁性陽離子交換樹脂對 Cu<sup>2+</sup>的吸附

不同質量離子交換樹脂



將相隔兩小時的濃度相減，再除以 2 小時，可得到 2 小時內的平均速率，並可將中點速率視為平均速率，可得出下圖：

### 銅離子吸收速率



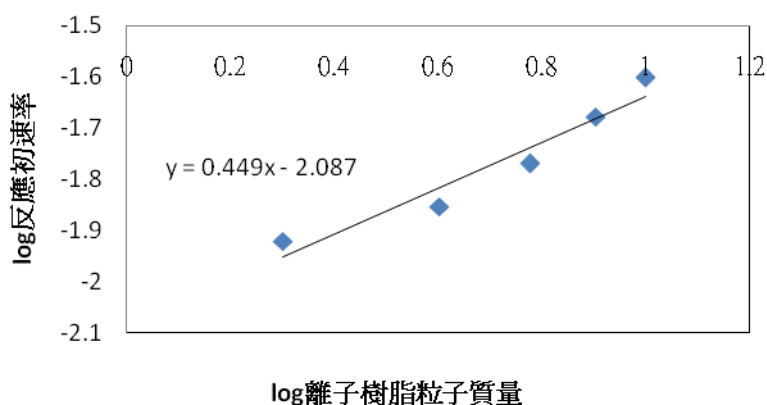
以 EXCEL 的線性迴歸功能，可求出 T=0 秒時的最初吸附速率：

磁性陽離子交換樹脂質量(g)	吸附初速率
2	0.012
4	0.014
6	0.017
8	0.021
10	0.025

上圖代表反應速率和濃度之間的關係，當反應物濃度增加時，反應速率會加快。因此在化學反應速率中，可用下列之通式表示：

$R = k \cdot [A]^a \cdot [B]^b \cdot \dots$  其中  $R$  為反應速率， $k$  為反應速率常數， $[A]$ ,  $[B]$ , ... 分別表示各反應物之濃度， $a$ ,  $b$ , ... 分別為實驗值。

以濃度做 log 圖，如下所示：

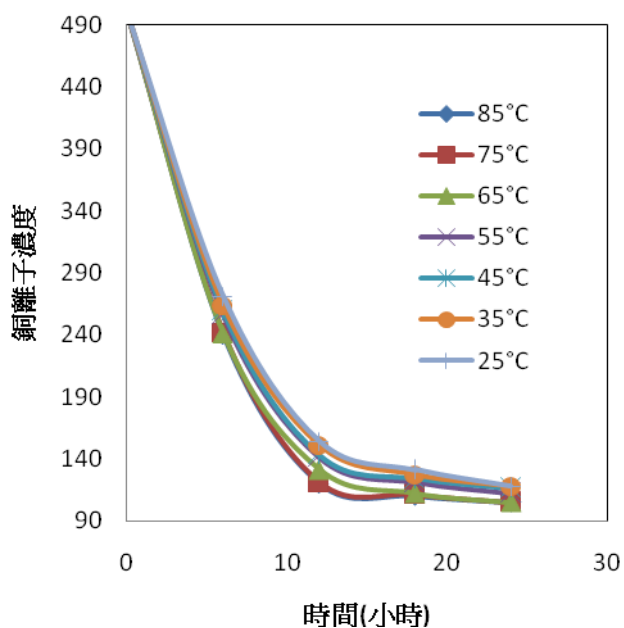


由方程式： $y = 0.449x - 2.087$

可得反應速率式： $R = 0.008185 \times [\text{質量}]^{0.449}$ ，反應級數為 0.449

### (三)、不同溫度磁性陽離子交換樹脂對 $\text{Cu}^{2+}$ 的吸附

#### 不同溫度銅離子吸收速率

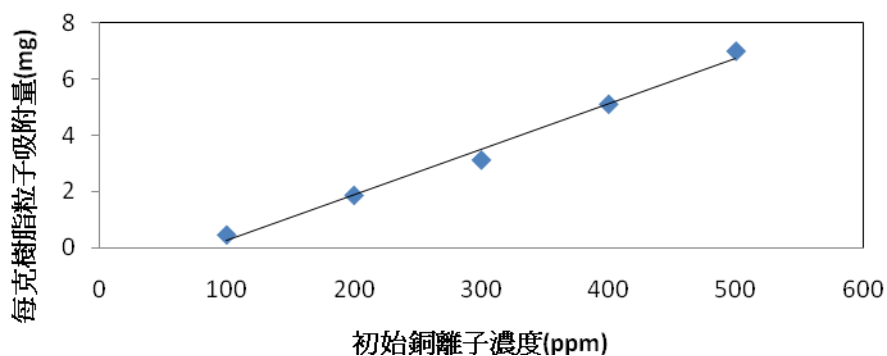


由上面的實驗結果可知，當溫度越高時，吸附的速率越快。

### (四)、固定質量磁性陽離子交換樹脂對不同濃度 $\text{Cu}^{2+}$ 的吸附

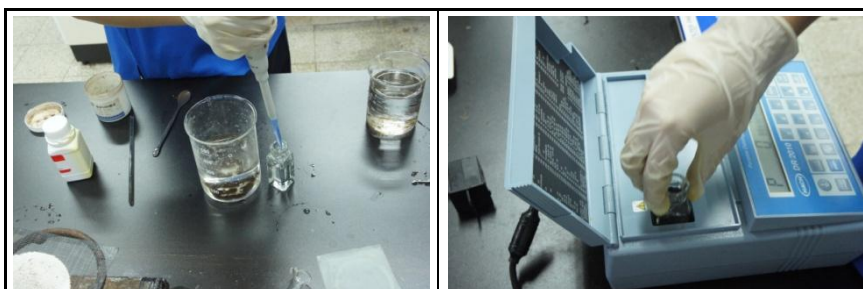
初始濃度(ppm)	500	400	300	200	100
24 小時後濃度(ppm)	110.32	105.34	98.97	89.32	71.11
銅離子移除百分比	77.94%	73.67%	67.01%	55.34%	28.89%
每克磁性陽離子交換樹脂吸附銅離子(mg)	9.74	7.36	5.02	2.76	0.72

#### 不同濃度銅離子吸附



由上圖可以知道，當銅離子的初始濃度越大，移除百分比越大，和每公克磁性陽離子交換樹脂吸附銅離子的質量也越大。

### 實驗三 以磁性陽離子交換樹脂對鋅離子的吸附

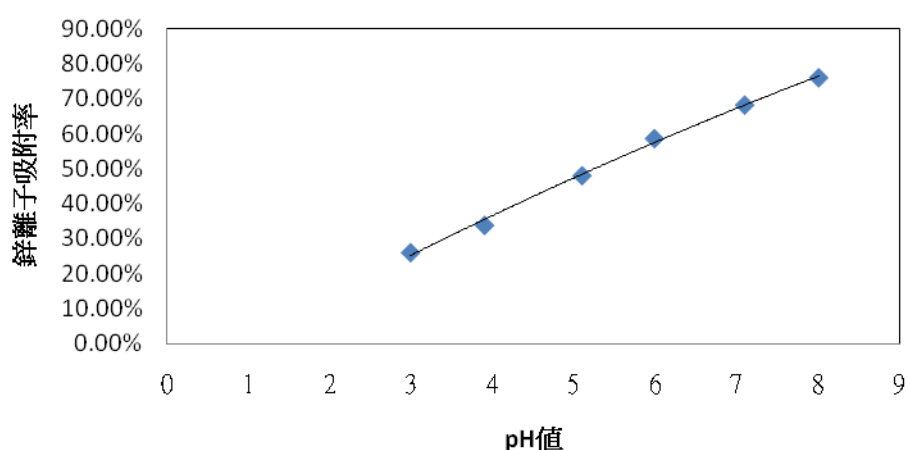


以強力磁鐵將磁性陽離子交換樹脂吸附至底部，取上層溶液以分光光度計測量  $Zn^{2+}$  濃度

#### (一)、不同 pH 值對磁性陽離子交換樹脂 $Zn^{2+}$ 的吸附

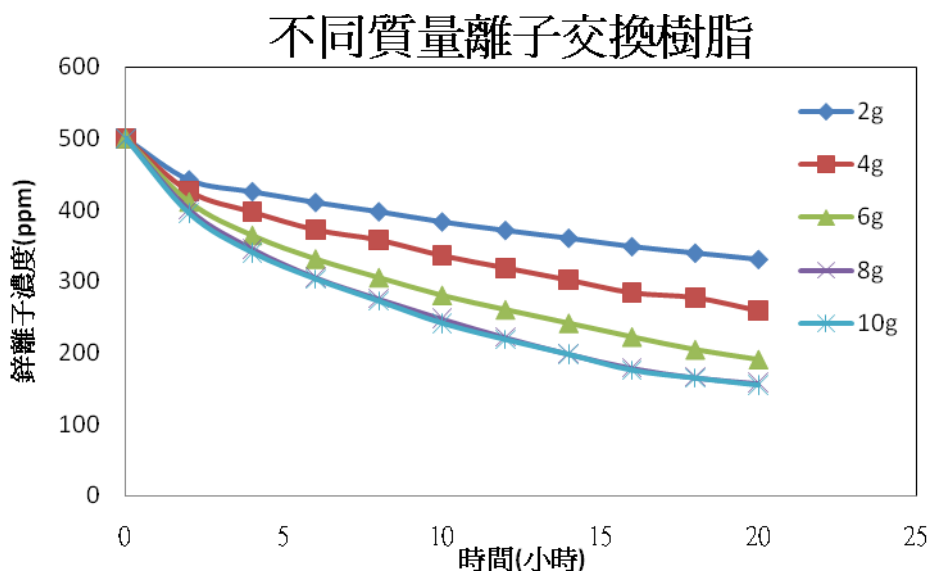
pH 值	2.99	3.9	5.1	5.99	7.1
鋅離子初始濃度 ppm	500	500	500	500	500
24 小時後濃度 ppm	370.12	331.12	260.12	207.12	159.12
鋅離子移除百分比	25.98%	33.78%	47.98%	58.58%	68.18%
每克磁性陽離子交換樹脂吸附鋅離子(mg)	3.25	4.22	6.00	7.32	8.52
pH 值	8.01	8.89	10.11	11.11	12.2
鋅離子初始濃度 ppm	500	500	500	500	500
24 小時後濃度 ppm	120.12	110.12	70.12	42.12	40.12
鋅離子移除百分比	75.98%	77.98%	85.98%	91.58%	91.98%
每克磁性陽離子交換樹脂吸附鋅離子(mg)					

#### 不同pH值鋅離子吸附率

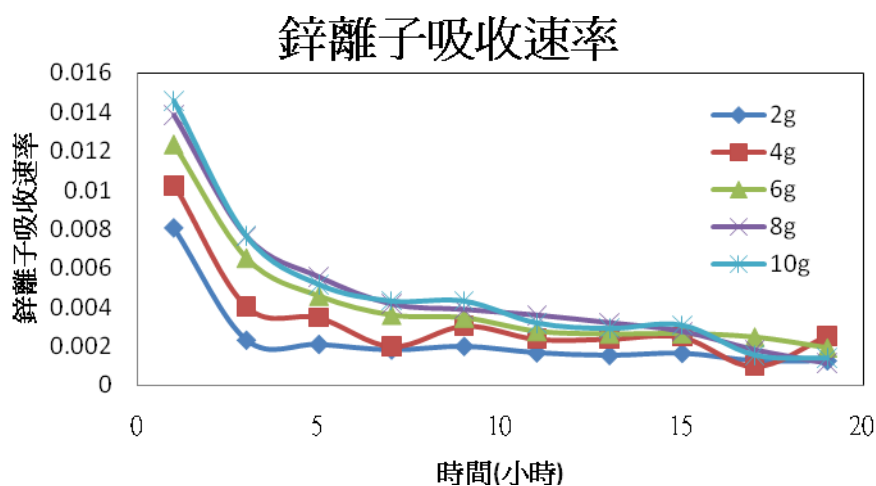


由上圖可以了解，pH 值越大，鋅離子減少越多，但是當 pH 值大於 8 以後，有可能是產生  $Zn(OH)_2$  的沉澱，所以接下來實驗都在 pH 值=7 的環境下進行。

(二)、不同質量磁性陽離子交換樹脂對  $Zn^{2+}$  的吸附

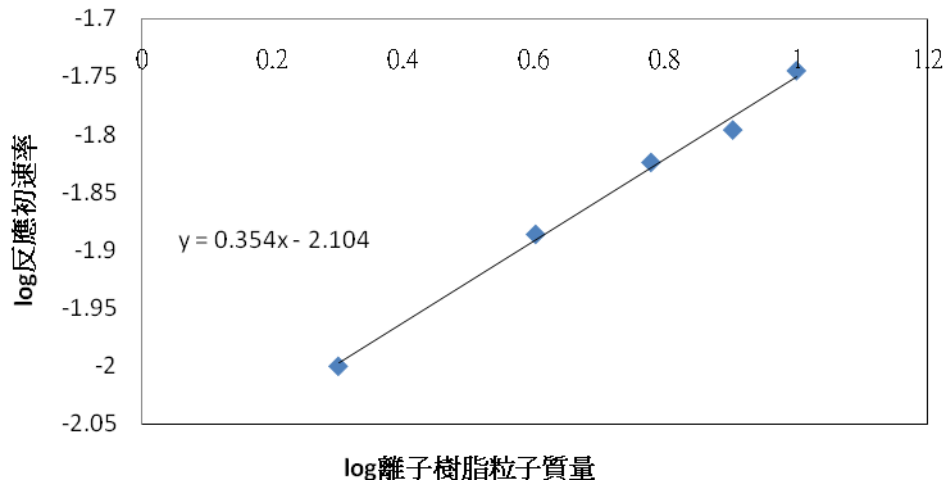


將相隔兩小時的濃度相減，再除以 2 小時，可得到 2 小時內的平均速率，並可將中點速率視為平均速率，可得出下圖：



以 EXCEL 的線性迴歸功能，可求出 T=0 秒時的最初吸附速率：

磁性陽離子交換樹脂質量(g)	吸附初速率
2	0.01
4	0.013
6	0.015
8	0.016
10	0.018

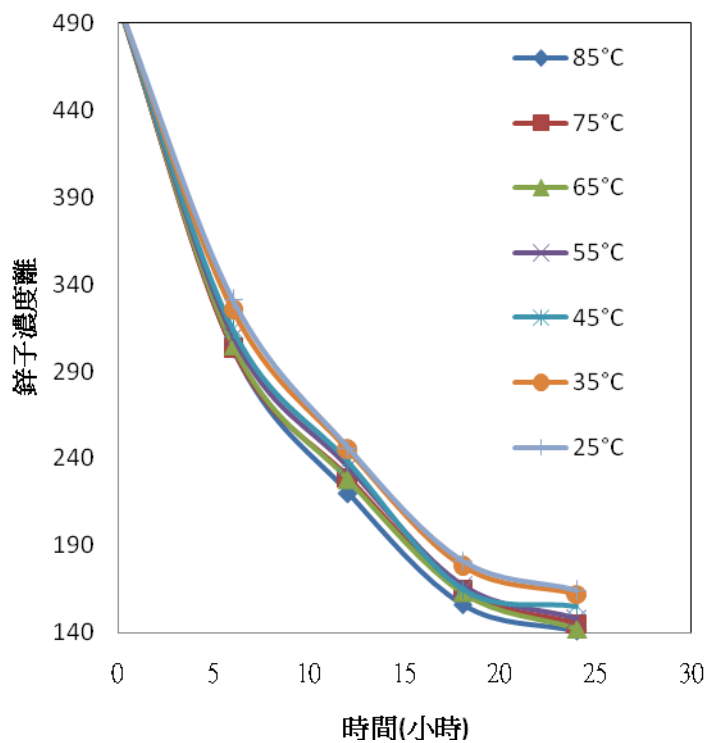


由方程式： $y = 0.354x - 2.104$

可得反應速率式： $R = 0.00787 \times [\text{質量}]^{0.354}$ ，反應級數為 0.354

### (三)、不同溫度磁性陽離子交換樹脂對 $Zn^{2+}$ 的吸附

#### 不同溫度鋅離子濃度變化

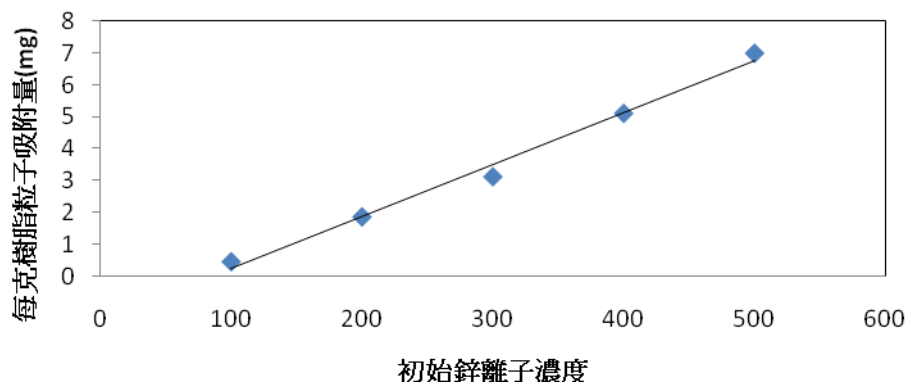


由上面的實驗結果可知，當溫度越高時，吸附的速率越快。

#### (四)、固定質量磁性陽離子交換樹脂對不同濃度 $Zn^{2+}$ 的吸附

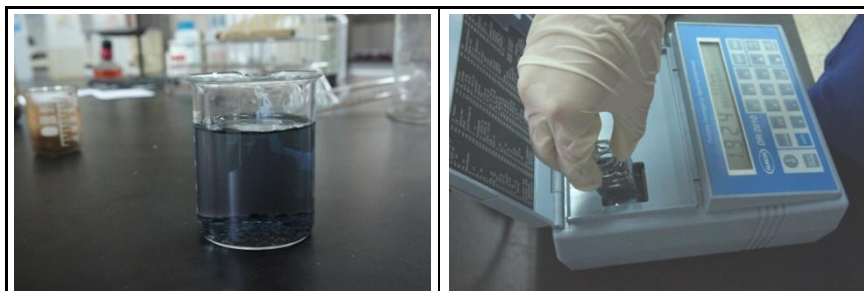
初始濃度(ppm)	500	400	300	200	100
24 小時後濃度(ppm)	151.3	145.3	144.3	107.1	77.3
鋅離子移除百分比	69.74%	63.68%	51.90%	46.45%	22.70%
每克磁性陽離子交換樹脂吸附鋅離子(mg)	8.718	6.368	3.893	2.323	0.568

#### 不同濃度鋅離子吸附



由上圖可以知道，當鋅離子的初始濃度越大，移除百分比越大，和每公克陽離子樹脂粒子吸附鋅離子的質量也越大。

#### 實驗四 以磁性陽離子交換樹脂對鉻離子的吸附



以強力磁鐵將磁性陽離子交換樹脂吸附至底部，取上層溶液以分光光度計測量  $Cr^{3+}$  濃度

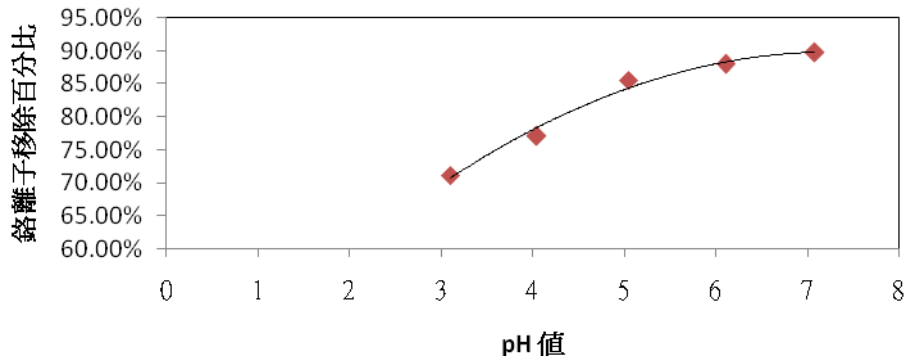
#### (一)、不同 pH 值對磁性陽離子交換樹脂 $Cr^{3+}$ 的吸附

pH 值	3.1	4.05	5.05	6.11	7.08
鉻離子初始濃度 ppm	500	500	500	500	500
24 小時後濃度 ppm	144.3	114.6	72.3	60.1	51.1
鉻離子移除百分比	71.14%	77.08%	85.54%	87.98%	89.78%
每克磁性陽離子交換樹脂吸附鉻離子(mg)	8.89	9.64	10.69	11.00	11.22



pH 值	8.01	9.01
鉻離子初始濃度 ppm	500	500
24 小時後濃度 ppm	51.1	51.1
鉻離子移除百分比	89.78%	89.78%
每克磁性陽離子交換樹脂吸附鉻離子(mg)		

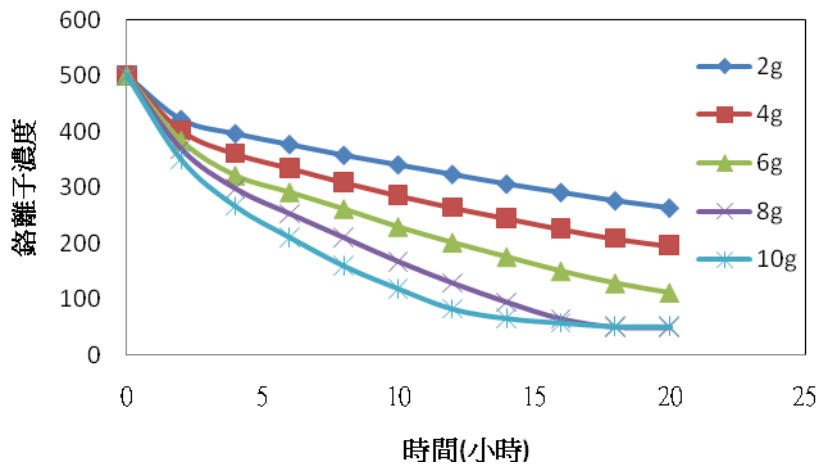
### 不同pH值鉻離子吸附率



由上圖可以了解，pH 值越大，鉻離子減少越多，但是當 pH 值大於 8 以後，有可能產生沉澱影響分光光度計的測量，所以接下來實驗都在 pH 值=7 的環境下進行。

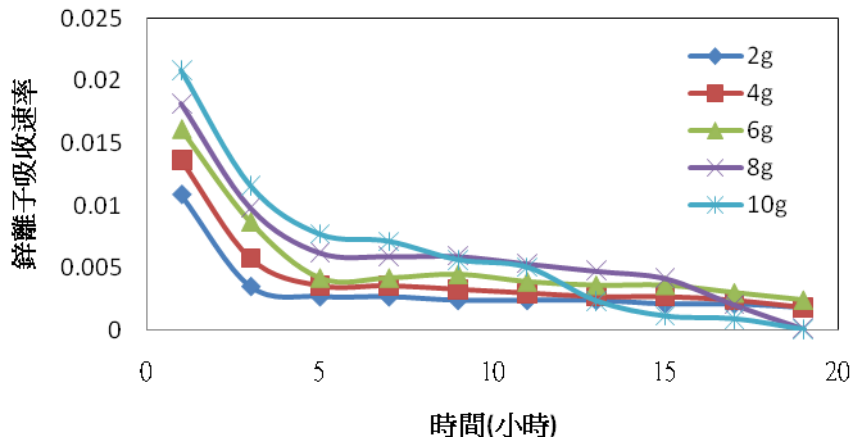
### (二)、不同質量磁性陽離子交換樹脂對 $Cr^{3+}$ 的吸附

#### 不同質量交換樹脂粒子



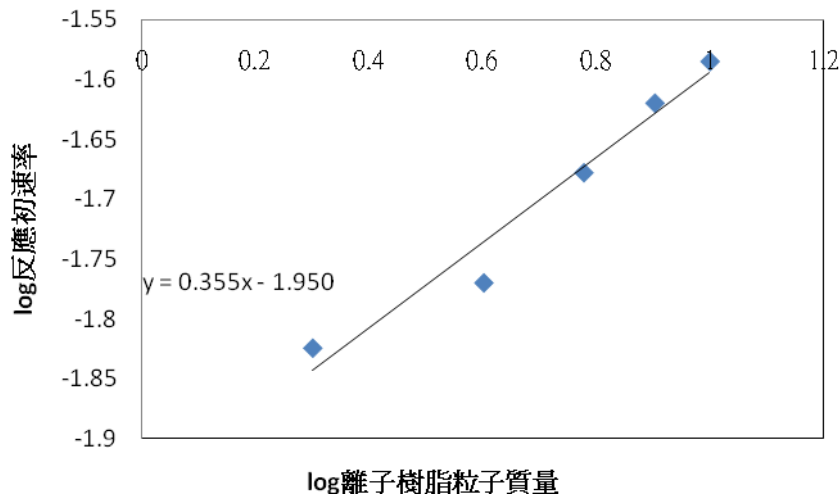
將相隔兩小時的濃度相減，再除以 2 小時，可得到 2 小時內的平均速率，並可將中點速率視為平均速率，可得出下圖：

## 鉻離子吸收速率



以 EXCEL 的線性迴歸功能，可求出 T=0 秒時的最初吸附速率：

磁性陽離子交換樹脂質量(g)	吸附初速率
2	0.015
4	0.017
6	0.021
8	0.024
10	0.026

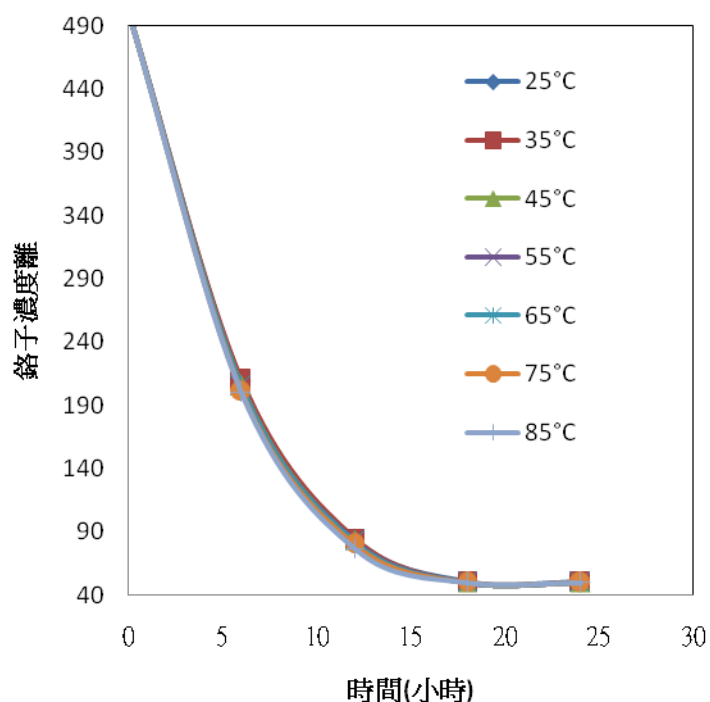


由方程式： $y = 0.355x - 1.950$

可得反應速率式： $R = 0.01122 \times [\text{質量}]^{0.355}$ ，反應級數為 0.355

### (三)、不同溫度磁性陽離子交換樹脂對 $\text{Cr}^{3+}$ 的吸附

#### 不同溫度鉻離子濃度變化

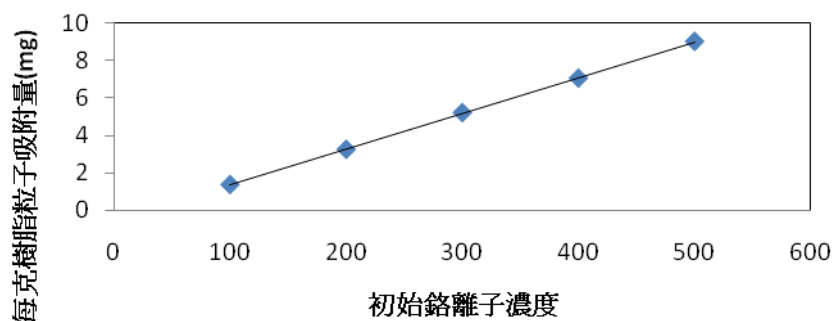


由上面的實驗結果可知，當溫度越高時，吸附的速率越快。

### (四)、固定質量磁性陽離子交換樹脂對不同濃度 $\text{Cr}^{3+}$ 的吸附

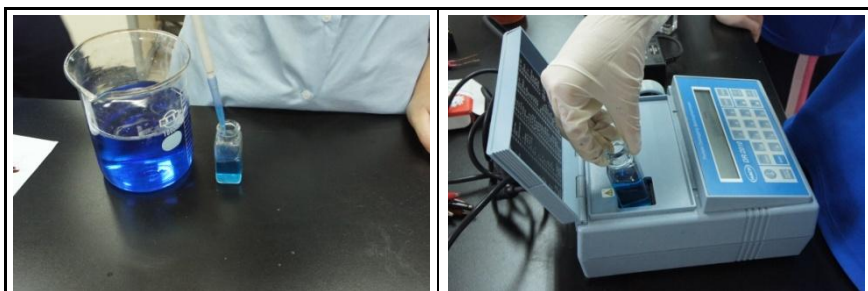
初始濃度(ppm)	500	400	300	200	100
24 小時後濃度(ppm)	50.12	48.12	40.12	38.12	32.12
鉻離子移除百分比	89.98%	87.97%	86.63%	80.94%	67.88%
每克樹脂粒子吸附鉻離子(mg)	11.24	8.79	6.49	2.02	1.69

#### 不同濃度鉻離子吸附



由上圖可以知道，當鉻離子的初始濃度越大，移除百分比越大，和每公克陽離子樹脂粒子吸附鉻離子的質量也越大。

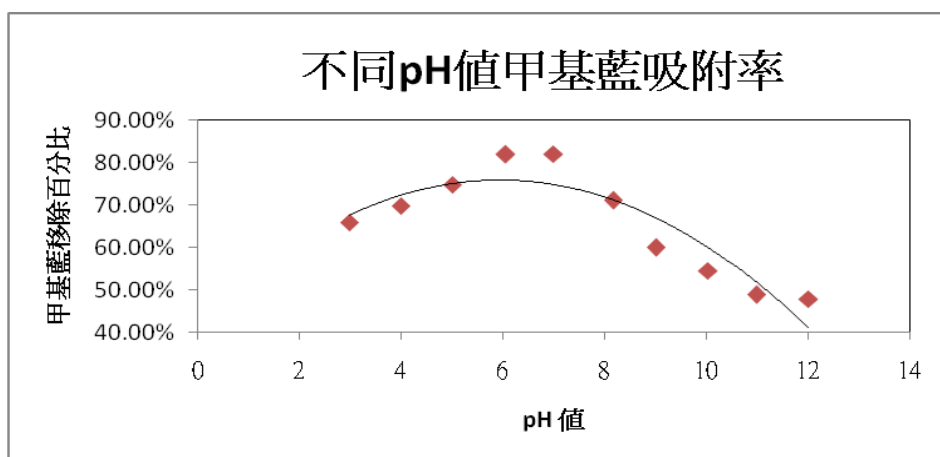
## 實驗五 以磁性陰離子交換樹脂對甲基藍的吸附



以強力磁鐵將磁性陰離子交換樹脂吸附至底部，取上層溶液以分光光度計測量甲基藍濃度

### (一)、不同 pH 值磁性陰離子交換樹脂對甲基藍的吸附

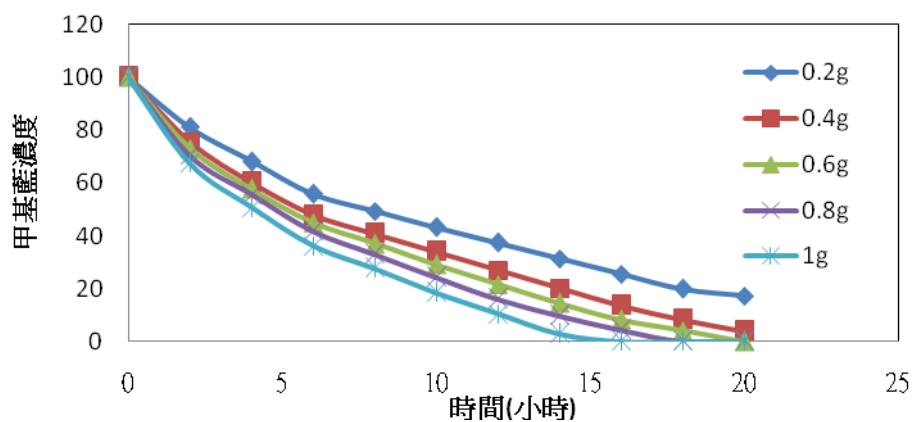
pH 值	2.98	3.99	5.01	6.05	6.99
甲基藍初始濃度 ppm	100	100	100	100	100
24 小時後濃度 ppm	34.12	30.12	25.17	18.15	17.98
甲基藍移除百分比	65.88%	69.88%	74.83%	81.85%	82.02%
每克磁性陰離子交換樹脂吸附甲基藍(mg)	32.94	34.94	37.42	40.93	41.01
pH 值	8.17	9.01	10.03	10.98	12.01
甲基藍初始濃度 ppm	100	100	100	100	100
24 小時後濃度 ppm	28.99	40.12	45.43	51.11	52.11
甲基藍移除百分比	71.01%	59.88%	54.57%	48.89%	47.89%
每克磁性陰離子交換樹脂吸附甲基藍(mg)	35.51	29.94	27.29	24.45	23.95



當 pH 值大於 12，甲基藍會變成紅色，所以實驗中的 pH 值控制在 12 以下。由上圖可以了解，pH 值為 6 至 8 之間，甲基藍的移除率最大，所以接下來實驗都在 pH 值=7 的環境下進行。

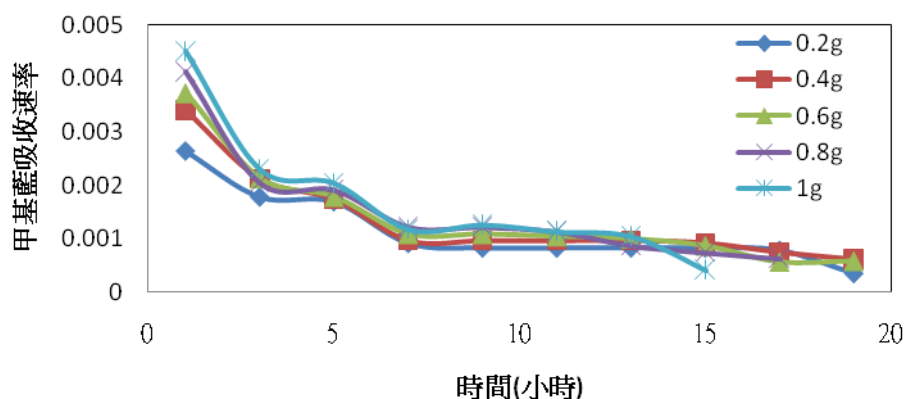
(二)、不同質量磁性陰離子交換樹脂對甲基藍的吸附

### 不同質量交換樹脂粒子



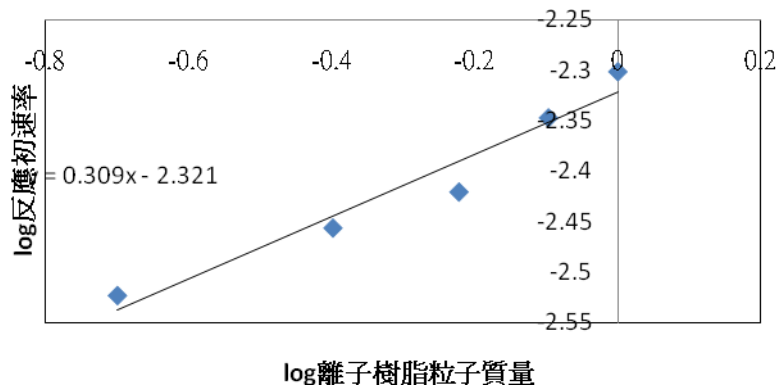
將相隔兩小時的濃度相減，再除以 2 小時，可得到 2 小時內的平均速率，並可將中點速率視為平均速率，可得出下圖：

### 甲基藍吸收速率



以 EXCEL 的線性迴歸功能，可求出 T=0 秒時的最初吸附速率：

磁性陰離子交換樹脂質量(g)	吸附初速率
0.2	0.0023
0.4	0.0031
0.6	0.0035
0.8	0.0040
1	0.0045

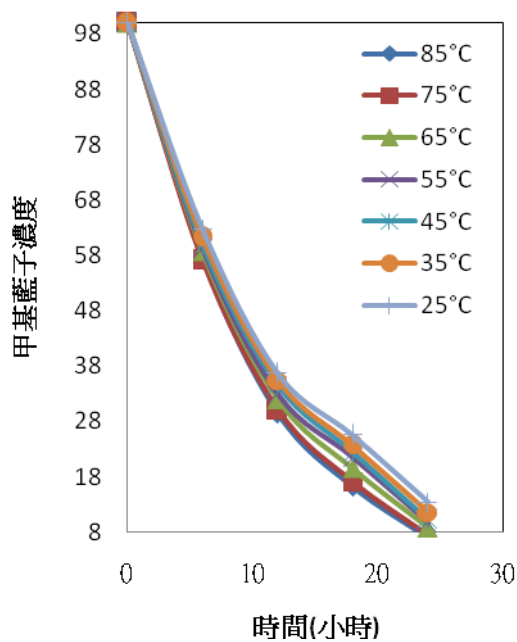


由方程式： $y = 0.309x - 2.321$

可得反應速率式： $R = 0.004775 \times [\text{質量}]^{0.309}$ ，反應級數為 0.405

### (三)、不同溫度磁性陰離子交換樹脂對甲基藍的吸附

#### 不同溫度甲基藍吸收速率

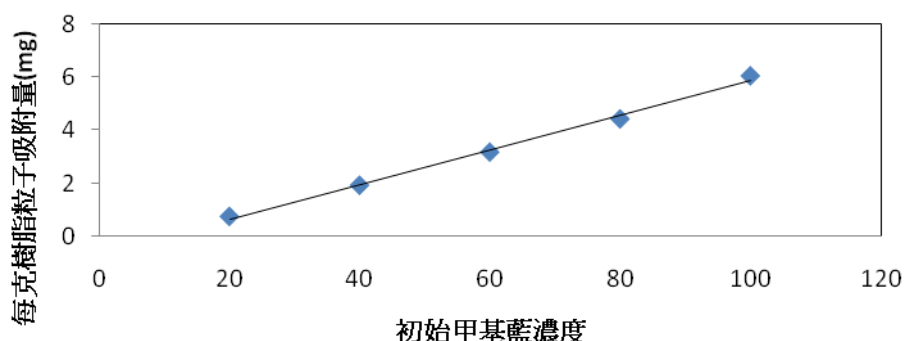


由上面的實驗結果可知，當溫度越高時，吸附的速率越快。

### (四)、固定質量磁性陰離子交換樹脂對不同濃度甲基藍的吸附

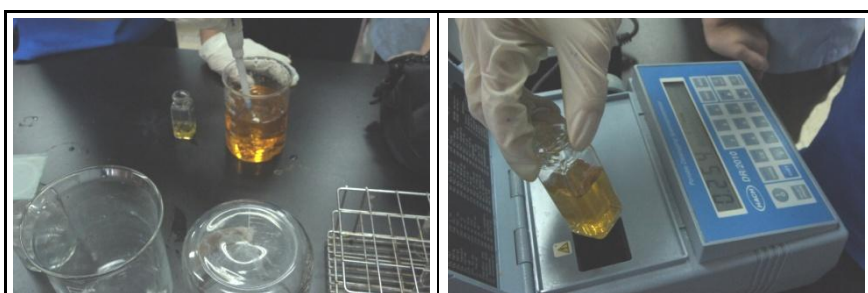
初始濃度(ppm)	20	40	60	80	100
24 小時後濃度(ppm)	12.3	20.62	28.15	35.69	39.49
甲基藍移除百分比	38.50%	48.45%	53.08%	55.39%	60.51%
每克磁性陰離子交換樹脂吸附甲基藍(mg)	3.85	9.69	15.75	23.65	30.25

## 不同濃度甲基藍吸附



由上圖可以知道，當甲基藍的初始濃度越大，移除百分比越大，和每公克陰離子樹脂粒子吸附甲基藍的質量也越大。

### 實驗六 以磁性陰離子交換樹脂對甲基橙的吸附

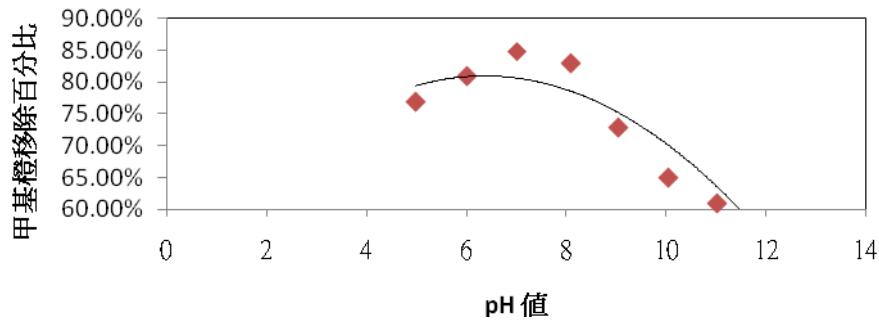


以強力磁鐵將磁性陰離子交換樹脂吸附至底部，取上層溶液以分光光度計測量甲基橙濃度

#### (一)、不同 pH 值磁性陰離子交換樹脂對甲基橙的吸附

pH 值	4.99	6.01	7.01	8.1
甲基橙初始濃度 ppm	100	100	100	100
24 小時後濃度 ppm	23.12	19.12	15.12	17.12
甲基橙移除百分比	76.88%	80.88%	84.88%	82.88%
每克磁性陰離子交換樹脂吸附甲基橙(mg)	38.44	40.44	42.44	41.44
pH 值	9.05	10.05	11.03	11.98
甲基橙初始濃度 ppm	100	100	100	100
24 小時後濃度 ppm	27.12	35.11	39.11	40.12
甲基橙移除百分比	72.88%	64.89%	60.89%	59.88%
每克磁性陰離子交換樹脂吸附甲基橙(mg)	36.44	32.45	30.45	29.94

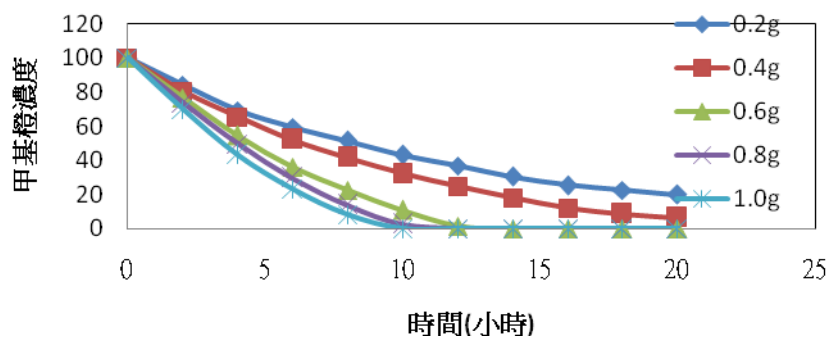
## 不同pH值甲基橙吸附率



當 pH 值小於於 4.4，甲基橙會變成紅色，所以實驗中的 pH 值控制在 5 以以上。由上圖可以了解，pH 值為 6 至 8 之間，甲基橙的移除率最大，所以接下來實驗都在 pH 值=7 的環境下進行。

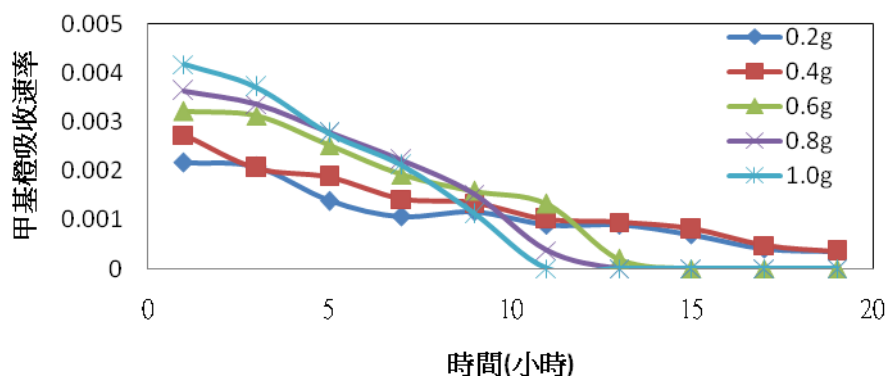
## (二)、不同質量磁性陰離子交換樹脂對甲基橙的吸附

### 不同質量交換樹脂粒子



將相隔兩小時的濃度相減，再除以 2 小時，可得到 2 小時內的平均速率，並可將中點速率視為平均速率，可得出下圖：

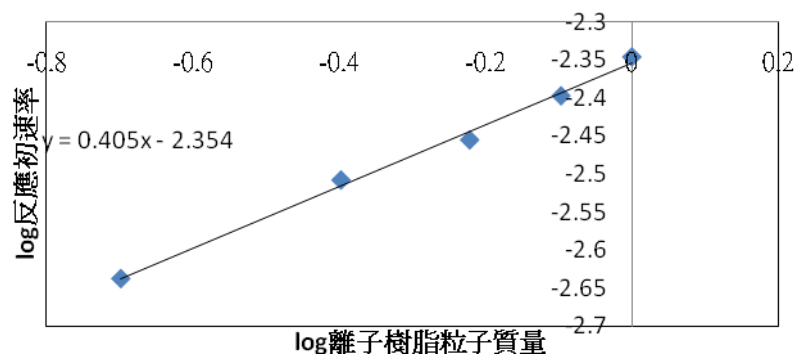
### 甲基橙吸收速率





以 EXCEL 的線性迴歸功能，可求出 T=0 秒時的最初吸附速率：

磁性陽離子交換樹脂質量(g)	吸附初速率
0.2	0.0023
0.4	0.0031
0.6	0.0035
0.8	0.004
1	0.0045

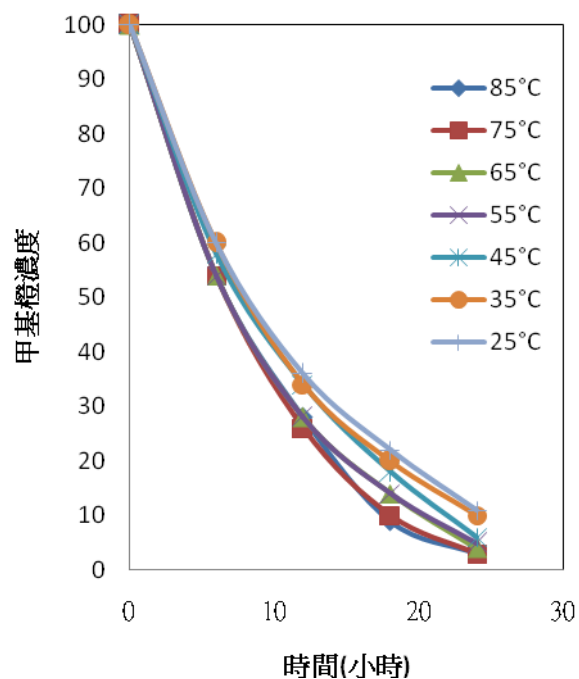


由方程式： $y = 0.405x - 2.354$

可得反應速率式： $R = 0.004426 \times [\text{質量}]^{0.405}$ ，反應級數為 0.405

### (三)、不同溫度磁性陰離子交換樹脂對甲基橙的吸附

#### 不同溫度甲基橙吸收速率

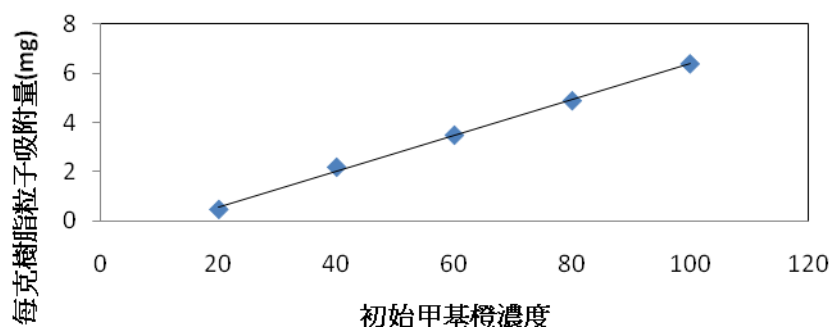


由上面的實驗結果可知，當溫度越高時，吸附的速率越快。

#### (四)、固定質量磁性陰離子交換樹脂對不同濃度甲基橙的吸附

初始濃度(ppm)	20	40	60	80	100
24 小時後濃度(ppm)	15.31	18.15	25.11	31.12	36.12
甲基橙移除百分比	23.45%	54.63%	58.15%	61.10%	63.88%
每克磁性陰離子交換樹脂吸附甲基橙(mg)	2.34	10.92	17.44	24.44	31.94

#### 不同濃度甲基橙吸附

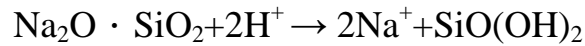


由上圖可以知道，當甲基橙的初始濃度越大，移除百分比越大，和每公克陰離子樹脂粒子吸附甲基橙的質量也越大。

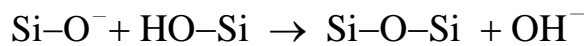
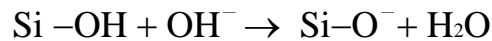
## 柒、實驗討論

### 一、製作磁性離子交換樹脂

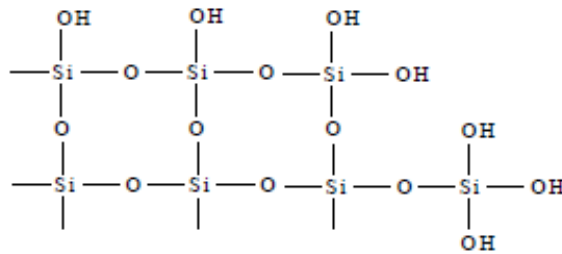
1. 矽酸鈉又稱水玻璃( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )，是由二氧化矽加入  $\text{NaOH}$  產生，在酸中會膠結成矽酸，結構上會由原本的  $\text{Si-O-Si}$  變為  $\text{Si-OH}$ 。



2. 當矽酸體粒子表面帶負電荷時，可使矽酸體粒子之間以  $\text{Si-O-Si}$  產生結合，其反應機制如下列方程式所示：

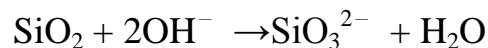


形成結構如下圖一

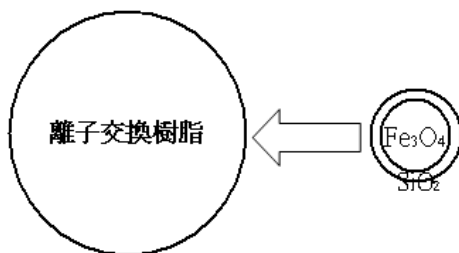


圖一

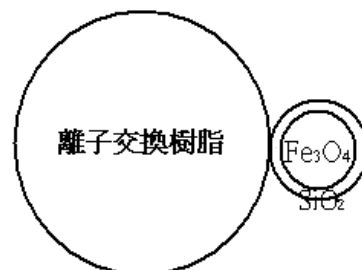
3. 隨著 pH 值越接近 7 (越高)，溶液中  $\text{OH}^-$  濃度增加，因此更容易在  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  在表面形成膠結，因此 pH 值越大，在  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  膠結的  $\text{SiO}_2$  質量也越多。
4. 當 pH 值大於 7 時，矽酸體粒子表面吸附大量的負電荷，因為靜電力的排斥作用，更不易聚集，很難在  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  膠結。
5. 在較高的 pH 值，矽的溶出明顯增加，其原因可能為  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  表面的  $\text{SiO}_2$  與氫氧離子反應形成水溶性的偏矽酸根離子。



6.  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  粒子因為外部有包覆  $\text{SiO}_2$ ，所以可以穩定的結合在離子交換樹脂表面，其過程如下圖二及圖三所示，使得離子交換樹脂具有磁性，可被外界的磁場磁化。



圖二

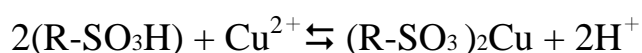


圖三

7.以此種離子交換樹脂可以離子交換的方式，將欲吸附的目標物加以吸附，再由外加磁場將吸附目標物和溶液分離。

## 二、磁性陽離子交換樹脂對金屬離子的吸附

- 1.對金屬離子的吸附效果，在相同濃度下，磁性離子交換樹脂的質量越大，初始吸附速率也越大。
- 2.陽離子交換樹脂在 pH 值較低的時候，明顯對金屬離子的交換能力較差，以吸附銅為例，根據勒沙特列原理，當溶液中 pH 值較小的時候，溶液中 H<sup>+</sup>的濃度較大，不利於反應向右邊移動，對溶液中的金屬離子吸附的效果較差。

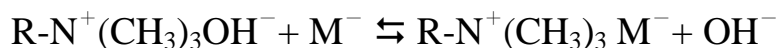


- 3.對不同種類的金屬吸附，效果分別為  $\text{Cr}^{3+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+}$ ，由此可發現，電荷越大，交換的效果越好，如果在相同的電荷下，則離子半徑越小，表面電荷密度越大，交換的效果也越好。
- 4.當金屬離子的濃度低於 100ppm 左右，交換的速率及吸附率明顯下降，是因為溶液中的金屬離子濃度太低時，有效碰撞產生的機會較低。
- 5.溫度較高時，粒子具有較大的動能，因此要產生有效碰撞的機會較大，在高溫時，有較好的吸附效果，另外在較高的溫度下，具有較高的內能，也有較多的分子具有足夠的交換能。
- 6.對不同金屬離子的最大移除率，每克磁性陽離子交換樹脂吸附金屬離子最大質量如下表

	移除率	每克吸附金屬離子質量(mg)
銅離子	77.98%	9.75
鋅離子	68.18%	8.52
鉻離子	89.78%	11.22

## 三、磁性陰離子交換樹脂對陰離子染劑的吸附

- 1.對陰離子染劑的吸附效果，在相同濃度下，由質量和初速率的關係可知，當磁性陰離子交換樹脂的質量越大，反應的初始吸附速率也越大。
- 2.我們發現對陰離子染劑有不錯的吸附效果，當放入的劑量夠多，吸附的時間夠久，水中幾乎沒有染劑的存在，可完全吸附水中的陰離子染劑。
- 3.樹脂對離子的交換能力，通常是溶液帶電越多，效果就越好，甲基橙為酸性染劑，甲基藍為弱酸性染劑，因此甲基橙的溶液中有較多的帶電離子，故較甲基橙有較好的吸附效果。
- 4.對陰離子染劑的吸附能力，隨著 pH 值上升而減少，因為當溶液中的 OH<sup>-</sup>變多時，平衡向左移動，不利於吸附反應的進行。



- 5.但如果 pH 值太小，溶液中的 H<sup>+</sup>的濃度較大，會中和染劑的陰離子，使吸附的效果降低。
- 6.陰離子染劑的初始濃度越低，交換的速率及吸附率明顯下降，是因為溶液中的陰離子染劑濃度太低時，有效碰撞產生的機會較低。
- 7.溫度對吸附結果的影響，和陽離子交換樹脂的結果雷同，隨溫度的增加，吸附的效果也上升。
- 8.對不同陰離子染劑的最大移除率，每克磁性陰離子交換樹脂吸附陰離子染劑最大質量如下表

	移除率	每克吸附金屬離子質量(mg)
甲基藍	100%	41.01
甲基橙	100%	42.44

- 9.無論陰離子或陽離子交換樹脂，pH 值對於吸附能力有很大的影響，在 pH 值較低時，H<sup>+</sup>的濃度較高，會和陽離子競爭吸附，pH 值較高時，則會產生較多的 OH<sup>-</sup>，容易和陰離子產生競爭吸附。

## 捌、結論

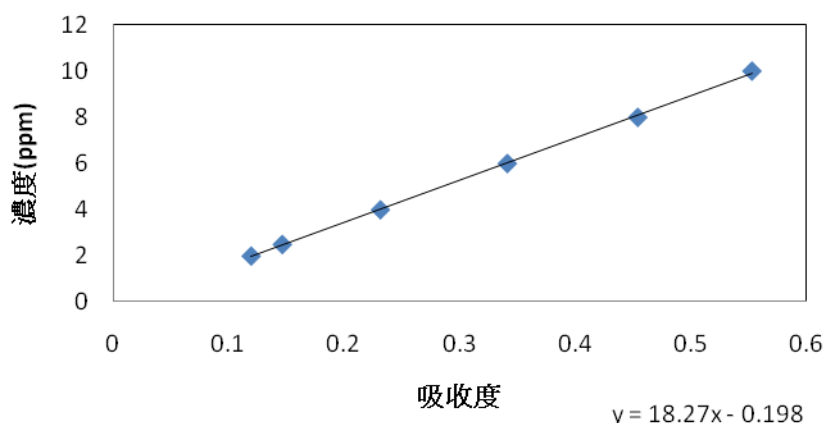
- 1.在 pH7 時，SiO<sub>2</sub>在 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>在表面有最好的包覆效果，每克 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>的表面約有 0.18g 的 SiO<sub>2</sub>。
2. SiO<sub>2</sub>不易溶於酸中，可保護內部的 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>不崩解，如此可使磁性離子交換樹脂不易受到環境的影響。
3. pH 值會影響吸附的反應平衡，所以對吸附效果有很大的影響。水溶液在 pH6 至 pH7 之間，磁性陽離子交換樹脂對 Cu<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup>有較好的吸附效果。水溶液 pH5 至 pH7 之間，磁性陽離子交換樹脂對 Cr<sup>3+</sup>有較好的吸附效果。在 pH6 至 pH7 之間，磁性陰離子交換樹脂對甲基藍及甲基橙有較好的吸附效果。
- 4.較高的溫度下，分子有較高內能及碰撞的頻率增加，對金屬離子及陰離子染料的吸附效果也提升。
- 5.金屬離子或陰離子染劑的初始濃度越低，移除率和吸附質量也降低。綜歸整個實驗，對金屬離子的最佳移除率約可達到 70%~80%，對陰離子染料的最佳移除率幾乎可達到 100%。
- 6.藉由外加磁場，控制磁性離子交換樹脂吸附特定區域，或不容易直接處理的廢液，可使吸附更有效率，吸附過後的磁性離子交換樹脂因磁性方便回收，並以離子交換劑使之再生、提升藥品的可利用性及降低環境汙染。

## 玖、參考資料

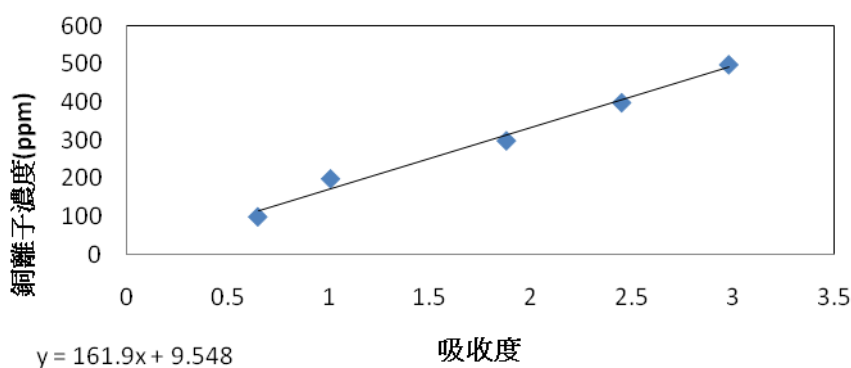
- 一、“奈米 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 顆粒以溶膠凝膠法包覆二氧化矽或二氧化鈦層研究” 國立清華大學碩士論文，陳彥至(2004)。
- 二、高中物質科學化學篇(化學反應速率、非金屬化合物)。
- 三、高中化學(有機化合物、錯合物)。
- 四、第 42 屆中小學科學展覽會國中組化學科/作品編號 030209/實驗室處理金屬離子廢水的方法再研發—再造保麗龍的第二個春天。
- 五、第 48 屆中小學科學展覽會高中組化學科/作品編號 040208/ DCPIP 變色比一比。
- 六、第 50 屆中小學科學展覽會國中組化學科/作品編號 030209/愈吸愈「胺」心—胺基磁性粒子吸附之探討
- 七、<http://zh.wikipedia.org/zh-tw/> 維基百科

## 拾、附錄

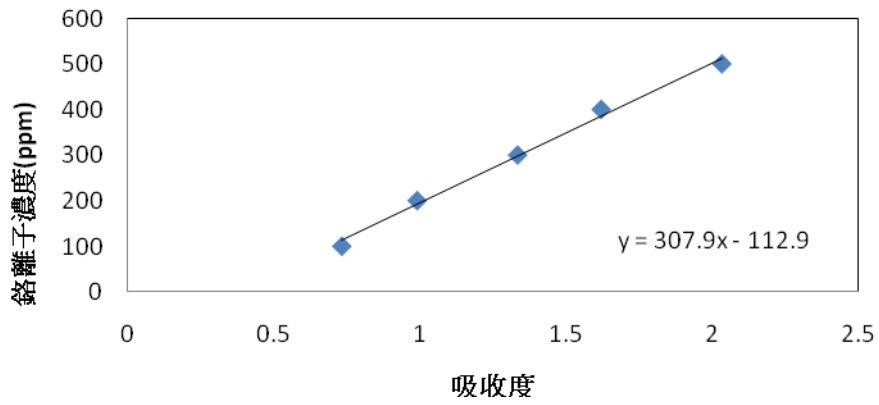
### 矽檢量線



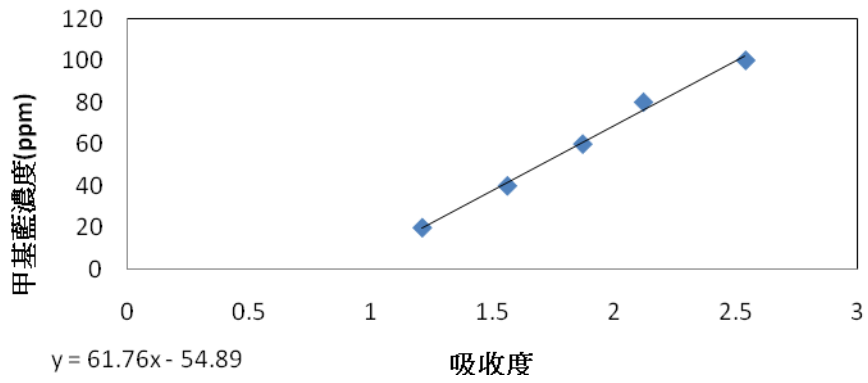
### 銅離子檢量線



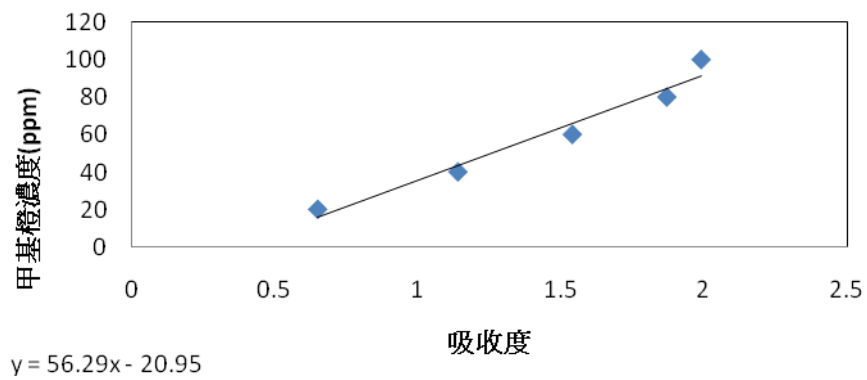
### 鉻離子檢量線



### 甲基藍檢量線



### 甲基橙檢量線



## 【評語】 030206

1. 宜先設定數支是否已吸附氧化鐵及其吸附狀況與物理性質。
2. 可設計實驗縮短磁性樹脂沉降時間。