

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 環境學科

052602

「鐵」定吸引你-探討奈米磁性氧化鐵對重金屬
離子的吸附效果

學校名稱：高雄市立高雄高級中學

作者： 高二 莊庭寧 高二 陳柏璇	指導老師： 王景平
-------------------------	--------------

關鍵詞：奈米磁性氧化鐵、重金屬、吸附

摘要

我們採用共沉澱法製造出奈米級磁性氧化鐵(Fe_3O_4)，接著探討此物質對不同重金屬離子的吸附效果，從而確立其應用在吸附並移除重金屬離子的可行性。我們發現奈米級磁性氧化鐵對於銅離子及鉛離子，其每公克最大吸附量分別為 5.64×10^{-4} 及 4.20×10^{-4} 莫耳/50 分鐘。接著我們使用單寧酸對奈米磁性氧化鐵進行改良，再對銅離子及鉛離子進行吸附，其每公克最大吸附量分別為 5.60×10^{-4} 莫耳/50 分鐘及 7.31×10^{-4} 莫耳/20 分鐘。我們發現改良前後的奈米磁性氧化鐵對於銅離子的吸附效果差異不大；而改良後的奈米磁性氧化鐵對鉛離子的吸附量能達到未改良的 2.61 倍。最後推論最佳吸附銅離子是使用 0.25 克的奈米磁性氧化鐵放置 50 分鐘；而最佳吸附鉛離子是使用單寧酸改良後奈米磁性氧化鐵 0.1875 克放置 20 分鐘。

壹、 研究動機

最近學校附近的河川，常常有各種不同「顏色」的風貌，可能是各種不同的汙染物造成的，而在所有汙染物中，重金屬離子通常毒性高且容易累積在生物體內，是一種長久且嚴重危害生態及環境的汙染物。所以我們想利用所學，設法探討如何更簡便且有效的移除重金屬離子。高中化學對奈米材料的介紹與應用，我們一直深感興趣，從中認識到奈米結構材料常展現出明顯不同於塊材之新穎的物理、化學及生物特性，過去十幾年來，世界各先進國家對其發展莫不展現高度的重視，並投入龐大的人力與財力，進行相關材料的製備、特性與應用研究。

於是我們想了一些方法並查詢了很多資料，想要利用奈米級磁性氧化鐵 Fe_3O_4 來吸附重金屬離子，再加上此材料的強大順磁性，因此最後可藉由強力磁鐵就可以輕易吸住所得固體，簡便得從水中去除並且回收重金屬汙染物。 Fe^{3+} 、 Cu^{2+} 和 Pb^{2+} 是水中常見重金屬汙染且高中實驗室可較容易取得加以探究，於是我們著手製造並使用了奈米級 Fe_3O_4 ，來進行此材料對 Fe^{3+} 、 Cu^{2+} 和 Pb^{2+} 三種重金屬離子的吸附探討，於是開啟了我們的研究。

貳、 研究目的

- 一、建立一套自製奈米磁性氧化鐵的製備流程
- 二、設定 Fe^{3+} 、 Cu^{2+} 和 Pb^{2+} 當作我們的標的物，逐一探討奈米磁性氧化鐵對這幾種重金屬離子的吸附條件與效果
- 三、探討如何改良奈米磁性氧化鐵
- 四、探討使用綠茶改良後的奈米磁性氧化鐵吸附重金屬離子之效果是否有所增強
- 五、探討使用單寧酸改良後的奈米磁性氧化鐵吸附重金屬離子之效果是否有所增強

參、 研究設備、藥品及器材

一、器材

滴管	燒杯	漏斗	濾紙	秤量紙	天平	玻棒
洗滌瓶	括勺	溫度計	滴定管	錐形瓶	磁攪拌子	加熱板
容量瓶	離心機	安全吸球	離心管	試管	分度	分光
綠茶包	石英槽	強力磁鐵	烘箱	pH-meter	吸量管	光度計

分光光度計廠牌：ChromTech；型號：CT-2200

二、藥品

氯化亞鐵	氯化鐵	氫氧化鈉	鹽酸	綠茶包
硫酸銅	硝酸鉛	碘化鉀	單寧酸	逆滲透水

肆、 名詞解釋

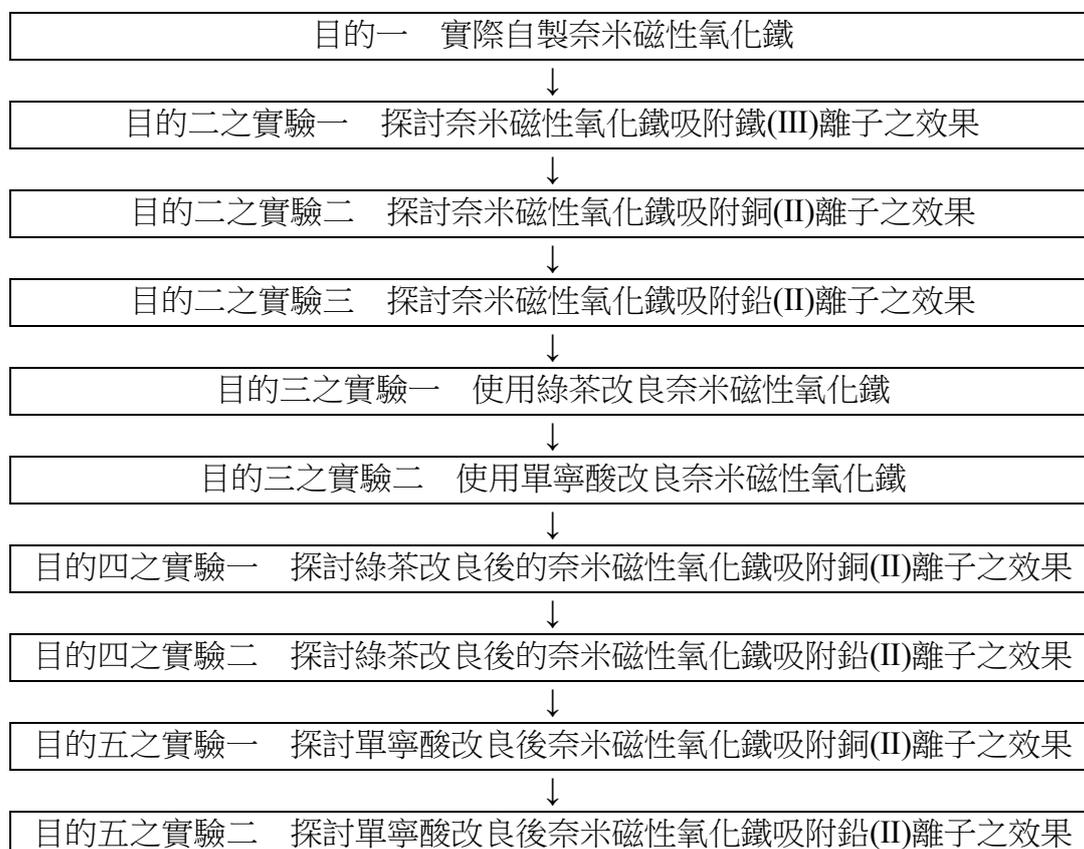
一、奈米磁性氧化鐵：即我們製造的奈米等級的 Fe_3O_4 。

二、吸收度(無單位)：使用分光光度計所測得的值，即待測離子對特定波長光的吸收度。

三、吸附率(%)：奈米磁性氧化鐵所吸附金屬離子的百分率。

四、吸附量(mol)：奈米磁性氧化鐵吸附金屬離子的莫耳數。

伍、 研究流程



陸、 原理與文獻探討

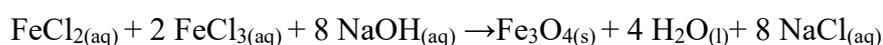
四氧化三鐵 (iron(II) iron(III) oxide)，化學式 Fe_3O_4 ，為磁性氧化鐵，可溶於酸溶液，不溶於水、鹼溶液及乙醇、乙醚等有機溶劑。奈米級的磁性氧化鐵有非常大的比表面積，也有超順磁性，可用於核磁共振成像、標靶藥物等醫學上的用途。因為材料表面原子和內部原子所處的環境不同，而具有不同的表面能和化學活性。表面原子數增加會導致原子配位數不足、表面能提高，這時表面原子處於不穩定狀態，容易和外界環境反應，造就了奈米磁性氧化鐵具有極佳的吸附性和催化活性。

奈米磁性氧化鐵可溶於酸中： $\text{Fe}_3\text{O}_4 + 8\text{HCl} \rightarrow \text{FeCl}_2 + 2\text{FeCl}_3 + 4\text{H}_2\text{O}$

當磁性氧化鐵尺寸為奈米等級時，因為粒徑很小、比表面積增大，所以可吸附重金屬的位置增加。再加上因表面原子數目增多，表面能也迅速增高，使得表面原子具有很強的活性，很容易和重金屬離子結合。例如：奈米磁性氧化鐵內部含有二價的鐵離子，當它吸附六價的鉻金屬離子時，會產生電子轉移的機制，二價鐵離子會氧化成三價鐵離子，而讓高毒性的六價鉻離子轉變成低毒性的三價鉻離子。這過程不但達到吸附重金屬的目標，還讓重金屬的毒性大大地降低，因此奈米磁性氧化鐵是深具實用潛力的吸附劑。製備方式：

- (一)共沉澱法：在 Fe^{3+} 及 Fe^{2+} 中加入鹼性溶液，慢慢加熱與攪拌。加入鹼性溶液時需控制在 $80\sim 90^\circ\text{C}$ ，以共沈澱法製備的奈米磁性氧化鐵粒徑大小約為 $2\sim 8$ 奈米。
- (二)熱解法：是利用金屬有機化合物與高沸點的有機溶劑，以及穩定的界面活性劑，加熱至高溫，可以用來製作金屬氧化物奈米顆粒。
- (三)微乳化法：將兩種穩定且不混溶的液體混合，加入界面活性劑使其成為微小且分散的微粒 ($1\sim 50$ 奈米)，在混合過程中，微粒經過碰撞、合併、再分裂的過程中產生奈米顆粒沈澱物，再離心即可收集。
- (四)水熱法：在密閉的壓力容器中，以水作為溶劑，在高溫高壓的環境下進行快速的將金屬化合物氧化以製備奈米顆粒。

熱解法及微乳化法使用的是其他有機溶劑，而水熱法需使用高溫高壓，雖然共沉澱法較難控制形狀，但其條件及成本還有環保考量上是我們最好的選擇，因此我們決定採用共沉澱法來製備奈米磁性氧化鐵。再者，為了避免使用有毒且惡臭的氨水，並考量學校化學實驗室的有限資源，我們試著使用氫氧化鈉溶液來當作共沉澱試劑，試作結果也相當成功。製程的反應式如下：



柒、 研究過程、方法與結果：

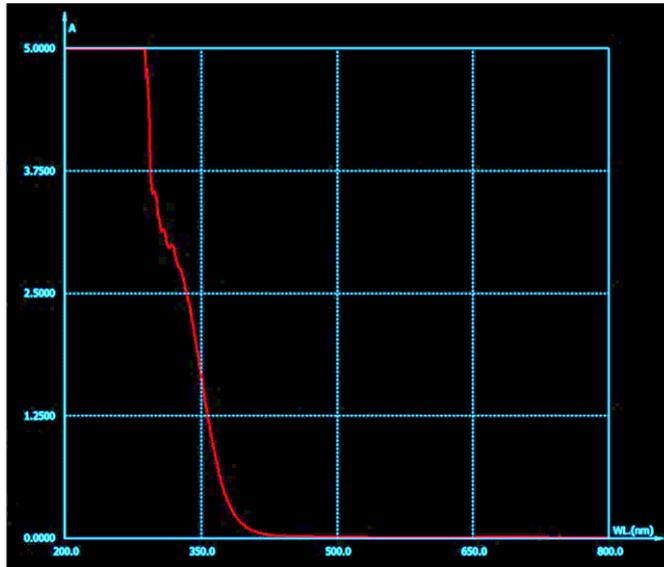
一、目的— 實際自製奈米磁性氧化鐵

- (一) 秤取 2.00 克氯化亞鐵及 5.20 克氯化鐵，放入燒杯中。
- (二) 稀釋鹽酸至 2.0M，取 25 mL 加入步驟(一)之燒杯中，攪拌並使其內粉末溶解。
- (三) 將燒杯放在加熱板上，溫度控制在 80~90°C，緩緩加入 200 mL、1.5 M 氫氧化鈉水溶液並充分攪拌。
- (四) 充分混合後，持續加熱並維持在定溫 50°C，攪拌一小時。
- (五) 回復室溫後，將所得黑色混濁溶液放入離心管，以每次 1800r.p.m.離心 2 分鐘，共進行五次。
- (六) 除去上層溶液，取出黑色沉澱物，用 RO 水多次瀝洗過濾，最後烘乾即完成。

 <p>▲ 圖一</p>	 <p>▲ 圖二</p>	 <p>▲ 圖三</p>
(一)、(二)步驟結束	進行(三)，加入氫氧化鈉水溶液	
 <p>▲ 圖四</p>	 <p>▲ 圖五</p>	
離心完畢呈黏稠狀	乾燥後靜置	

二、目的二之實驗一 探討奈米磁性氧化鐵吸附鐵(III)離子之效果

(一)使用學校現有的分光光度計，測得鐵(III)離子全波長吸收度及其趨勢



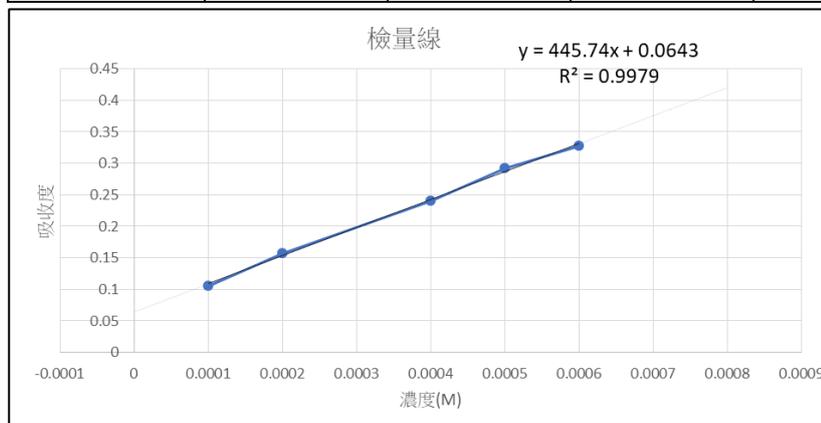
鐵(III)離子全波長吸收度在 292nm 有一個吸收高峰，因此我們決定選擇波長 292nm 作為接下來觀測記錄吸收度的依據。

▲圖六

(二)鐵(III)離子濃度(M)與吸收度(波長 292nm)的相關數據與檢量線

▼表一

濃度 (M)	1×10^{-4}	2×10^{-4}	4×10^{-4}	5×10^{-4}	6×10^{-4}
吸收度	0.1053	0.1579	0.2406	0.2921	0.3281

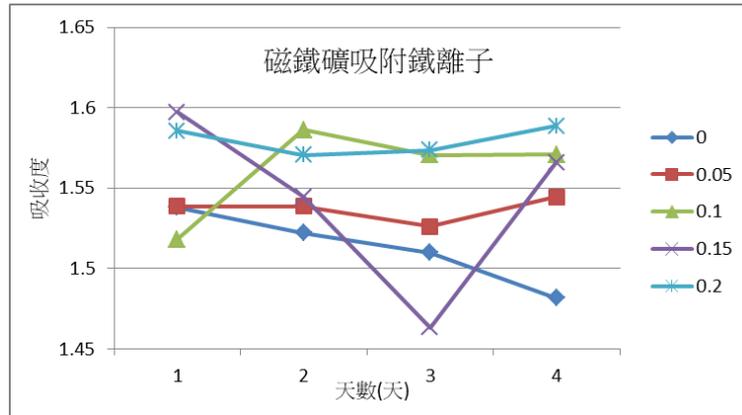


▲圖七

(三)配製 $3.3 \times 10^{-3} \text{M}$ 鐵(III)離子溶液(28°C ， $\text{pH}=4.80$)，分成 5 杯各 50 毫升，分別加入 0、0.05、0.10、0.15、0.20 克奈米磁性氧化鐵，放置四天，測其 292nm 吸收度以觀察奈米磁性氧化鐵對 Fe^{3+} 的吸附效果，結果如表二及圖八：

▼表二

加入的奈米磁性氧化鐵重量(g)	第一天	第二天	第三天	第四天
0 克	1.538	1.522	1.510	1.482
0.050 克	1.539	1.539	1.526	1.545
0.10 克	1.518	1.586	1.570	1.571
0.15 克	1.597	1.545	1.463	1.566
0.20 克	1.585	1.571	1.574	1.589



▲圖八

因為其吸收度結果有點混亂，因此我們做以下實驗測試其可行性。

(四)鐵(III)離子溶液加入奈米磁性氧化鐵的情形

在圖九及圖十中，右邊為 50mL 水加入奈米磁性氧化鐵，左邊為 50mL 0.01M 鐵(III)離子溶液加入 0.5 克奈米磁性氧化鐵，比較其差異：



▲圖九



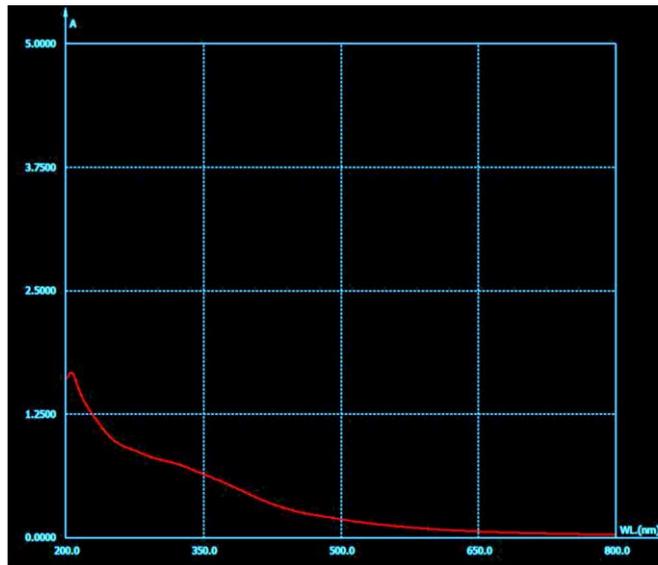
▲圖十

靜置一個禮拜(左為鐵(III)離子溶液+0.5 克奈米磁性氧化鐵，右為水+0.5 克奈米磁性氧化鐵)

靜置一個月(左為鐵(III)離子溶液+0.5 克奈米磁性氧化鐵，右為水+0.5 克奈米磁性氧化鐵)

由圖九及圖十可發現，加入水中的奈米磁性氧化鐵明顯比加入鐵(III)離子之顏色為深，故推測在鐵(III)離子溶液中，有較多的奈米磁性氧化鐵浮在溶液中，導致影響了吸收度的測定值，所以造成上面吸收度數據折線圖混亂的情形。且在鐵(III)離子溶液中放置數禮拜後，會發現奈米磁性氧化鐵明顯減少，可能是因為在配製鐵(III)離子溶液時，我們加入少許稀鹽酸，以避免鐵(III)離子在水中水

解成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ，但是可能 pH 值太低導致奈米磁性氧化鐵溶解。因此我們無法測得奈米磁性氧化鐵吸附鐵(III)離子的真實效果。



圖十一為在 50ml 水中加入 0.25 克奈米磁性氧化鐵並且沒使用強力磁鐵吸引，導致其懸浮於水中，測得的全波長圖譜，證明奈米磁性氧化鐵懸浮於溶液中主要影響短波長的吸收度，對於後續銅(II)離子的 750nm 波長影響不大。

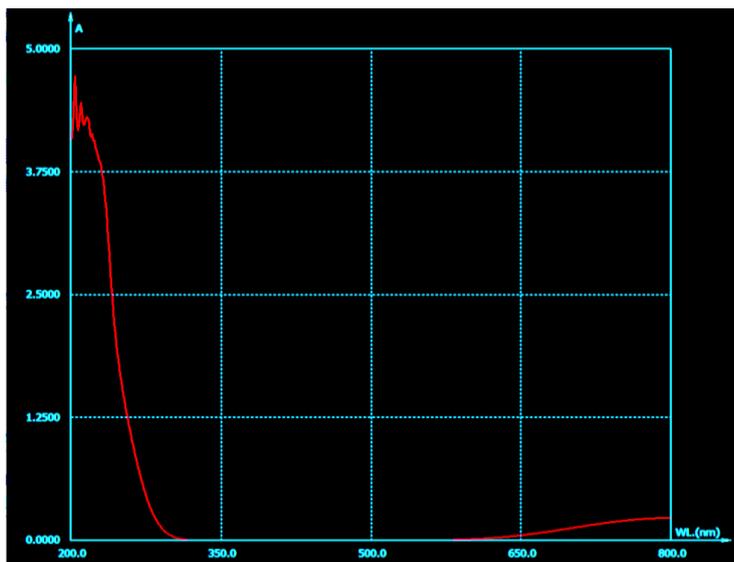
▲ 圖十一

(五)結論

1. 依據鐵(III)離子全波長吸收度，我們選擇波長 292nm 之數據做紀錄。
2. 奈米磁性氧化鐵吸附鐵(III)離子後的吸收度結果較為混亂，無法有一個明確的結論。雖然事與願違，我們無法明確得知奈米磁性氧化鐵對鐵(III)離子的吸附效果，與老師深入討論過後，我們希望記取這個失敗的經驗，加入更多的想法與信心繼續朝探討奈米磁性氧化鐵對 Cu^{2+} 和 Pb^{2+} 的吸附研究。

三、目的二之實驗二 探討奈米磁性氧化鐵吸附銅(II)離子之效果

(一) 銅(II)離子全波長吸收度及其趨勢



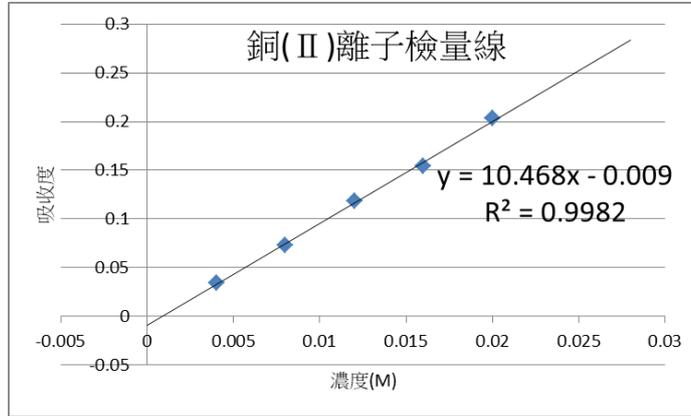
銅(II)離子全波長吸收度的高峰在紫外光區，根據前面的實驗一我們已經知道奈米磁性氧化鐵會影響其吸收度，因此我們決定選擇波長 750nm 作為下列實驗所紀錄的依據。

▲ 圖十二

(二)銅(II)離子與吸收度(波長 750 nm)的相關數據與檢量線

▼表三

濃度(M)	4×10^{-3}	8×10^{-3}	1.2×10^{-2}	1.6×10^{-2}	2×10^{-2}
吸收度	0.0344	0.0728	0.1183	0.1545	0.2029

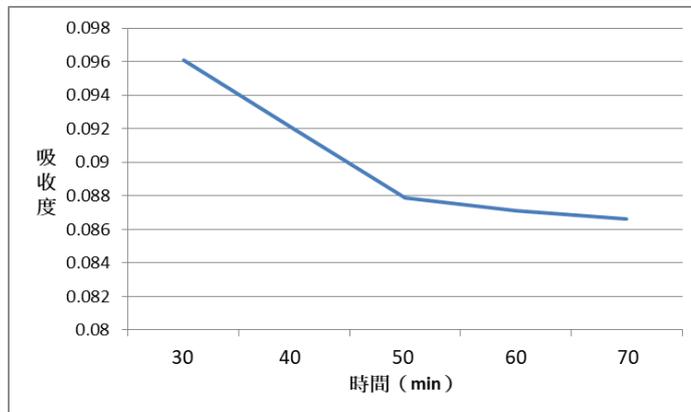


▲圖十三

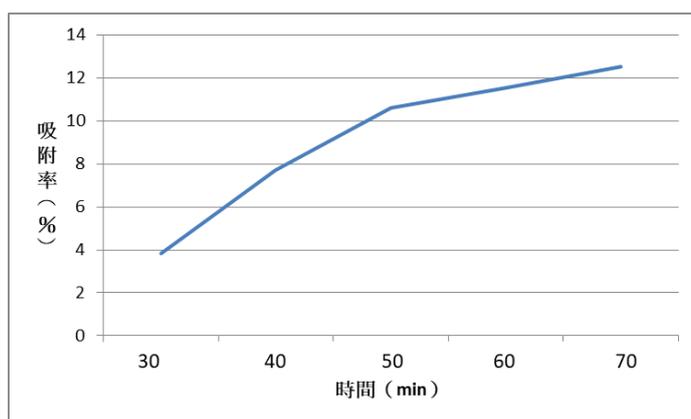
(三)配製 0.01M 銅(II)離子溶液 50 毫升(28°C, pH=3.50)，加入 0.125g 奈米磁性氧化鐵，並充分混和，當要測定吸收度時，放置強力磁鐵於溶液燒杯下方，將奈米磁性氧化鐵粉末吸引到底部。前 30 分鐘讓其充分吸附及沉澱，之後依不同時間測其 750nm 吸收度以計算分析奈米磁性氧化鐵對 Cu^{2+} 的吸附效果，進行多次實驗並取其平均值，結果如表四及圖十四、十五：

▼表四

吸附時間	0min	30min	40min	50min	60min	70min
吸收度	0.1001	0.0961	0.0920	0.0879	0.0871	0.0866
換算濃度(M)	0.0104	0.01	0.0096	0.0093	0.0092	0.0091
吸附率 (%)		3.85	7.69	10.58	11.54	12.50



▲圖十四



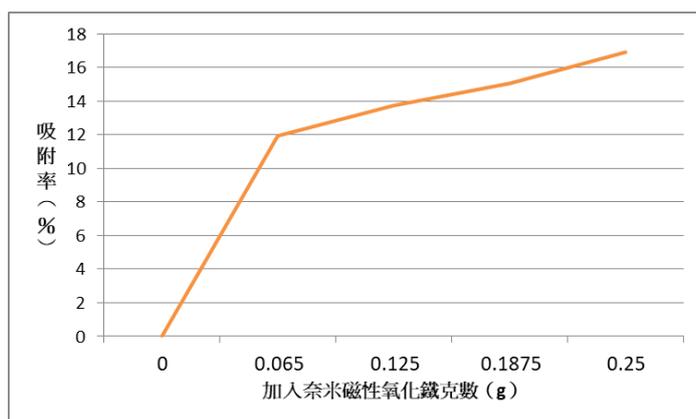
▲圖十五

由此可知，我們的配製濃度(0.01M)，和用檢量線推算出的濃度(0.0104M)幾乎是一樣的，證明我們所得的檢量線可信度很高。另外，我們發現大約在 50 分鐘後奈米磁性氧化鐵的吸附率較趨於平緩，因此我們之後的吸附實驗皆放置到此時間再進行吸收度的測試。

(四)配製 0.01M 銅(II)離子溶液(28°C, pH=3.50)，分成 5 杯各 50 毫升，分別加入 0、0.0625、0.125、0.1875、0.25 克奈米磁性氧化鐵，並充分混和，當要測定吸收度時，放置強力磁鐵於溶液燒杯下方，將奈米磁性氧化鐵粉末吸引到底部，總共放置 50 分鐘。測其 750nm 吸收度以計算分析奈米磁性氧化鐵的吸附效果，進行多次實驗並取其平均值，數據與結果分析如表五及圖十六：

▼表五

加入的奈米磁性氧化鐵重量(g)	吸收度	換算濃度 (M)	吸附量(mol)	吸附率 (%)
0 克	0.0955	0.00998		
0.0625 克	0.083	0.00879	5.95×10^{-5}	11.92
0.125 克	0.0811	0.00861	6.85×10^{-5}	13.73
0.1875 克	0.0798	0.00848	7.50×10^{-5}	15.03
0.25 克	0.0778	0.00829	8.45×10^{-5}	16.93

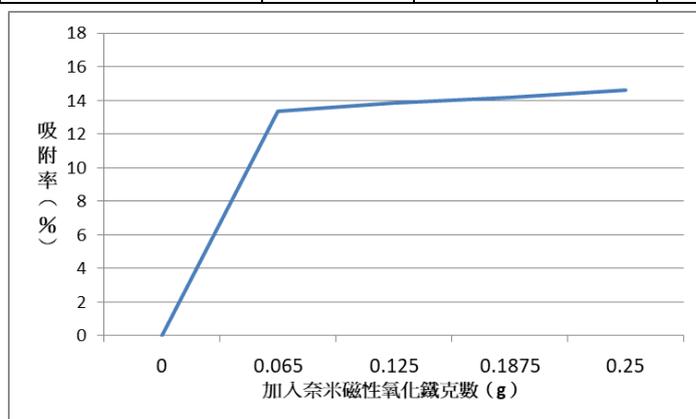


▲圖十六

(五)配製 0.02M 銅(II)離子溶液(28°C, pH=3.50), 分成 5 杯各 50 毫升, 比照上述(四)的方式重複操作實驗, 數據與結果分析如表六及圖十七:

▼表六

加入的奈米磁性氧化鐵重量(g)	吸收度	換算濃度 (M)	吸附量(mol)	吸附率 (%)
0 克	0.1926	0.01926		
0.0625 克	0.1657	0.01669	1.29×10^{-4}	13.34
0.125 克	0.1647	0.01659	1.34×10^{-4}	13.86
0.1875 克	0.164	0.01653	1.37×10^{-4}	14.17
0.25 克	0.1631	0.01644	1.41×10^{-4}	14.64



▲圖十七

(六)結論

- 1.依據銅(II)離子全波長吸收度, 我們選擇波長 750nm 之數據做紀錄。
- 2.最佳吸附銅(II)離子的時間設定為 50 分鐘。
- 3.我們的配製濃度與用檢量線推算出的濃度幾乎相同, 證明我們所得的檢量線可信度很高。
- 4.在 0.01M 及 0.02M 的銅(II)離子溶液中, 加入 0.25 克奈米磁性氧化鐵吸附效果最佳, 可分別達到 16.93%及 14.64%。

四、目的二之實驗三 探討奈米磁性氧化鐵吸附鉛(II)離子之效果

根據我們預先所測得的鉛(II)離子全波長吸收度， Pb^{2+} 之高吸收度數值為較靠近紫外光區，與實驗一中發現會影響的波長相接近，也就是說使用分光光度計已無法達到我們的目的。由於碘化鉛黃色沉澱相當明顯，所以我們決定使用化學方法—測定溶度積常數 (K_{sp}) 的方法來探討 Pb^{2+} 與奈米磁性氧化鐵的吸附情形。另外，由於製備奈米磁性氧化鐵時，會有氯離子的殘留，所以需要先用 RO 水瀝洗多次並過濾出奈米磁鐵粉後，再加入鉛(II)離子溶液中，以避免氯化鉛沉澱產生。

(一)測定室溫下，碘化鉛 (PbI_2) 之溶度積常數 (K_{sp})，使用 0.02M 碘化鉀滴定 0.005M 硝酸鉛溶液，記錄恰生成黃色沉澱物時的碘化鉀溶液體積用量，結果如表七：

$$K_{sp} = [Pb^{2+}][I^-]^2 = 0.005 \times \frac{V_{Pb^{2+}}}{V_{I^-} + V_{Pb^{2+}}} \times \left(0.02 \times \frac{V_{I^-}}{V_{I^-} + V_{Pb^{2+}}}\right)^2$$

▼表七

	硝酸鉛體積(mL)	碘化鉀體積(mL)	K_{sp}	平均 K_{sp}
第一次	10.00	1.40	2.646×10^{-8}	2.605×10^{-8}
第二次	10.00	1.40	2.646×10^{-8}	
第三次	10.00	1.30	2.343×10^{-8}	
第四次	9.00	1.30	2.784×10^{-8}	

我們查得碘化鉛 (PbI_2) 之實際溶度積常數 (K_{sp}) 在 20°C 時，為 1.4×10^{-8} ，考量操作時水溫近於室溫，對於溶解熱為吸熱的固體，溫度較高時溶度積常數應變大，可見我們測得較大的溶度積常數 (K_{sp}) 具有很高的可信度。

(二)為測試奈米磁性氧化鐵的吸附速率及吸附率，我們利用 K_{sp} 得出以下公式

吸附率計算公式

(V_x 表示加入 x 克奈米磁性氧化鐵的硝酸鉛溶液所消耗的碘化鉀溶液毫升數)

$$K_{sp} = [Pb^{2+}][I^-]^2 = [Pb^{2+}] \times \left[0.02 \times \frac{V_x}{10 + V_x}\right]^2$$

$$\text{取 10 毫升滴定後的鉛離子莫耳數} = [Pb^{2+}] \times (10 + V_x) \times 10^{-3}$$

$$\text{吸附率} = \frac{\text{吸附前存在的莫耳數} - \text{吸附後剩餘莫耳數}}{\text{吸附前存在的莫耳數}} \times 100\%$$

此方法計算出來之鉛離子莫耳數為 10 毫升溶液中的存在量，而我們是用 50 毫升加奈米磁性氧化鐵，因此若需計算原本的鉛離子存在量，則須乘以 5 倍。

例：以下方(三)中 20min 為例，

$$K_{sp} = 2.605 \times 10^{-8} = [Pb^{2+}] \times (0.02 \times 3.2 / 13.2)^2, \text{ 可得出 } [Pb^{2+}]$$

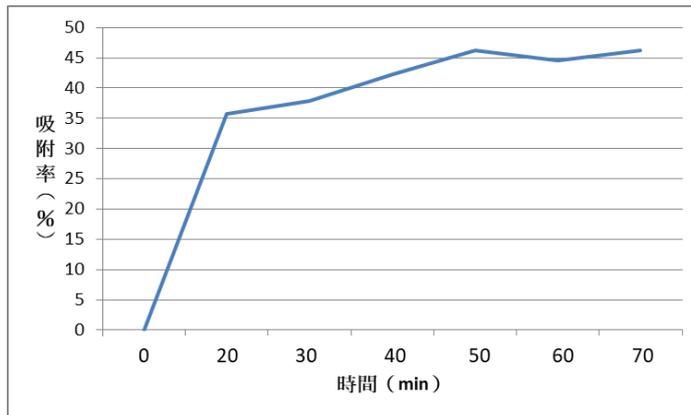
$$\text{水溶液中鉛離子存在量 (mol)} = [Pb^{2+}] \times 13.2 \times 10^{-3} = 1.46 \times 10^{-5}$$

$$\text{吸附率} = (2.28 \times 10^{-5} - 1.46 \times 10^{-5}) / (2.28 \times 10^{-5}) \times 100\% = 35.96\%$$

(三) 配製 $2.27 \times 10^{-3} \text{M}$ 鉛(II)離子溶液 50 毫升(28°C , $\text{pH}=5.00$)，加入 0.25 克奈米磁性氧化鐵，並充分混和，當要測量時，放置強力磁鐵於溶液燒杯下方，將奈米磁性氧化鐵粉末吸引到底部，總共放置 70 分鐘。之後依據不同時間取 10 毫升硝酸鉛溶液，用 0.02M 碘化鉀 (KI) 滴定，以觀察奈米磁性氧化鐵的吸附效果，進行多次實驗並取其平均值。以錐形瓶內之 10 毫升鉛(II)離子溶液進行分析，結果如表八及圖十八：

▼表八

吸附時間	0min	20min	30min	40min	50min	60min	70min
用去 KI (ml)	2.3	3.2	3.3	3.5	3.7	3.6	3.7
水溶液中鉛離子存在量 (mol)	2.28×10^{-5}	1.46×10^{-5}	1.41×10^{-5}	1.31×10^{-5}	1.22×10^{-5}	1.25×10^{-5}	1.22×10^{-5}
吸附量(mol)		8.20×10^{-6}	8.70×10^{-6}	9.70×10^{-6}	1.06×10^{-5}	1.03×10^{-5}	1.06×10^{-5}
吸附率 (%)		35.96	38.16	42.54	46.49	45.18	46.49



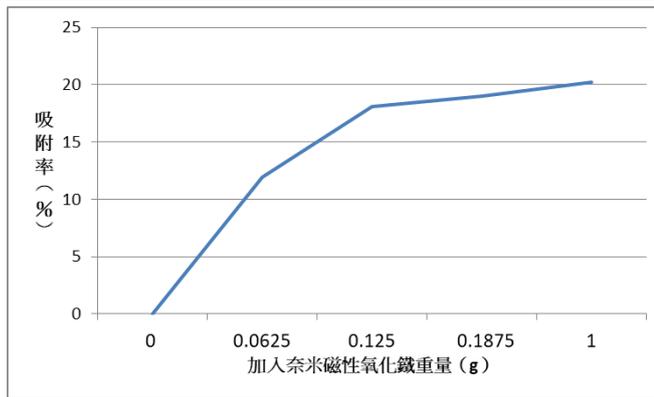
▲圖十八

根據上圖，我們發現大約在 50 分鐘時奈米磁性氧化鐵可吸附 Pb^{2+} 到接近最大值，因此我們之後的實驗皆放置到此時間再進行測定。

(四) 配製 $6.53 \times 10^{-4} \text{M}$ 鉛(II)離子溶液(28°C , $\text{pH}=5.00$)，分成 5 杯各 50 毫升，分別加入 0、0.0625、0.125、0.1875、0.25 克奈米磁性氧化鐵，並充分混和，當要測量時，放置強力磁鐵於溶液燒杯下方，將奈米磁性氧化鐵粉末吸引到底部，總共放置 50 分鐘。取 10 毫升硝酸鉛溶液，用 0.02M 碘化鉀 (KI) 滴定，以觀察奈米磁性氧化鐵的吸附效果，進行多次實驗並取其平均值。以錐形瓶內之 10 毫升鉛(II)離子溶液進行分析，結果如表九及圖十九：

▼表九

加入的奈米磁性 氧化鐵重量(g)	用去 KI (ml)	水溶液中的鉛離 子存在量 (mol)	吸附量(mol)	吸附率(%)
0 克	7.0	6.54×10^{-6}		
0.0625 克	8.4	5.76×10^{-6}	7.80×10^{-7}	11.93
0.125 克	9.5	5.36×10^{-6}	1.18×10^{-6}	18.04
0.1875 克	9.7	5.30×10^{-6}	1.24×10^{-6}	18.96
0.25 克	10.0	5.22×10^{-6}	1.32×10^{-6}	20.18

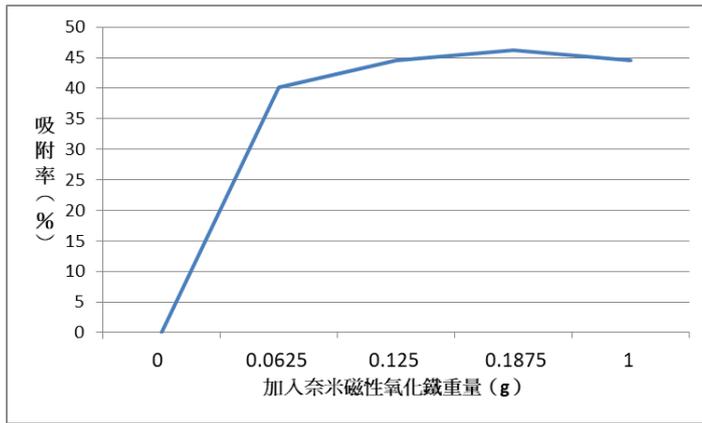


▲圖十九

(五)配製 $2.27 \times 10^{-3} \text{M}$ 鉛(II)離子溶液(28°C , $\text{pH}=5.00$)，分成 5 杯各 50 毫升，比照上述(四)的方式重複操作實驗，結果如表十及圖二十：

▼表十

加入的奈米磁性 氧化鐵重量(g)	用去 KI (ml)	水溶液中的鉛離 子存在量 (mol)	吸附量(mol)	吸附率(%)
0 克	2.3	2.27×10^{-5}		
0.0625 克	3.4	1.36×10^{-5}	9.1×10^{-6}	40.09
0.125 克	3.6	1.26×10^{-5}	1.01×10^{-5}	44.49
0.1875 克	3.7	1.22×10^{-5}	1.05×10^{-5}	46.26
0.25 克	3.6	1.26×10^{-5}	1.01×10^{-5}	44.49



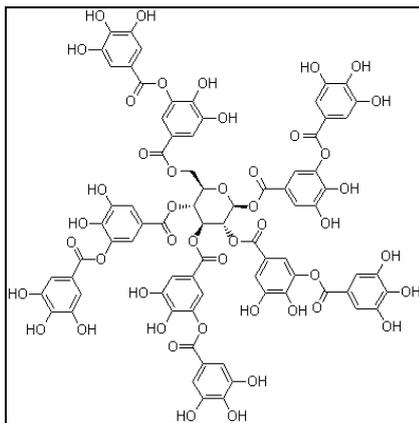
▲圖二十

(六)結論

1. 最大吸附鉛(II)離子的時間約為 50 分鐘左右。
2. 在 $2.27 \times 10^{-3} \text{M}$ 鉛(II)離子溶液中最大吸附率在加入 0.1875 克奈米磁性氧化鐵，並放置 50 分鐘能達到最大值 46.26%。在 $6.53 \times 10^{-4} \text{M}$ 鉛(II)離子溶液中最大吸附率在加入 0.25 克奈米磁性氧化鐵，放置 50 分鐘能達到最大值 20.18%。
3. 在高濃度鉛(II)離子溶液中吸附量及吸附率明顯遠高於在低濃度鉛(II)離子溶液中的，我們推測可能是因為後者濃度較低，需要更長時間才能達到最大吸附效果。

五、目的三之實驗一 使用綠茶改良磁性氧化鐵

因為單寧酸($\text{C}_{76}\text{H}_{52}\text{O}_{46}$)具有多個苯酚基，對金屬陽離子的吸附應該有其效果，所以我們想用此來改質奈米磁性氧化鐵。我們選擇泡綠茶包，用綠茶中的單寧酸進行改質的探討。



▲圖二十一 單寧酸結構

- (一)用加熱板加熱 RO 水，放入綠茶包，浸泡 20 分鐘
- (二)靜置冷卻至室溫
- (三)加入 10 克原先的奈米磁性氧化鐵，攪拌 2 小時

(四)以每次 6000r.p.m.離心 5 分鐘，進行五次，以去除其內的綠茶，避免其發霉

(五)利用磁鐵使其沉澱，除去上層溶液，取出黑色沉澱物，用 RO 水多次瀝洗過濾，最後烘乾即完成。

	
▲圖二十二	▲圖二十三
步驟(一)	步驟(三)
	
▲圖二十四	▲圖二十五
完成後的綠茶改良磁性氧化鐵溶液	未離心而導致發霉

六、目的三之實驗二 使用單寧酸改良奈米磁性氧化鐵

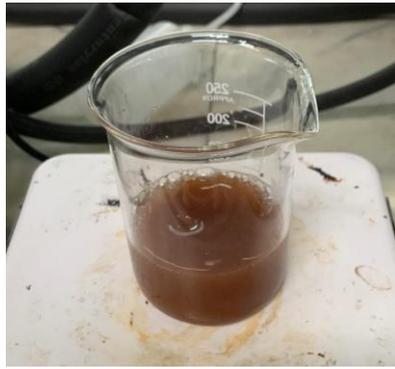
用綠茶改良奈米磁性氧化鐵後出現明確的效果，所以我們想要進一步使用更純的單寧酸來進行改質，並於目的五中比較其效果。

(一)取 3 克單寧酸粉末，加入 150 毫升的水，攪拌使其溶解

(二)加入 10 克原先的奈米磁性氧化鐵，攪拌 2 小時

(三)以每次 6000r.p.m.離心 5 分鐘，進行五次，以去除其內的單寧酸，避免影響後續實驗結果

(四)利用磁鐵使其沉澱，除去上層溶液，取出黑色沉澱物，用 RO 水多次瀝洗過濾，最後烘乾即完成。



▲圖二十六

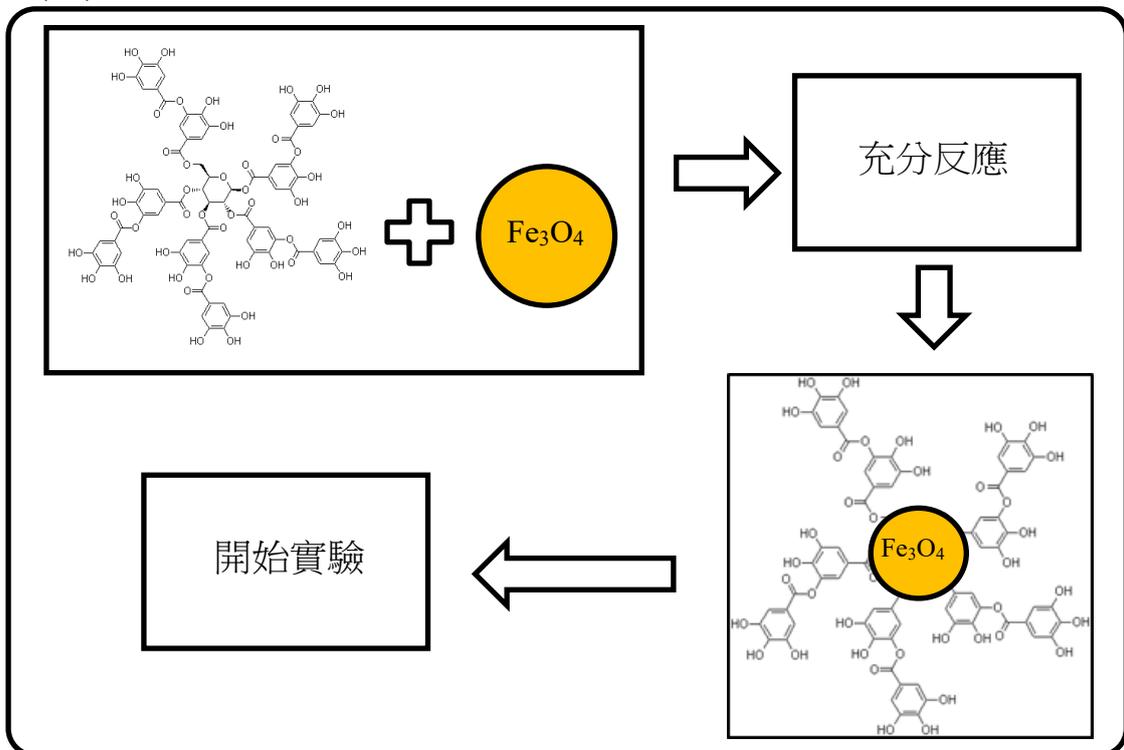
單寧酸水溶液



▲圖二十七

單寧酸改良後的奈米磁性氧化鐵

(五)我們推測其反應機制應為圖二十八所示



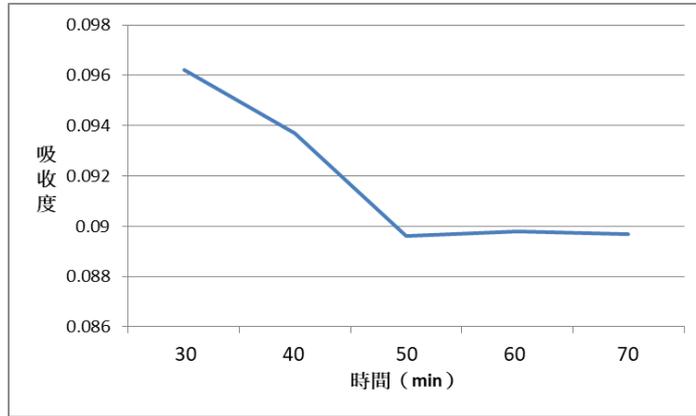
▲圖二十八

七、目的四之實驗一 探討綠茶改良後的奈米磁性氧化鐵吸附銅(II)離子之效果

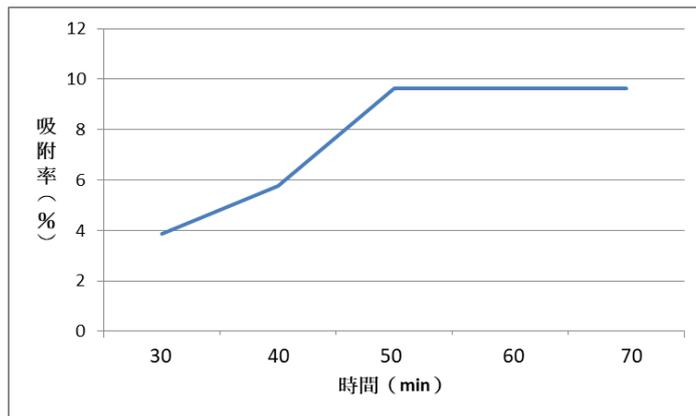
(一) 配製 0.01M 銅(II)離子溶液 50 毫升(28°C, pH=3.70), 加入 0.0625 克綠茶改良後的奈米磁性氧化鐵, 並充分混和, 當要測量時, 放置強力磁鐵於溶液燒杯下方, 將綠茶改良後奈米磁性氧化鐵粉末吸引到底部, 總共放置 70 分鐘, 前 30 分鐘讓其充分吸附及沉澱, 之後依不同時間測其 750nm 吸收度以觀察綠茶改良後奈米磁性氧化鐵的吸附效果, 進行多次實驗並取其平均值, 結果如表十一及圖二十九、三十:

▼表十一

吸附時間	0min	30min	40min	50min	60min	70min
吸收度	0.1001	0.0962	0.0937	0.0896	0.0989	0.0897
換算濃度(M)	0.0104	0.01	0.0098	0.0094	0.0094	0.0094
吸附率(%)		3.85	5.77	9.62	9.62	9.62



▲圖二十九



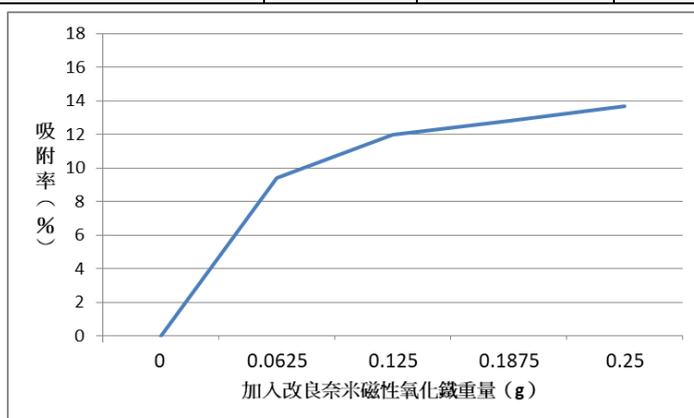
▲圖三十

根據上圖，我們發現大約在 50 分鐘時綠茶改良奈米磁性氧化鐵可吸附到接近最大值，因此我們之後的實驗皆放置到此時間並進行測量

(二)配製 0.01M 銅(II)離子溶液(28°C, pH=3.70)，分成 5 杯各 50 毫升，分別加入 0、0.0625、0.125、0.1875、0.25 克綠茶改良後奈米磁性氧化鐵溶液，放置強力磁鐵於溶液燒杯下方，將綠茶改良後奈米磁性氧化鐵粉末吸引到底部，放置 50 分鐘，測其 750nm 吸收度以觀察綠茶改良後奈米磁性氧化鐵的吸附效果，進行多次實驗並取其平均值，結果如表十二及圖三十一：

▼表十二

綠茶改良奈米磁性氧化鐵重量(g)	吸收度	換算濃度 (M)	吸附量(mol)	吸附率 (%)
0 克	0.1134	0.0117		
0.0625 克	0.1021	0.0106	5.50×10^{-5}	9.40
0.125 克	0.0992	0.0103	7.00×10^{-5}	11.97
0.1875 克	0.0977	0.0102	7.50×10^{-5}	12.82
0.25 克	0.0969	0.0101	8.00×10^{-5}	13.68

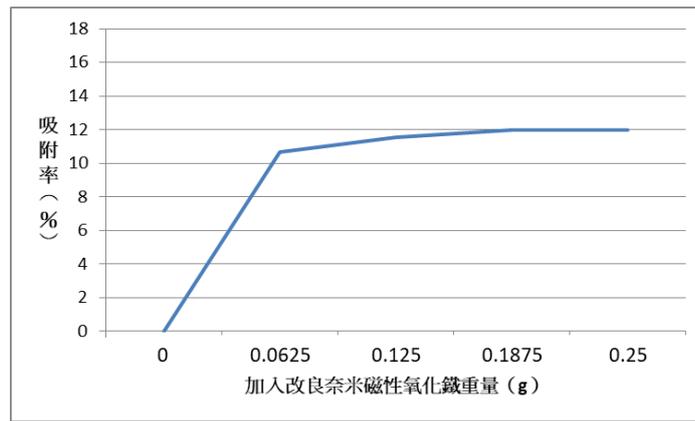


▲圖三十一

(三)配製 0.02M 銅(II)離子溶液(28°C, pH=3.70), 分成 5 杯各 50 毫升, 比照上述(二)的方式重複操作實驗, 結果如表十三及圖三十二:

▼表十三

綠茶改良奈米磁性氧化鐵重量(g)	吸收度	換算濃度 (M)	吸附量(mol)	吸附率 (%)
0 克	0.2270	0.0225		
0.0625 克	0.2015	0.0201	1.20×10^{-4}	10.67
0.125 克	0.1998	0.0199	1.30×10^{-4}	11.56
0.1875 克	0.1982	0.0198	1.35×10^{-4}	12.00
0.25 克	0.1986	0.0198	1.35×10^{-4}	12.00



▲圖三十二

(四)結論

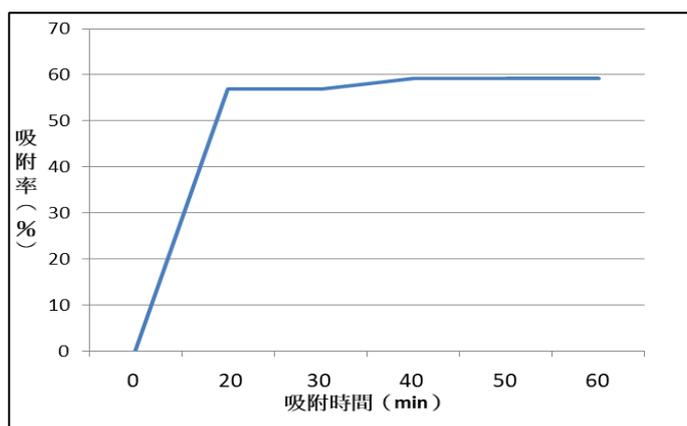
1. 最大吸附銅(II)離子的時間約為 50 分鐘左右。
2. 在 0.01M 銅(II)離子溶液中最大吸附率在加入 0.25 克綠茶改良奈米磁性氧化鐵，並且放置 50 分鐘能達到最大值 13.68%。在 0.02M 銅(II)離子溶液中最大吸附率在加入 0.1875 及 0.25 克綠茶改良奈米磁性氧化鐵，並且放置 50 分鐘能達到最大值 12.00%。
3. 綠茶改良奈米磁性氧化鐵在 0.02M 銅(II)離子溶液中吸附量大約是在 0.01M 銅(II)離子溶液中的 2 倍。

八、目的四之實驗二 探討綠茶改良後的奈米磁性氧化鐵吸附鉛(II)離子之效果

(一)配製 0.005M 鉛(II)離子溶液 50 毫升(28°C, pH=5.00)，加入 0.25 克綠茶改良後的奈米磁性氧化鐵溶液，放置強力磁鐵於溶液燒杯下方，將綠茶改良後奈米磁性氧化鐵粉末吸引到底部，放置 100 分鐘，前 20 分鐘讓其充分吸附及沉澱，之後依不同時間取 10 毫升硝酸鉛溶液，用 0.02M 碘化鉀 (KI) 滴定，以觀察綠茶改良後奈米磁性氧化鐵的吸附效果，進行多次實驗並取其平均值。以錐形瓶內之 10 毫升鉛(II)離子溶液利用目的三得出的公式進行分析，結果如表十四及圖三十三：

▼表十四

吸附時間	0min	20min	30min	40min	50min	60min
用去 KI (ml)	1.4	2.4	2.4	2.5	2.5	2.5
水溶液中的鉛離子存在量 (mol)	5.00 ×10 ⁻⁵	2.16 ×10 ⁻⁵	2.16 ×10 ⁻⁵	2.04 ×10 ⁻⁵	2.04 ×10 ⁻⁵	2.04 ×10 ⁻⁵
吸附量(mol)		2.84 ×10 ⁻⁵	2.84 ×10 ⁻⁵	2.96 ×10 ⁻⁵	2.96 ×10 ⁻⁵	2.96 ×10 ⁻⁵
吸附率 (%)		56.80	56.80	59.20	59.20	59.20



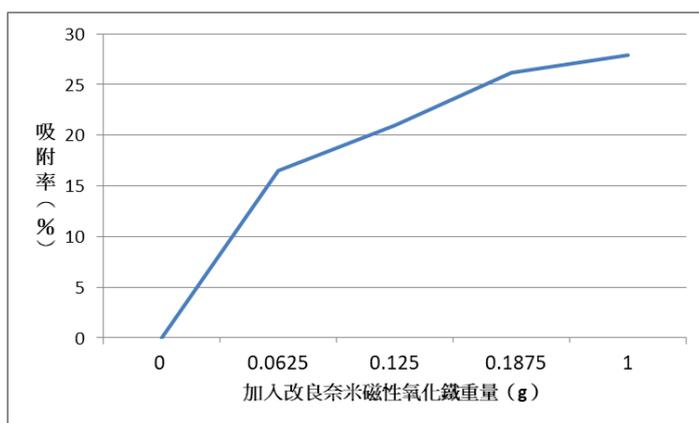
▲圖三十三

根據上圖，我們發現大約在 20 分鐘時綠茶改良後奈米磁性氧化鐵可吸附到接近最大值，因此我們之後的實驗皆放置到此時間並進行測量。

(二)配製 6.53×10^{-4} 鉛(II)離子溶液(28°C, pH=5.00)，分成 5 杯各 50 毫升，分別加入 0、0.0625、0.125、0.1875、0.25 克綠茶改良後的奈米磁性氧化鐵，並充分混和，當要測量時，放置強力磁鐵於溶液燒杯下方，將綠茶改良後奈米磁性氧化鐵粉末吸引到底部，總共放置 20 分鐘。取 10 毫升硝酸鉛溶液，用 0.02M 碘化鉀(KI) 滴定，以觀察綠茶改良後的奈米磁性氧化鐵的吸附效果，進行多次實驗並取其平均值。以錐形瓶內之 10 毫升鉛(II)離子溶液進行分析，結果如表十五及圖三十四：

▼表十五

綠茶改良奈米磁性氧化鐵重量(g)	用去 KI (ml)	水溶液中的鉛離子存在量 (mol)	吸附量(mol)	吸附率 (%)
0 克	7.0	6.54×10^{-6}		
0.0625 克	9.2	5.46×10^{-6}	1.08×10^{-6}	16.51
0.125 克	10.2	5.16×10^{-6}	1.37×10^{-6}	20.95
0.1875 克	12.0	4.82×10^{-6}	1.71×10^{-6}	26.15
0.25 克	12.8	4.72×10^{-6}	1.82×10^{-6}	27.83

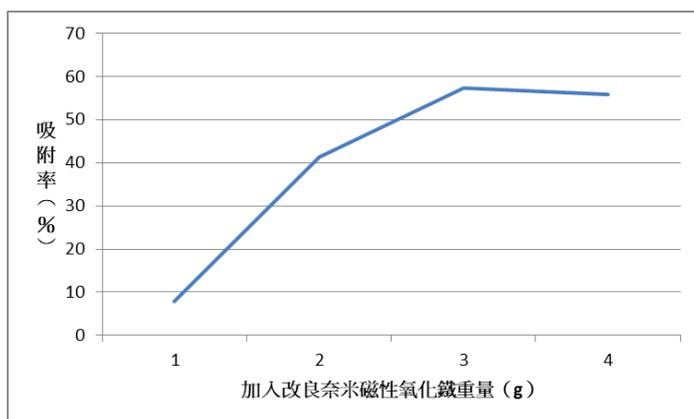


▲圖三十四

(三)配製 3.30×10^{-3} 鉛(II)離子溶液(28°C, pH=5.00), 分成 5 杯各 50 毫升, 比照上述(二)的方式重複操作實驗, 結果如表十六及圖三十五:

▼表十六

綠茶改良奈米磁性氧化鐵重量(g)	用去 KI (ml)	水溶液中的鉛離子存在量 (mol)	吸附量 (mol)	吸附率 (%)
0 克	1.8	3.30×10^{-5}		
0.0625 克	1.9	3.04×10^{-5}	2.60×10^{-6}	7.88
0.125 克	2.6	1.93×10^{-5}	1.37×10^{-5}	41.52
0.1875 克	3.3	1.41×10^{-5}	1.89×10^{-5}	57.27
0.25 克	3.2	1.46×10^{-5}	1.84×10^{-5}	55.76



▲圖三十五

(四)結論

- 1.最大吸附鉛(II)離子的時間約為 20 分鐘左右。
- 2.在 3.30×10^{-3} M 鉛(II)離子溶液中最大吸附率在加入 0.1875 克綠茶改良奈米磁性氧化鐵, 並且放置 20 分鐘能達到最大值 57.27%。在 6.53×10^{-4} M 鉛(II)離子溶液中最大吸附率在加入 0.25 克綠茶改良奈米磁性氧化鐵, 並且放置 20 分鐘能達到最大值 27.83%。

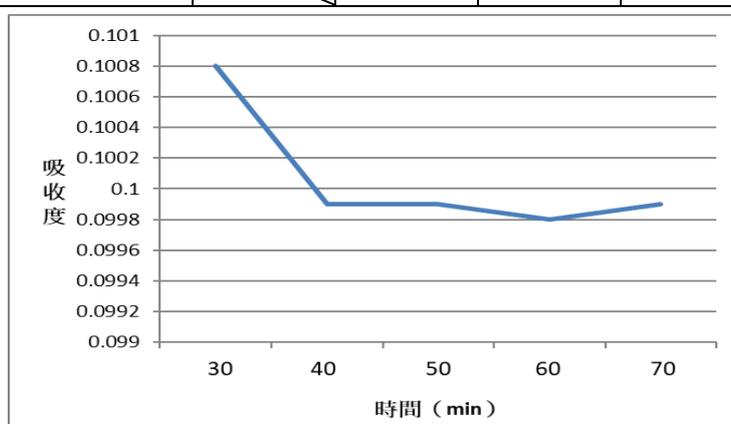
3. 在 $3.30 \times 10^{-3} \text{M}$ 鉛(II)離子溶液中吸附量及吸附率明顯遠高於在 $6.53 \times 10^{-4} \text{M}$ 鉛(II)離子溶液中的，我們推測可能是因為後者濃度較低，需要更長時間才能達到最大吸附效果。

九、目的五之實驗一 探討單寧酸改良後的奈米磁性氧化鐵吸附銅(II)離子之效果

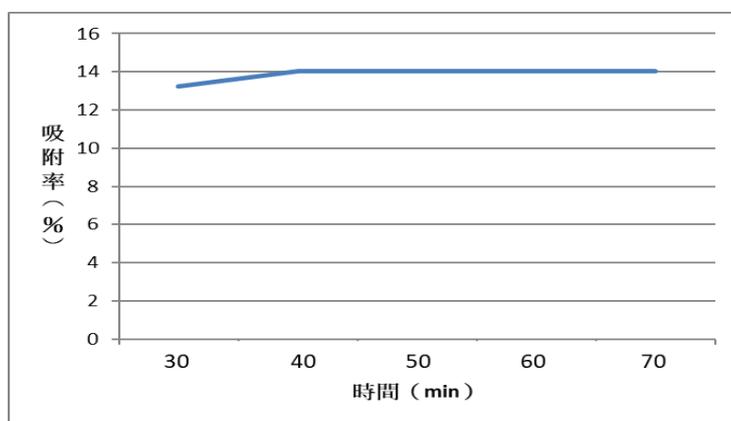
(一) 配製 0.01M 銅(II)離子溶液 50 毫升(28°C ， $\text{pH}=3.70$)，加入 0.125 克單寧酸改良後的奈米磁性氧化鐵，並充分混和，當要測量時，放置強力磁鐵於溶液燒杯下方，將單寧酸改良後奈米磁性氧化鐵粉末吸引到底部，總共放置 70 分鐘，前 30 分鐘讓其充分吸附及沉澱，之後依不同時間測其 750nm 吸收度以觀察單寧酸改良後奈米磁性氧化鐵的吸附效果，進行多次實驗並取其平均值，結果如表十七及圖三十六、三十七：

▼表十七

吸附時間	0min	30min	40min	50min	60min	70min
吸收度	0.1173	0.1008	0.0999	0.0999	0.0998	0.0999
換算濃度(M)	0.0121	0.0105	0.0104	0.0104	0.0104	0.0104
吸附率(%)		13.22	14.05	14.05	14.05	14.05



▲圖三十六



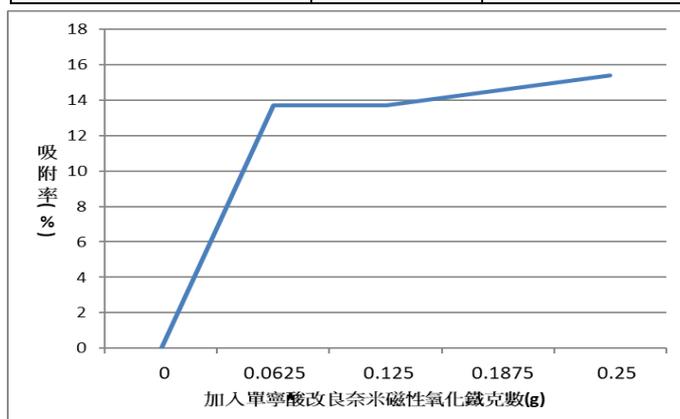
▲圖三十七

根據上圖，我們發現大約在 30 分鐘時單寧酸改良奈米磁性氧化鐵可吸附到接近最大值，因此我們之後的實驗皆放置到此時間並進行測量

(二) 配製 0.01M 銅(II)離子溶液(28°C, pH=3.70)，分成 5 杯各 50 毫升，分別加入 0、0.0625、0.125、0.1875、0.25 克單寧酸改良後奈米磁性氧化鐵溶液，放置強力磁鐵於溶液燒杯下方，將單寧酸改良後奈米磁性氧化鐵粉末吸引到底部，放置 30 分鐘，測其 750nm 吸收度以觀察單寧酸改良後奈米磁性氧化鐵的吸附效果，進行多次實驗並取其平均值，結果如表十八及圖三十八：

▼表十八

單寧酸改良奈米磁性氧化鐵重量(g)	吸收度	換算濃度(M)	吸附量(mol)	吸附率(%)
0 克	0.1134	0.0117		
0.0625 克	0.0969	0.0101	8.00×10^{-5}	13.68
0.125 克	0.0963	0.0101	8.00×10^{-5}	13.68
0.1875 克	0.0957	0.0100	8.50×10^{-5}	14.53
0.25 克	0.0945	0.0099	9.00×10^{-5}	15.38

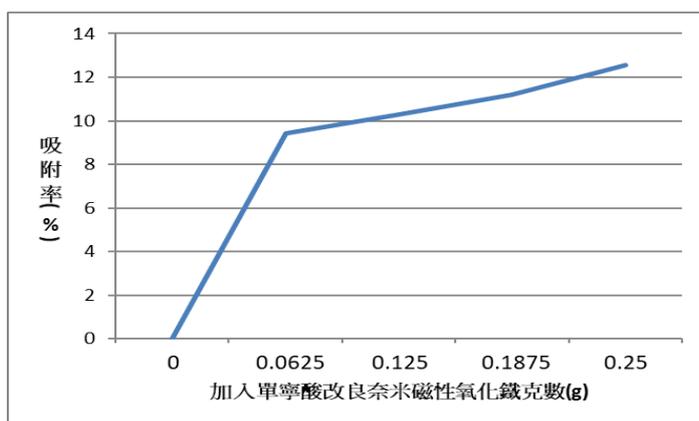


▲圖三十八

(三)配製 0.02M 銅(II)離子溶液(28°C, pH=3.70)，分成 5 杯各 50 毫升，比照上述(二)的方式重複操作實驗，結果如表十九及圖三十九：

▼表十九

單寧酸改良奈米磁性氧化鐵重量(g)	吸收度	換算濃度 (M)	吸附量(mol)	吸附率 (%)
0 克	0.2244	0.0223		
0.0625 克	0.2029	0.0202	1.05×10^{-4}	9.42
0.125 克	0.2001	0.0200	1.15×10^{-4}	10.31
0.1875 克	0.1980	0.0198	1.25×10^{-4}	11.21
0.25 克	0.1954	0.0195	1.40×10^{-4}	12.56



▲圖三十九

(四)結論

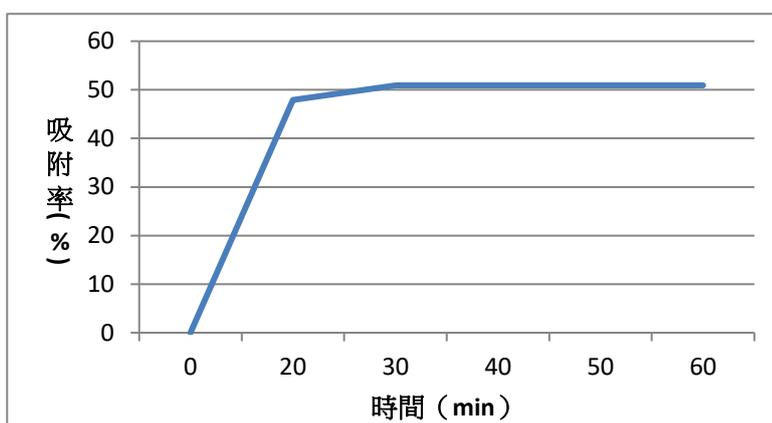
1. 最大吸附銅(II)離子的時間約為 30 分鐘左右。
2. 在 0.01M 銅(II)離子溶液中最大吸附率在加入 0.25 克單寧酸改良奈米磁性氧化鐵，並且放置 30 分鐘能達到最大值 15.38%。在 0.02M 銅(II)離子溶液中最大吸附率在加入 0.25 克單寧酸改良奈米磁性氧化鐵，並且放置 30 分鐘能達到最大值 12.56%。

十、目的五之實驗二 探討單寧酸改良後的奈米磁性氧化鐵吸附鉛(II)離子之效果

(一)配製 $4.40 \times 10^{-3} \text{M}$ 鉛(II)離子溶液 50 毫升(28°C , $\text{pH}=5.00$)，加入 0.0625 克單寧酸改良後的奈米磁性氧化鐵溶液，放置強力磁鐵於溶液燒杯下方，將單寧酸改良後奈米磁性氧化鐵粉末吸引到底部，放置 60 分鐘，前 20 分鐘讓其充分吸附及沉澱，之後依不同時間取 10 毫升硝酸鉛溶液，用 0.02M 碘化鉀(KI)滴定，以觀察單寧酸改良後奈米磁性氧化鐵的吸附效果，進行多次實驗並取其平均值。以錐形瓶內之 10 毫升鉛(II)離子溶液利用目的三得出的公式進行分析，結果如表二十及圖四十：

▼表二十

吸附時間	0min	20min	30min	40min	50min	60min
用去 KI (ml)	1.5	2.3	2.4	2.4	2.4	2.4
水溶液中的鉛離子存在量 (mol)	4.40×10^{-5}	2.29×10^{-5}	2.16×10^{-5}	2.16×10^{-5}	2.16×10^{-5}	2.16×10^{-5}
吸附量(mol)		2.11×10^{-5}	2.24×10^{-5}	2.24×10^{-5}	2.24×10^{-5}	2.24×10^{-5}
吸附率 (%)		47.90	50.90	50.90	50.90	50.90



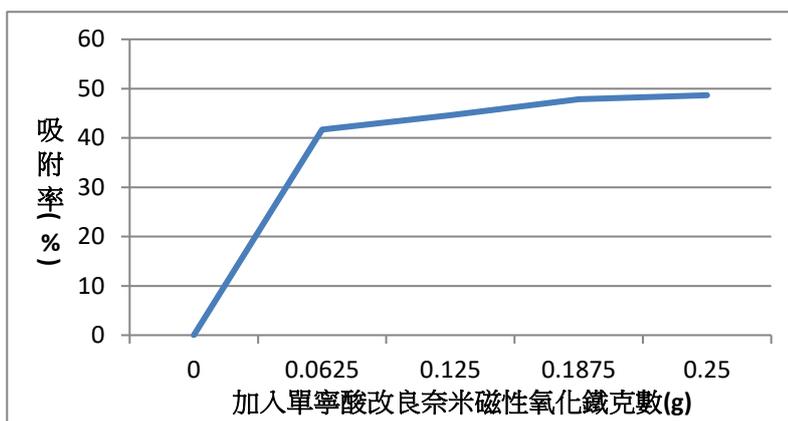
▲圖四十

根據上圖，我們發現大約在 20 分鐘時單寧酸改良後奈米磁性氧化鐵可吸附到接近最大值，因此我們之後的實驗皆放置到此時間並進行測量

(二)配製 1.12×10^{-3} 鉛(II)離子溶液(28°C, pH=5.00)，分成 5 杯各 50 毫升，分別加入 0、0.0625、0.125、0.1875、0.25 克單寧酸改良後的奈米磁性氧化鐵，並充分混和，當要測量時，放置強力磁鐵於溶液燒杯下方，將單寧酸改良後奈米磁性氧化鐵粉末吸引到底部，總共放置 20 分鐘。取 10 毫升硝酸鉛溶液，用 0.02M 碘化鉀(KI)滴定，以觀察單寧酸改良後的奈米磁性氧化鐵的吸附效果，進行多次實驗並取其平均值。以錐形瓶內之 10 毫升鉛(II)離子溶液進行分析，結果如表二十一及圖四十一：

▼表二十一

單寧酸改良奈米磁性氧化鐵重量(g)	用去 KI(ml)	水溶液中的鉛離子存在量(mol)	吸附量 (mol)	吸附率(%)
0 克	4.0	1.12×10^{-5}		
0.0625 克	7.0	6.53×10^{-6}	4.67×10^{-6}	41.69
0.125 克	7.5	6.20×10^{-6}	5.00×10^{-6}	44.64
0.1875 克	8.2	5.84×10^{-6}	5.36×10^{-6}	47.86
0.25 克	8.4	5.75×10^{-6}	5.45×10^{-6}	48.66

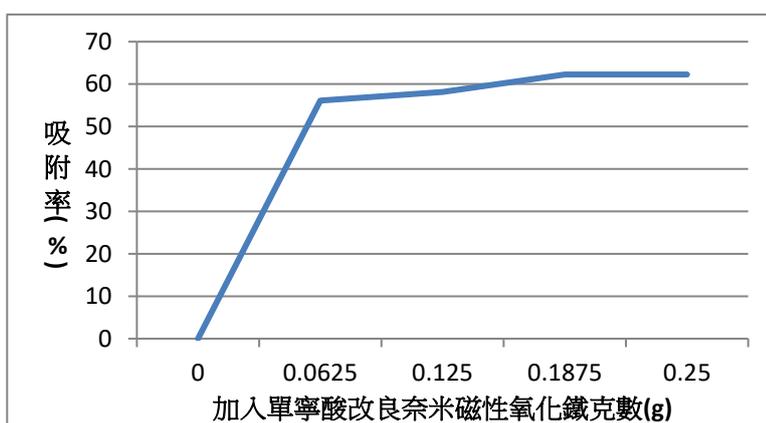


▲圖四十一

(三)配製 4.40×10^{-3} 鉛(II)離子溶液(28°C, pH=5.00), 分成 5 杯各 50 毫升, 比照上述(二)的方式重複操作實驗, 結果如表二十二及圖四十二:

▼表二十二

單寧酸改良奈米磁性氧化鐵重量(g)	用去 KI (ml)	水溶液中的鉛離子存在量 (mol)	吸附量 (mol)	吸附率 (%)
0 克	1.5	4.40×10^{-5}		
0.0625 克	2.6	1.93×10^{-5}	2.47×10^{-5}	56.14
0.125 克	2.7	1.83×10^{-5}	2.57×10^{-5}	58.14
0.1875 克	2.9	1.66×10^{-5}	2.74×10^{-5}	62.27
0.25 克	2.9	1.66×10^{-5}	2.74×10^{-5}	62.27



▲圖四十二

(四)結論

- 1.最大吸附鉛(II)離子的時間約為 20 分鐘左右。
- 2.在 4.40×10^{-3} M 鉛(II)離子溶液中最大吸附率在加入 0.1875 克單寧酸改良奈米磁性氧化鐵, 並且放置 20 分鐘能達到最大值 62.27%。在 1.12×10^{-3} M 鉛(II)離子溶液中最大吸附率在加入 0.25 克單寧酸改良奈米磁性氧化鐵, 並且放

置 20 分鐘能達到最大值 48.66%。

3. 在 $4.40 \times 10^{-3} \text{M}$ 鉛(II)離子溶液中吸附量及吸附率明顯遠高於在 $1.12 \times 10^{-3} \text{M}$ 鉛(II)離子溶液中的，我們推測可能是因為後者濃度較低，需要更長時間才能達到最大吸附效果。

捌、 研究結論與討論

- 一、鐵(III)離子在波長 292nm 有一吸收高峰。但在加入奈米磁性氧化鐵吸附鐵(III)離子後的吸收度結果較為混亂，無法有一個明確的結論。且奈米磁性氧化鐵在過酸之溶液中放置長時間，會慢慢溶解，而鐵(III)離子溶液又需加入鹽酸避免其水解 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ，因此無法試驗奈米磁性氧化鐵吸附鐵(III)離子的效果。且在吸附過程中，會有一部分奈米磁性氧化鐵懸浮於溶液中，並造成分光光度計吸收度上升。
- 二、奈米磁性氧化鐵最大吸附銅(II)離子的時間約為 50 分鐘左右。
 - (一) 在較低濃度時 (0.01M)，50 毫升溶液加入 0.25 克奈米磁性氧化鐵，並且放置 50 分鐘吸附率能達到最大值 16.93%，最高可吸附 8.45×10^{-5} 莫耳的銅(II)離子；隨著奈米磁性氧化鐵克數增加，吸附率大約呈線性增加。
 - (二) 在較高濃度時 (0.02M)，50 毫升溶液加入 0.25 克奈米磁性氧化鐵，並且放置 50 分鐘吸附率能達到最大值 14.64%，最高可吸附 1.41×10^{-4} 莫耳的銅(II)離子，但隨著奈米磁性氧化鐵克數增加，吸附率變化不大，我們推測可能是因為奈米磁性氧化鐵的吸附能力到達最大值，所以吸附量及吸附率差異不大。
- 三、奈米磁性氧化鐵最大吸附鉛(II)離子的時間約為 50 分鐘左右。
 - (一) 在較低濃度時 ($6.53 \times 10^{-4} \text{M}$)，奈米磁性氧化鐵的吸附速率較慢，50 毫升溶液加入 0.25 克奈米磁性氧化鐵，並且放置 50 分鐘吸附率能達到最大值 20.18%，最高可吸附 6.60×10^{-6} 莫耳的鉛(II)離子。
 - (二) 在較高濃度時 ($2.27 \times 10^{-3} \text{M}$)，50 毫升溶液加入 0.1875 克奈米磁性氧化鐵，並且放置 50 分鐘吸附率能達到最大值 46.26%，最高可吸附 5.25×10^{-5} 莫耳的鉛(II)離子，且隨著奈米磁性氧化鐵克數增加，吸附率並沒有大幅提高，差距不大。因此只需要加入大約 0.125 克奈米磁性氧化鐵即可到最大吸附率。
- 四、綠茶改良後奈米磁性氧化鐵最大吸附銅(II)離子的時間約為 50 分鐘左右。
 - (一) 在較低濃度時 (0.01M)，隨著綠茶改良後奈米磁性氧化鐵克數增加，吸附率及吸附量也呈正相關，但加入 0.125 克後，吸附量及吸附率漸緩。50 毫升溶液加入 0.25 克的綠茶改良後奈米磁性氧化鐵的吸附率能達到 13.86%，最高可吸附 8.00×10^{-5} 莫耳的銅(II)離子。其吸附率與吸附量和未改良奈米磁性氧化鐵差不多，但較低一些。

(二)在較高濃度時(0.02M)，隨著綠茶改良奈米磁性氧化鐵克數增加，吸附率及吸附量變化不大，我們推測可能是因為綠茶改良奈米磁性氧化鐵的吸附能力已經到達接近最大值，但 50 毫升溶液加入 0.1875 克的綠茶改良後奈米磁性氧化鐵的吸附率能達到 12.00%，最高可吸附 1.35×10^{-4} 莫耳的銅(II)離子。其吸附率與吸附量和未改良奈米磁性氧化鐵差不多，但較低一些。

五、綠茶改良後奈米磁性氧化鐵對吸附鉛(II)離子能在更短的時間 20 分鐘就達到最大效果，比未改良前縮短了 30 分鐘。

(一)在較低濃度時(6.53×10^{-4} M)，隨著綠茶改良後奈米磁性氧化鐵克數增加，吸附率及吸附量也呈正相關，因此我們推測綠茶改良後奈米磁性氧化鐵的吸附能力尚未到達最大值。50 毫升溶液加入 0.25 克的綠茶改良後奈米磁性氧化鐵的吸附率能達到 27.83%，最高可吸附 9.10×10^{-6} 莫耳的鉛(II)離子。且吸附率最高比未改良奈米磁性氧化鐵提高 37.91%，且其吸附量最高可達未改良的 1.38 倍。

(二)在較高濃度時(3.30×10^{-3} M)，加入 0.0625 克的綠茶改良後奈米磁性氧化鐵的吸附率相當低，但 50 毫升溶液加入 0.1875 克的綠茶改良後奈米磁性氧化鐵的吸附率能達到 57.27%，最高可吸附 9.45×10^{-5} 莫耳的鉛(II)離子。且綠茶改良後奈米磁性氧化鐵對吸附鉛(II)離子的時間比未改良奈米磁性氧化鐵所需時間較少，並且吸附率最高可提高 23.80%，且其吸附量最高可達未改良的 1.82 倍。

綜合上述可知，在鉛(II)離子的吸附上，綠茶確實可以對奈米磁性氧化鐵產生有效的改質。

六、單寧酸改良後奈米磁性氧化鐵最大吸附銅(II)離子的時間約為 30 分鐘左右，比以綠茶包改良方式縮短了 20 分鐘。

(一)在較低濃度時(0.01M)，隨著單寧酸改良奈米磁性氧化鐵克數增加，吸附率及吸附量些微增加，但整體來說變化不大。50 毫升溶液加入 0.25 克單寧酸改良奈米磁性氧化鐵，放置 30 分鐘能達到最大值 15.38%，最高可吸附 9.00×10^{-5} 莫耳銅(II)離子。其吸附率與吸附量和未改良奈米磁性氧化鐵差不多，但較高一些。

(二)在較高濃度時(0.02M)，隨著單寧酸改良奈米磁性氧化鐵克數增加，吸附率及吸附量些微增加，但整體來說變化不大。在 50 毫升溶液加入 0.25 克單寧酸改良奈米磁性氧化鐵，並且放置 30 分鐘能達到最大值 12.56%。最高可吸附 1.40×10^{-4} 莫耳的銅(II)離子。其吸附率與吸附量和未改良奈米磁性氧化鐵差不多。

七、單寧酸改良奈米磁性氧化鐵對吸附鉛(II)離子，時間效率與用綠茶包改良相近，均能在 20 分鐘就達到最大效果。

(一)在較低濃度時(1.12×10^{-3} M)，隨著單寧酸改良奈米磁性氧化鐵克數增加，吸附率及吸附量也呈正相關，但加入 0.1875 克後吸附率及吸附量漸緩，我們推測可

能是因為單寧酸改良奈米磁性氧化鐵的吸附能力已接近最大值，所以吸附量及吸附率差異不大。50 毫升溶液加入 0.25 克單寧酸改良奈米磁性氧化鐵，放置 20 分鐘能達到最大值 48.66%。最高可吸附 2.73×10^{-5} 莫耳的鉛(II)離子。吸附率最高比未改良奈米磁性氧化鐵提高 28.48%，其吸附量最高可達未改良的 4.14 倍。

(二)在較高濃度時 ($4.40 \times 10^{-3} \text{M}$)，隨著單寧酸改良奈米磁性氧化鐵克數增加，吸附率及吸附量也呈正相關，但加入 0.1875 克後吸附率及吸附量漸緩，我們推測可能是因為單寧酸改良奈米磁性氧化鐵的吸附能力已接近最大值，所以吸附量及吸附率差異不大。在 50 毫升溶液加入 0.1875 克綠茶改良奈米磁性氧化鐵，並且放置 20 分鐘能達到最大值 62.27%。最高可吸附 1.37×10^{-4} 莫耳的鉛(II)離子。且改良後奈米磁性氧化鐵對吸附鉛(II)離子的時間比未改良奈米磁性氧化鐵所需時間較少，且吸附率最高可提高 20.01%，其吸附量最高可達未改良的 2.61 倍。

綜合上述可知，在鉛(II)離子的吸附上，對奈米磁性氧化鐵的改質效果，單寧酸更優於綠茶。

八、因為奈米磁性氧化鐵的超順磁性，能在其吸附重金屬離子後使用強力磁鐵回收，設計多次的吸附、回收與放流程序，並配合適當的後續處理，應該可以更加減輕污染的問題。綜合我們的種種探討結果，我們推論最佳吸附銅(II)離子是使用 0.25 克的奈米磁性氧化鐵，並至少放置 50 分鐘，最高可吸附 1.41×10^{-4} 莫耳的銅(II)離子。而最佳吸附鉛(II)離子是使用單寧酸改良後奈米磁性氧化鐵 0.1875 克，並至少放置 20 分鐘最高可吸附 1.37×10^{-4} 莫耳的鉛(II)離子。

玖、 未來展望

- 一、後續實驗可以在製造奈米磁性氧化鐵時，使用鹼性較弱且較好的反應物，如 NH_3 ，並且使用保護氣體，例如 N_2 。這樣製造出來的奈米磁性氧化鐵粒徑更小，也許更有利於重金屬離子的吸附。另外，未來若能使用到更高階的貴儀如 SEM、XRD、原子光譜等，更能明確得知我們自製的奈米磁性氧化鐵的粒徑大小與重金屬離子的去除率。
- 二、後續實驗可以分別以溫度和 pH 值作為操縱變因，延續我們對奈米磁性氧化鐵的吸附探討。
- 三、後續實驗可使用不同重金屬離子進行吸附探討，如 $\text{Cr}^{6+}(\text{CrO}_4^{2-})$ 、 Cr^{3+} 、 Hg^{2+} 或 Cd^{2+} 等。也可以多方嘗試使用不同物質，例如阿拉伯膠、腐植酸等，來對奈米磁性氧化鐵進行改質，確立奈米磁性氧化鐵對不同重金屬離子的選擇性，並設法提升吸附效果。

壹拾、 參考資料及其他

- 一、高中基礎化學一—常見的化學反應、高中基礎化學二—化學與化工、高中選修化學
下—化學的應用與發展(泰宇出版.民 107.7 月.3 版 2 刷)
- 二、曾昱智 (2013)。氧化鐵奈米顆粒固定化纖維水解酵素及纖維水解應用研究。檢自：
<http://thuir.thu.edu.tw/retrieve/22643/101THU00518009-001.pdf> (Dec.15,2019)
- 三、陳燕華 (2013)。礦物科技：神奇的奈米磁性氧化鐵。檢自：
<https://scitechvista.nat.gov.tw/c/s2tc.htm> (Dec.28,2019)

【評語】 052602

本作品採用共沉澱法製造出奈米級磁性氧化鐵(Fe_3O_4)，探討其對不同重金屬離子的吸附效果，獲得奈米級磁氧化鐵對於銅離子與鉛離子之每公克最大吸附量；若使用單寧酸對奈米磁性氧化鐵進行改良，對於銅離子的吸附效果差異不大，但對鉛離子的吸附量能達到未改良的 2.61 倍。本作品缺乏對奈米磁性氧化鐵的物化特性與磁性的基本測試，因此無法對實驗結果的差異作合理的定性或定量說明；溫度與 pH 為兩項重要的實驗環境條件，但本作品並未實驗探討之。對為什麼綠茶、單寧酸的含量可以改變奈米磁性氧化鐵的吸附特性，以及未來應用可能遇到的實際問題為何等，建議可以再加強研究與文獻之比較與討論。

壹、研究動機

最近學校附近的河川—幸福川，可能被汙染成不同的「顏色」，而在所有汙染物中，重金屬離子是一種長久且嚴重危害生態及環境的汙染物。又因我們對高中化學奈米材料的介紹與應用深感興趣，從中認識到奈米結構材料常展現出明顯不同於塊材之特性，世界各國對其發展也高度重視，於是我們想要利用奈米級磁性氧化鐵 Fe_3O_4 來吸附重金屬離子，加上此材料的強大順磁性，可藉由強力磁鐵吸住固體，簡便地從水中去除並且回收重金屬汙染物。 Fe^{3+} 、 Cu^{2+} 和 Pb^{2+} 是水中常見重金屬汙染且高中實驗室可較容易取得加以探究，於是我們著手製造並使用了奈米級 Fe_3O_4 ，來進行此材料對 Fe^{3+} 、 Cu^{2+} 和 Pb^{2+} 三種重金屬離子的吸附探討，於是開啟了我們的研究。

貳、研究目的

- 一、建立一套自製奈米磁性氧化鐵的製備流程
- 二、設定 Fe^{3+} 、 Cu^{2+} 和 Pb^{2+} 當作我們的標的物，逐一探討奈米磁性氧化鐵對這幾種重金屬離子的吸附條件與效果
- 三、探討如何改良奈米磁性氧化鐵
- 四、探討綠茶改良後的奈米磁性氧化鐵吸附重金屬離子之效果是否有所增強
- 五、探討使用單寧酸改良後的奈米磁性氧化鐵吸附重金屬離子之效果是否有所增強

參、研究藥品及器材

一、器材

滴管	燒杯	漏斗	濾紙	秤量紙	天平	玻棒
洗滌瓶	括勺	溫度計	滴定管	錐形瓶	磁攪拌子	加熱板
容量瓶	離心機	安全吸球	離心管	試管	分度	分光
綠茶包	石英槽	強力磁鐵	烘箱	試管架	吸量管	光度計

二、藥品

氯化亞鐵	氯化鐵	氫氧化鈉	鹽酸
硫酸銅	硝酸鉛	碘化鉀	單寧酸

分光光度計廠牌：ChromTech；型號：CT-2200

肆、名詞解釋

- 一、奈米磁性氧化鐵：即我們製造的奈米等級的 Fe_3O_4 。
- 二、吸收度(無單位)：使用分光光度計所測得的值，即待測離子對特定波長光的吸收度大小。
- 三、吸附率(%)：奈米磁性氧化鐵所吸附金屬離子的百分率。
- 四、吸附量(mol)：奈米磁性氧化鐵吸附金屬離子的莫耳數。

伍、原理與文獻探討

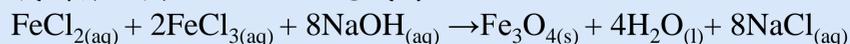
一、奈米磁性氧化鐵簡介

- (一)四氧化三鐵(Fe_3O_4)為磁性氧化鐵，可溶於酸溶液($\text{Fe}_3\text{O}_4 + 8\text{HCl} \rightarrow \text{FeCl}_2 + 2\text{FeCl}_3 + 4\text{H}_2\text{O}$)，不溶於水、鹼溶液及乙醇、乙醚等有機溶劑。
- (二)奈米級的磁性氧化鐵有非常大的比表面積，也有超順磁性，可用於醫學上的用途。
- (三)奈米磁性氧化鐵表面原子和內部原子所處的環境不同，而具有不同的表面能和化學活性。表面原子數增加會導致原子配位數不足、表面能提高，表面原子處於不穩定狀態，容易和外界反應，使奈米磁性氧化鐵具有極佳的吸附性和催化活性。

二、製備方式：

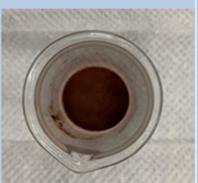
- (一)共沉澱法：在 Fe^{3+} 及 Fe^{2+} 中加入鹼性溶液，慢慢加熱與攪拌。加入鹼性溶液時需控制在 $80\sim 90^\circ\text{C}$ 。
- (二)熱解法：利用金屬有機化合物與有機溶劑，以及穩定的界面活性劑，加熱至高溫，可以用來製作金屬氧化物奈米顆粒。
- (三)微乳法：將兩種不混溶的液體混合，加入界面活性劑使其成為微小且分散的微粒，再經過碰撞、合併、分裂的過程產生奈米顆粒沈澱物，離心即可收集。
- (四)水熱法：以水作為溶劑，在高溫高壓的環境下進行快速的將金屬化合物氧化以製備奈米顆粒。

我們採用共沉澱法，反應式為：



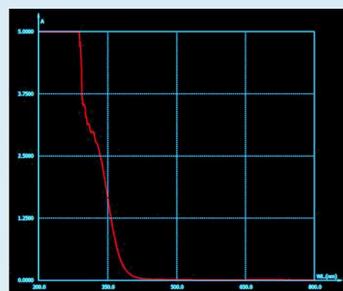
陸、研究過程、方法與數據

一、目的一 實際自製奈米磁性氧化鐵

	2.00克 FeCl_2 5.20克 FeCl_3 及2.0M鹽酸 25 mL放入燒杯中，並攪拌		溫度 $80\sim 90^\circ\text{C}$ 緩緩加入200 mL、1.5 M $\text{NaOH}(\text{aq})$ 並充分攪拌		定溫 50°C 攪拌一小時後，以1800r.p.m.離心2分鐘進行五次		取出黑色沉澱物，用RO水多次瀝洗過濾，最後烘乾即完成
---	---	---	---	--	---	---	----------------------------

二、目的二之實驗一 探討奈米磁性氧化鐵吸附鐵(III)離子之效果

(一)鐵(III)離子全波長吸收度及其趨勢



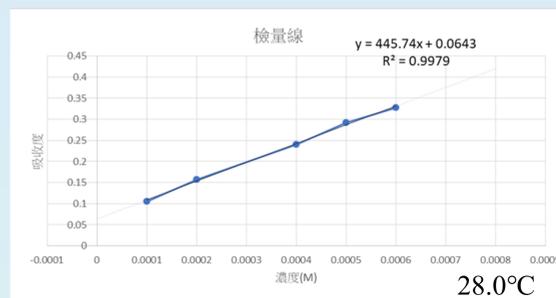
▲圖五

鐵(III)離子全波長吸收度在292nm有一個吸收高峰，因此我們決定選擇波長292nm作為接下來觀測記錄吸收度的依據。

(二)鐵離子濃度(M)與吸收度的相關數據與檢量線

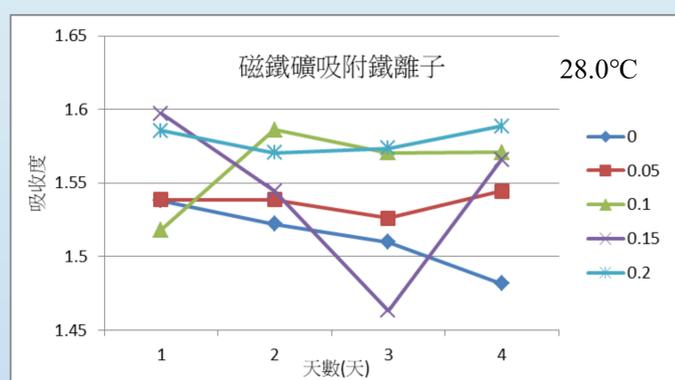
▼表一

濃度(M)	吸收度
1×10^{-4}	0.1053
2×10^{-4}	0.1579
4×10^{-4}	0.2406
5×10^{-4}	0.2921
6×10^{-4}	0.3281



▲圖六

(三)配製 $3.3 \times 10^{-3}\text{M}$ 鐵離子溶液，測量不同克奈米磁性氧化鐵對 Fe^{3+} 的吸附效果，結果如下



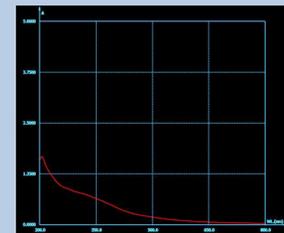
▲圖七

(四)鐵(III)離子溶液加入奈米磁性氧化鐵的情形



▲圖八

靜置一個月(右為鐵離子溶液+奈米磁性氧化鐵，左為水+奈米磁性氧化鐵)我們推測可能是因為在配製鐵離子溶液時，加入稀鹽酸，但因此導致奈米磁性氧化鐵溶解。所以無法測得奈米磁性氧化鐵吸附鐵離子的效果。

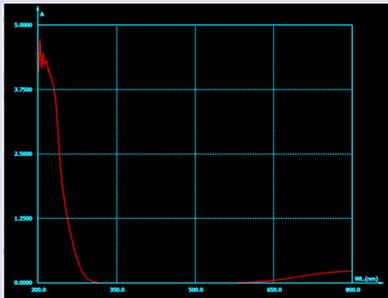


▲圖九

在水中加入奈米磁性氧化鐵，使其懸浮於水中後，測得的全波長圖譜，證明奈米磁性氧化鐵主要影響短波長的吸收度，對於後續銅離子的750nm波長影響不大。

三、目的二之實驗二 探討奈米磁性氧化鐵吸附銅(II)離子之效果

(一) 銅(II)離子全波長吸收度及其趨勢



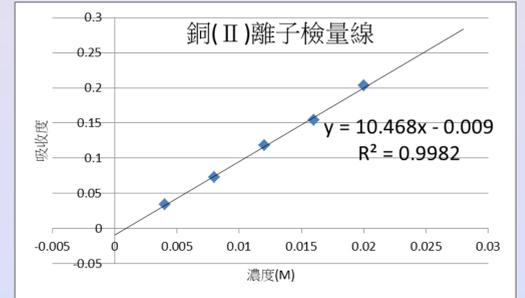
▲圖十

銅(II)離子全波長吸收度的高峰在紫外光區，根據前面的實驗一我們已經知道奈米磁性氧化鐵會影響其吸收度，因此我們決定選擇波長750 nm作為下列實驗所紀錄的依據。

(二) 銅(II)離子與吸收度(波長750nm)的相關數據與檢量線

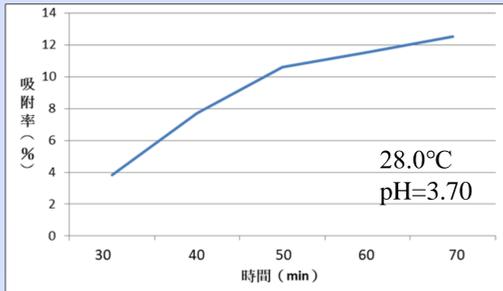
▼表二

濃度(M)	吸收度
4×10^{-3}	0.0344
8×10^{-3}	0.0728
1.2×10^{-2}	0.1183
1.6×10^{-2}	0.1545
2×10^{-2}	0.2029



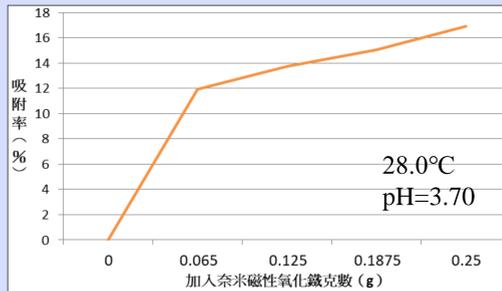
▲圖十一

(三) 配製0.01M銅(II)離子溶液，以測量不同時間奈米磁性氧化鐵對Cu²⁺的吸附效果



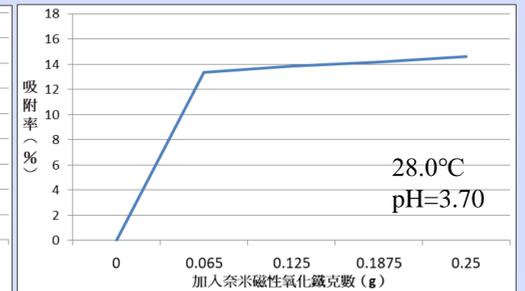
▲圖十二 約在50分鐘後吸附率趨於平緩，因此之後的吸附實驗皆放置到50分鐘再進行測試

(四) 配製0.01M(左下)及0.02M(右下)銅(II)離子溶液，以測量不同克數奈米磁性氧化鐵對Cu²⁺的吸附效果



0.01M銅(II)離子溶液

▲圖十三



0.02M銅(II)離子溶液

▲圖十四

四、目的二之實驗三 探討奈米磁性氧化鐵吸附鉛(II)離子之效果

根據我們預先所測得的鉛(II)離子全波長吸收度，Pb²⁺之高吸收度數值較靠近紫外光區，也就是說使用分光光度計已無法達到我們的目的。由於碘化鉛黃色沉澱相當明顯，所以我們決定使用化學方法—測定溶度積常數(K_{sp})的方法來探討Pb²⁺與奈米磁性氧化鐵的吸附情形。

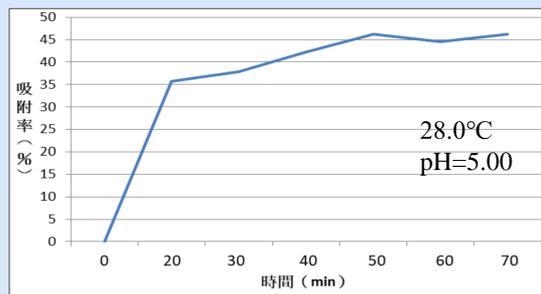
(一) 測定室溫下，碘化鉛之溶度積常數(K_{sp})，結果如下

▼表三

	硝酸鉛 體積(mL)	碘化鉀 體積(mL)	K _{sp}
第一次	10.00	1.40	2.646×10^{-8}
第二次	10.00	1.40	2.646×10^{-8}
第三次	10.00	1.30	2.343×10^{-8}
第四次	9.00	1.30	2.784×10^{-8}
平均K _{sp} ：			2.605×10^{-8}

我們查得碘化鉛之實際K_{sp}在20°C時，為 1.4×10^{-8} ，而操作時水溫近於室溫，可見我們測得的K_{sp}具有很高的可信度。

(三) 配製 2.27×10^{-3} M鉛(II)離子溶液，以測量不同時間奈米磁性氧化鐵對Pb²⁺溶液進行分析



▲圖十五 約在50分鐘後吸附率趨於平緩，因此之後的吸附實驗皆放置到50分鐘再進行測試

(二) 為測試奈米磁性氧化鐵的吸附速率及吸附率，我們利用K_{sp}得出以下公式

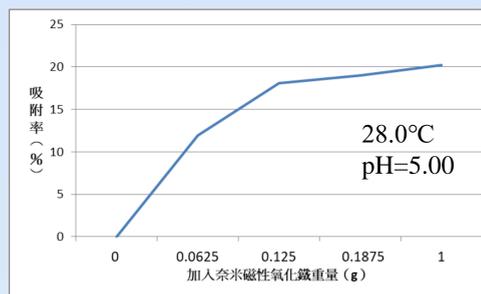
$$K_{sp} = [Pb^{2+}][I^{-}]^2 = [Pb^{2+}] \times \left[0.02 \times \frac{V_x}{10 + V_x}\right]^2$$

$$\text{取10毫升滴定後的鉛離子莫耳數} = [Pb^{2+}] \times (10 + V_x) \times 10^{-3}$$

$$\text{吸附率} = \frac{\text{吸附前存在的莫耳數} - \text{吸附後剩餘莫耳數}}{\text{吸附前存在的莫耳數}} \times 100\%$$

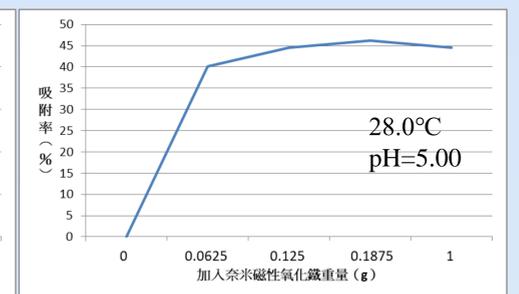
此方法計算出來之鉛離子莫耳數為10毫升溶液中的存在量，而我們是用50毫升加奈米磁性氧化鐵，因此若需計算原本的鉛離子存在量，則須乘以5倍

(四) 配製 6.53×10^{-4} M(左下)及 2.27×10^{-3} M(右下)鉛(II)離子溶液，以測量不同克數奈米磁性氧化鐵對Pb²⁺的吸附效果



6.53×10^{-4} M 鉛(II)離子溶液

▲圖十六

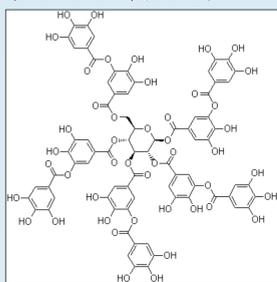


2.27×10^{-3} M 鉛(II)離子溶液

▲圖十七

五、目的三 如何改良磁性氧化鐵

因為單寧酸(C₇₆H₅₂O₄₆)具有多個苯酚基，對金屬陽離子的吸附應該有其效果，所以我們選擇使用綠茶中的單寧酸及純的單寧酸來改良奈米磁性氧化鐵。



▲圖十八
單寧酸結構



▲圖十九

150毫升水加入綠茶包或純的單寧酸3克(圖十九、二十、二十一以綠茶為例)



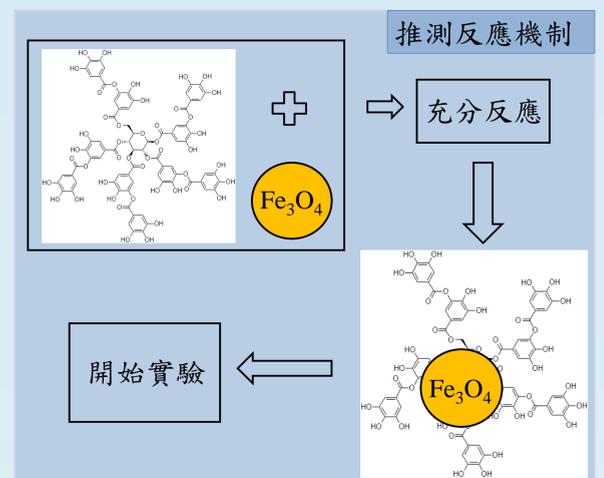
▲圖二十

加入10克原先的奈米磁性氧化鐵，攪拌2小時，以6000r.p.m.離心5分鐘，進行五次



▲圖二十一

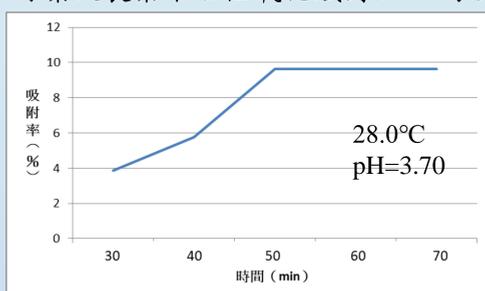
除去上層溶液，取出黑色沉澱物，用RO水瀝洗過濾，最後烘乾即完成



▲圖二十二

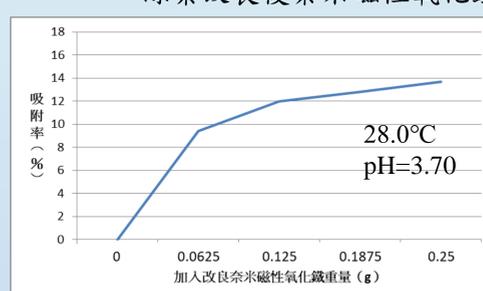
六、目的四之實驗一 探討綠茶改良後的奈米磁性氧化鐵吸附銅(II)離子之效果

(一) 配製0.01M銅(II)離子溶液，以測量不同時間綠茶改良奈米磁性氧化鐵對Cu²⁺的吸附效果



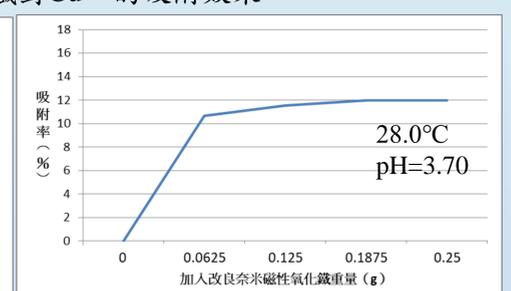
▲圖二十三 約在50分鐘後綠茶改良後奈米磁性氧化鐵吸附率趨於平緩，因此之後的吸附實驗皆放置到50分鐘再進行測試

(四) 配製0.01M(左下)及0.02M(右下)銅(II)離子溶液，以測量不同克數綠茶改良後奈米磁性氧化鐵對Cu²⁺的吸附效果



0.01M銅(II)離子溶液

▲圖二十四

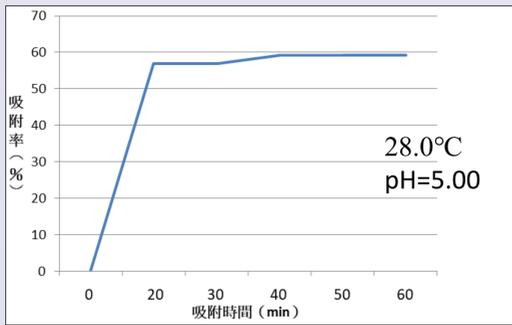


0.02M銅(II)離子溶液

▲圖二十五

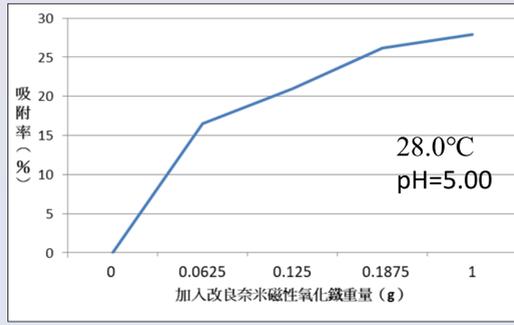
七、目的四之實驗二 探討綠茶改良後的奈米磁性氧化鐵吸附鉛(II)離子之效果

(一)配製0.005M鉛(II)離子溶液，以測量不同時間綠茶改良後奈米磁性氧化鐵對Pb²⁺溶液進行分析



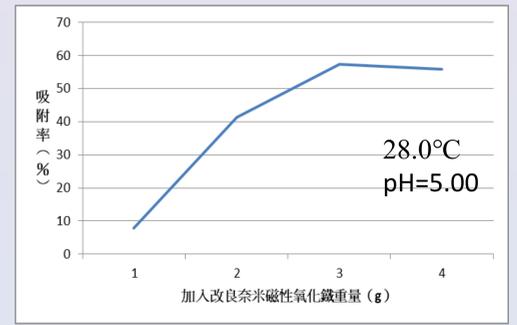
▲圖二十六 約在20分鐘後吸附率趨於平緩，因此之後的吸附實驗皆放置到20分鐘再進行測試

(二)配製6.53×10⁻⁴M (左下)及2.27×10⁻³M (右下)鉛(II)離子溶液，以測量不同克數綠茶改良後奈米磁性氧化鐵對Pb²⁺的吸附效果



6.53×10⁻⁴M鉛(II)離子溶液

▲圖二十七

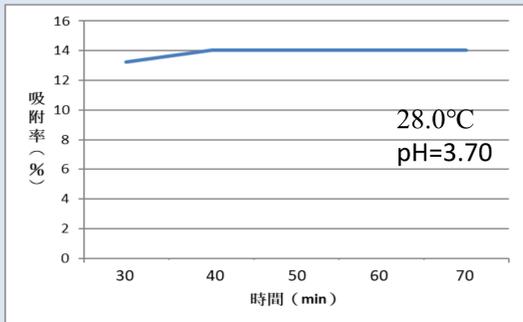


2.27×10⁻³M鉛(II)離子溶液

▲圖二十八

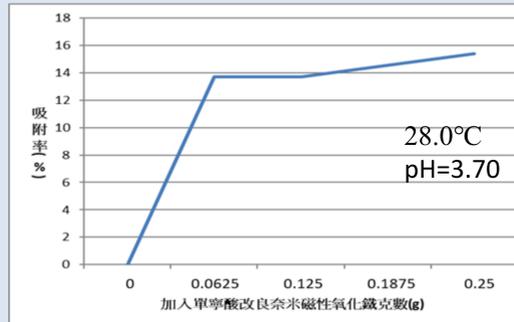
八、目的五之實驗二 探討單寧酸改良後的奈米磁性氧化鐵吸附銅(II)離子之效果

(一)配製0.01M銅(II)離子溶液，以測量不同時間單寧酸改良奈米磁性氧化鐵對Cu²⁺溶液進行分析



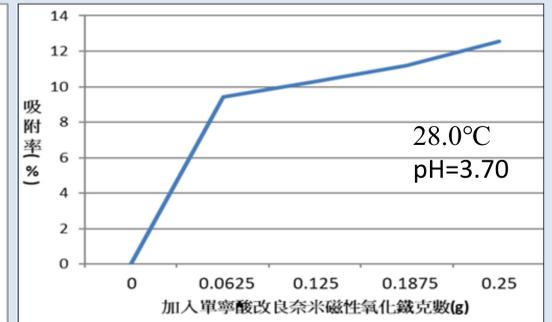
▲圖二十九 約在30分鐘後吸附率趨於平緩，因此之後的吸附實驗皆放置到30分鐘再進行測試

(二)配製0.01M (左下)及0.02M (右下)銅(II)離子溶液，以測量不同克數單寧酸改良後奈米磁性氧化鐵對Cu²⁺的吸附效果



0.01M M銅(II)離子溶液

▲圖三十

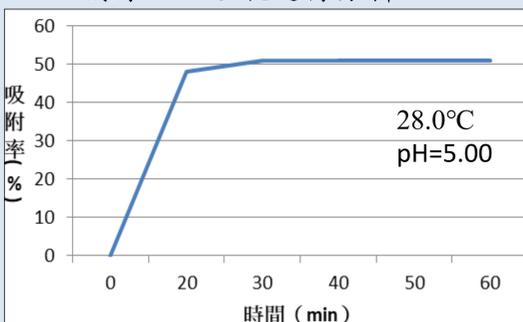


0.02M銅(II)離子溶液

▲圖三十一

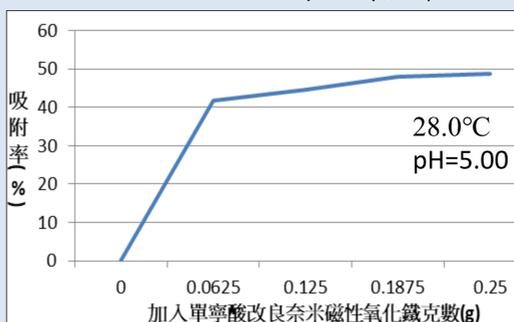
九、目的之五實驗二 探討單寧酸改良後的奈米磁性氧化鐵吸附鉛(II)離子之效果

(一)配製4.40×10⁻³M鉛(II)離子溶液，以測量不同時間改良後奈米磁性氧化鐵對Pb²⁺溶液進行分析



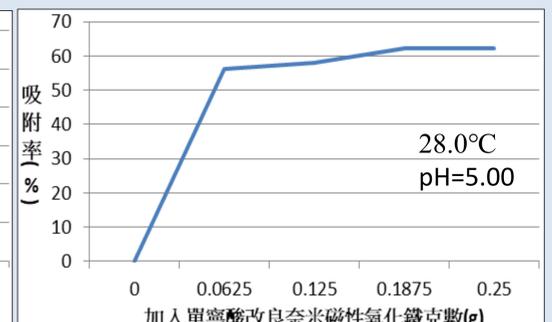
▲圖三十二 約在20分鐘後吸附率趨於平緩，因此之後的吸附實驗皆放置到20分鐘再進行測試

(二)配製1.12×10⁻³M (左下)及4.40×10⁻³M (右下)鉛(II)離子溶液，以測量不同克數單寧酸改良後奈米磁性氧化鐵對Pb²⁺的吸附效果



1.12×10⁻³M鉛(II)離子溶液

▲圖三十三



4.40×10⁻³M鉛(II)離子溶液

▲圖三十四

柒、研究結果與討論

		奈米磁性氧化鐵		綠茶改良後奈米磁性氧化鐵		單寧酸改良後奈米磁性氧化鐵	
		最佳條件	最大吸附率 最高吸附量	最佳條件	最大吸附率 最高吸附量	最佳條件	最大吸附率 最高吸附量
銅離子	低濃度	加入0.25克 放置50分鐘	16.93% 8.45×10 ⁻⁵ 莫耳	加入0.25克 放置50分鐘	13.86% 8.00×10 ⁻⁵ 莫耳	加入0.25克 放置30分鐘	15.38% 9.00×10 ⁻⁵ 莫耳
	高濃度	加入0.25克 放置50分鐘	14.64% 1.41×10 ⁻⁴ 莫耳	加入0.1875克 放置50分鐘	12.00% 1.35×10 ⁻⁴ 莫耳	加入0.25克 放置30分鐘	12.56% 1.40×10 ⁻⁴ 莫耳
鉛離子	低濃度	加入0.25克 放置50分鐘	20.18% 6.60×10 ⁻⁶ 莫耳	加入0.25克 放置50分鐘	27.83% 9.10×10 ⁻⁶ 莫耳	加入0.25克 放置20分鐘	48.66% 2.73×10 ⁻⁵ 莫耳
	高濃度	加入0.1875克 放置50分鐘	46.26% 5.25×10 ⁻⁵ 莫耳	加入0.1875克 放置50分鐘	57.27% 9.45×10 ⁻⁵ 莫耳	加入0.1875克 放置20分鐘	62.27% 1.37×10 ⁻⁴ 莫耳

五、最佳方法

	銅離子	鉛離子
使用	0.25克的奈米磁性氧化鐵放置50分鐘	使用0.1875克單寧酸改良後奈米磁性氧化鐵放置20分鐘
吸附量	1.41×10 ⁻⁴ 莫耳	1.37×10 ⁻⁴ 莫耳

捌、未來展望

- 一、可使用鹼性較弱且較好的反應物，例如NH₃，並且使用N₂保護，使奈米磁性氧化鐵粒徑更小。
- 二、可使用Cr³⁺、Hg²⁺或Cd²⁺等重金屬離子進行吸附。
- 三、可嘗試阿拉伯膠、腐植酸等來對奈米磁性氧化鐵進行改質，確立奈米磁性氧化鐵對不同重金屬離子的選擇性，並設法提升吸附效果。

玖、參考資料

- 一、高中基礎化學——常見的化學反應、高中基礎化學二——化學與化工、高中選修化學——化學的應用與發展(泰宇出版.民107.7月.3版2刷)
- 二、曾昱智(2013)。氧化鐵奈米顆粒固定化纖維水解酵素及纖維水解應用研究。檢自：<http://thuir.thu.edu.tw/retrieve/22643/101THU00518009-001.pdf> (Dec.15,2019)
- 三、陳燕華(2013)。礦物科技：神奇的奈米磁性氧化鐵。檢自：<https://scitechvista.nat.gov.tw/c/s2tc.htm> (Dec.28,2019)