

中華民國第 56 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

第二名

052603

稻砂雙贏

學校名稱：高雄市立高雄女子高級中學

作者： 高二 許煜婕 高二 李芷沅	指導老師： 張鳳書 朱億真
-------------------------	---------------------

關鍵詞：二氧化矽、稻殼

摘要

隨著紡織、時尚業的發展，與人類對色彩的追求，染色過程產生大量廢水，於是「染料污染」成了環境災難，已是不容忽視的議題。本研究著重於如何以低成本的農作廢棄物--稻殼，製作成可以吸附染料並可回收再利用的材料，以達到回收利用、改善水資源的目的。本研究以稻殼高溫鍛燒後的產物--二氧化矽進行探討，控制變因為有無水熱、水熱環境 pH 值、酸種類、水熱時間及鍛燒時間。研究結果顯示，(1)實驗所需的二氧化矽可由價廉的稻殼燒製而成。(2)以玫瑰紅為模擬污染源，經過控制各種變因的研究，最終製作出的鐵鎳複合材料幾乎可以完全吸附染料，且因有磁性，易於回收再利用。因此，實驗結果顯示以鐵鎳複合材料處理染料廢水，為一經濟有效的方法。

壹、研究動機

隨著人們對商品精緻化的需求日增，商品往往會被過度的加工，以符合人們日益挑剔的喜好，然而過度加工的商品，相對也產生了各樣的污染問題，例如，染料對環境污染所造成的傷害，已是不容忽視的議題。空拍攝影師齊柏林捕捉到台灣紅的、黃的、藍的彩色河川；在搜尋引擎 Google 以「染料污染」為關鍵字的查詢，也有六十萬六千筆之多，可見該污染問題之嚴重。

因此，學者提出各式各樣的方法想要解決染料污染問題，例如學者倪德明於 2005 提出以直接染料代替鹼性染料，但也只能降低部份污染。也有些研究提出以結合生物處理及活性碳吸附來進行，以吸附的原理來降低染料污染，但活性碳並無法回收再使用，失去了商業價值。因此，為了改善染料污染的情況，在查詢各種資料後，我們決定將低成本的農作廢棄物製作成可以吸附染料並可回收再利用的材料，以達到回收再利用、改善水資源的目的。

貳、研究目的

- 一、稻殼成份分析
- 二、探討不同條件對稻殼二氧化矽材料的影響

- (一) 有無水熱
- (二) 不同 pH 值水熱環境
- (三) 不同酸種類
- (四) 不同水熱時間
- (五) 不同鍛燒時間

三、探討吸附不同金屬離子對稻殼二氧化矽材料的影響

- (一) 單種金屬
- (二) 二種金屬複合



四、玫瑰紅檢量線之探討

五、金屬稻殼二氧化矽材料吸附玫瑰紅之研究

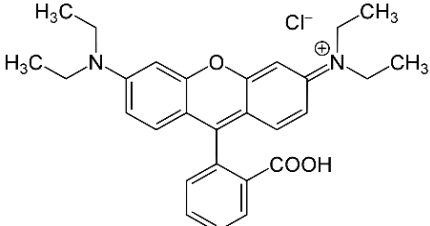
- (一) 單種金屬
- (二) 二種金屬複合

參、研究設備及器材

器材

紫外光/可見光分光光度計			氮氣吸脫附儀	
				
高溫爐	烘箱	桌上型 pH 儀	X 光繞射儀	電磁加熱攪拌器
數位相機	電腦	抽氣過濾器	電子秤	pp 瓶
熱重分析儀	容量瓶	抽濾瓶	容量瓶	燒杯
滴管	刮勺	針筒	過濾器	火鉗
吸量管	量筒	濾紙	秤量紙	蒸發皿
磁鐵	抽濾漏斗			

藥品

硫酸亞鐵	硫酸鐵	氯化亞鈷	硫酸鎳	硫酸銅	硫酸鋅
鹽酸	硫酸	硝酸	磷酸	碳酸鈉	氫氧化鈉
 <p>玫瑰紅</p>					

肆、研究過程或方法

一、稻殼成份分析

取適當量稻殼粉，放入熱重分析儀進行分析。

二、探討不同條件對稻殼二氧化矽材料的影響

(一) 有無水熱

1. 取 8g 稻殼粉與 200g 水，倒入 pp 瓶中混合。
2. 將 pp 瓶置於烘箱中，於 100°C 下水熱 1 小時。
3. 水熱時間結束後，將水熱者取出冷卻，進行過濾。
4. 收集濾出稻殼，另取 8g 稻殼粉，一同放入高溫爐於 600°C 下鍛燒 6 小時。
5. 鍛燒時間結束後取出，觀察其外觀並拍照紀錄後，裝瓶。

(二) 不同 pH 值水熱環境

1. 取數個相同的 pp 瓶，分別取 8g 稻殼粉與 200g 水，各倒入瓶中混合。
2. 分別將各瓶以鹽酸及氫氧化鈉調至不同 pH 值。
3. 將各瓶放入烘箱中，於 100°C 下水熱 1 小時。
4. 水熱時間結束後，取出冷卻，並進行過濾。
5. 分別收集各瓶之濾出稻殼，放入高溫爐於 600°C 下鍛燒 6 小時。
6. 鍛燒時間結束後取出，觀察其外觀並拍照紀錄後，裝瓶。

(三) 不同酸種類

- 1.取數個相同的 pp 瓶，分別取 8g 稻殼粉與 200g 水，各倒入瓶中混合。
- 2.分別將各瓶以不同種類的酸調至 pH=1。
- 3.將各瓶放入烘箱中，於 100°C 下水熱 1 小時。
- 4.水熱時間結束後，取出冷卻，並進行過濾。
- 5.分別收集各瓶之濾出稻殼，放入高溫爐於 600°C 下鍛燒 10 小時。
- 6.鍛燒時間結束後取出，觀察其外觀並拍照紀錄後，裝瓶。

(四) 不同水熱時間

- 1.取數個相同的 pp 瓶，分別取 8g 稻殼粉與 200g 水，各倒入瓶中混合。
- 2.將各瓶放入烘箱中，於 100°C 下水熱不同時間。
- 3.依各瓶水熱時間，分別於結束後，取出冷卻，並進行過濾。
- 4.分別收集各瓶之濾出稻殼，放入高溫爐於 600°C 下鍛燒 6 小時。
- 5.鍛燒時間結束後取出，觀察其外觀並拍照紀錄後，裝瓶。

(五) 不同鍛燒時間

- 1.取數個相同的 pp 瓶，分別取 8g 稻殼粉與 200g 水，各倒入瓶中混合。
- 2.將各瓶放入烘箱中，於 100°C 下水熱 1 小時。
- 3.水熱時間結束後，取出冷卻，並進行過濾。
- 4.分別收集各瓶之濾出稻殼，放入高溫爐於 600°C 下鍛燒不同時間。
- 5.依各瓶鍛燒時間，分別於結束後取出，觀察其外觀並拍照紀錄後，裝瓶。

三、探討吸附不同金屬離子對稻殼二氧化矽材料的影響

(一) 單種金屬

- 1.取數個相同的 pp 瓶，分別取 8g 稻殼粉與 200g 水，各倒入瓶中混合。
- 2.將各瓶放入烘箱中，於 100°C 下水熱 1 小時。
- 3.水熱時間結束後，取出冷卻，並進行過濾。
- 4.收集各瓶之濾出稻殼，放入高溫爐於 600°C 下鍛燒 6 小時，時間結束後取出。

- 5.取不同量的各種金屬離子化合物，加入 100g 水中。
- 6.取先前製作的粉末 1g，加入各瓶溶液中。
- 7.以碳酸鈉將各瓶中和至 pH=8。
- 8.將各瓶過濾後，再加入 100g 水。
- 9.再次將各瓶放入烘箱中，於 100°C 下水熱 2 天。
- 10.水熱時間結束後，取出冷卻，並進行過濾。
- 11.分別收集各瓶之濾出物質，放入高溫爐於 600°C 下鍛燒 6 小時。
- 12.鍛燒時間結束後取出，觀察其外觀並拍照紀錄後，裝瓶。

(二) 二種金屬複合

同時加入者：

與上述金屬離子粉末製作過程 1.~4.及 6.~12.大致相同，茲列出相異者如下：

- 第 5 步驟為各取硫酸鎳 2.08g，加入 100g 水中，再分別加入硫酸鐵 3.33g 或硫酸亞鐵 2.32g。

先後加入者：

與上述金屬離子粉末製作過程 1.~4.及 6.~11.大致相同，茲列出相異者如下：

- 第 5 步驟為各取硫酸鎳 2.08g，加入 100g 水中。
- 第 12 步驟為鍛燒時間結束後取出。
- 第 13 步驟為將先前製作的鎳-二氧化矽粉末，各自加入 100g 水中，再分別加入硫酸鐵 3.33g 或硫酸亞鐵 2.32g。
- 第 14 步驟為重複上述 7.~12.之步驟。

四、玫瑰紅檢量線之探討

- 1.以玫瑰紅粉末配製 10^3M (479ppm) 溶液。
- 2.再以 10^3M 溶液稀釋成更低濃度。
- 3.取適當量，利用紫外光/可見光分光光度計測量其吸光度。
- 4.製作檢量線。

五、金屬稻殼二氧化矽材料吸附玫瑰紅之研究

(一) 單種金屬

- 1.取先前製作的金屬離子粉末 0.2g，加入 10mL 的 10^{-3} M 玫瑰紅溶液，以電磁加熱攪拌器攪拌 30 分鐘。
- 2.取出後，將其以針筒與過濾器過濾。
- 3.取出其中的濾出物質，放入高溫爐中在 600°C 下鍛燒 6 小時。
- 4.收集濾液，並裝瓶。
- 5.取適當量，利用紫外光/可見光分光光度計測量其吸光度。
- 6.若吸附效果良好，再以 10^{-3} M 玫瑰紅溶液，重複上述實驗。
- 7.吸附效果良好者，將針筒及過濾器中殘餘粉末分別取出，放入高溫爐於 600°C 下鍛燒 6 小時。

(二) 二種金屬複合

與上述單種金屬離子之實驗步驟相同，只是加入的金屬離子粉末有二種。

流程圖

控制變因	實驗順序	說明
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">量取 8g 稻殼粉,放入 pp 瓶</div>	
實驗一 有無水熱	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">有無水熱</div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40px; text-align: center;">有</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40px; text-align: center;">無 </div> </div>	一瓶放入烘箱中,於 100°C 下水熱 1 小時。另一瓶置於室溫中。
實驗二 pH 值	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">以 HCl/NaOH 調整 pH 值</div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40px; text-align: center;">pH=1</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40px; text-align: center;">pH=3 </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40px; text-align: center;">pH=5 </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40px; text-align: center;">pH=7 </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40px; text-align: center;">pH=9 </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40px; text-align: center;">pH=12 </div> </div>	分別將各瓶以鹽酸或氫氧化鈉調至不同 pH 值,再進行水熱。
實驗三 不同酸	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">不同種類的酸</div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40px; text-align: center;">H₃PO₄ </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40px; text-align: center;">HNO₃ </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40px; text-align: center;">H₂SO₄ </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40px; text-align: center;">HCl</div> </div>	分別將各瓶以不同種類的酸調至 pH=1,再進行水熱。
實驗四 水熱時間	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">控制水熱時間</div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40px; text-align: center;">0.5 小時 </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40px; text-align: center;">1 小時</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40px; text-align: center;">1 天 </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40px; text-align: center;">3 天 </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40px; text-align: center;">5 天 </div> </div>	將各瓶放入烘箱中,於 100°C 下水熱不同時間。
實驗五 鍛燒時間	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">控制鍛燒時間</div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40px; text-align: center;">6 小時</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40px; text-align: center;">10 小時 </div> </div>	取水熱後各瓶之濾出物,放入高溫爐於 600°C 下鍛燒不同時間。
實驗六 加入金屬	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">不加金屬 </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto; margin-top: 5px;">加金屬 (SiO₂ : 金屬=1 : x) x=2 或 10</div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40px; text-align: center;">CoCl₂ </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40px; text-align: center;">CuSO₄ </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40px; text-align: center;">ZnSO₄ </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40px; text-align: center;">FeSO₄</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40px; text-align: center;">Fe₂(SO₄)₃</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40px; text-align: center;">NiSO₄</div> </div>	取金屬離子化合物與二氧化矽加入水中,以碳酸鈉將各瓶中和成 pH=8。過濾後,加入 100g 水,再進行水熱。
複合材料	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">同時/不同時間加入二種材料.進行水熱</div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 150px; text-align: center;">同時加入 FeSO₄& NiSO₄</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 150px; text-align: center;">同時加入 Fe₂(SO₄)₃& NiSO₄</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 150px; text-align: center;">先加 NiSO₄ 後加 FeSO₄</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 150px; text-align: center;">先加 NiSO₄ 後加 Fe₂(SO₄)₃</div> </div>	同時加入:同時將硫酸鎳及硫酸鐵或硫酸亞鐵加至 100g 水中。 先後加入:將鎳-二氧化矽粉末加至 100g 水中,再加入硫酸鐵或硫酸亞鐵。

圖 1 孔洞條件最佳化實驗過程

伍、結果討論

一、稻殼成份分析

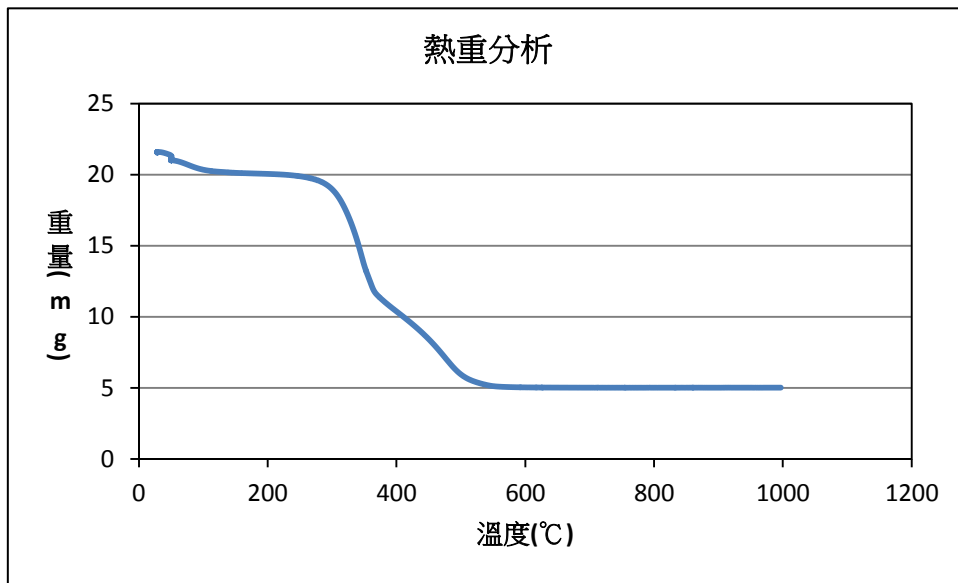


圖 2 熱重分析圖

討論

1. 由熱重分析可知，稻殼在 300~350°C 有重量損失，推測是纖維素的燒解。
2. 350~500°C 的重量損失是燒解掉分子量較高的木質素。
3. 550°C 以上重量變化不明顯，有機物應大部分被燒掉，只剩我們實驗所需之無機物，因此之後高溫鍛燒條件設定在 600°C。

二、探討不同條件對稻殼二氧化矽材料的影響

(一) 有無水熱

表 1 稻殼二氧化矽材料有無水熱之比較

	肉眼觀察	表面積 (m ² /g)	孔洞大小 (Å)
無水熱	灰	6.2	11.5
有水熱	白	87.5	35.1

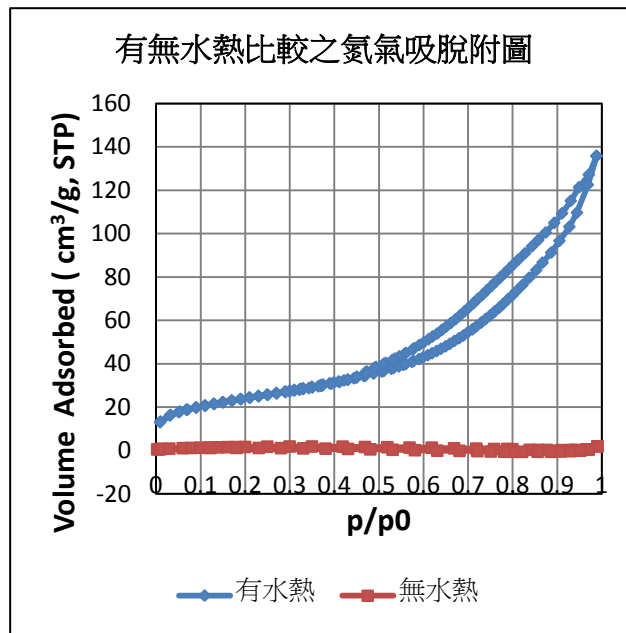


圖 3 有無水熱比較之氮氣吸脫附圖

表 2 有無水熱比較之鍛燒後粉末

鍛燒後		
有無水熱	無水熱	有水熱

討論

1. 稻殼粉經過水熱後再進行鍛燒，其粉末較未水熱者為白，且表面積有顯著增大。
2. 無水熱處理，稻殼中仍存在一些無法除去的金屬，可能是造成二氧化矽表面積不高的原因。因此接下來的實驗我們先將稻殼進行水熱處理，並找出最佳化條件。

(二) 不同 pH 值水熱環境

1. 水熱 100°C 1 小時，鍛燒 600°C 6 小時

表 3 稻殼二氧化矽材料不同 pH 值水熱環境之比較

	肉眼觀察	表面積 (m ² /g)	孔洞大小 (nm)
pH=1	白	145.5	33.5
pH=3	白	152.6	35.0
pH=5	白	125.8	34.2
pH=7	白	87.5	35.1
pH=9	白	117.5	35.1
pH=12	黑	10.1	20.3

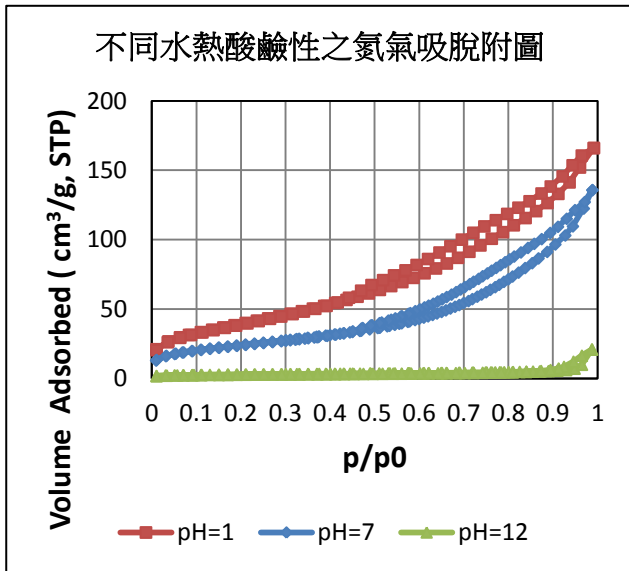


圖 5 不同水熱酸鹼性之氨氣吸脫附圖

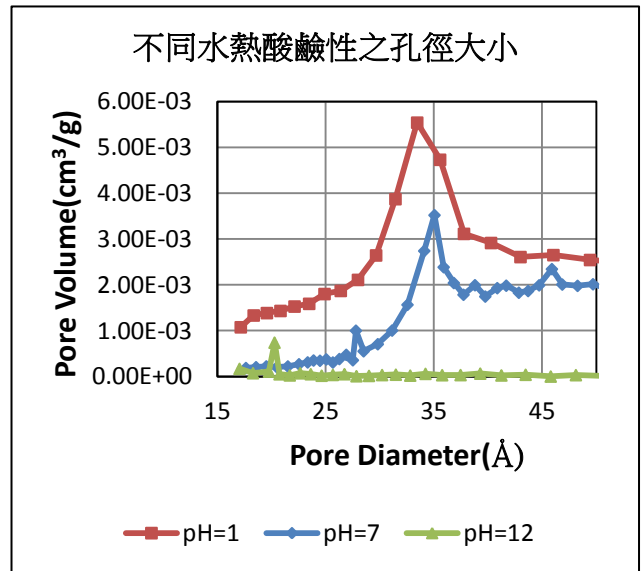


圖 6 不同水熱酸鹼性之孔徑大小

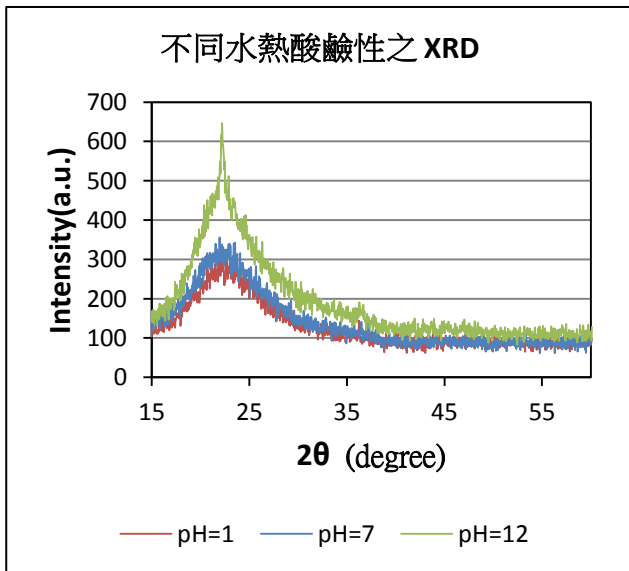


圖 7 不同水熱酸鹼性之 XRD

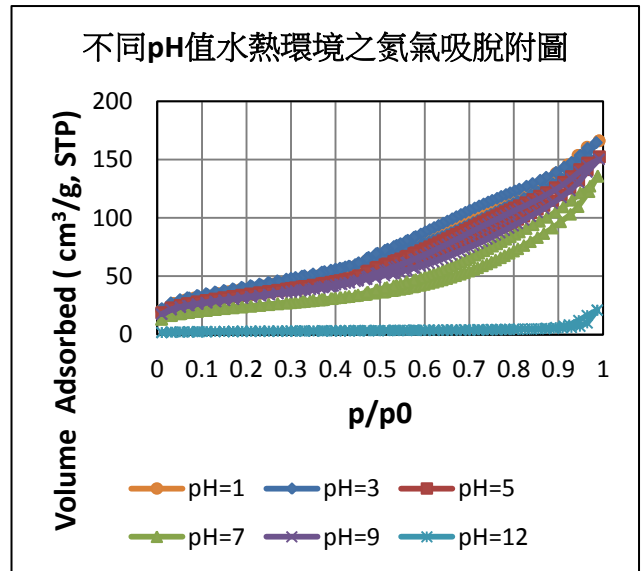


圖 8 不同 pH 值水熱環境之氨氣吸脫附圖

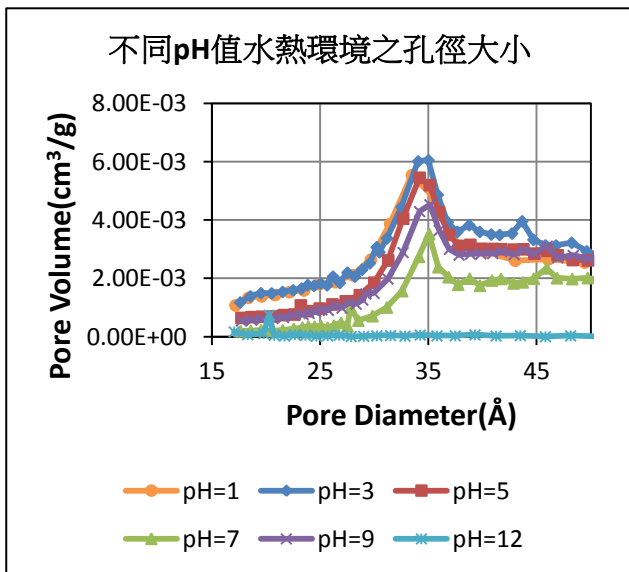


圖 9 不同 pH 值水熱環境之孔徑大小



圖 10 不同 pH 值水熱環境之鍛燒後粉末

2.高濃度強酸水熱（水熱 100°C 5 小時，鍛燒 600°C 6 小時）

表 4 稻殼二氧化矽材料高濃度強酸水熱環境之比較

	肉眼觀察	表面積 (m ² /g)	孔洞大小 (Å)
[H ⁺]=3M	白	168.2	34.8
[H ⁺]=6M	白	164.4	34.4

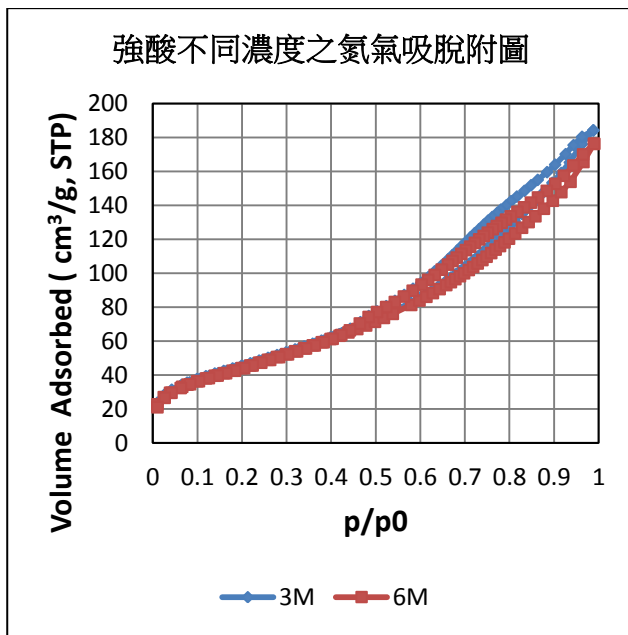


圖 11 強酸不同濃度之氮氣吸脫附圖

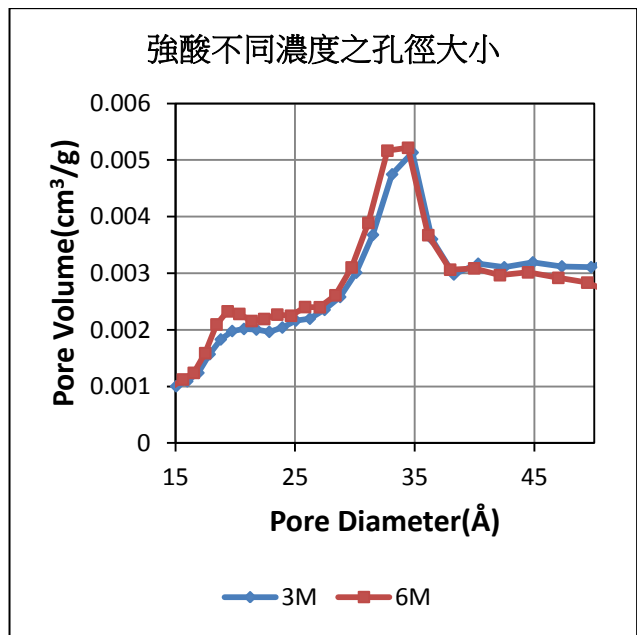



圖 12 強酸不同濃度之孔徑大小

表 5 強酸不同濃度之鍛燒後粉末

鍛燒後		
強酸濃度	3M	6M

討論

1. 稻殼粉在酸性環境中水熱後再進行鍛燒，其表面積普遍較大；而在過於鹼性的環境中，其粉末顏色較黑，且表面積有顯著減小。
2. 在酸性條件下水熱之二氧化矽有較高表面積，推測原因為，酸可以將無機金屬雜質溶解，在高溫鍛燒後，就不會產生結晶性的氧化物，使孔洞的表面積增加。
3. pH 值小於 3 的表面積皆可到 150m²/g 以上，雖然在 3M 及 6M 酸中有較高表面積，但高濃度的酸會使反應容器受侵蝕及濾紙溶解，不符合環保需求，因此之後的實驗我們以 pH =1 為水熱最佳條件。
4. 在酸性條件下水熱之 XRD 可知石英結構較不明顯，表示酸性條件下水熱可使二氧化矽有較高表面積的結果吻合。

(三) 不同酸種類 (水熱 pH=1，1 小時，鍛燒 600°C 10 小時)

表 6 稻殼二氧化矽材料不同酸種類水熱環境之比較

	肉眼觀察	表面積 (m ² /g)	孔洞大小 (Å)
硫酸 H ₂ SO ₄	白	185.0	33.9
硝酸 HNO ₃	白	182.6	33.9
鹽酸 HCl	白	173.5	34.9
磷酸 H ₃ PO ₄	黑	2.2	285.2

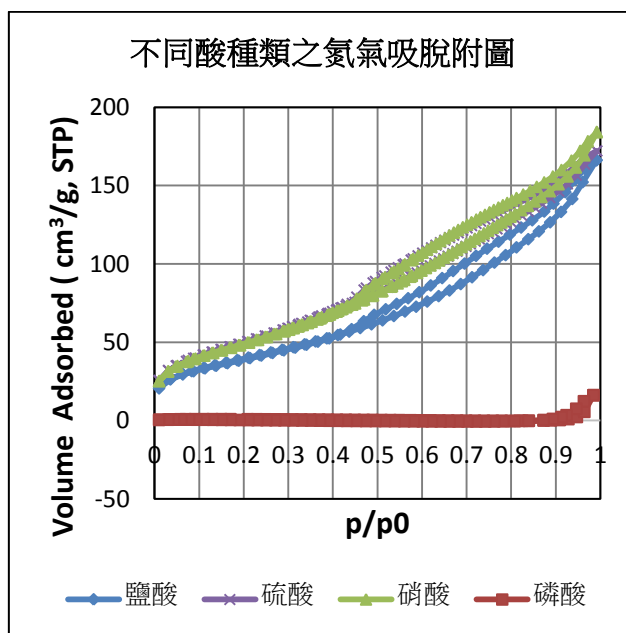


圖 13 不同酸種類之氮氣吸脫附圖

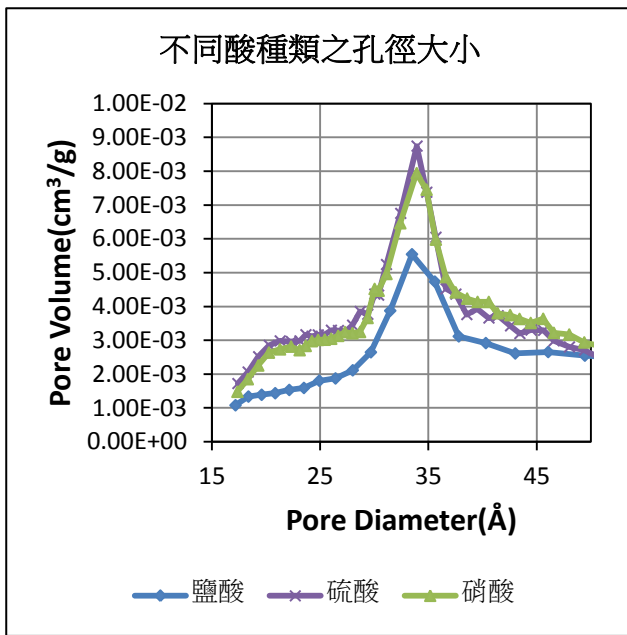


圖 14 不同酸種類之孔徑大小

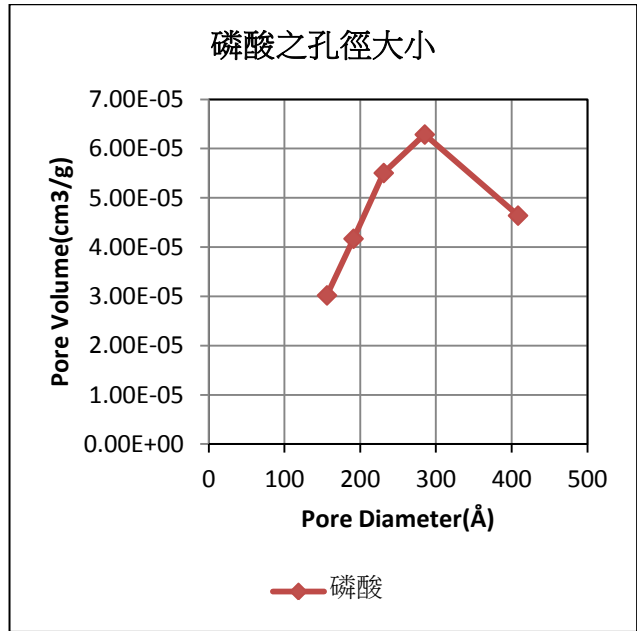



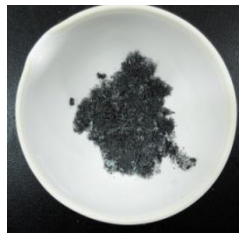


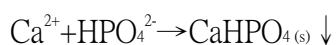
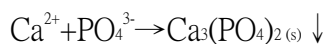
圖 15 磷酸之孔徑大小

表 7 不同酸種類之鍛燒後粉末

鍛燒後				
酸種類	硫酸 H ₂ SO ₄	硝酸 HNO ₃	鹽酸 HCl	磷酸 H ₃ PO ₄

討論

1. 稻殼粉在酸性環境中水熱後再進行鍛燒，使用不同種類的酸調整至相同濃度，其表面積及孔洞大小亦有差異。其中表面積以硫酸及硝酸為最大，其次為鹽酸，磷酸則為最小；而孔洞大小以磷酸最大，雖仍為中孔洞材料，但孔洞已超過中孔洞分子篩範圍。
2. 使用 H₃PO₄ 處理無法增加表面積，且無中孔洞的吸附行為。推測原因為，稻殼中有大量的鈣離子，磷酸根或磷酸氫根會與鈣離子產生沉澱，因此造成表面積急劇降低。



(四) 不同水熱時間 (鍛燒 600°C 10 小時)

表 8 稻殼二氧化矽材料不同水熱時間之比較

水熱溫度(°C)	水熱環境	水熱時間	肉眼觀察	表面積(m ² /g)	孔洞大小(Å)
100	pH=1	0.5 hr	白	145.9	35.2
		1hr	白	173.5	34.9
		1 天	白	153.4	34.2
		3 天	白	158.3	34.0
		5 天	白	134.9	34.0

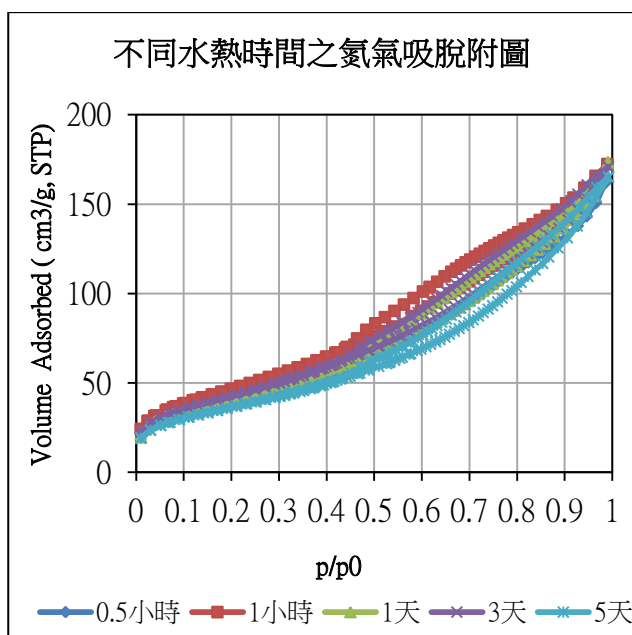


圖 16 不同水熱時間之氮氣吸脫附圖

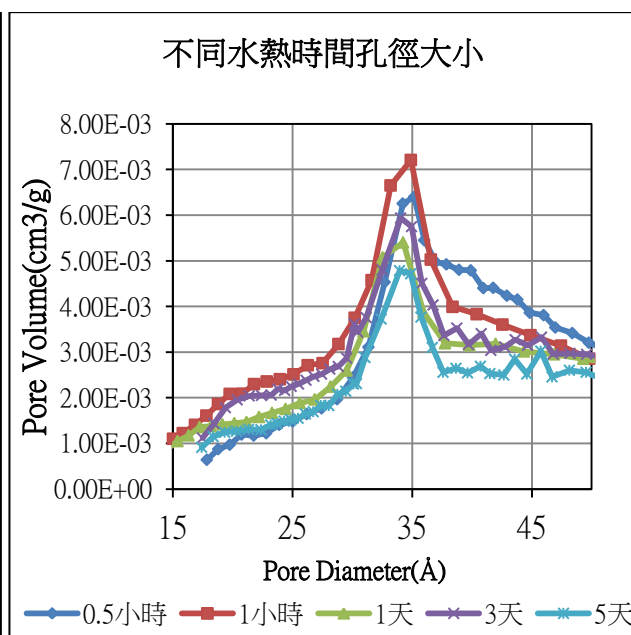





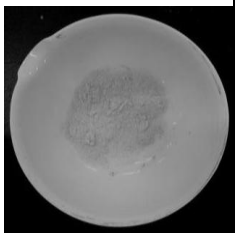
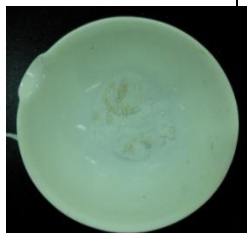





圖 17 不同水熱時間之孔徑大小

表 9 不同水熱時間之鍛燒後粉末

鍛燒前					
鍛燒後					
水熱時間	0.5 hr	1 hr	1 天	3 天	5 天

討論

1. 相較實驗一的無水熱處理，水熱確實有助於表面積提升，但水熱時間不需太長，即有很好的提升效果。
2. 水熱時間也不宜過久，否則雜質在吸脫附的過程反而造成表面積下降。

(五) 不同鍛燒時間（水熱 pH=1 ，1 小時，鍛燒 600°C）

表 10 稻殼二氧化矽材料不同鍛燒時間之比較

鍛燒時間 (hr)	肉眼觀察	表面積 (m^2/g)	孔洞大小 (\AA)
6	白	145.5	33.5
10	白	173.5	34.9

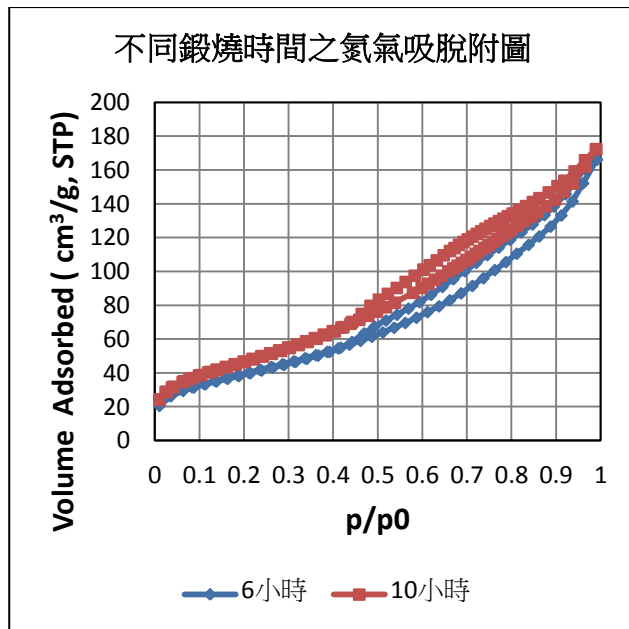


圖 18 不同鍛燒時間之氮氣吸脫附圖

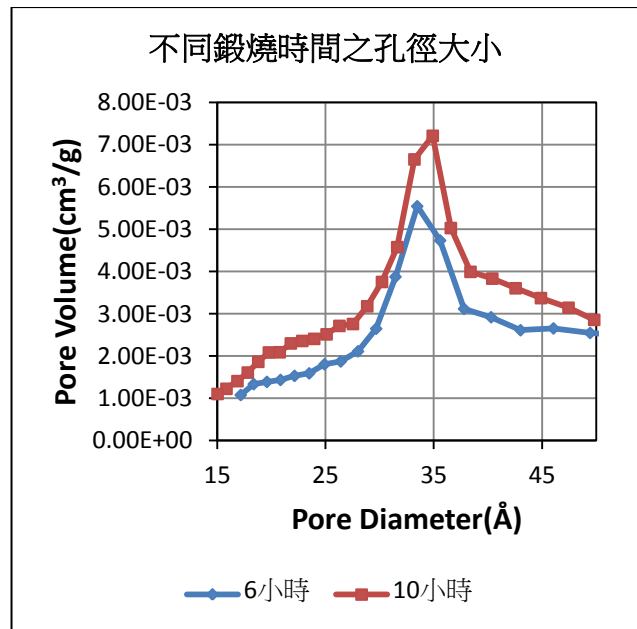




圖 19 不同鍛燒時間之孔徑大小

表 11 不同鍛燒時間之鍛燒後粉末

鍛燒後		
鍛燒時間	6 小時	10 小時

討論

1. 稻殼粉經過水熱後再進行鍛燒，鍛燒時間愈長，其表面積及孔洞大小皆愈大。
2. 雖然鍛燒時間幾乎增加兩倍，但表面積只增加大約 $25\text{m}^2/\text{g}$ ，如此會耗費太多能源。因此之後的實驗我們仍採用 6 小時的鍛燒時間。

三、探討吸附不同金屬離子對生質二氧化矽材料的影響（金屬： $\text{SiO}_2=1:2$ ）

（一）單種金屬

表 12 單種金屬離子對生質二氧化矽材料的影響之比較

	肉眼觀察	表面積 (m^2/g)	孔洞大小 (\AA)
二氧化矽 SiO_2	白	145.5	33.5
硫酸亞鐵 FeSO_4	紅（鐵鏽）	135.2	35.1
硫酸鐵 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	紅（鐵鏽）	137.6	35.3
氯化亞鈷 CoCl_2	深灰	270.8	35.5
硫酸鎳 NiSO_4	淺灰	351.2	35.7
硫酸銅 CuSO_4	綠（銅綠）	378.4	32.4
硫酸鋅 ZnSO_4	白	125.8	35.9

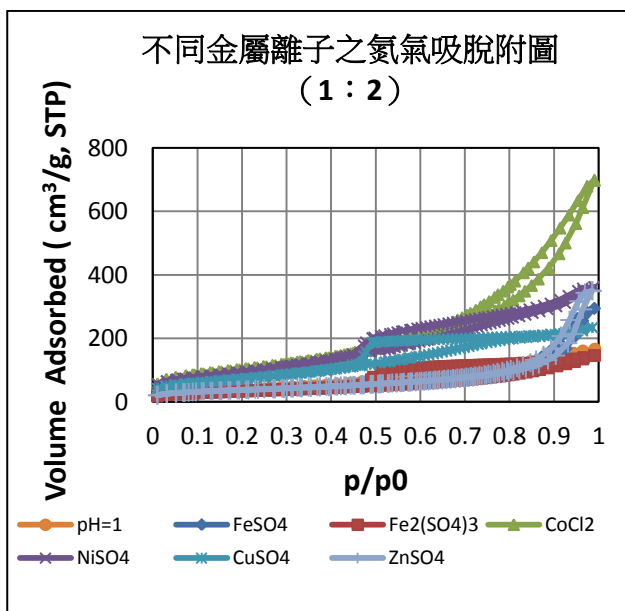


圖 20 不同金屬離子之氮氣吸脫附圖

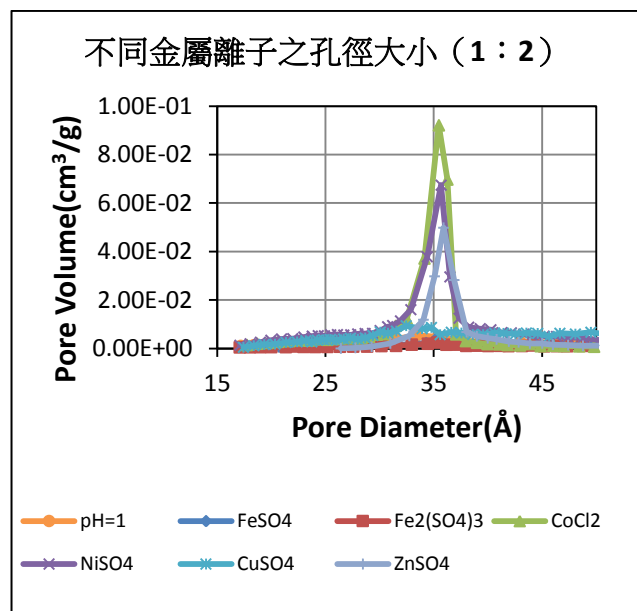


圖 21 不同金屬離子之孔徑大小

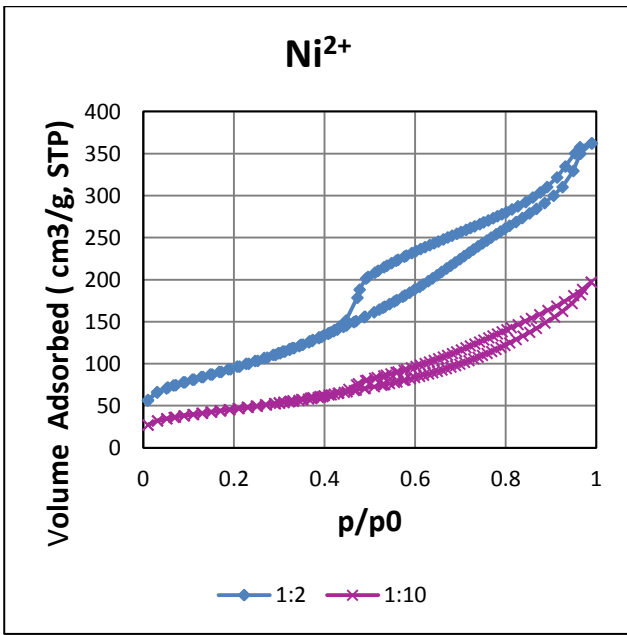


圖 22 Ni²⁺ 不同比例之氮氣吸脫附圖

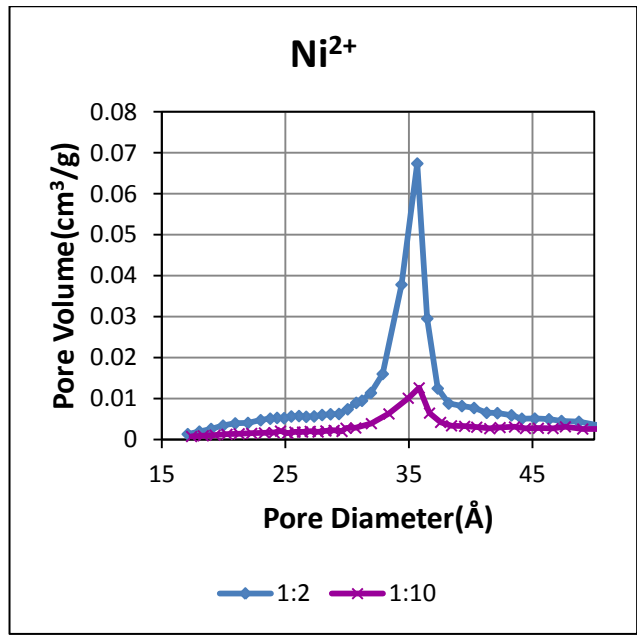


圖 23 Ni²⁺ 不同比例之孔徑大小圖

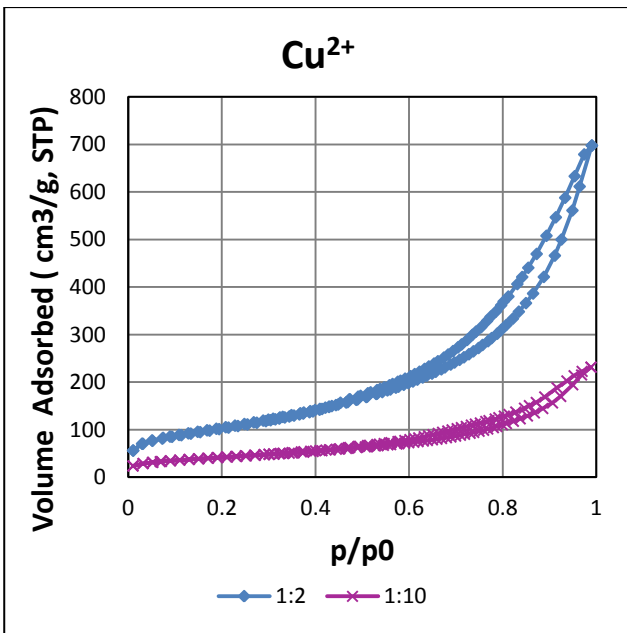


圖 24 Cu²⁺ 不同比例之氮氣吸脫附圖

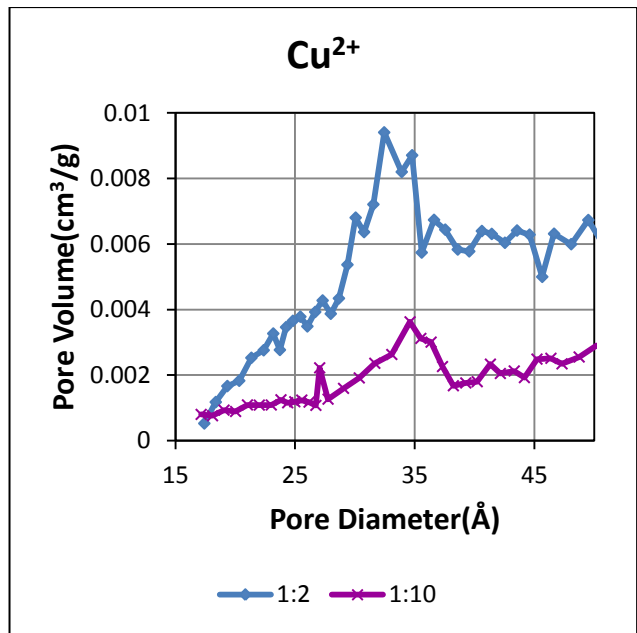


圖 25 Cu²⁺ 不同比例之孔徑大小圖

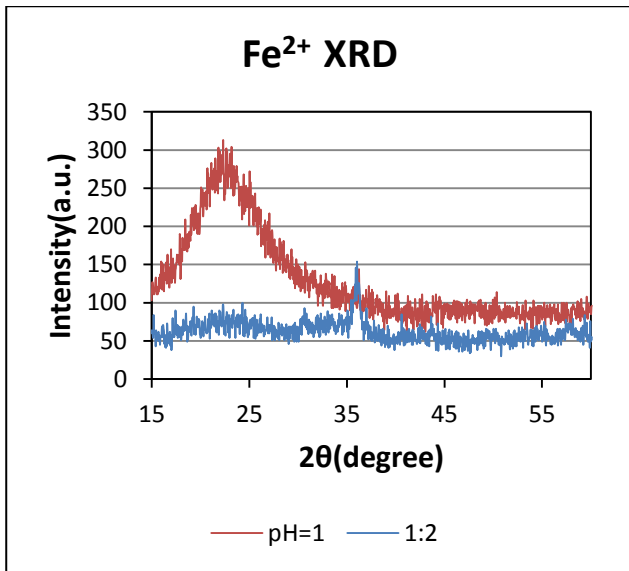


圖 26 Fe²⁺ XRD

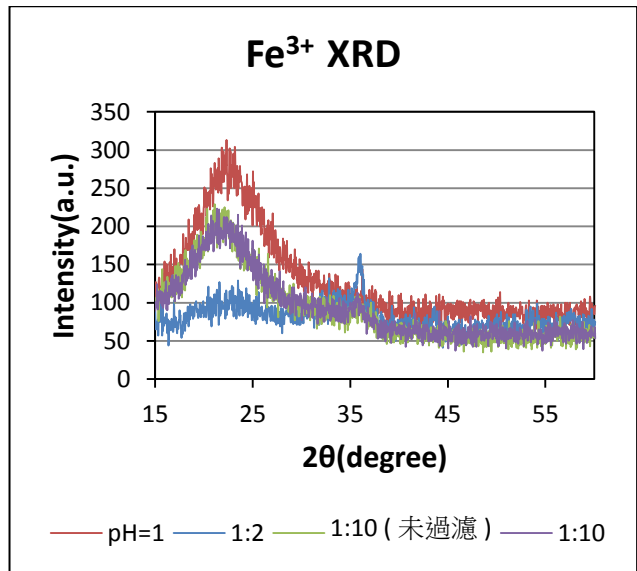


圖 27 Fe³⁺ XRD

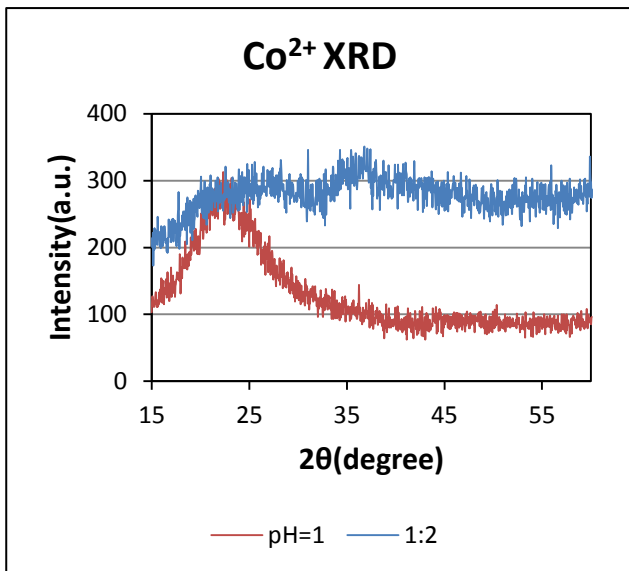


圖 28 Co²⁺ XRD

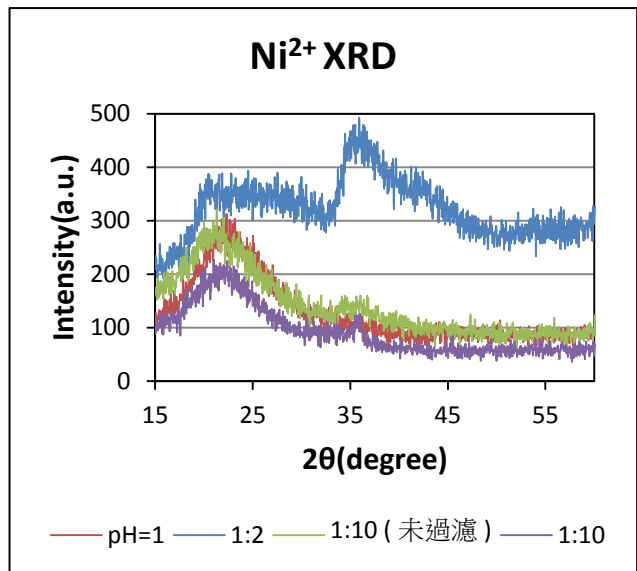


圖 29 Ni²⁺ XRD

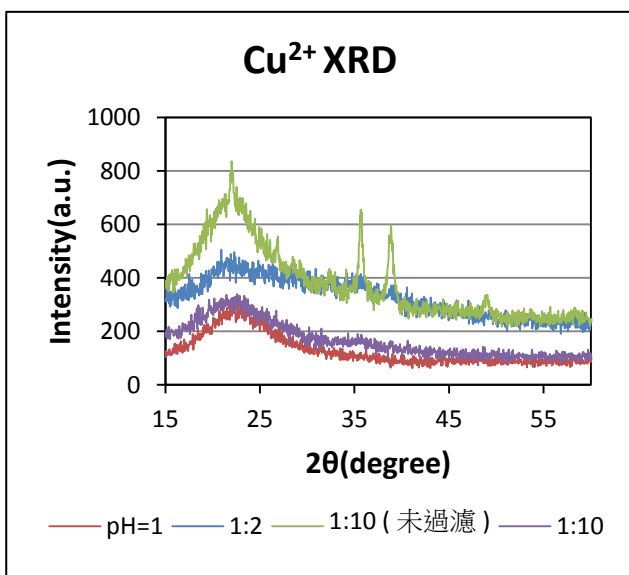


圖 30 Cu²⁺ XRD

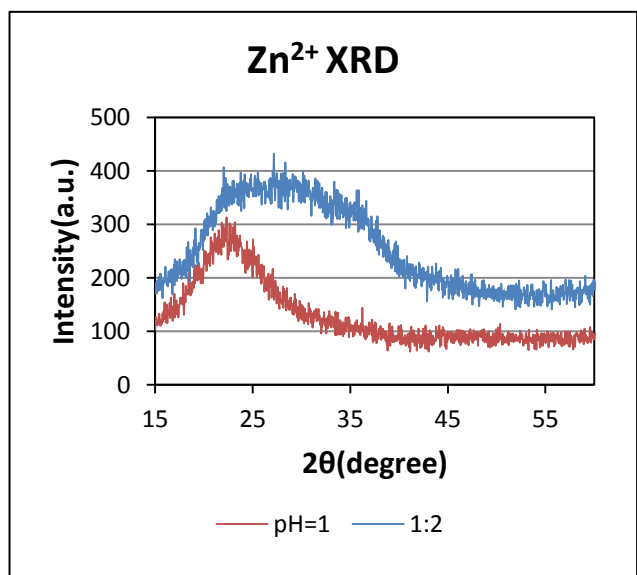
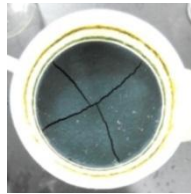
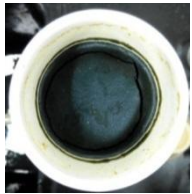







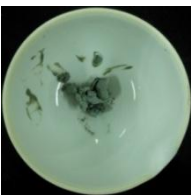




圖 31 Zn²⁺ XRD



圖 32 不同金屬離子之鍛燒後粉末

表 13 不同金屬離子之鍛燒前後樣貌

鍛燒前						
鍛燒後						
金屬種類	硫酸亞鐵 FeSO_4	硫酸鐵 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	氯化亞鈷 CoCl_2	硫酸鎳 NiSO_4	硫酸銅 CuSO_4	硫酸鋅 ZnSO_4

討論

1. 初製之 1 : 2 粉末吸附不同金屬離子後，其表面積及孔洞大小亦有差異。其中吸附 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Zn^{2+} 者，其表面積較未處理前小；吸附 Co^{2+} 、 Ni^{2+} 、 Cu^{2+} 者，其表面積則較未處理前大，皆可達到大約 $300\text{m}^2/\text{g}$ 。
2. Fe^{3+} 、 Ni^{2+} 、 Cu^{2+} 的 1 : 2 相較於 1 : 10，各金屬在粉末中所佔的比例明顯較多。
3. 鐵-二氧化矽 1 : 2 之 XRD 可看出，在 $2\theta = 36.5$ 時有高強度繞射，而實驗證實 1 : 2 之材料具有鐵磁性，可方便回收。
4. 鎳-二氧化矽 1 : 2 之 XRD 的氧化鎳吸收峰變得相當寬廣，證明材料在重排之後可得分散性很好的鎳-二氧化矽複合材料。
5. 銅-二氧化矽 1 : 10 之 XRD 看出，在 $2\theta = 35.5$ 及 38.6 時有高強度繞射，證明如果沒有經過過濾處理，銅離子會聚集成結晶性氧化銅，影響表面積。

(二) 二種金屬複合

表 14 二種複合金屬離子對生質二氧化矽材料的影響之比較 (金屬: SiO₂ = 1 : 2)

	肉眼觀察	表面積 (m ² /g)	孔洞大小 (Å)
硫酸鐵 Fe ₂ (SO ₄) ₃	紅 (鐵鏽)	137.6	35.3
硫酸鎳 NiSO ₄	淺灰	351.2	35.7
鐵-鎳 (同時加入)	紅 (鐵鏽)	153.0	151.7
鎳 (先) - 鐵 (後)	紅 (鐵鏽)	316.2	35.5

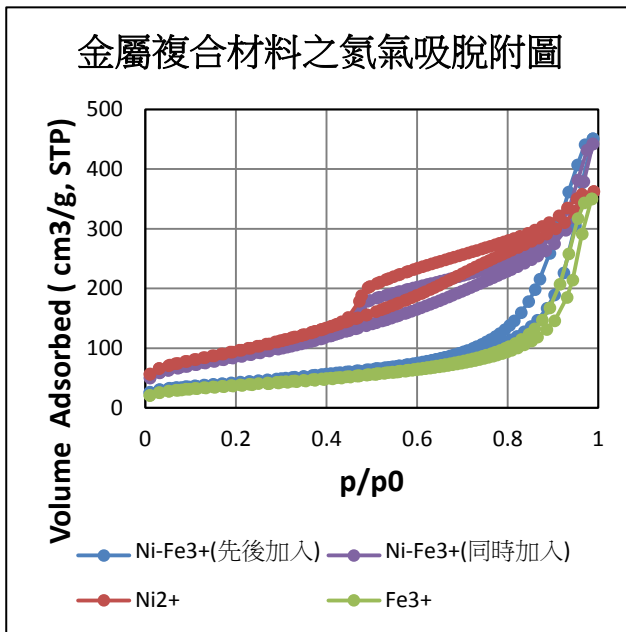


圖 33 金屬複合材料之氮氣吸脫附圖

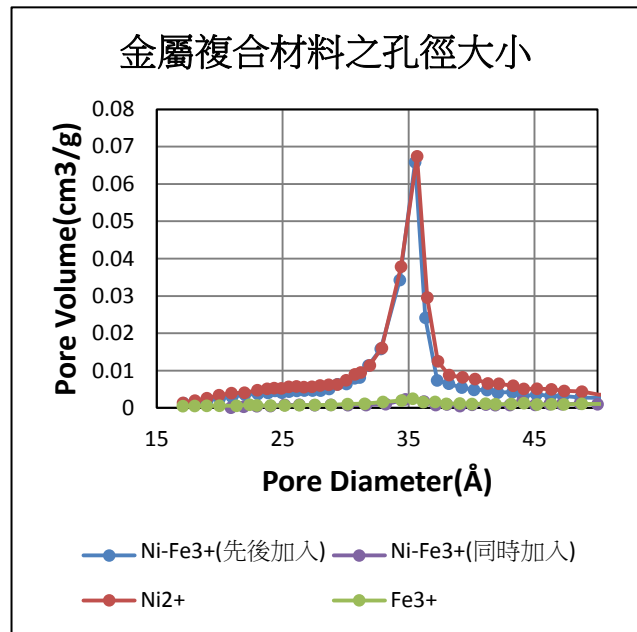


圖 34 金屬複合材料之孔徑大小圖

四、玫瑰紅檢量線之探討

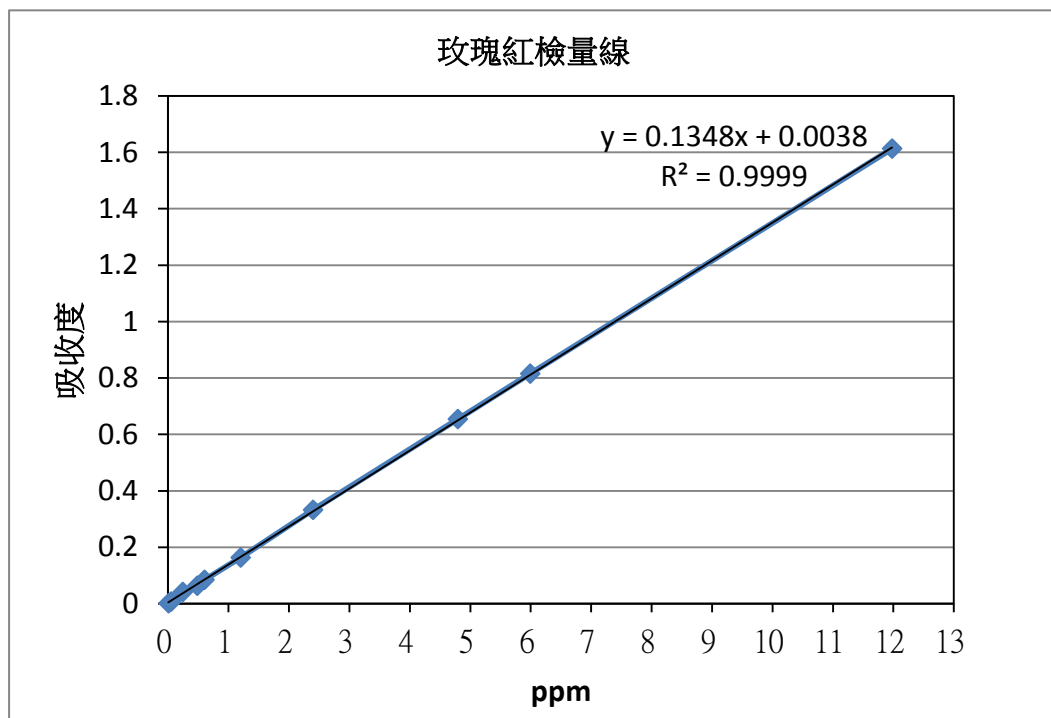


圖 35 玫瑰紅檢量線

五、金屬稻殼二氧化矽材料吸附玫瑰紅之研究

(一) 單種金屬

1. 金屬稻殼二氧化矽材料吸附 $10^{-3}M$ (479ppm) 玫瑰紅後濾液濃度

表 15 金屬稻殼二氧化矽材料吸附 $10^{-3}M$ (479ppm)玫瑰紅後濾液濃度之比較

金屬 : SiO ₂ (比例/有無過濾)	硫酸亞鐵	硫酸鐵	氯化亞鈷	硫酸鎳	硫酸銅	硫酸鋅
1 : 10 (未過濾)	343.0727	463.6217	194.3338	0.4392	407.9837	139.4377
1 : 10 (過濾)	167.5324	175.6883	63.7700	0.0693	37.2053	80.4614
1 : 2 (過濾)	0.0386	0.0312	0.2240	0.0608	0.0757	39.1039

表 16 金屬稻殼二氧化矽材料吸附 $10^{-3}M$ (479ppm) 玫瑰紅後濾液比較



2.金屬稻殼二氧化矽材料（金屬：SiO₂=1：2）吸附 10⁻²M（4790ppm）玫瑰紅後濾液濃度
表 17 金屬稻殼二氧化矽材料吸附 10⁻²M(4790ppm)玫瑰紅後濾液濃度之比較

	硫酸亞鐵	硫酸鐵	硫酸銅	硫酸鎳
吸附後濃度（ppm）	15.9214	32.4273	0.2018	0.0608

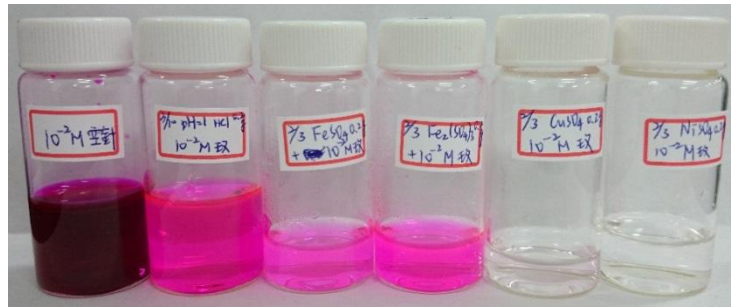


圖 36 金屬稻殼二氧化矽材料吸附 10⁻²M (4790ppm)玫瑰紅後濾液比較

3.金屬稻殼二氧化矽材料（金屬：SiO₂=1：2）回收吸附 10⁻³M（479ppm）玫瑰紅後濾液濃度
（以 ppm 為單位）

表 18 金屬稻殼二氧化矽材料回收吸附 10⁻³M(479ppm)玫瑰紅後濾液濃度之比較

回收次數 \ 吸附後濃度 (ppm)	硫酸亞鐵	硫酸鐵	硫酸鎳	硫酸銅
無	0.0386	0.0312	0.0608	0.0757
第一次	0.0682	0.0089	0.0163	4.0668

表 19 金屬稻殼二氧化矽材料回收吸附 10⁻³M(479ppm)玫瑰紅後濾液比較

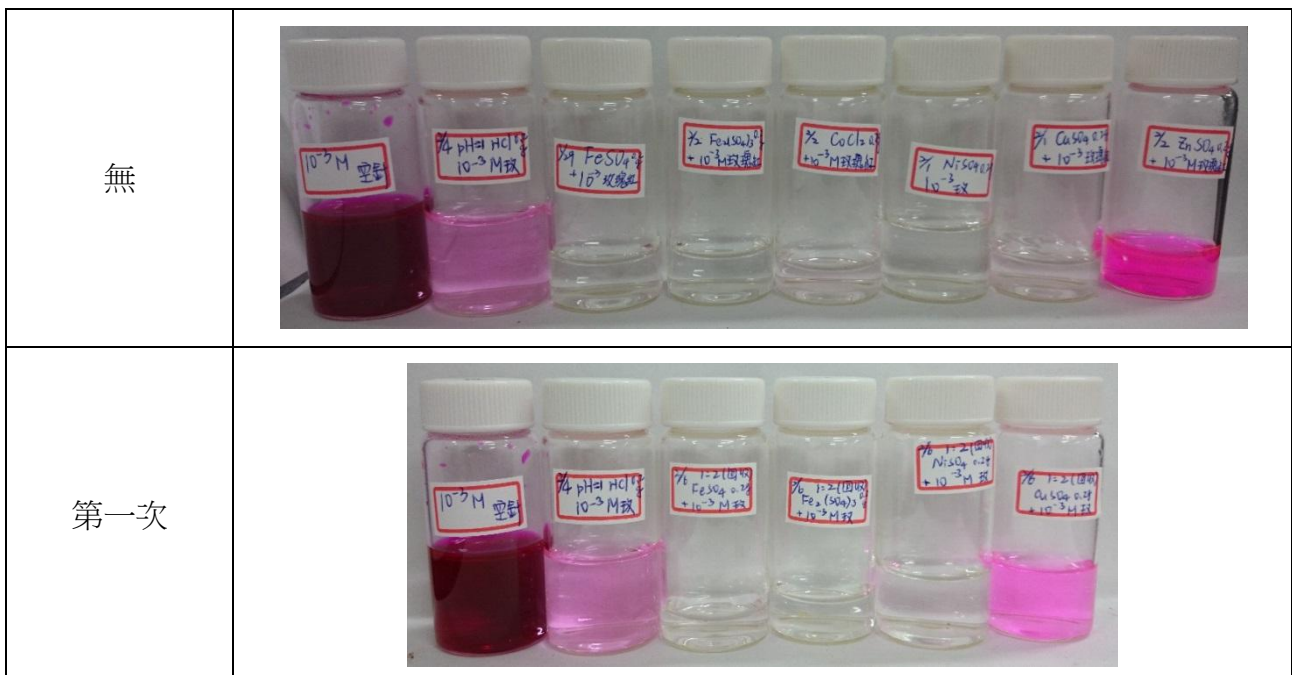








表 20 各種金屬稻殼二氧化矽材料吸附玫瑰紅後濾液比較

<p>硫酸亞鐵</p>	
<p>硫酸鐵</p>	
<p>氯化亞鈷</p>	
<p>硫酸鎳</p>	
<p>硫酸銅</p>	
<p>硫酸鋅</p>	

(二) 二種金屬複合

1. 金屬複合稻殼二氧化矽材料 (金屬 : SiO₂ = 1 : 2) 吸附 10³M (479ppm) 玫瑰紅後濾液濃度 (以 ppm 為單位)

表 21 金屬複合稻殼二氧化矽材料吸附 10³M(479ppm)玫瑰紅後濾液濃度之比較

	硫酸鎳 +硫酸亞鐵 (同時加入)	硫酸鎳 +硫酸鐵 (同時加入)	硫酸鎳 (先) +硫酸亞鐵 (後)	硫酸鎳 (先) +硫酸鐵 (後)
吸附後濃度 (ppm)	35.5801	17.0341	0	0

2. 金屬複合稻殼二氧化矽材料 (金屬 : SiO₂ = 1 : 2) 吸附 10²M (4790ppm) 玫瑰紅後濾液濃度 (以 ppm 為單位)

表 22 金屬複合稻殼二氧化矽材料吸附 10²M(4790ppm)玫瑰紅後濾液濃度之比較

	硫酸鎳 (先) +硫酸亞鐵 (後)	硫酸鎳 (先) +硫酸鐵 (後)
吸附後濃度 (ppm)	0	0

3. 金屬複合稻殼二氧化矽材料 (金屬 : SiO₂ = 1 : 2) 回收吸附 10³M (479ppm) 玫瑰紅後濾液濃度 (以 ppm 為單位)

表 23 金屬複合稻殼二氧化矽材料回收吸附 10³M(479ppm)玫瑰紅後濾液濃度之比較


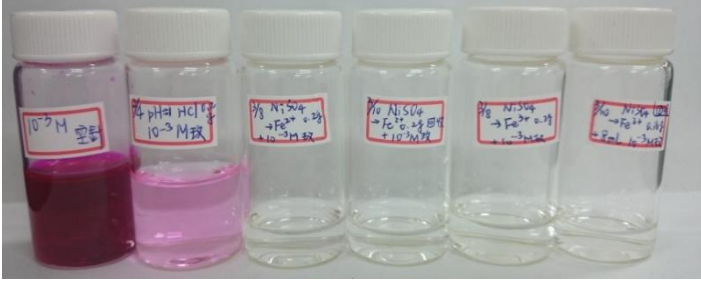

回收次數 \ 吸附後濃度 (ppm)	硫酸鎳 (先) +硫酸亞鐵 (後)	硫酸鎳 (先) +硫酸鐵 (後)
無	0	0
第一次	0	0
第二次	0	0
第三次	0	0
第四次	0	0
第五次	0	0
第六次	0	0
第七次	0	0
第八次	0	0

4.金屬複合稻殼二氧化矽材料（金屬：SiO₂=1：2）回收吸附 10⁻²M（4790ppm）玫瑰紅後濾液濃度（以 ppm 為單位）

表 24 金屬複合稻殼二氧化矽材料回收吸附 10⁻²M(4790ppm)玫瑰紅後濾液濃度之比較

回收次數	吸附後濃度 (ppm)	硫酸鎳 (先) +硫酸亞鐵 (後)	硫酸鎳 (先) +硫酸鐵 (後)
無		0	0
第一次		0	0
第二次		0	0
第三次		0	0
第四次		0	0
第五次		0	0
第六次		0	0
第七次		0	0
第八次		0	0

表 25 金屬複合稻殼二氧化矽材料吸附玫瑰紅後濾液比較

吸附 479ppm (同時加入)	
吸附 479ppm 硫酸鎳 (先) +硫酸亞鐵或 硫酸鐵 (後)	
吸附 4790ppm 硫酸鎳 (先) +硫酸亞鐵或 硫酸鐵 (後)	

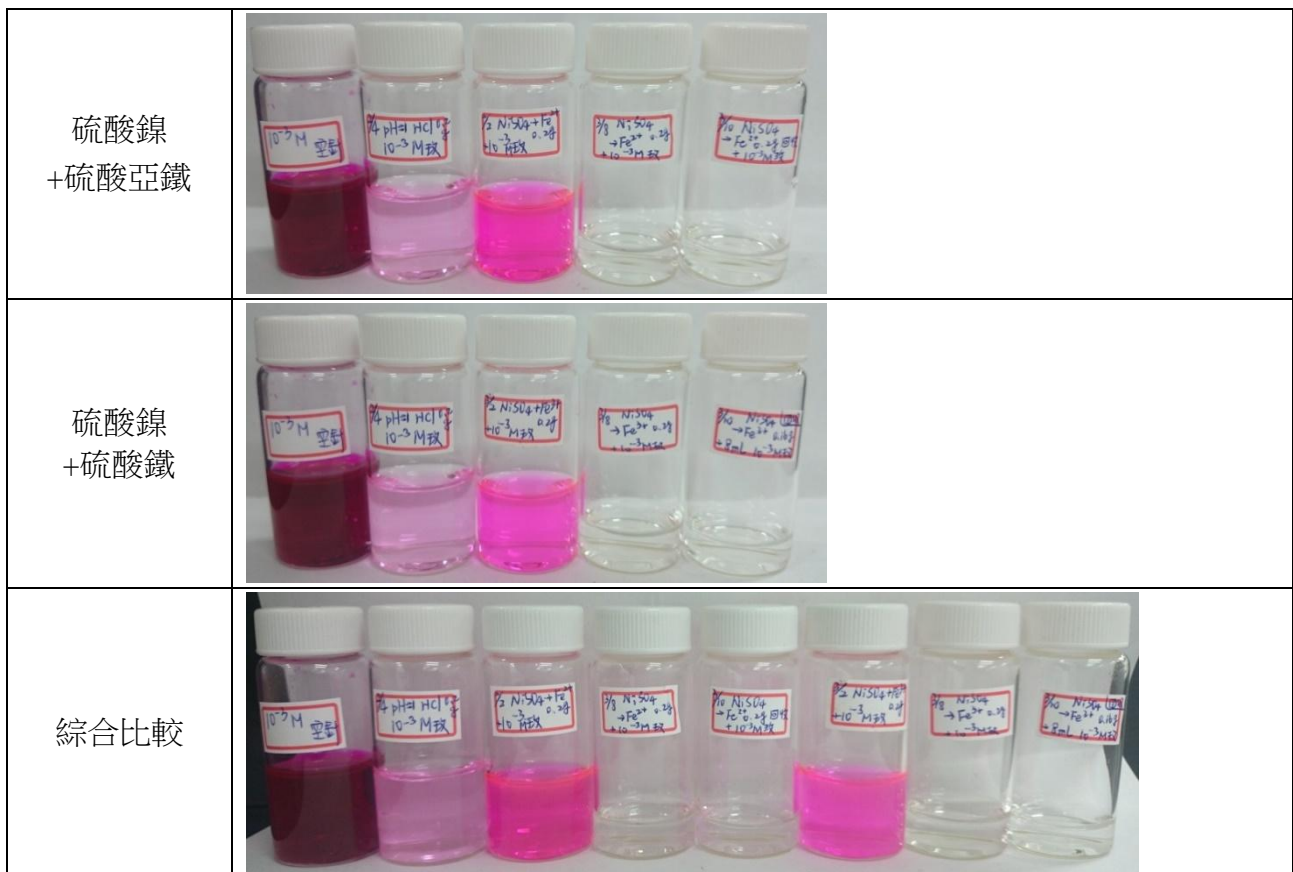


表 26 金屬複合稻殼二氧化矽材料之磁性比較

硫酸亞鐵 (1:2)	硫酸鐵 (1:2)	硫酸亞鐵 (1:10)	硫酸鐵 (1:10)	硫酸鎳(先)+ 硫酸亞鐵(後)	硫酸鎳(先)+ 硫酸鐵(後)

討論

- 1.由於鎳-二氧化矽、銅-二氧化矽表面積較高，因此吸附染料的效果較佳，皆可以使原本肉眼所見粉紅色的溶液在吸附後，趨近無色。
- 2.雖然鐵-二氧化矽表面積不高，但仍有良好的吸附效果，推測鐵可能會與染料形成特殊作用力。
- 3.金屬：二氧化矽比例愈高者，對染料吸附的效果愈好。
- 4.由於鐵-二氧化矽、鎳-二氧化矽、銅-二氧化矽對於 479 ppm ($10^{-3}M$) 之染料皆有良好吸附效果，因此將染料濃度增加到 4790 ppm ($10^{-2}M$) 再進行比較發現，鎳-二氧化矽之吸

- 附效果最佳。
- 5.將金屬-二氧化矽以高溫除去有機物回收再利用，發現除了鋅-二氧化矽之外，其餘皆可以重複使用吸附，達到回收再利用的目的，符合今日注重環保之趨勢。
 - 6.金屬複合材料中，先將硫酸鎳單獨水熱後再加入硫酸亞鐵或硫酸鐵進行二次水熱者，吸附效果較同時加入者為佳。
 - 7.由於先將硫酸鎳單獨水熱後再加入硫酸亞鐵或硫酸鐵進行二次水熱者對於 479 ppm ($10^{-3}M$) 之染料皆有良好吸附效果，因此將染料濃度增加到 4790 ppm ($10^{-2}M$) 再進行比較發現，仍有良好吸附效果。
 - 8.觀察金屬複合材料，發現先將硫酸鎳單獨水熱後再加入硫酸亞鐵或硫酸鐵進行二次水熱者，具有極強磁性，吸附完成後可將粉末做初步去除並回收使用。
 - 9.將金屬複合材料以高溫除去有機物回收再利用，發現先將硫酸鎳單獨水熱後再加入硫酸亞鐵或硫酸鐵進行二次水熱者，皆可以重複使用吸附，達到回收再利用的目的，符合今日注重環保之趨勢。

陸、結論

- 一、稻殼粉高溫鍛燒條件設定在 $600^{\circ}C$ ，可以只留下實驗所需之無機物質。
- 二、以稻殼粉高溫鍛燒後所獲取的二氧化矽，成為吸附染料的主要成份，找出最佳化條件為：以鹽酸控制在 $pH=1$ 的酸性水溶液水熱時間 1 小時，鍛燒時間 6 小時。
- 三、吸附材料若加入金屬，有較佳的染料吸附效果；粉末中金屬的比例愈高者，對染料吸附的效果愈好。特別是鐵-二氧化矽、鎳-二氧化矽、銅-二氧化矽對於 479 ppm ($10^{-3}M$) 之染料皆有良好吸附效果，再將染料濃度增加到 4790 ppm ($10^{-2}M$) 發現，鎳-二氧化矽之吸附效果最佳。鐵：二氧化矽=1：2 材料具有鐵磁性，可方便回收。雖然鐵-二氧化矽表面積不高，但仍有良好的吸附效果，推測鐵可能會與染料形成特殊作用力。金屬-二氧化矽複合材料以高溫除去有機物回收再利用，發現除了鋅-二氧化矽之外，其餘皆可以重複使用吸附，達到回收再利用的目的，符合今日注重環保之趨勢。
- 四、複合金屬離子：吸附材料若先加入硫酸鎳，再加入硫酸亞鐵或硫酸鐵，吸附能力較強且

透過磁性可回收再利用，是經濟可行的方法。

五、總結來說，本研究以稻殼高溫鍛燒後的產物--二氧化矽進行探討，以有無水熱、水熱環境 pH 值、酸種類、水熱時間及鍛燒時間為研究控制變因。實驗結果顯示以硫酸鎳-硫酸亞鐵或硫酸鎳-硫酸鐵金屬複合材料處理玫瑰紅模擬的染料廢水，為一經濟且有效的方法。

柒、未來展望

- 一、就合成材料方面，可回收廢棄鎳與鐵金屬，或收集工業用廢金屬汙水，以取得實驗所需之金屬離子，同時達到減少汙染與廢物利用的目的。
- 二、亦可嘗試吸附其他水溶性或非水溶性物質，以及空氣汙染物等，擴大其利用範圍。

捌、參考資料

- 1.林詩潔、李姿瑩、蘇郁婷、蔡宛伶（2010），落葉變黑金－由校園落葉製成活性炭應用於高中實驗室廢液處理之研究，第 50 屆中小學科學展覽會作品說明書。
2. 倪德明（2005），用直接染料替代鹼性染料降低水汙染，*浙江造紙*，29（3），24-26。
3. 葉名倉（2015），高中基礎化學(二)教科書，臺南市：南一。
4. 維基百科，羅丹明，(搜尋日期：2016 年 3 月 17 日)。
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%BD%97%E4%B8%B9%E6%98%8E>
5. 鄭雅云、吳芄蓁、王雨莉（2014），新式光觸媒奈米磁鐵(TiO₂ @ Fe₃O₄) 分解玫瑰紅染料之研究。第 54 屆全國中小學科展作品說明書。

【評語】 052603

本研究利用農作廢棄物，稻殼高溫鍛燒後的產物二氧化矽，製作可吸附染料並可回收再利用的材料，以達回收再利用、改善水資源環境的目的。利用染劑玫瑰紅為模擬污染源，發現鐵鎳複合材料可有效吸附染料，並易於回收再利用，除有環境科學研究設計之應用巧思，並符合今日環保之趨勢。未來若可收廢棄金屬，進行工業用染整廠污水之實際測試，驗證是否可達到減少工業與環境污染與廢物利用，將更具實用性與說服力。