

# 中華民國第 53 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國中組 化學科

佳作

030210

農業廢棄物再利用-吸附重金屬離子之研究

學校名稱：臺南市立建興國民中學

作者： 國二 王秉旭	指導老師： 楊志鴻 黃千芬
---------------	---------------------

關鍵詞：農業廢棄物、吸附與脫附、化學修飾

## 摘要

我們利用不同農業廢棄物進行含銅鎳離子之廢水吸附實驗，並探討影響吸附效率之相關條件，接著討論花生殼有無化學修飾對銅鎳離子吸附效率的差異。

比較未經化學修飾花生殼對相同濃度的Cu<sup>2+</sup>、Ni<sup>2+</sup>之競爭吸附，結果顯示Cu<sup>2+</sup>的吸附效率較好；隨著濃度上升，未修飾之花生殼對Cu<sup>2+</sup>吸附效率出現明顯下降，經重複使用會造成吸附效率的下降；化學修飾處理後則可提高對Cu<sup>2+</sup>及Ni<sup>2+</sup>的吸附效率，發現最佳化學修飾條件為溫度80°C、時間120分鐘、85%磷酸與花生殼固液比1：1。

研究顯示廢棄不用的花生殼可以用來處理低濃度銅鎳離子的廢水，除發現廢棄物再利用的新價值外，更能協助小廠商落實工業廢水的處理程序，達到保護環境與永續發展之目標。

## 壹、 研究動機

我們從小到大，經常聽聞二仁溪是一條惡名昭彰、臭名遠播的溪流。詢問長輩得知，此溪的上游地過去是以五金工業興盛的地區，由於沒有投入大量的資本去設立廢水處理設施，因此工廠便常常藉由下雨天將貯存的廢水私下放流至這條溪，所以河流常可發現到有不同顏色的廢水排出，二仁溪被稱為「臺灣黑龍江」的污名便始終揮之不去。時至今日，二仁溪再被污染的新聞仍時有所聞，我總是在想，有沒有可以持續的發展工業但又可以簡單又有效解決廢水處理問題的好方法？

在上學期的戶外教學時，經過一些農作的田地，無意間發現，這些田地均會堆置部分枯燥、不用的農作物，向老師詢問得知，田地的這些廢棄物（如花生殼、稻稈、茶葉、玉米芯、甘蔗渣）除了少數會做為堆置用途外，大多數會被焚燒掉或是運至垃圾場進行處理；由於這些都是台灣主要農業作物，總覺得就這樣被當成了垃圾處理太可惜，於是興起了一個念頭，嘗試著將農作廢棄物與廢水作為結合，利用本縣市周圍農地所產出之農業廢棄物做為吸附劑，一來測試其應用在吸附廢水中的重金屬效果，希望可以發展出簡單實用的吸附劑，並且能降低工廠處理廢水的成本及提供回收重金屬的附加價值。那麼應該有機會可以讓無力負擔環保費用的小工廠樂於接受。

## 貳、研究目的

重金屬廢水不易處理，往往需要投入相當高的成本，若能透過農業廢棄物質作為重金屬吸附劑，則會有相當高的經濟價值。因此本研究最主要的目的是想利用農業廢棄物作為吸附廢水溶液中重金屬(銅、鎳)的吸附劑，並找出最佳的吸附條件，另一方面也將檢視重金屬經過脫附濃縮後吸附劑是否可以再生利用，最後希望能得知農業廢棄物經過化學修飾後之吸附效果為何？

因此，形成本研究的主要研究課題如下：

- 一、比較不同農業廢棄物(花生殼、稻稈、茶葉、玉米芯、甘蔗渣)對銅、鎳廢水的吸附效率。
- 二、尋找花生殼對銅、鎳的最佳吸附條件(不同濃度、pH、吸附劑用量)。
- 三、比較  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$  的競爭吸附。
- 四、比較花生殼對  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$  的吸附效率。
- 五、探討二次回收後花生殼  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$  的吸附效率。
- 六、探討脫附銅、鎳離子為  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Ni}(\text{OH})_2$  的回收率。
- 七、找出化學修飾花生殼的最佳反應條件。
- 八、實際應用於電鍍回收廢水之吸附效果與處理流程建議。

## 參、研究設備及器材

### 一、研究材料

材料	來源
花生殼	自行準備
稻稈	自行準備
茶葉	自行準備
玉米芯	自行準備
甘蔗渣	自行準備
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	島久藥品株式會社
$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	和光純藥工業株式會社
去離子水	學校實驗室提供
磷酸 85%	島久藥品株式會社
鹽酸 37.2%	PANREAC OUMICA SA
實際電鍍廢水	某電鍍工廠提供

### 二、研究設備



磁石攪拌器



電子天秤



分光光度計



## 肆、研究過程與方法

### 一、解釋名詞

#### (一) 吸附(Adsorption)與脫附 (Desorption)：

我們都知道分子和分子間都有作用力，當固體外側出現其他物質時，物體表面分子自然就會吸引外側的其他物質分子，因此吸附的原理和表面張力相似。

吸附與吸收 (absorption)不同，吸附僅僅是讓被吸附物附著在吸附者表面而已。吸附可以分為物理吸附 (physisorption) 與化學吸附 (chemisorptions)。物理吸附是指吸附者與被吸附物之間以凡德瓦力或氫鍵等力作用，而且其聚集吸附在表面的過程是可逆的，使被吸附物離開吸附者的過程稱之為「脫附 (Desorption)」。被吸附在吸附與脫附過程性質均不會改變；而化學吸附則往往是在吸附與被吸附者之間產生較強的作用力，造成電子的轉移，產生新的共價鍵或離子鍵的形成，然後在吸附物表面形成新的分子結構。

物理吸附在吸附過程中物質不改變原來的性質且吸附能小，被吸附的物質很容易再脫離，如用活性炭吸附氣體，只要升高溫度，就可以使被吸附的氣體逐出活性炭表面。化學吸附在吸附過程中因為還運用到化學鍵的作用力，因此吸附能較大，要逐出被吸附的物質需要較高的溫度，而且被吸附的物質即使被逐出，也已經產生了化學變化，不再是原來的物質了，一般催化劑的作用便是以這種類型的吸附方式。

在本研究中未經化學修飾的花生殼之吸附與脫附作用屬於物理機制過程，經化學修飾後的花生殼則部份可能涉及化學機制。

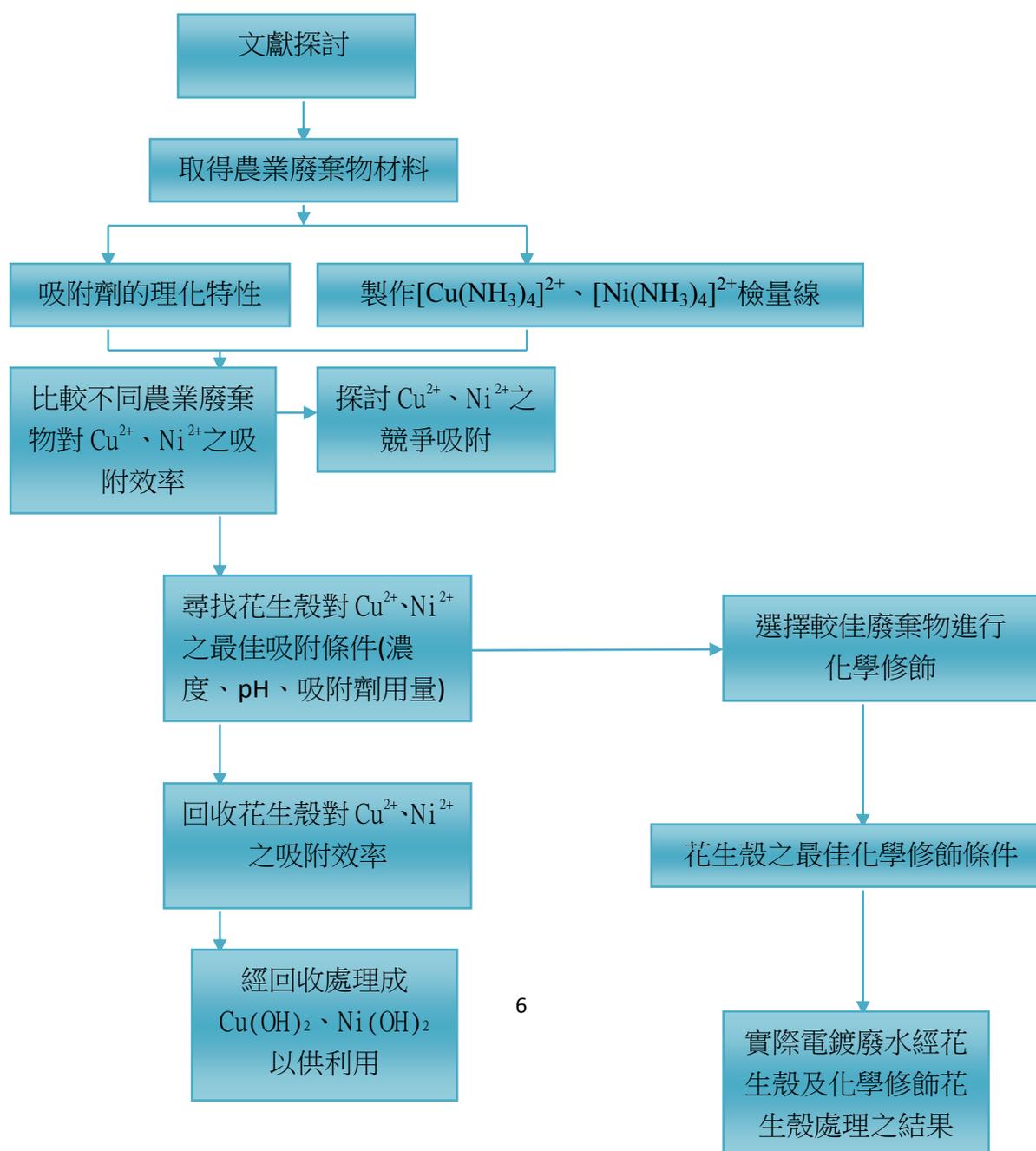
本研究脫附時先使用 1M 鹽酸將離子洗出，浸泡 2 小時，過濾後並用二次水清洗至 pH 值呈現弱酸性物質，再以調 pH 值的方式使其沉澱，得到  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Ni}(\text{OH})_2$  加以回收利用。

## (二)化學修飾(Chemical modification)：

花生殼、稻稈、茶葉、玉米芯、甘蔗渣等農業廢棄物除含有活性成分外，還含有大量的羥基，這些羥基易於化學修飾，通過化學修飾可在農業廢棄物中引入金屬離子吸附能力強的活性基團，如羧基、磷酸根、硫酸根、胺基等。研究者發現文獻曾提及將玉米芯酸化後用 EDTA 絡合，活化後的玉米芯對汞有較強的吸附能力，所以本研究所探討的花生殼也將進行化學修飾，以探討是否同樣具有提高對鎳銅等離子的吸附能力。

## 二、實驗流程

### (一)實驗流程圖



### 三、實驗步驟

#### (一)不同農業廢棄物吸附劑的理化特性

1.取得不同種類的農業廢棄物後，進行基本特性分析，步驟如下：

(1)取市售之落花生，取出花生仁後，將花生殼曝曬 3-5 天(自然乾燥)；取 5~10 g 以粉碎機進行粉碎，並過 10mesh 及 100 mesh 的濾篩，取 10 mesh 到 100 mesh 的農業廢棄物(使粒徑約為 1.5 mm)。

(2)甘蔗渣、稻稈、玉米芯以及茶葉製備方式均重複實驗步驟 1 進行製備。

(3)將各種已製備之廢棄物，各取 5 g 進行秤重，烘乾前記為  $W_0$ ，經  $105\pm 5^\circ\text{C}$ ，2 小時後待冷卻記為  $W_1$ ，測其含水率(含水率:被乾燥的物料中所含的水分與物料重的比值。)

#### (二)製作 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ 、 $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ 之檢量線

1. 以  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  共 2.5(g)溶解於二次水中並稀釋至 1 L，配置 0.01 M 標準溶液。

2. 以  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  共 1.8(g)溶解於二次水中並稀釋至 1 L，配置成 0.01 M 標準溶液。

3. 分別將 1、2 配置之標準溶液各取 10 mL、5 mL、2.5 mL、1.25 mL、0.625 mL，各別加入 3.5 mL 的氨水形成氨錯離子，再加入二次水稀釋至 100 mL。

4. 分別取硫酸銅、硝酸鎳溶液 3.5 mL 之樣品槽測量，選定適合吸收的波長，以建立四氨銅之檢量線。

5. 計算吸附劑對重金屬之吸附效率。

#### (三)比較不同農業廢棄物對 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$ 之吸附能力

1.各取含有重金屬( $\text{Cu}^{2+}$ 與  $\text{Ni}^{2+}$ )濃度為 60 ppm 之混合液 100 mL 於 250 mL 的錐形瓶中，並添加不同農業廢棄物約 2 g，進行混合。

2.以 0.1 M 的 HCl 溶液及 NaOH 溶液進行 pH 的調整。

3.調整後，分別以封口膜封住並標示名稱、時間。

4.將錐形瓶放置於恆溫震盪箱中，設定溫度為  $25^\circ\text{C}$ ，連續震盪 2 小時。

5.震盪後取出，並完全過濾，取濾液 5 mL，加入氨水 0.5 mL，靜置 5 分鐘，再放入分光光度計測定吸光度，並換算成實際濃度。

6.計算重金屬去除效率。

(四)探討  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$ 之競爭吸附

1.取含有重金屬( $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$ )濃度各 60 ppm 共 100 mL 混合液於 250 mL 的錐形瓶中，並添加不同農業廢棄物約 2 g，進行混合。

2.如實驗(三)步驟 3~6。

(五)尋找花生殼、玉米芯對  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$ 之最佳吸附條件

1. 吸附劑對不同濃度(20-500 ppm)之  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$ 吸附效率的影響

(1)參照實驗(二)之  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$ 標準溶液，並稀釋成不同的重金屬濃度。

(2)參照實驗(三) 3~6。

2. 吸附劑在不同 pH 條件下對之  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$ 吸附效率的影響

(1)配置  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$ 濃度分別為 20 ppm 溶液，並以調製的 HCl (0.1 M)及 NaOH (0.1 M)進行不同 pH 調整。

(2)參照實驗(三) 3~6。

3.不同吸附劑用量對吸附劑之  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$ 吸附效率的影響

(1)配置濃度為 20ppm 之  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$ 溶液，於震盪前以調製的 0.1 (M)之 HCl 及 NaOH 溶液進行 pH 值調整。

(2)添加不同吸附劑用量，並進行封膜、標註日期。

(3)參照實驗(三) 3~6。

(六) 回收花生殼對  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$ 之吸附效率

1.取最佳條件吸附後之花生殼，加入 1 M 的 HCl，浸泡 2 小時。

2.過濾後並用二次水清洗至 pH 值呈現弱酸性，並置入烘箱烘乾(60~70°C)。

3.冷卻至室溫後，再次進行重金屬離子  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$ 吸附，加入 1 M 的 HCl，浸泡 2 小時。

4.重複步驟 2、3 兩次。

(七) 脫附銅、鎳離子成為  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Ni}(\text{OH})_2$  等沉澱物進行回收處理

1. 探討 pH 值對  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Ni}(\text{OH})_2$  回收效率之影響。

2. 置於烘箱進行烘乾得到  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Ni}(\text{OH})_2$  粉末。

#### (八)花生殼化學修飾

- 1.取花生殼 20 g 置於 500 mL 燒杯中，添加磷酸(濃度 85%)，於水浴鍋中進行加熱。
- 2.溫度控制於 80°C、持續加熱攪拌 1.5~2 個小時。
- 3.將花生殼進行過濾去並去除液體，殘渣續以二次水洗至 pH 恢復弱酸性，並於恆溫培養箱中以 45°C 進行烘乾過夜。
- 4.得磷酸修飾之花生殼，置於乾燥器中備用。

#### (九)化學修飾花生殼對 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$ 之最佳吸附條件

- 1.不同化學修飾反應溫度對  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$  之吸附效率
  - (1)取花生殼 20 g 置於 500 mL 燒杯中，添加磷酸(濃度 85%)。
  - (2)改變不同溫度控制，並參照實驗(三)步驟 3~6。
- 2.不同化學修飾反應時間對  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$  之吸附效率
  - (1)取花生殼 20 g 置於 500 mL 燒杯中，添加磷酸(濃度 85%)。
  - (2)改變不同時間控制，並參照實驗(三)步驟 3~6。
- 3.不同化學修飾固液比對  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$  之吸附效率
  - (1)取花生殼 20 g 置於 500 mL 燒杯中，添加磷酸(濃度 85%)。
  - (2)改變不同固液比控制，並參照實驗(三)步驟 3~6。
- 4.不同化學修飾添加量對  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$  之吸附效率
  - (1)取花生殼 20 g 置於 500 mL 燒杯中，添加磷酸(濃度 85%)。
  - (2)改變不同添加量，並參照實驗(三)步驟 3~6。

#### (十)實廠廢水經花生殼及化學修飾花生殼之處理

- 1.取化學修飾最佳條件之花生殼與未化學修飾花生殼，針對實際電鍍廢水進行吸附重金屬離子。
- 2.參照實驗(三)步驟 3~6，進行試驗。

## 伍、研究結果與討論

### 一、不同農業廢棄物吸附劑的理化特性

農業廢棄物作為生物吸附劑用於吸附水體中的重金屬離子時，一方面具有高孔隙率和較大的體表面積，另一方面含有較多的吸附功能團(羥基、羧基、醯胺基、磷醯基等)可以通過離子交換、螯合等方式吸附重金屬離子，具有較突出的天然優勢，加之具有原料來源廣泛、價格低廉和無二次污染等優點。

表 1 不同農業廢棄物之特性

	含水率%
花生殼	11.88%
玉米芯	3.9%
稻稈	7.46%
茶葉	10.5%
甘蔗渣	10.34%

表 1 針對不同農業廢棄物經曬乾及破碎機破碎後，進行含水率的檢測，方法是各取 5~10(g)不同廢棄物，置入坩鍋，並置入烘箱  $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ ，烘乾 2 小時後取出並進行秤重。其中以花生殼的含水率最高(11.88%)，玉米心含水率最低(3.9%)。

## 二、製作 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ 、 $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ 之檢量線

經過分光光度計檢測後數據繪成圖如下： $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ 檢量線

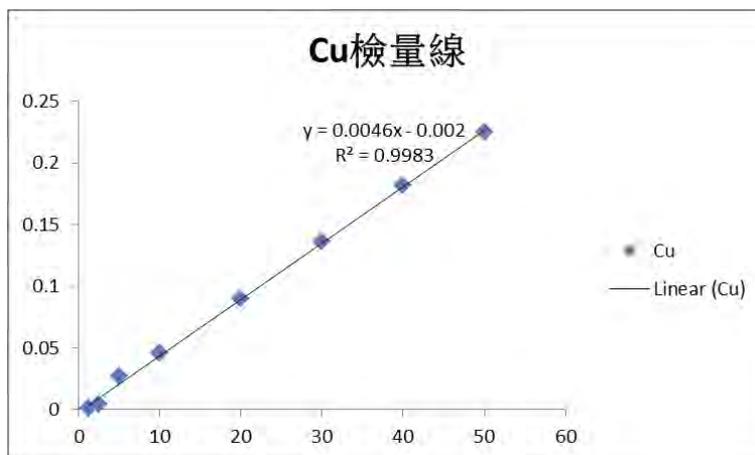


圖 2-1. 利用硫酸銅做為標準品製作檢量線

圖 2-1 為我們利用四氨銅製成檢量線(10~60 ppm)，配置方法是將 0.5 g 硫酸銅加入 100 mL 二次水中，利用磁石攪拌機充分攪拌均勻後，將磁石攪拌機轉速調弱，接著吸取 2~10 mL 四氨銅錯離子溶液，分別定量到 10 mL 配置 10~60 ppm 之檢測試樣，之後先將試管充分搖晃後，再將其中試樣放入石英管中，用分光光度計測定其吸光值。得到  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$  之標準曲線  $y = 0.0046x - 0.0021$ 。

經過分光光度計檢測後數據繪成圖如下： $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ 檢量線

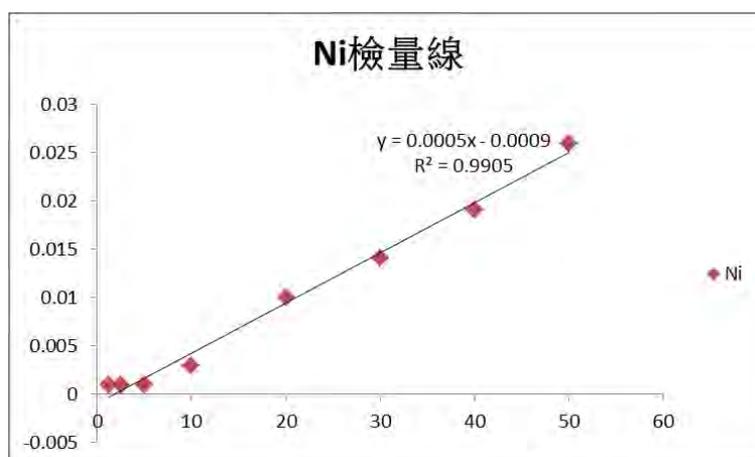


圖 2-2. 利用硝酸鎳做為標準品製作檢量線

圖 2-2 為我們利用四氨鎳製成標準曲線(10~60 ppm)，配置方法是將 0.5 g 硝酸鎳加入 100 mL 二次水中，利用磁石攪拌機充分攪拌均勻後，將磁石攪拌機轉速調弱，接著吸取 2~10 mL 四氨鎳溶液，分別定量到 10 mL 配置 10~60 ppm 之檢測試樣，之後先將試管充分搖晃後，再將其中試樣放入石英管中，用分光光度計測定其吸光值。得到 $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ 之標準曲線  $y = 0.0005x - 0.0009$ 。

### 三、比較不同農業廢棄物對 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$ 之吸附能力

(一) 各種不同農業廢棄物吸附效率如圖：

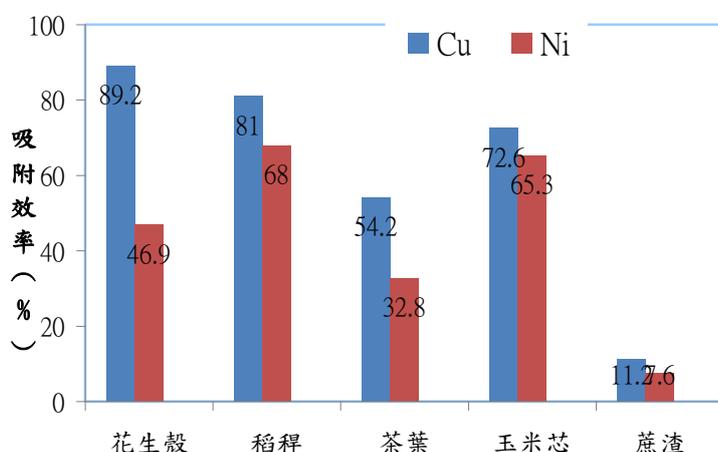


圖 3. 不同農業廢棄物對  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$  吸附能力

由圖 3 可知藉由不同農業廢棄物經破碎機破碎後，進行不同重金屬之吸附，設定取用 2 g 農業廢棄物各加入具有 60 ppm 之  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$  重金屬溶液 100 mL、震盪時間為 2 小時。由此圖發現重金屬去除效率最佳者為花生殼，對銅離子去除效率 89.2%、鎳離子去除效率 46.9%；效率第二高者為玉米芯對銅離子有 72.6% 去除率、鎳離子則為 65.3%。

#### 四、探討 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$ 之競爭吸附

此圖為花生殼對銅鎳競爭吸附之結果：

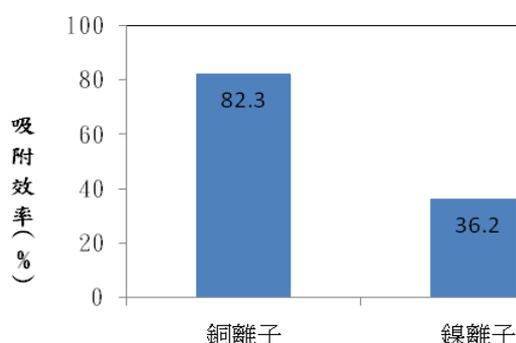


圖 4. 花生殼對  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$  之競爭吸附

圖 4 花生殼對  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$  進行競爭吸附之實驗，並探討在重金屬同時存在時對於吸附效率之影響，取含有  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$  濃度各 60 ppm 共 100 mL 混合液於 250 mL 的錐形瓶中，並添加不同農業廢棄物約 2 g，進行吸附。將錐形瓶放置於恆溫震盪箱中，設定溫度為室溫，進行震盪 2 個小時。由此圖發現以花生殼經震盪 2 小時後對  $\text{Cu}^{2+}$  的吸附效率 82.3%、對  $\text{Ni}^{2+}$  吸附效率 36.2%。結果顯示花生殼對二種重金屬離子的吸附能力為  $\text{Cu}^{2+}$  較  $\text{Ni}^{2+}$  為佳，和圖三比較也可看出比對單一重金屬之吸附效率略差。

## 五、尋找花生殼 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$ 之最佳吸附條件

(一)不同濃度之  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$  以花生殼吸附情形如圖：

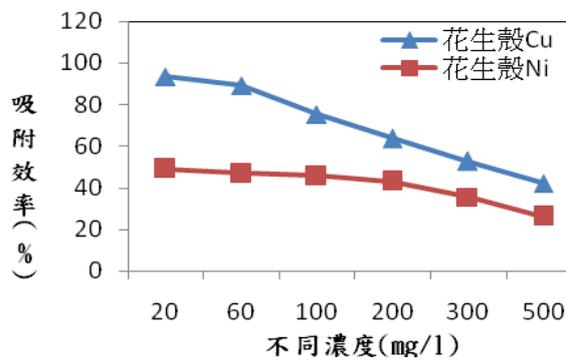


圖 5.1 花生殼對不同  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$  濃度之吸附效率

圖 5.1 花生殼進行不同重金屬濃度的吸附試驗，各別調配 100 mL 不同濃度(20、60、100、200、300、500 ppm)之含重金屬  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$  於 250 mL 的錐形瓶中，並添加花生殼約 2 g，進行吸附。由圖 5.1 可看出花生殼對 20 ppm 之銅離子去除效率均可達 93.4%，而隨濃度上升，效率下降，500 ppm 之  $\text{Cu}^{2+}$  吸附效率降至 42.1%，而  $\text{Ni}^{2+}$  在 20~200 ppm 範圍內，吸附效率可達 40% 以上。

(二)不同 pH 對吸附劑效率的影響如圖：

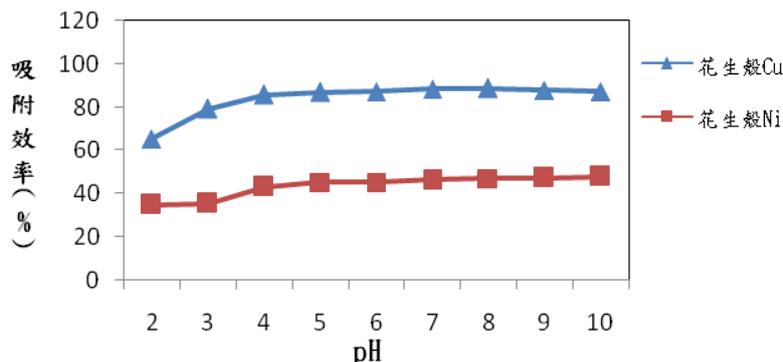


圖 5.2 不同 pH 對吸附銅鎳離子之效率

圖 5.2 各別調配不同 pH 值之含有重金屬濃度 20 ppm 的 100 mL 溶液於 250 mL 的錐形瓶中，並添加花生殼約 2 g，進行吸附。由圖 5.2 發現花生殼在低 pH 值(2~3)時， $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$  吸附效率較差，分別為 65.3% 及 34.9%， $\text{Cu}^{2+}$  在 pH 值 7 以上可達 85% 之吸附效率，而  $\text{Ni}^{2+}$  則在 pH 值大於 4 可有 40% 以上之吸附效率。

(三)不同吸附劑用量對吸附效率的影響

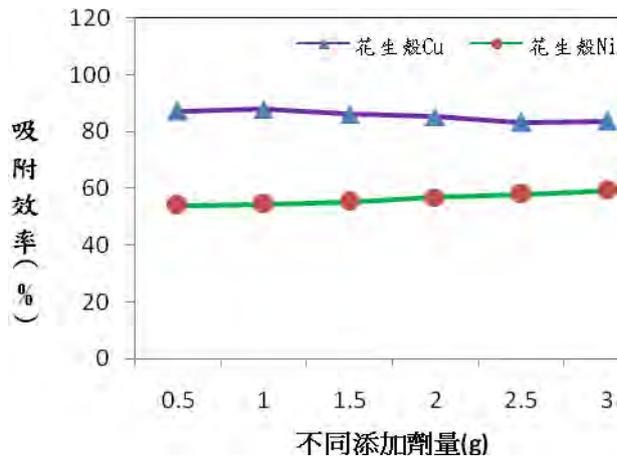


圖 5.3.不同花生殼添加量對吸附銅鎳離子之效果

圖 5.3 顯示不同花生殼添加量對吸附銅鎳離子之效果。各別調配含有重金屬濃度各 20 ppm 之 100 mL 的溶液於 250 mL 的錐形瓶中，並添加花生殼 0.5-3 g，進行吸附。吸附劑量大於 1.5 g 時，對  $\text{Cu}^{2+}$  吸附能力略微降低 3.5%，而對  $\text{Ni}^{2+}$  吸附效率則隨著添加劑量增加反而增加 5.2%。

## 六、回收次數對 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$ 之影響

此圖為回收花生殼次數對  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$  之影響：

圖 6.不同添加量對吸附銅鎳離子之效果

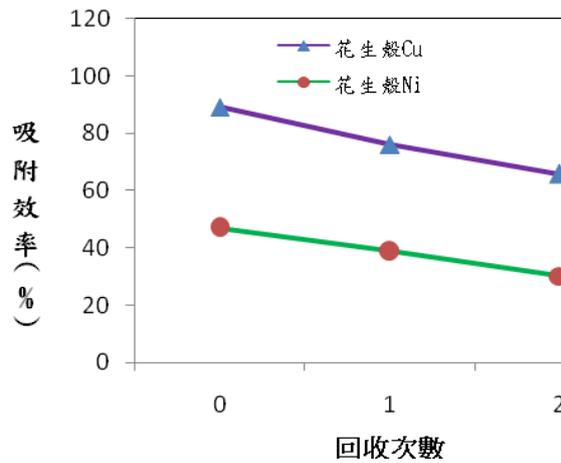


圖 6 藉由最佳吸附能力之農業廢棄物花生殼進行吸附後回收再利用之試驗，將吸附後之花生殼，加入 1 M 的 HCl，浸泡 2 小時，過濾後並用二次水清洗至 pH 值呈現弱酸性，並置入烘箱烘乾(60~70 度)，冷卻至室溫後，再進行重金屬溶液吸附。由此圖發經回收再使用的花生殼其吸附效率有所下降，重複使用第三次的花生殼吸附效率下降約 20%。

## 七、脫附銅、鎳離子成為 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Ni}(\text{OH})_2$ 等沉澱物進行回收處理

(一) 探討 pH 值對  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Ni}(\text{OH})_2$  回收效率之影響。

1. 查詢  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Ni}(\text{OH})_2$  之  $K_{sp}$  值，得知分別為  $4.8 \times 10^{-21}$  及  $1.6 \times 10^{-16}$ ，因此想要利用鹼液使脫附後的  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$  變為  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Ni}(\text{OH})_2$  等沉澱物後析出。
2. 將實驗(六)所脫附後之殘留溶液，以 pH 調整至 6-10 進行重金屬沉澱。
3. 測量脫附溶液進行沉澱反應前後的離子濃度，計算回收效率如下式：

$$\text{回收效率} = \frac{\text{沉澱前的離子濃度} - \text{沉澱後的離子濃度}}{\text{沉澱前的離子濃度}}$$

4. 由圖 7 得知， $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$  在 pH 值 =8 以上有較佳之回收效率 90% 以上，而 pH 值下降時回收率較差。經三次測量後均發現 PH 值=8 時銅離子的回收效率可達 92%。

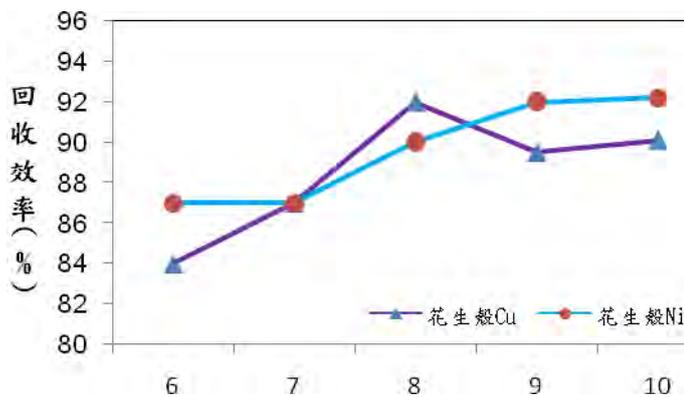


圖 7 調整不同 pH 對銅鎳離子回收之效果

(二) 置於烘箱進行烘乾得到  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Ni}(\text{OH})_2$  粉末。

## 八、化學修飾花生殼對 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$ 之最佳吸附條件

因為參考文獻中曾提到採用環狀酸酐、三氯氧磷、氯磺酸化學修飾燕麥殼、玉米芯和甜菜渣，得到的產物中富含羧基、磷酸根和硫酸根，具有很強的金屬離子結合能力，故本實驗後續也對花生殼進行磷酸化學修飾。

### (一)不同化學修飾溫度對 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$ 的影響(時間 120 分、85%磷酸、固液比 1:1)

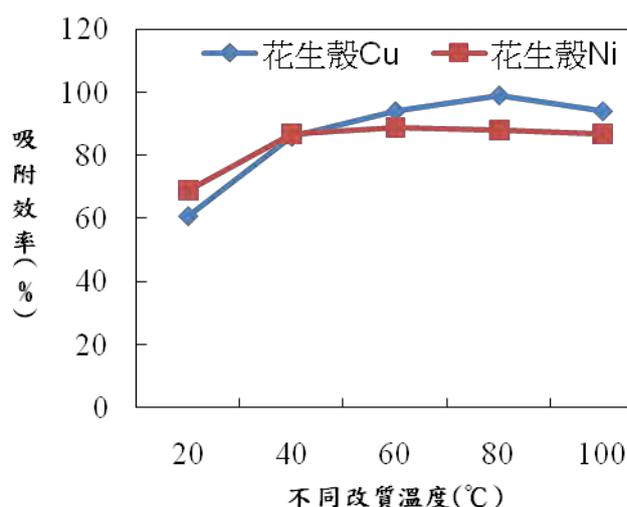


圖 8.1 不同化學修飾溫度之花生殼對銅鎳離子回收之效果

圖 8.1 探討不同化學修飾溫度之花生殼進行重金屬溶液之吸附效率試驗，條件設定化學修飾時間為 120 分鐘、磷酸比例 85%、固液比 1:1。由圖 8.1 可看出當化學修飾溫度在 80°C 時，對於銅離子的吸附效率可有 98% 的效果，而鎳離子吸附效率僅有 78%。探討不同的化學修飾溫度條件下得知，隨溫度的提升，得到的化學修飾花生殼粉對水中重金屬銅離子吸附提高；在鎳離子部分，推測因溫度超過 80°C 後其去除效率因為花生殼中的聚酚類物質大量的釋出，進而造成降低吸附效率。由此可知，進行化學修飾過程溫度不宜過高，因此最佳化學修飾溫度為 80°C。

(二)不同化學修飾時間對  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$  的影響(水浴 80 度、85%磷酸、固液比 1:1)

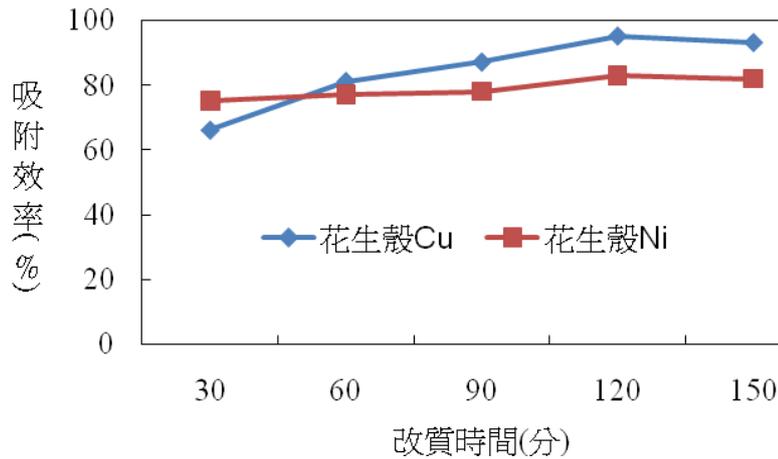


圖 8.2 不同化學修飾時間之花生殼對銅鎳離子回收之效果

圖 8.2 探討不同化學修飾時間之花生殼進行重金屬溶液之吸附效率試驗，條件設定化學修飾溫度為  $80^{\circ}\text{C}$ 、磷酸比例 85%、固液比 1:1。可看出當化學修飾時間在 120 分鐘時，對於銅離子的吸附效率可有 98% 的效果，鎳離子吸附效率也達 82%， $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$  在 120 分時吸附效率皆為最高，故最佳化學修飾時間為 120 分鐘。

(三)不同化學修飾固液比對  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$  的影響(水浴 80 度、時間 120 分、85%磷酸)

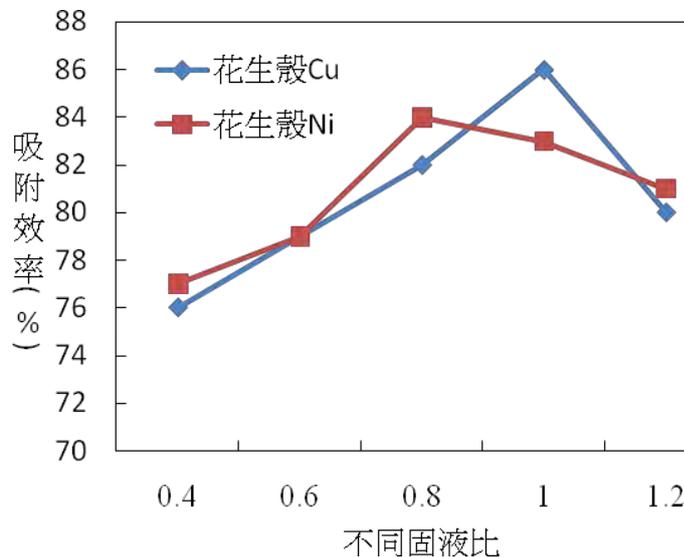


圖 8.3 不同化學修飾固液比之花生殼對銅鎳離子回收之效果

圖 8.3 探討不同化學修飾固液比之農業廢棄物花生殼進行重金屬溶液之吸附效率試驗，條件設定在化學修飾溫度  $80^{\circ}\text{C}$ 、時間為 120 分鐘、磷酸 85%。由圖 8.3 可看出當固液比為 1:1 時，對於銅離子去除吸附效率可有 86%；而鎳離子吸附效率僅有 75%。

(四)修飾後花生殼添加量對  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$  吸附效率的影響(水浴  $80^\circ\text{C}$ 、時間 120 分、85%磷酸、固液比 1:1)

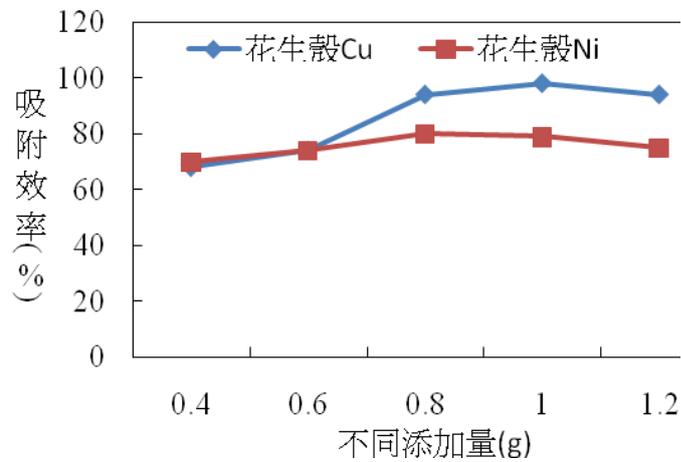


圖 8.4 修飾後花生殼之添加量對銅鎳離子吸附之效果

圖 8.4 探討修飾後花生殼不同添加量進行吸附效率的試驗，條件設定在化學修飾溫度  $80^\circ\text{C}$ 、時間為 120 分鐘、磷酸比例 85%、固液比 1:1。由圖 8.4 可看出添加量為 0.8 g 時，對於銅離子吸附效率高於鎳離子吸附效率約 20%。添加量為 0.8-1.2 g 之間，銅離子吸附效率最高。

## 九、實廠含銅鎳電鍍廢水經未化學修飾花生殼及化學修飾花生殼之處理

(一)比較有無修飾花生殼對含銅廢液吸附效率的差異如圖：

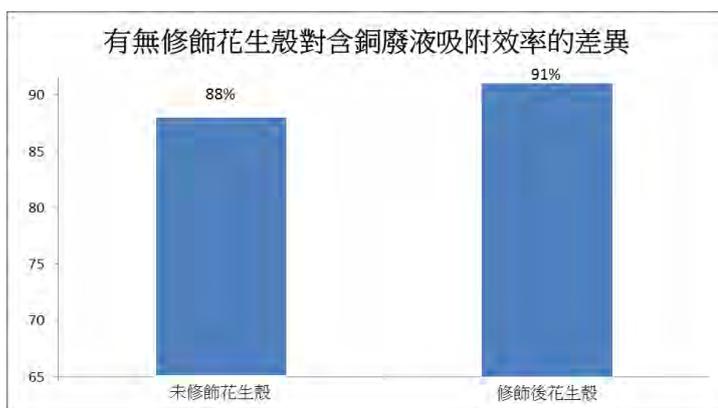


圖 9.1 化學修飾及未化學修飾之花生殼對實際含銅電鍍廢水之吸附效率

### 【討論】

圖 9.1 為化學修飾後花生殼和未修飾花生殼對銅離子吸附之比較

1. 修飾後花生殼只較修飾前花生殼吸附效率高出 3%，幾乎相等。
2. 因此依成本考量吸附銅離子不需要使用修飾後花生殼。

(二) 比較有無修飾花生殼對含鎳廢液吸附效率的差異

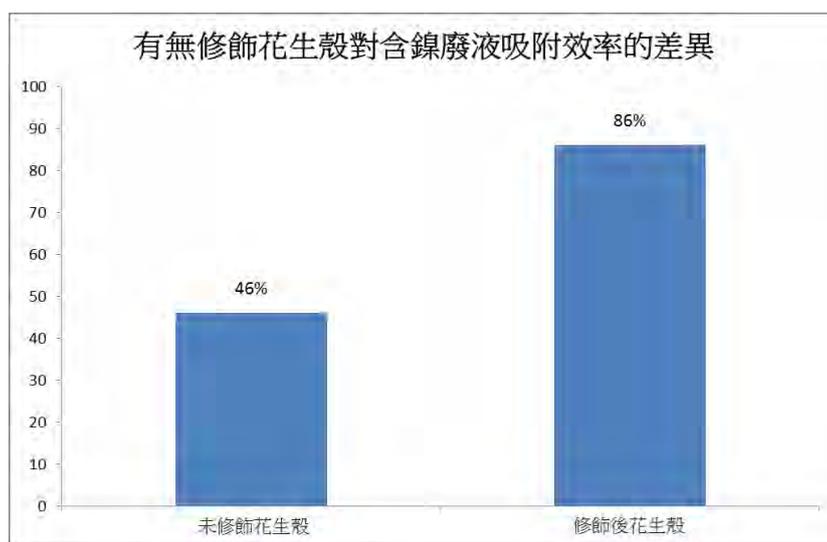


圖 9.2 化學修飾及未化學修飾之花生殼對實際含鎳電鍍廢水之吸附效率

## 【討論】

圖 9.2 為化學修飾後花生殼和未修飾花生殼對鎳離子吸附之比較

1. 修飾後花生殼較修飾前高出 40%，接近原來吸附效率兩倍，大幅提高花生殼對鎳離子的吸附效率。
2. 修飾後花生殼可以補足花生殼對鎳離子吸附效率不足之缺點。

### (三)形成處理流程建議方案

由圖 9.1~9.2 可以發現化學修飾及未化學修飾之花生殼對所取得之實際含銅鎳電鍍廢水進行處理，各別取含有重金屬離子溶液 100 mL 置入 250 mL 的錐形瓶中，並添加化學修飾及未化學修飾之花生殼各 2 g，震盪 2 小時。由此圖發現經過化學修飾後的花生殼對電鍍廢水之銅離子吸附效率可達 91%，比未化學修飾稍好；而  $\text{Ni}^{2+}$  則化學修飾之吸附效率則增加甚多，多達 40%，說明化學修飾處理可提高花生殼對  $\text{Cu}^{2+}$  及  $\text{Ni}^{2+}$  的吸附效率。

由本步驟的結果顯示，未來利用花生殼進行銅鎳離子的回收處理流程，建議如下圖 9.3

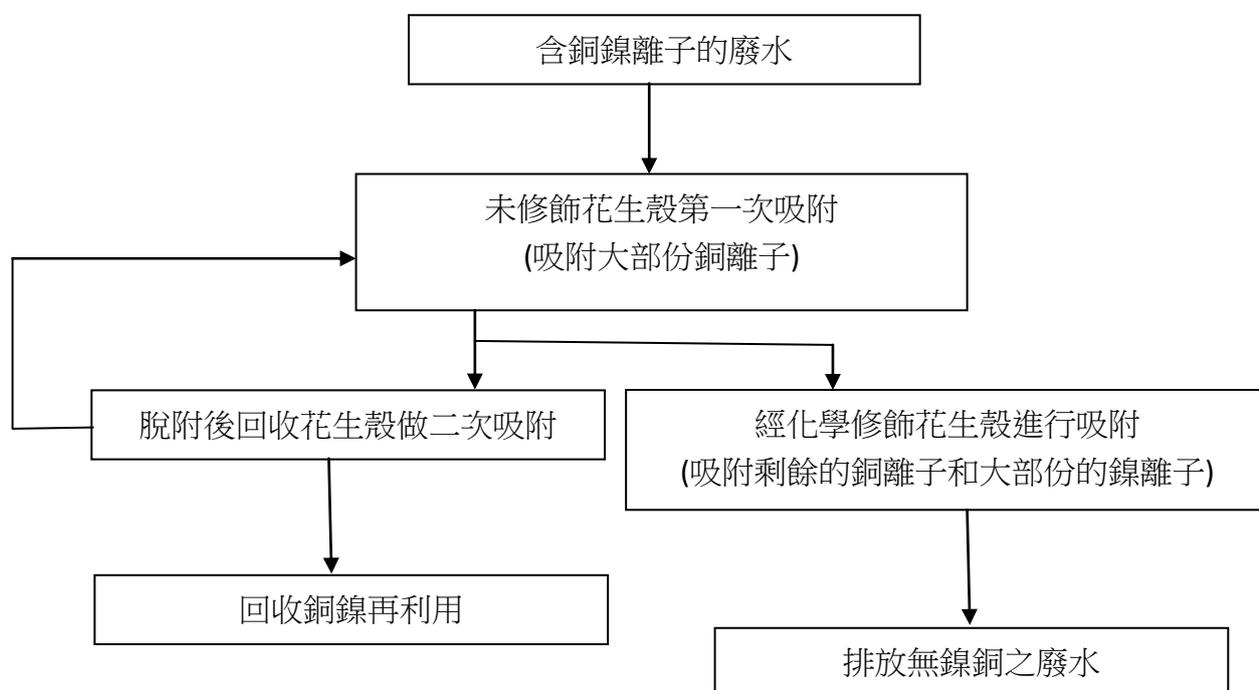


圖 9.3 利用花生殼處理廢水(含鎳銅離子)流程圖

## 陸、結論

本研究主要是利用不同農業廢棄物進行銅鎳重金屬廢水之吸附實驗，探討影相吸附效率之相關條件，接著利用化學修飾方式進行廢棄物吸附實際電鍍工廠之重金屬廢水效果的影響。本試驗主要結論如下：

- 一、比較不同農業廢棄物對 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$  各60 ppm重金屬溶液進行吸附。發現吸附效率最佳者以花生殼對銅離子效率89.2%、鎳離子效率可達46.9%。
- 二、探討  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$ 之競爭吸附，花生殼對  $\text{Cu}^{2+}$ 的吸附效率 82.3%、對  $\text{Ni}^{2+}$ 吸附效率 36.2%。  
結果顯示花生殼對二種重金屬離子的吸附能力為  $\text{Cu}^{2+}$ 較  $\text{Ni}^{2+}$ 為佳。
- 三、花生殼對  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$ 不同濃度之吸附效率，隨著濃度上升，吸附效率下降。
- 四、不同添加量對吸附銅鎳離子之效果，影響並不明顯。
- 五、 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$ 經回收再使用吸附效率有所下降，重複使用第三次的花生殼吸附效率下降約 20%。
- 六、花生殼進行重金屬吸附後經脫附回收再利用之試驗， $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$ 在pH值 8 以上有較佳之回收效率90%以上，而低 pH值下回收率較差。
- 七、化學修飾花生殼對銅鎳離子吸附效率發現最佳化學修飾條件為化學修飾溫度 80°C、時間為 120 分鐘、磷酸比例 85%、固液比 1：1。
- 八、藉由化學修飾及未化學修飾之花生殼對所取得之實際含銅鎳電鍍廢水進行處理，發現經過化學修飾後的花生殼對電鍍廢水之銅離子吸附效率可達 91%，比未化學修飾稍；而  $\text{Ni}^{2+}$ 則化學修飾之吸附效率增加甚多，多達 40%，說明化學修飾處理可提高花生殼對  $\text{Cu}^{2+}$ 及  $\text{Ni}^{2+}$ 的吸附效率。

## 柒、參考資料

- 一、章明奎、方利平(2006)，利用非活體生物質去除廢水中重金屬的研究，生態環境，第 15 卷，第 5 期，P. 897-900。
- 二、張慶芳，辛佳，孔秀琴，賈小寧(2004)，化學修飾花生殼處理廢水中  $\text{Cr}^{6+}$  的實驗研究，花生學報，第 37 卷，第 3 期，P. 16~19。
- 三、簡碩廷、傅崧軒、溫晨妤、洪宇倫(2003)，綠牡蠣事件—重金屬離子的減廢與回收，中華民國第 42 屆中小學科學展覽會。
- 四、羅翊展、謝承餘(2012)，『糞』勇作戰—牛糞對抗重金屬，中華民國第 51 屆中小學科學展覽會。
- 五、林怡妙、林怡、李珮榕、于珮瑩(2004)，鏽鏽不入—妙用豆渣吸附重金屬鎘，中華民國第 43 屆中小學科學展覽會。

## 【評語】 030210

運用農業廢棄物再利用解決廢水中重金屬離子實驗之效果良好，可針對不同品種、產地的花生殼、不同的化學修飾，再做實驗比較其吸附效率。