

# 中華民國第 62 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國中組 化學科

佳作

030213

殼中生機——廢棄殼粉晶球戰勝重金屬廢液

學校名稱：臺中市立向上國民中學

作者： 國二 孫逸璇 國二 陳韋蓁 國二 邱珮德	指導老師： 吳孟守 李翊華
-----------------------------------	---------------------

關鍵詞：重金屬、吸光度、錯合物

## 摘要

利用身邊廢棄殼粉，包括蛋殼、花生殼及蝦殼，進行鐵、銅、鋅、鎳四種重金屬離子的吸附，藉由自製吸光度計、黃血鹽滴定重金屬離子形成錯合物，探討殼粉吸附重金屬離子的效果。結果發現，三種殼粉對重金屬溶液吸附能力為蝦殼粉>蛋殼粉>花生殼粉。蝦殼粉小晶球對硝酸銅的吸附率為 $220.0 \text{ mg/g}$ ；蛋殼粉對硝酸鐵的吸附率為 $200.6 \text{ mg/g}$ ；而花生殼粉對硝酸鋅的吸附率為 $112.5 \text{ mg/g}$ 。不同殼粉對離子的吸附效果不同，蝦殼粉吸附能力為  $\text{Cu} > \text{Ni} > \text{Fe} > \text{Zn}$ 。包覆殼粉的海藻酸鈉小晶球吸附重金屬優於大晶球及純殼粉。包覆0.2 g蝦殼粉的小晶球，對硝酸銅的吸附較純殼粉提升約30.1%。第1型(純蝦殼粉)及第4型(蛋殼粉：蝦殼粉=3:1)海藻酸鈉小晶球對銅離子吸附效果最佳。

## 壹、前言

### 一、研究動機

近期出現黑心業者將14萬公噸的重金屬汙泥，棄置在大安溪、彰化、雲林等多處魚塢和農牧用地的新聞，加上學校課堂中談論重金屬環境汙染的議題，其中毒者的畫面令人怵目驚心，我們也了解到重金屬汙染就在身邊。原先所知重金屬汙水能以微生物、電解等方式處理，後來更深入探討，發現日常中許多廢棄物亦能吸附重金屬，於是我們決定進行比較，以蛋殼、花生殼及蝦殼作為標的，吸附重金屬離子，觀察它們吸附狀況的差異，以廢棄物再利用來提升環境的永續發展。

### 二、研究目的

- (一)、自製一台簡易且精準的吸光度計。
- (二)、製作自製吸光度計與重金屬溶液濃度的檢量線。
- (三)、蛋殼粉、花生殼粉及蝦殼粉對不同重金屬離子吸附情形。
- (四)、包覆廢棄殼粉的海藻酸鈉晶球進行重金屬吸附。
- (五)、製作最佳混合殼粉的海藻酸鈉小晶球用以吸附重金屬離子。

### 三、文獻回顧

#### (一)吸附原理：

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

1. 物理吸附：物體間以力的作用，如吸附劑與吸附質有相反電荷而產生靜電力，使其聚集吸附在表面。物理吸附通常作用力較小，反應具有可逆性，放出的吸附熱較小，且吸附速度快。
2. 化學吸附：吸附劑與吸附質表面因親和力產生電子共用的化學鍵結，吸引力比物理吸附強，反應具有不可逆性，且此反應已經產生了化學變化，不再是原來的物質。化學吸附

所放出的吸附熱比物理吸附所放出的吸附熱大且進行得較慢，吸附平衡也需要相當長時間才能達到。

## (二)導電度理論基礎

在國中八年級理化課「認識電解質」的學習單中，我們了解電解質的水溶液均可導電，導電的介質主要為正負離子的移動，而解離度愈大的水溶液，導電度就愈大，反之則愈小。溶液中所含電解質濃度愈大，電流通過愈容易，電阻愈小；相反的，溶液中所含電解質濃度愈小，電流通過愈難，則電阻愈大。

## (三)分光光度計原理

比爾-朗伯定律的物理意義是：一束單色光照射於吸收介質表面，在通過一定厚度的介質後，由於介質吸收了一部分光能，透射光的強度就會減弱。吸收介質的濃度愈大，介質的厚度愈大，則光強度的減弱愈顯著，其關係為：

$$A = -\log_{10} \frac{I_t}{I_0} = \log_{10} \frac{1}{T} = K \cdot l \cdot c$$



說明：

$A$ ：吸光度

$I_0$ ：入射光的強度

$I_t$ ：透射光的強度

$T$ ：透射比，或稱透光度

$K$ ：係數，可以是吸收係數或摩爾吸收係數

$l$ ：吸收介質的厚度，一般以 cm 為單位

$c$ ：吸光物質的濃度，單位可以是 g/L或mol/L。

圖1 比爾定律吸收光束示意圖

本實驗中因為不同金屬離子的吸收波長不同，所以採用不同顏色的光源進行實驗。 $Zn^{2+}$ 最大吸收波長為626nm，以紅光(波長625nm~740nm)作為光源； $Cu^{2+}$ 的最大吸收波長為600nm，以綠光(波長500nm~565nm)作為光源； $Ni^{2+}$ 最大吸收波長為660~750nm，以紅光(波長625nm~740nm)作為光源； $Fe^{3+}$ 最大吸收波長為490nm，以藍光(波長455nm~492nm)作為光源。

## (四)海藻酸鈉吸附原理

### 1. 海藻酸鈉(Alginic acid)

海藻酸鈉又稱為海藻膠、褐藻膠或藻膠，是存在於海洋褐藻細胞壁中的天然植物多醣，如海帶、馬尾藻、泡葉藻、巨藻等皆為海藻酸鈉主要來源。海藻酸鈉由 $\beta$ -D-甘露糖醛酸(M)及 $\alpha$ -L-古洛糖醛酸(G)兩種醣類單體聚合而成，以M-M，G-G或M-G三種組合方式，透過 $\alpha$ -1,4糖苷鍵鍵結形成的線性多醣類，實驗式表示為 $(C_6H_7O_6Na)_n$ ，分子量約1萬~萬g/mole，是

一種安全合法的食品添加物，作為增稠劑、穩定劑、保水劑及抗凍劑等使用，此種天然多醣除了作為食品添加劑，也廣泛應用於醫藥、紡織、印染、造紙、日用化工等產品。

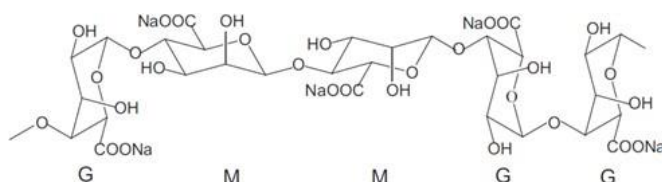


圖2 海藻酸鈉之分子結構

## 2. 凝膠原理

海藻酸鈉由兩種醣醛酸單醣組合而成，分子結構上擁有許多羧基( $\text{COO}^-$ )，當海藻酸鈉溶液滴入氯化鈣中時，鈣離子( $\text{Ca}^{2+}$ )會取代海藻酸鈉羧基上的鈉離子( $\text{Na}^+$ )，再結合另一醣醛酸分子上的羧基，形成離子架橋，使海藻酸鈉分子間的聯結性更強，形成一個蛋盒的網狀組織結構，讓分子結構更加穩定，促進凝膠形成，並可將內容物包裹於凝膠結構中，形成半透膜球，可於特定環境下將內容物釋出。鈣離子為二價金屬離子，可與海藻酸鈉分子上的羧基結合，形成離子架橋，故當海藻酸鈉溶液滴入氯化鈣溶液中時，鈣離子迅速與海藻酸鈉羧基產生離子鍵結，形成球狀凝膠結構。

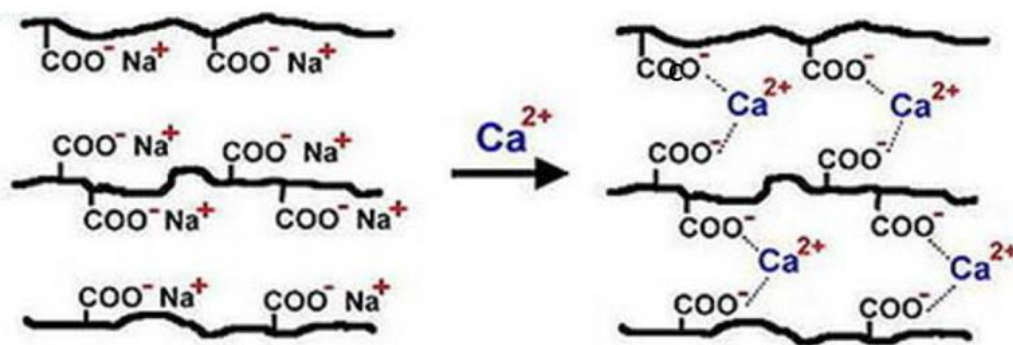


圖3 海藻酸鈉與鈣離子凝膠示意圖

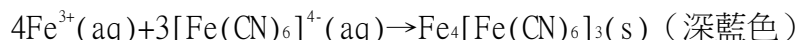
(五)以錯合物形成來檢測重金屬離子濃度理論：

利用重金屬陽離子與無機陰離子生成有色的錯離子反應。

含三個結晶水的亞鐵氰化鉀晶體 [ $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ] 通稱為黃血鹽。

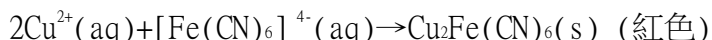
1. 鐵離子( $\text{Fe}^{3+}$ )檢測：

鐵鹽溶液與亞鐵氰化鉀溶液反應可生成亞鐵氰化鐵 ( $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ ) 的深藍色沉澱，即俗稱的普魯士藍 (Prussian blue)，其反應式如下：



2. 銅離子( $\text{Cu}^{2+}$ )的檢測：

含 $\text{Cu}^{2+}$ 之溶液與黃血鹽 [ $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ ] 反應生成紅色亞鐵氰化銅沉澱，其反應式如下：



### 3. 鋅離子( $Zn^{2+}$ )的檢測：

含鋅離子之溶液與黃血鹽 $[K_4Fe(CN)_6]$  反應生成白色亞鐵氰化鋅沉澱，其反應式如下： $2Zn^{2+}(aq)+[Fe(CN)_6]^{4-}(aq)\rightarrow Zn_2[Fe(CN)_6](s)$  (白色)

### 4. 鎳離子( $Ni^{2+}$ )的檢測方法：

含鎳離子之溶液與黃血鹽 $[K_4Fe(CN)_6]$  反應生成淡綠色的亞鐵氰化鎳沉澱，其反應式如下： $2Ni^{2+}(aq)+[Fe(CN)_6]^{4-}(aq)\rightarrow Ni_2[Fe(CN)_6](s)$  (淡綠色)

## 貳、研究設備及器材

一、實驗材料：硝酸銅、硝酸鋅、硝酸鎳、硝酸鐵、黃血鹽 $[K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O]$ 、鹽酸、氫氧化鈉、丙酮、蒸餾水、pH=10.0校正液、pH=4.0校正液、pH=7.0校正液、海藻酸鈉、氯化鈣、市售花生、廢棄蛋殼、蝦殼、塑膠管、吸管、鋅錫。

### 二、實驗用具：

(一)實驗器材：漏斗、燒杯、量筒、滴管、注射針筒、鐵架、洗滌瓶、尺、玻璃棒、鑷子、吸量管、安全吸球 (pipette filler)、滴定管、錐形瓶、黑色瓦楞板、1W紅色LED燈、1W綠色LED燈、1W藍色LED燈、光度計、導線、9V電源、40目篩網(0.425 mm)、60目篩網(0.250 mm)、濾紙(90nm)。

### (二)儀器：

			
圖4 pH值儀器PH-9001	圖5 導電度計	圖6 電子天平	圖7 Lus/Fc Light Meter TM204 光度計
			
圖8 顯微鏡	圖9 電子目鏡	圖10 三用電表	圖11 鋁槍

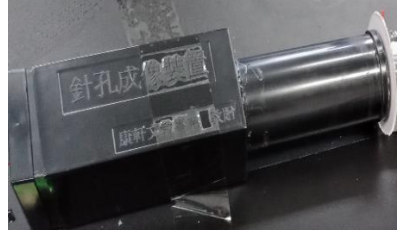





## 參、研究過程及方法

### 一、自製一台簡易且精準的吸光度計

#### (一)模型 1:

### 1. 實驗步驟：

- (1) 製作遮光管:取一個針孔成像的黑色遮光管(如圖12)，在其前方裝設由三個LED串連的光源(分別為 紅光、綠光、藍光) (如圖13)，外面接上 9V的直流電源。
- (2)製作盛裝溶液管：取一段長 8 cm的塑膠管，以銲槍將中央處挖兩個孔洞(如圖14)，黏上兩根透明吸管(如圖15)，利用連通管原理，以裝填溶液，並在其前後方管口黏貼石英玻璃片，以利光源穿過。
- (3)將光度計置於塑膠管右方接口，量測光度(如圖17)。


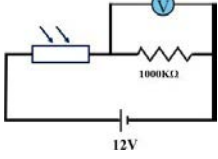

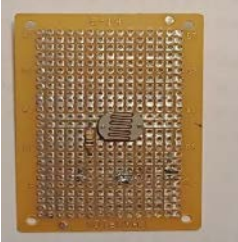
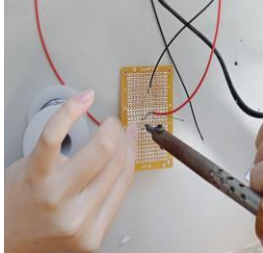
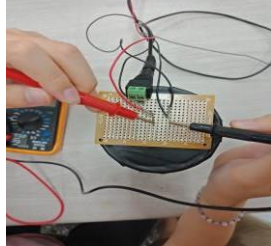
		
圖12針孔成像管	圖13 銲接串聯三個LED	圖14以銲槍將中央挖洞
		
圖15 裝上透明吸管及墊片	圖16 將溶液管放入遮光管	圖17 右端量測光度值

2實驗缺點:以往全國科展相關的吸光度計製作是將比色管直接放入波卡筒中，沒有將試管包覆，我們則先將訂製的平底比色管包覆，再放入波卡筒中。進一步改善遮光的部分。但是將待測溶液管平放時，雖然利用連通管原理來清除管中的氣泡，但裝填液體時需去除氣泡干擾，耗費太多時間；而且有漏液問題需要解決， 所以需要再加以改良。

## (二)模型 2

### 1. 實驗步驟

- (1) 底部放置由三個串聯的LED光源，外面接上9V的直流電源。如圖13所示
- (2) 比色管周圍以黑色瓦楞紙板遮光，且固定在光源正上方。(如圖18)
- (3) 光敏電阻串聯一個 $1000\text{K}\Omega$ 的電阻，外面接上 12V的直流電源，電路設計圖(如圖19所示)，將光敏電阻置於波卡紙筒(如圖20)，利用波卡紙筒有效遮光以量測經過比色管後的光線強度，以光敏電阻串聯一個 $1000\text{K}\Omega$ 電阻(如圖22)，量測 $1000\text{K}\Omega$ 電阻兩端的電壓，並以歐姆定律推算光敏電阻上的電流的變化，實際量測情形如圖23。
- (4) 依據比爾朗伯定律，當溶液中的金屬離子吸收光度後造成透射過後的光度減少，則光敏電阻接收到的光亮減少，所以造成電阻變大，導線中的電流將減少。

		
圖18黑色瓦楞紙遮比色管	圖19 光敏電阻電路設計圖	圖20 波卡筒遮光
		
圖21 17mm光敏電阻串聯一個1000KΩ的高電阻	圖22 銲接線路	圖23 外接12V的直流電源量測實體圖

## 2. 實驗缺點:

雖然以直立式的平底比色管，改善氣泡吸光誤差的問題。但以簡易的光敏電阻電路設計來量測光度的變化，因為光度的變化較微小，造成量測電壓變化不明顯，難以做出吸光度的檢量線。所以仍需要將電訊號加以放大，才能精準量測。

## (三)模型 3：本次實驗皆採用模型 3 的方式，量測吸光度。

1. 實驗設計：利用高功率 LED 光源和平底比色管，和光度計，組裝一台吸光度計。

2. 實驗內容：

(1)目的：利用自製的吸光度計，測量不同廢棄殼粉吸收重金屬離子的效果。

(2)器材：高功率LED光源(綠色、藍色、紅色)、9V電池、光度計。

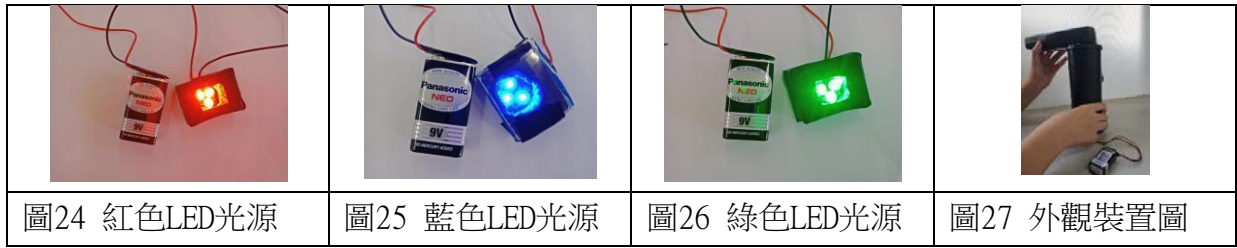
(3)實驗步驟：

a. 底部放置由三個串聯的LED光源(如圖24)，外面接上9V的直流電源。

b. 比色管周圍以黑色瓦楞紙板遮光(如圖18)，且固定在光源正上方。

c. 將波卡紙筒外圍纏繞一層黑色絕緣膠帶，有效遮光(如圖20)，並以光度計量測經過比色管後的光線強度(如圖27)。

d 依據比爾朗伯定律:當光源穿透溶液後，由於金屬離子吸收了一部分光能，透射光的強度就會減弱。當吸收介質的濃度愈大，則光強度的減弱愈顯著。依據比爾朗伯定律公式製作檢量線，並依據吸光度大小與濃度成正比的關係，推算評估廢棄殼粉吸收重金屬離子的效益。



## 二、製作自製吸光度計與重金屬溶液濃度的檢量線

分別配置100ppm、200ppm、300ppm、400ppm、500ppm、600ppm、700ppm、800ppm、900ppm、1000ppm的硝酸銅溶液，各取30ml放入比色管中(高度為18cm)，以綠色光源照射，並以光度計量測不同濃度硝酸銅溶液的透光量，以蒸餾水為對照組。依此步驟進行硝酸鋅溶液、硝酸鎳溶液、硝酸鐵溶液測量。製作重金屬溶液濃度與吸光度大小之間的檢量線。因為不同金屬離子的吸光波長不同，所以依據實驗中金屬離子最大吸收波長，使用不同的光源，實驗中金屬溶液及使用的LED光源，如下表1所示。

表1 金屬離子使用的光源

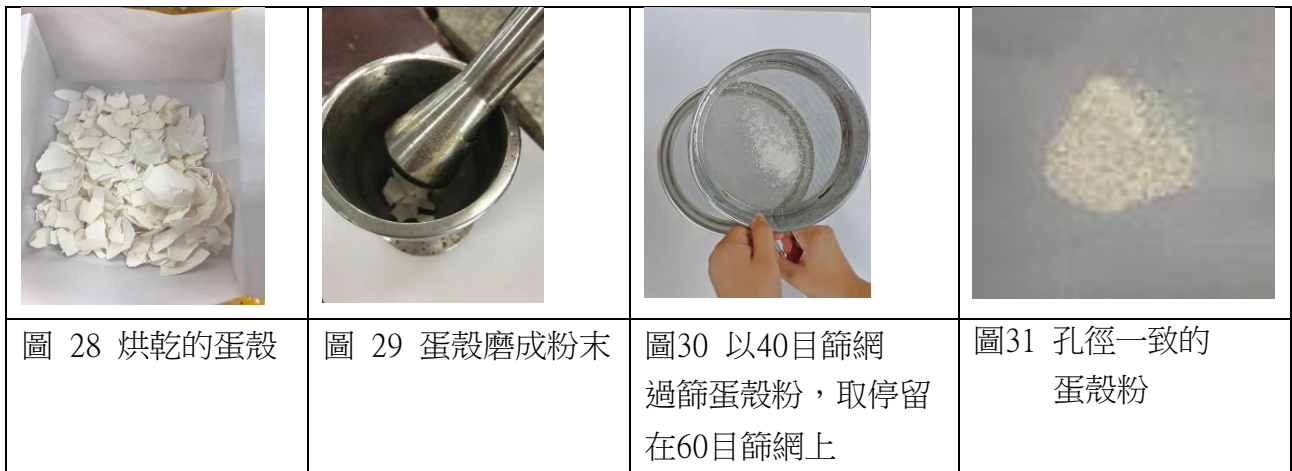
溶液	金屬離子	最大吸收波長(nm)	LED光源
硝酸銅	銅離子	550 nm	綠光(波長500nm~565nm)
硝酸鋅	鋅離子	626 nm	紅光(波長625nm~740nm)
硝酸鎳	鎳離子	660~750 nm	紅光(波長625nm~740nm)
硝酸鐵	鐵離子	490nm	藍光(波長455nm~492nm)

參考文獻1：光譜學與光譜分析

## 三、廢棄殼粉的製備

### (一)蛋殼粉製備：





將購自超市的洗選蛋，搜集廢棄的蛋殼，洗淨後，以80°C的烤箱烘乾3小時(如圖28)，再以研鉢和杵磨成粉末(如圖29)，並以0.425 mm篩網(40目)過篩，取停留在0.250 mm(60目)上的粉末(如圖30)，控制其孔徑大小介於0.250 mm ~0.425 mm之間(如圖31)。





## (二)花生殼粉製備:

將廢棄花生殼，洗淨烘乾後，以80°C的烤箱烘乾3小時(如圖32)，再以研鉢和杵搗成粉末(如圖33)，並以0.425 mm篩網(40目)過篩，取停留在0.250 mm(60目)上的粉末(如圖34)，控制其孔徑大小介於0.250 mm ~0.425 mm之間。取得顆粒大小接近的花生殼粉末備用(如圖35)。

			
圖32 廢棄花生殼	圖33 研磨和杵搗成粉末	圖34 以40目篩網過篩花生殼粉，取停留在60目篩網上	圖35 孔徑一致的花生殼粉

## (三)幾丁質萃取

以化學方法萃取蝦殼中的幾丁質

- (1) 蝦殼和鹽酸反應：將4.5g去頭的蝦殼和500c.c、10M的鹽酸進行反應，均勻攪拌30分鐘後，以清水洗至pH值接近中性。目的：去除蝦殼中的碳酸鈣(如圖39)。
- (2) 蝦殼和丙酮反應：將上述洗淨後的蝦殼和少量丙酮反應，均勻攪拌10分鐘後，以清水洗至pH值接近中性。目的：去除蝦殼中的蝦青素，使蝦殼顏色呈現接近透明狀。
- (3) 蝦殼和氫氧化鈉反應：將上述洗淨後的蝦殼和500c.c.、12.5M的氫氧化鈉反應，均勻攪拌60分鐘後，以清水洗至pH值接近中性。目的：去除蝦殼中的蛋白質(如圖40)。
- (4) 幾丁質去乙醯化得到幾丁聚醣：將幾丁質萃取出來後，須去乙醯化才能得到幾丁聚醣。步驟如下：將已去除碳酸鈣和蛋白質的幾丁質，加入50%的氫氧化鈉水溶液，以80°C、加熱2小時，再將原先幾丁質上的乙醯基(-NHCOCH<sub>3</sub>)轉變為胺基(-NH<sub>2</sub>)，也就是去乙醯化後的蝦殼。將洗淨後pH值接近7的蝦殼，放入80°C烘箱烘乾24小時(如圖41)，再放入研鉢中磨成粉末狀(如圖42)，接著並以0.425 mm篩網(40目)過篩，取停留在0.250 mm(60目)上的粉末，控制其孔徑大小介於0.250 mm ~0.425 mm之間。取得顆粒大小接近的幾丁質備用(如圖44)。

		
圖36 購得新鮮的草蝦	圖37 將蝦殼取下	圖38 新鮮蝦殼泡入鹽酸中

圖39 以鹽酸去除碳酸鈣	圖40 加入氫氧化鈉溶液	圖41 乾燥後的蝦殼
圖42 研磨圖	圖43以40目篩網過篩蝦殼粉，取停留在60目篩網上	圖44 取得孔徑一致的蝦殼粉

#### 四、蛋殼粉、花生殼粉及蝦殼粉對不同重金屬離子吸附情形

##### (一)廢棄殼粉吸附重金屬溶液

準備50ml、1000ppm的硝酸銅溶液放入玻璃試管中，共6支。將玻璃試管放入自製的戳孔厚紙板固定器中，分別放入0.2g、0.4g、0.6g、0.8g、1.0g的蛋殼粉，並以純硝酸銅溶液作為對照組，進行重金屬離子吸附。兩周後將溶液以濾紙過濾，量測濾液的導電度(如圖45)、pH值(如圖46)及吸光度的變化，並利用黃血鹽滴定及產生錯合物來定量重金屬離子吸附效果。並測試殼粉對硝酸鋅、硝酸鎳、硝酸鐵溶液的吸附。每個實驗重複三次(依此方式進行花生殼粉及蝦殼粉的吸附實驗)。

##### (二)導電度量測方法

以蒸餾水清洗導電度計的探頭，再將導電度計放入待測溶液中，量測導電度(如圖45)。

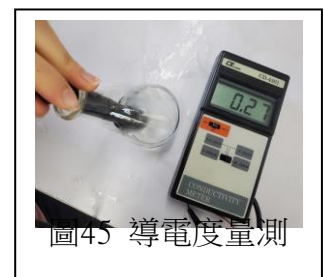


圖45 導電度量測

##### (三) pH值校正與量測方法

以蒸餾水清洗電極後，用拭鏡紙輕輕將表層的水分拭乾，再以pH值為7的標準緩衝指示液校正，接著抽出電極棒以蒸餾水清洗、拭乾，而後用pH值為4及pH值為10的標準緩衝指示液校正。將校正後的pH值儀放入已配置完成的溶液中，量測溶液pH值(如圖46)。

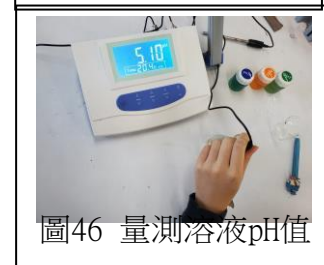




圖46 量測溶液pH值




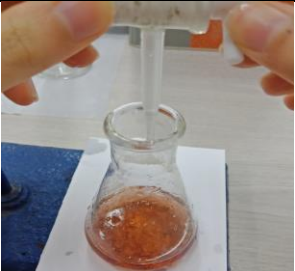


#### (四)吸光度量測

1. 經不同殼粉吸附的硝酸銅溶液，以濾紙過濾後取20ml的濾液放入平底比色管中，開啟綠色LED燈光源，將光度計放在比色管上方量測光度，再以比爾定律計算出吸光度。再依據已完成的重金屬溶液濃度與吸光度之檢量線，推算不同殼粉吸附後，溶液中的重金屬濃度，將原來1000 ppm的重金屬濃度扣除吸光度推算出的濃度，即是殼粉吸附的重金屬濃度。另外將溶液改成硝酸鋅、硝酸鎳、硝酸鐵溶液進行殼粉吸附。
2. 不同金屬離子因最大吸收波長相異，所以採用不同光源，實驗中硝酸鋅及硝酸鎳溶液使用紅色光源，硝酸鐵溶液則使用藍色光源。

		
圖 47 過濾待測溶液	圖 48 將溶液放入比色管中	圖49 進行光度值量測

#### (五)黃血鹽滴定重金屬離子

配置0.005M的黃血鹽溶液放入滴定管中，再取30ml 重金屬離子溶液放入錐形瓶，將黃血鹽溶液滴入瓶中形成錯離子沉澱，直至顏色不再改變。以濾紙過濾瓶中溶液，烘乾後用電子天平秤量濾紙上沉澱物的質量。

		
圖50 黃血鹽滴定裝置	圖 51以黃血鹽滴定1000ppm 硝酸鐵溶液	圖52 以黃血鹽滴定400ppm 硝酸鐵溶液
		
圖53 以黃血鹽滴定 硝酸銅溶液	圖54 黃血鹽滴定後的硝酸鐵溶液	圖55 濾紙過濾錯合物

## 五、海藻酸鈉包覆廢棄殼粉晶球的製作

### (一) 海藻酸鈉晶球

#### 1. 溶液的製備

(1) 將 20.0 g 的氯化鈣溶於 500ml 的蒸餾水中。

(2) 秤取 2.00 g 的海藻酸鈉粉末，緩慢加入 100ml 的冷水中攪拌均勻，再加熱至 50°C 持續攪拌至完全溶解。分別取 20ml 的海藻酸鈉溶液放入 0.2 克、0.4 克的蛋殼粉，以磁石攪拌機攪拌，使蛋殼粉與海藻酸鈉混合均勻。(重複此步驟製作花生殼粉及蝦殼粉的海藻酸鈉晶球)

2. 包覆晶球：用針筒吸出海藻酸鈉水溶液並滴入氯化鈣水溶液，製成晶球。

3. 以篩網過濾，即可收集晶球。



圖56 吸取海藻酸鈉溶液



圖57 溶液滴入氯化鈣溶液

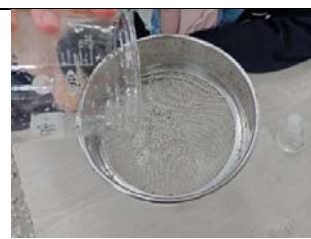


圖58 篩網過濾海藻酸鈉晶球



圖59 吸取蛋殼粉海藻酸鈉溶液



圖60 蛋殼粉海藻酸鈉溶液滴入氯化鈣溶液

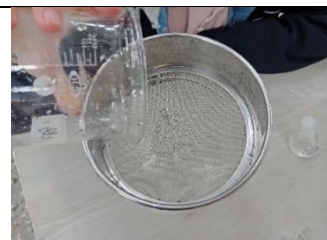


圖61 篩網過濾包覆蛋殼粉海藻酸鈉晶球






圖62 針筒吸取花生殼粉海藻酸鈉溶液



圖63 將花生殼粉海藻酸鈉溶液滴入氯化鈣溶液中



圖64 篩網過濾包覆花生殼粉海藻酸鈉晶球

		
<p>圖65 針筒吸出含有蝦殼粉海藻酸鈉水溶液</p>	<p>圖66 將蝦殼粉海藻酸鈉溶液滴入氯化鈣溶液中</p>	<p>圖67以篩網過濾包覆蝦殼粉海藻酸鈉晶球</p>

(二)以包覆殼粉的海藻酸鈉晶球進行重金屬離子吸附實驗：

1. 大顆晶球吸附重金屬離子

在錐形瓶中倒入1000ppm的硝酸銅溶液50ml，再放入3顆包覆廢棄殼粉的海藻酸鈉大晶球。觀察一周後晶球吸附重金屬情形，並量測晶球吸附前後重金屬溶液中離子的導電度、pH值及吸光度。依此方式進行硝酸鎳、硝酸鐵、硝酸鋅重金屬溶液的吸附，以及包覆花生殼粉、蝦殼粉晶球的實驗，對照組為無包覆任何殼粉的純海藻酸鈉晶球。(註：每顆晶球約0.6g，放入晶球總重1.8g)

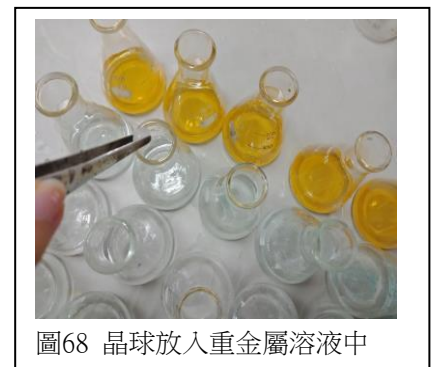

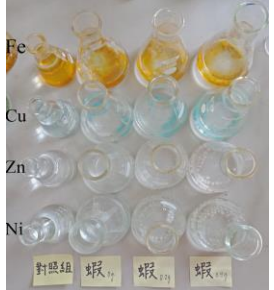


圖68 晶球放入重金屬溶液中

2. 小顆晶球吸附重金屬離子

在錐形瓶中倒入1000ppm的硝酸銅溶液50ml，再放入約30顆包覆廢棄殼粉的海藻酸鈉晶球(總質量為1.8 g)，觀察晶球吸附重金屬一周後情形，並量測晶球吸附前後重金屬溶液中離子的導電度、pH值及吸光度。依此方式進行硝酸鎳、硝酸鐵、硝酸鋅重金屬溶液的吸附，以及包覆花生殼粉、蝦殼粉晶球的實驗，對照組為無包覆任何殼粉的純海藻酸鈉晶球。(註：每顆晶球約0.6g，放入晶球約30顆，總重1.8g)

		
<p>圖69 包覆蛋殼粉的小晶球進行吸附</p>	<p>圖70 包覆花生殼粉的小晶球進行吸附</p>	<p>圖71 包覆蝦殼粉的小晶球進行吸附</p>

## 六、最佳吸附重金屬離子混合殼粉海藻酸鈉小晶球的製作

(一)依據上述步驟五的方式製造小晶球，每顆晶球以下表2的比例混和後，加入20ml的海藻酸鈉溶液均勻，然後以50 ml的針筒，吸取混合液，每次滴入約0.5 ml的混合液於氯化鈣溶液中，以製作不同蛋殼粉及蝦殼粉混合比例的小晶球。

表2 蝦殼粉與蛋殼粉的比例

殼粉	對照組	第1型	第2型	第3型	第4型	第5型
蛋殼粉	0	0.0 g	0.1 g	0.2 g	0.3 g	0.4 g
蝦殼粉	0	0.4 g	0.3 g	0.2 g	0.1 g	0.0 g

(二)混合蝦殼粉與蛋殼粉的小晶球吸附重金屬離子

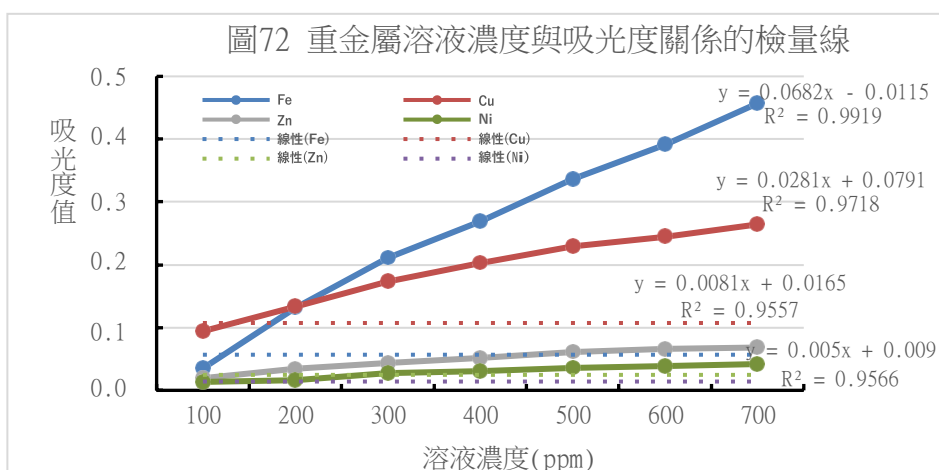
在錐形瓶中倒入1000ppm的硝酸鐵、硝酸銅、硝酸鋅、硝酸鎳溶液各50ml，再放入2.0 g 依上述比例配出的混合小晶球。觀察一周後晶球吸附重金屬情形，量測混合晶球吸附前後重金屬溶液中吸光度及黃血鹽滴定的結果。重複實驗三次，並以無包覆任何殼粉的純海藻酸鈉晶球為對照組。

## 肆、研究結果

### 一、自製一台簡易且精準的吸光度計的結果

以易取得的實驗器材製作一臺吸光度計，並依據比爾定律來量測金屬離子濃度的變化，是實驗的特點。由於不同離子的最大吸收波長相異，實驗中設計不同顏色作為光源，來照射各重金屬離子溶液，不過殼粉與重金屬溶液中，也會釋出吸光物質，造成量測誤差、影響真正離子的吸光度。此外，LED 燈的亮度易受到9V 電池電量的影響，影響光度的量測，未來實驗可用9V 的變壓整流器取代9V 的電池，為 LED 燈提供穩定電源，避免電源影響實驗偵測的亮度。溶液中混有其他離子而吸收亮度，如何加以改良及修正，使其更加精準，是我們下個目標。

### 二、製作自製吸光度計與重金屬溶液濃度的檢量線的結果









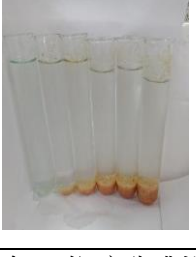





硝酸鐵溶液的吸光度隨著濃度增加，有明顯線性的變化， $R^2=0.99$ ；硝酸銅溶液的吸光度， $R^2=0.97$ 。硝酸鋅及硝酸鎳溶液的吸光度值隨溶液濃度增加， $R^2=0.96$ ，但吸光度變化幅度較小。

### 三、蛋殼粉、花生殼粉及蝦殼粉對不同重金屬離子吸附情形的結果

(一)不同殼粉吸附重金屬離子一周後試管外觀圖

表3 不同殼粉吸附重金屬離子一周後的試管外觀圖

殼粉	硝酸銅	硝酸鎳	硝酸鋅	硝酸鐵
蛋殼粉末				
花生殼粉末				
蝦殼粉末				

註：試管由左而右，依序為對照組、加入0.2g、0.4g、0.6g、0.8g、1.0g殼粉的溶液

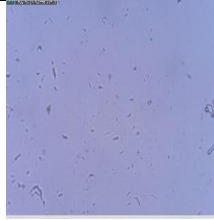
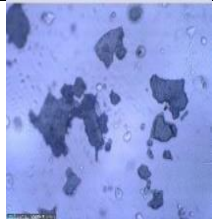
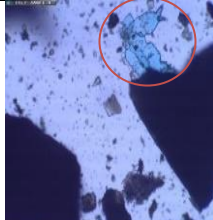
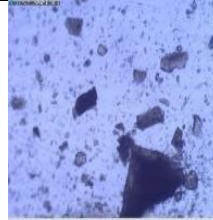
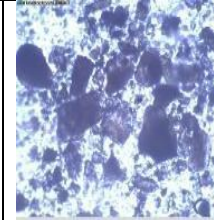
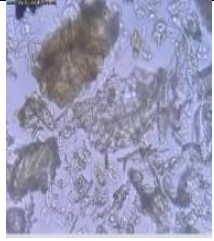
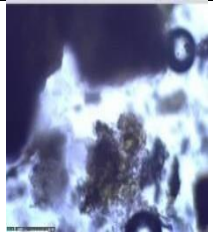




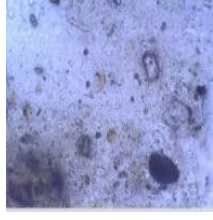
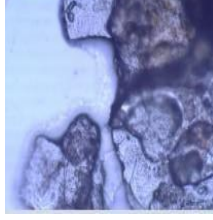
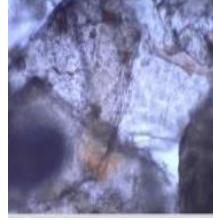

結果：

蛋殼粉吸附銅離子後，粉末由白色變成淡藍色；添加0.6g以上的蛋殼粉末，較能吸附硝酸鐵離子，而使黃褐色的試管變為澄清透明。花生殼粉因為粉末會漂浮於水上，使得溶液變混濁，不易由溶液顏色看出吸附情形。蝦殼粉末加入硝酸銅溶液，可使淡藍色的硝酸銅溶液轉為澄清透明，表示蝦殼粉末能有效吸收銅離子；添加0.4g以上的蝦殼粉末，即能有效吸附硝酸鐵離子，而使黃褐色的試管轉為澄清透明。硝酸鋅及硝酸鎳溶液較透明，不易看出三種殼粉吸附後的變化。

(二) 吸附重金屬離子後殼粉在顯微鏡下的外觀

以下表4是不同殼粉在吸附14天後，吸取部分粉末置於複式顯微鏡下放大100倍觀察。我們發現蛋殼粉的周圍有吸附黃褐色的硝酸鐵；及藍色的硝酸銅。顯微鏡下可看見花生殼粉呈現纖維狀的組織，在吸附硝酸鎳溶液後，其纖維狀組織稍微溶解而變得模糊。放大100倍的蝦殼粉，可看見淡粉色的粉末，吸附銅離子後稍微變成黑色，而蝦殼粉吸附硝酸鎳和硝酸鋅溶液後，也有小部分的顏色變深，表示在蝦殼結構中可能有吸附重金屬離子的能力。

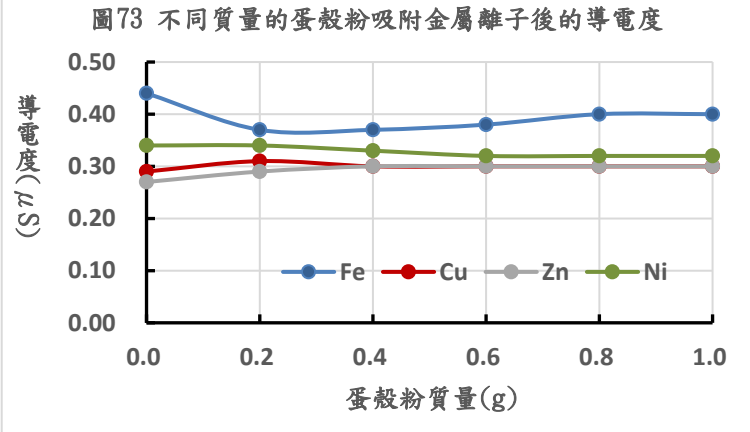
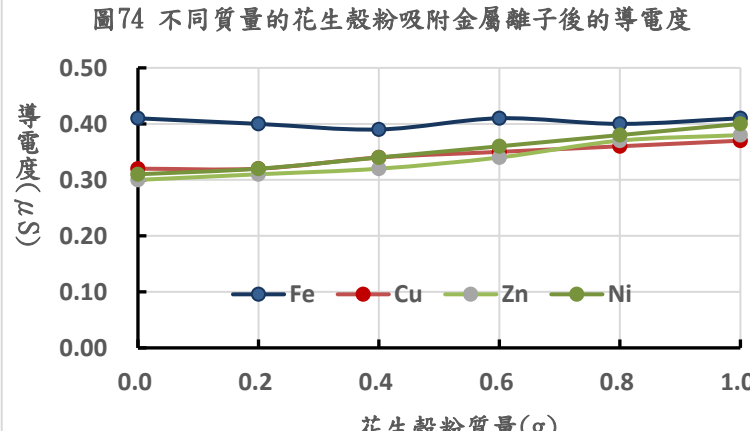
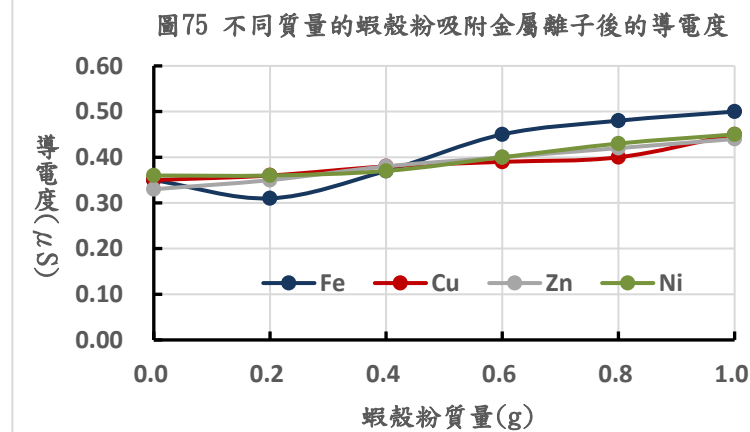
表4 不同殼粉在複式顯微鏡外觀照片(吸附14天後且放大100倍)

殼粉	未吸附前	硝酸鐵	硝酸銅	硝酸鋅	硝酸鎳
蛋殼粉					
花生殼粉					
蝦殼粉					

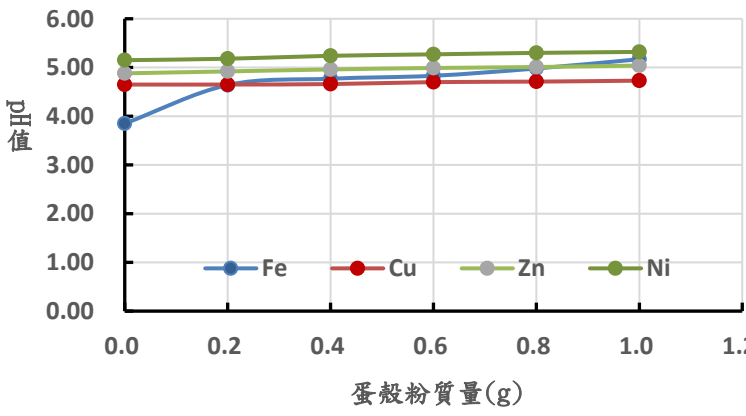
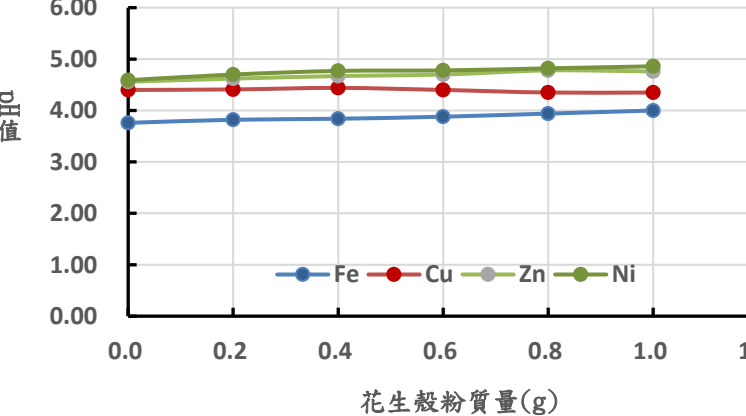
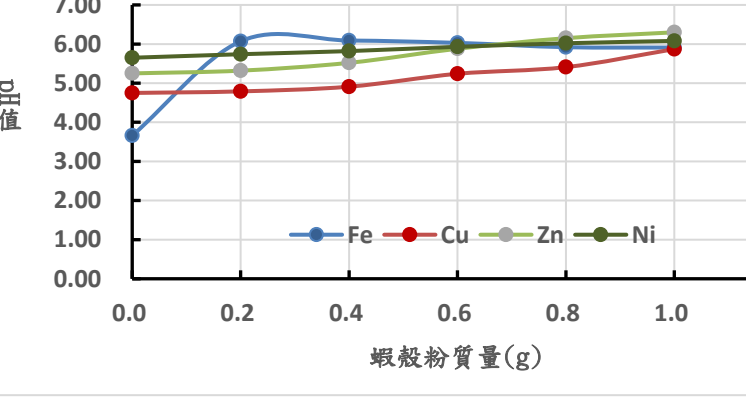
在蛋殼粉吸附硫酸銅的照片中，可明顯看出蛋殼周圍吸附藍色硫酸銅溶液；花生殼粉的圖片中可明顯看出纖維素呈現條狀的構造；蝦殼粉的周圍有結構因為吸附重金屬離子後，結構變得模糊。



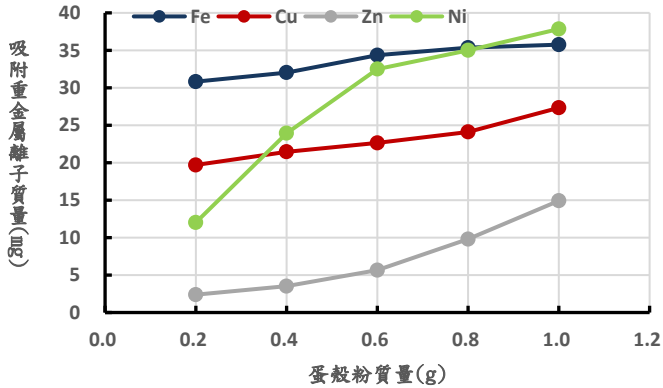
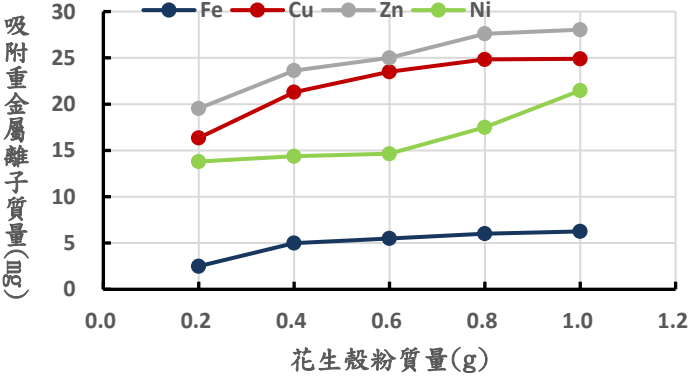
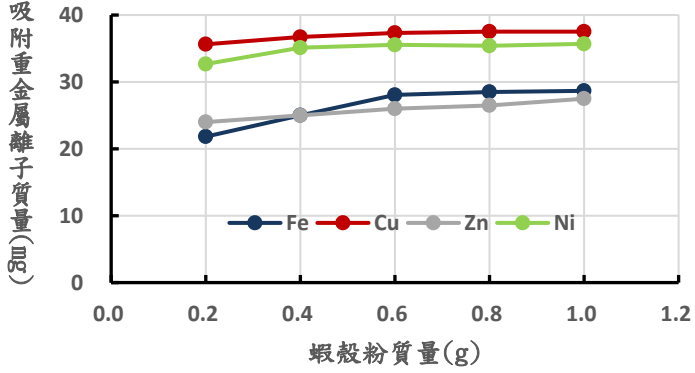
(三) 不同殼粉吸附重金屬離子後的導電度

不同殼粉吸附重金屬離子後的導電度	結果																																			
<p>圖73 不同質量的蛋殼粉吸附金屬離子後的導電度</p>  <table border="1"> <caption>Data for Figure 73: Conductivity of eggshell powder</caption> <thead> <tr> <th>蛋殼粉質量(g)</th> <th>Fe (S/cm)</th> <th>Cu (S/cm)</th> <th>Zn (S/cm)</th> <th>Ni (S/cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.0</td><td>0.44</td><td>0.29</td><td>0.28</td><td>0.34</td></tr> <tr><td>0.2</td><td>0.37</td><td>0.31</td><td>0.29</td><td>0.34</td></tr> <tr><td>0.4</td><td>0.37</td><td>0.30</td><td>0.30</td><td>0.33</td></tr> <tr><td>0.6</td><td>0.38</td><td>0.30</td><td>0.30</td><td>0.32</td></tr> <tr><td>0.8</td><td>0.40</td><td>0.30</td><td>0.30</td><td>0.32</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>0.40</td><td>0.30</td><td>0.30</td><td>0.32</td></tr> </tbody> </table>	蛋殼粉質量(g)	Fe (S/cm)	Cu (S/cm)	Zn (S/cm)	Ni (S/cm)	0.0	0.44	0.29	0.28	0.34	0.2	0.37	0.31	0.29	0.34	0.4	0.37	0.30	0.30	0.33	0.6	0.38	0.30	0.30	0.32	0.8	0.40	0.30	0.30	0.32	1.0	0.40	0.30	0.30	0.32	<p>加入 0.2g 的蛋殼粉末，可使硝酸鐵溶液的導電度下降約 16%，但加入 0.8g 時僅稍微使導電度上升，可能是因蛋殼中的成分釋出部分離子，造成導電度上升。不同質量的蛋殼粉加入硝酸鋅、硝酸銅及硝酸鎳對導電度影響不大。</p>
蛋殼粉質量(g)	Fe (S/cm)	Cu (S/cm)	Zn (S/cm)	Ni (S/cm)																																
0.0	0.44	0.29	0.28	0.34																																
0.2	0.37	0.31	0.29	0.34																																
0.4	0.37	0.30	0.30	0.33																																
0.6	0.38	0.30	0.30	0.32																																
0.8	0.40	0.30	0.30	0.32																																
1.0	0.40	0.30	0.30	0.32																																
<p>圖74 不同質量的花生殼粉吸附金屬離子後的導電度</p>  <table border="1"> <caption>Data for Figure 74: Conductivity of peanut shell powder</caption> <thead> <tr> <th>花生殼粉質量(g)</th> <th>Fe (S/cm)</th> <th>Cu (S/cm)</th> <th>Zn (S/cm)</th> <th>Ni (S/cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.0</td><td>0.41</td><td>0.32</td><td>0.31</td><td>0.31</td></tr> <tr><td>0.2</td><td>0.40</td><td>0.32</td><td>0.31</td><td>0.32</td></tr> <tr><td>0.4</td><td>0.39</td><td>0.33</td><td>0.32</td><td>0.34</td></tr> <tr><td>0.6</td><td>0.41</td><td>0.35</td><td>0.34</td><td>0.36</td></tr> <tr><td>0.8</td><td>0.40</td><td>0.36</td><td>0.37</td><td>0.39</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>0.41</td><td>0.37</td><td>0.38</td><td>0.40</td></tr> </tbody> </table>	花生殼粉質量(g)	Fe (S/cm)	Cu (S/cm)	Zn (S/cm)	Ni (S/cm)	0.0	0.41	0.32	0.31	0.31	0.2	0.40	0.32	0.31	0.32	0.4	0.39	0.33	0.32	0.34	0.6	0.41	0.35	0.34	0.36	0.8	0.40	0.36	0.37	0.39	1.0	0.41	0.37	0.38	0.40	<p>不同質量的花生殼粉加入硝酸鋅、硝酸銅及硝酸鎳溶液，使導電度略為上升，硝酸鐵則稍微下降。</p>
花生殼粉質量(g)	Fe (S/cm)	Cu (S/cm)	Zn (S/cm)	Ni (S/cm)																																
0.0	0.41	0.32	0.31	0.31																																
0.2	0.40	0.32	0.31	0.32																																
0.4	0.39	0.33	0.32	0.34																																
0.6	0.41	0.35	0.34	0.36																																
0.8	0.40	0.36	0.37	0.39																																
1.0	0.41	0.37	0.38	0.40																																
<p>圖75 不同質量的蝦殼粉吸附金屬離子後的導電度</p>  <table border="1"> <caption>Data for Figure 75: Conductivity of shrimp shell powder</caption> <thead> <tr> <th>蝦殼粉質量(g)</th> <th>Fe (S/cm)</th> <th>Cu (S/cm)</th> <th>Zn (S/cm)</th> <th>Ni (S/cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.0</td><td>0.35</td><td>0.35</td><td>0.35</td><td>0.35</td></tr> <tr><td>0.2</td><td>0.31</td><td>0.35</td><td>0.35</td><td>0.35</td></tr> <tr><td>0.4</td><td>0.37</td><td>0.37</td><td>0.37</td><td>0.37</td></tr> <tr><td>0.6</td><td>0.45</td><td>0.39</td><td>0.39</td><td>0.39</td></tr> <tr><td>0.8</td><td>0.48</td><td>0.40</td><td>0.40</td><td>0.43</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>0.50</td><td>0.44</td><td>0.44</td><td>0.45</td></tr> </tbody> </table>	蝦殼粉質量(g)	Fe (S/cm)	Cu (S/cm)	Zn (S/cm)	Ni (S/cm)	0.0	0.35	0.35	0.35	0.35	0.2	0.31	0.35	0.35	0.35	0.4	0.37	0.37	0.37	0.37	0.6	0.45	0.39	0.39	0.39	0.8	0.48	0.40	0.40	0.43	1.0	0.50	0.44	0.44	0.45	<p>不同質量的蝦殼粉加入硝酸鋅、硝酸銅及硝酸鎳溶液，對導電度影響不大。0.2g 的蝦殼粉加入硝酸鐵溶液時，可使導電度下降約 11.4%，但隨著蝦殼粉質量增加導電度也跟著增加。</p>
蝦殼粉質量(g)	Fe (S/cm)	Cu (S/cm)	Zn (S/cm)	Ni (S/cm)																																
0.0	0.35	0.35	0.35	0.35																																
0.2	0.31	0.35	0.35	0.35																																
0.4	0.37	0.37	0.37	0.37																																
0.6	0.45	0.39	0.39	0.39																																
0.8	0.48	0.40	0.40	0.43																																
1.0	0.50	0.44	0.44	0.45																																

(四)不同殼粉吸附重金屬離子後的pH值變化

不同殼粉吸附重金屬離子後的 pH 值變化	結果																																			
<p>圖76 不同質量的蛋殼粉吸附金屬離子後的pH值</p>  <table border="1"> <caption>Data for Figure 76: Eggshell powder adsorption</caption> <thead> <tr> <th>蛋殼粉質量(g)</th> <th>Fe</th> <th>Cu</th> <th>Zn</th> <th>Ni</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.0</td><td>3.8</td><td>4.6</td><td>4.8</td><td>5.2</td></tr> <tr><td>0.2</td><td>4.6</td><td>4.6</td><td>4.8</td><td>5.2</td></tr> <tr><td>0.4</td><td>4.7</td><td>4.6</td><td>4.8</td><td>5.2</td></tr> <tr><td>0.6</td><td>4.8</td><td>4.6</td><td>4.8</td><td>5.2</td></tr> <tr><td>0.8</td><td>4.9</td><td>4.6</td><td>4.8</td><td>5.2</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>5.2</td><td>4.6</td><td>4.8</td><td>5.2</td></tr> </tbody> </table>	蛋殼粉質量(g)	Fe	Cu	Zn	Ni	0.0	3.8	4.6	4.8	5.2	0.2	4.6	4.6	4.8	5.2	0.4	4.7	4.6	4.8	5.2	0.6	4.8	4.6	4.8	5.2	0.8	4.9	4.6	4.8	5.2	1.0	5.2	4.6	4.8	5.2	<p>1000ppm 硝酸鐵溶液的 pH 值，與其他三種溶液相比皆較低，加入 0.2g 蛋殼粉後，其 pH 值約略增加，之後隨蛋殼粉增加，pH 值幾乎維持不變。蛋殼粉放入硝酸鋅、硝酸銅及硝酸鎳三種溶液中，對 pH 值影響皆不大。</p>
蛋殼粉質量(g)	Fe	Cu	Zn	Ni																																
0.0	3.8	4.6	4.8	5.2																																
0.2	4.6	4.6	4.8	5.2																																
0.4	4.7	4.6	4.8	5.2																																
0.6	4.8	4.6	4.8	5.2																																
0.8	4.9	4.6	4.8	5.2																																
1.0	5.2	4.6	4.8	5.2																																
<p>圖77 不同質量的花生殼粉吸附金屬離子後的pH值</p>  <table border="1"> <caption>Data for Figure 77: Peanut shell powder adsorption</caption> <thead> <tr> <th>花生殼粉質量(g)</th> <th>Fe</th> <th>Cu</th> <th>Zn</th> <th>Ni</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.0</td><td>3.8</td><td>4.4</td><td>4.5</td><td>4.6</td></tr> <tr><td>0.2</td><td>3.8</td><td>4.4</td><td>4.5</td><td>4.6</td></tr> <tr><td>0.4</td><td>3.8</td><td>4.4</td><td>4.5</td><td>4.6</td></tr> <tr><td>0.6</td><td>3.8</td><td>4.4</td><td>4.5</td><td>4.6</td></tr> <tr><td>0.8</td><td>3.9</td><td>4.4</td><td>4.5</td><td>4.6</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>4.0</td><td>4.4</td><td>4.5</td><td>4.6</td></tr> </tbody> </table>	花生殼粉質量(g)	Fe	Cu	Zn	Ni	0.0	3.8	4.4	4.5	4.6	0.2	3.8	4.4	4.5	4.6	0.4	3.8	4.4	4.5	4.6	0.6	3.8	4.4	4.5	4.6	0.8	3.9	4.4	4.5	4.6	1.0	4.0	4.4	4.5	4.6	<p>花生殼粉放入硝酸鐵、硝酸銅、硝酸鋅及硝酸鎳四種溶液中，對 pH 值影響皆不大。</p>
花生殼粉質量(g)	Fe	Cu	Zn	Ni																																
0.0	3.8	4.4	4.5	4.6																																
0.2	3.8	4.4	4.5	4.6																																
0.4	3.8	4.4	4.5	4.6																																
0.6	3.8	4.4	4.5	4.6																																
0.8	3.9	4.4	4.5	4.6																																
1.0	4.0	4.4	4.5	4.6																																
<p>圖 78 不同質量的蝦殼粉吸附金屬離子後的pH值</p>  <table border="1"> <caption>Data for Figure 78: Shrimp shell powder adsorption</caption> <thead> <tr> <th>蝦殼粉質量(g)</th> <th>Fe</th> <th>Cu</th> <th>Zn</th> <th>Ni</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.0</td><td>3.8</td><td>4.8</td><td>5.2</td><td>5.8</td></tr> <tr><td>0.2</td><td>6.2</td><td>4.8</td><td>5.2</td><td>5.8</td></tr> <tr><td>0.4</td><td>6.2</td><td>4.9</td><td>5.2</td><td>5.8</td></tr> <tr><td>0.6</td><td>6.0</td><td>5.2</td><td>5.8</td><td>6.0</td></tr> <tr><td>0.8</td><td>6.0</td><td>5.4</td><td>6.0</td><td>6.0</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>6.2</td><td>5.8</td><td>6.0</td><td>6.2</td></tr> </tbody> </table>	蝦殼粉質量(g)	Fe	Cu	Zn	Ni	0.0	3.8	4.8	5.2	5.8	0.2	6.2	4.8	5.2	5.8	0.4	6.2	4.9	5.2	5.8	0.6	6.0	5.2	5.8	6.0	0.8	6.0	5.4	6.0	6.0	1.0	6.2	5.8	6.0	6.2	<p>放入 0.2 g 的蝦殼粉，可使硝酸鐵溶液的 pH 值上升許多，之後隨著蝦殼粉增加，硝酸鐵溶液 pH 值幾乎不變，而蝦殼粉放入硝酸銅、硝酸鋅及硝酸鎳三種溶液中，pH 值都略為增加。</p>
蝦殼粉質量(g)	Fe	Cu	Zn	Ni																																
0.0	3.8	4.8	5.2	5.8																																
0.2	6.2	4.8	5.2	5.8																																
0.4	6.2	4.9	5.2	5.8																																
0.6	6.0	5.2	5.8	6.0																																
0.8	6.0	5.4	6.0	6.0																																
1.0	6.2	5.8	6.0	6.2																																

(五)不同殼粉吸附重金屬離子吸光度實驗中質量的結果

不同殼粉吸附重金屬離子質量	結果																														
<p data-bbox="284 329 826 362">圖79不同質量的蛋殼粉與吸附重金屬間的關係</p>  <table border="1" data-bbox="215 388 880 775"> <caption>Data for Figure 79: Eggshell powder adsorption</caption> <thead> <tr> <th>蛋殼粉質量(g)</th> <th>Fe (mg)</th> <th>Cu (mg)</th> <th>Zn (mg)</th> <th>Ni (mg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.2</td> <td>31</td> <td>20</td> <td>3</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>0.4</td> <td>32</td> <td>21</td> <td>4</td> <td>24</td> </tr> <tr> <td>0.6</td> <td>35</td> <td>23</td> <td>6</td> <td>33</td> </tr> <tr> <td>0.8</td> <td>36</td> <td>24</td> <td>10</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>1.0</td> <td>36</td> <td>28</td> <td>15</td> <td>38</td> </tr> </tbody> </table>	蛋殼粉質量(g)	Fe (mg)	Cu (mg)	Zn (mg)	Ni (mg)	0.2	31	20	3	12	0.4	32	21	4	24	0.6	35	23	6	33	0.8	36	24	10	35	1.0	36	28	15	38	<p data-bbox="965 312 1390 709">蛋殼粉對重金屬離子吸附能力：<math>Fe &gt; Ni &gt; Cu &gt; Zn</math>。增加蛋殼粉的質量對四種重金屬離子溶液的吸附量皆略有增加。0.2g 蛋殼粉吸附硝酸鐵的能力約比吸附硝酸銅離子增加57%。而蛋殼粉對於硝酸鋅溶液吸附能力最弱。</p>
蛋殼粉質量(g)	Fe (mg)	Cu (mg)	Zn (mg)	Ni (mg)																											
0.2	31	20	3	12																											
0.4	32	21	4	24																											
0.6	35	23	6	33																											
0.8	36	24	10	35																											
1.0	36	28	15	38																											
<p data-bbox="276 884 842 917">圖80不同質量的花生殼粉與吸附重金屬間的關係</p>  <table border="1" data-bbox="215 943 906 1321"> <caption>Data for Figure 80: Peanut shell powder adsorption</caption> <thead> <tr> <th>花生殼粉質量(g)</th> <th>Fe (mg)</th> <th>Cu (mg)</th> <th>Zn (mg)</th> <th>Ni (mg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.2</td> <td>3</td> <td>16</td> <td>19</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>0.4</td> <td>5</td> <td>21</td> <td>24</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>0.6</td> <td>5</td> <td>23</td> <td>25</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>0.8</td> <td>6</td> <td>25</td> <td>28</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>1.0</td> <td>6</td> <td>25</td> <td>28</td> <td>22</td> </tr> </tbody> </table>	花生殼粉質量(g)	Fe (mg)	Cu (mg)	Zn (mg)	Ni (mg)	0.2	3	16	19	14	0.4	5	21	24	14	0.6	5	23	25	15	0.8	6	25	28	18	1.0	6	25	28	22	<p data-bbox="965 869 1386 1218">花生殼粉對重金屬離子吸附能力：<math>Zn &gt; Cu &gt; Ni &gt; Fe</math>。花生殼粉對於硝酸鋅及硝酸銅的效果較佳，對於硝酸鐵的吸附力最弱。添加較多的花生殼粉對於吸附四種重金屬離子的能力都略有提升。</p>
花生殼粉質量(g)	Fe (mg)	Cu (mg)	Zn (mg)	Ni (mg)																											
0.2	3	16	19	14																											
0.4	5	21	24	14																											
0.6	5	23	25	15																											
0.8	6	25	28	18																											
1.0	6	25	28	22																											
<p data-bbox="295 1404 849 1437">圖81 不同質量的蝦殼粉與吸附重金屬間的關係</p>  <table border="1" data-bbox="215 1452 912 1823"> <caption>Data for Figure 81: Shrimp shell powder adsorption</caption> <thead> <tr> <th>蝦殼粉質量(g)</th> <th>Fe (mg)</th> <th>Cu (mg)</th> <th>Zn (mg)</th> <th>Ni (mg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.2</td> <td>22</td> <td>35</td> <td>24</td> <td>33</td> </tr> <tr> <td>0.4</td> <td>25</td> <td>36</td> <td>25</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>0.6</td> <td>28</td> <td>37</td> <td>26</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>0.8</td> <td>29</td> <td>37</td> <td>27</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>1.0</td> <td>29</td> <td>37</td> <td>28</td> <td>35</td> </tr> </tbody> </table>	蝦殼粉質量(g)	Fe (mg)	Cu (mg)	Zn (mg)	Ni (mg)	0.2	22	35	24	33	0.4	25	36	25	35	0.6	28	37	26	35	0.8	29	37	27	35	1.0	29	37	28	35	<p data-bbox="965 1386 1390 1681">蝦殼粉對重金屬離子吸附能力：<math>Cu &gt; Ni &gt; Fe &gt; Zn</math>。蝦殼粉對於硝酸銅及硝酸鋅離子有較良好的吸附效果。而且添加0.2g 的蝦殼粉對於四種重金屬離子已有良好吸附效果。</p>
蝦殼粉質量(g)	Fe (mg)	Cu (mg)	Zn (mg)	Ni (mg)																											
0.2	22	35	24	33																											
0.4	25	36	25	35																											
0.6	28	37	26	35																											
0.8	29	37	27	35																											
1.0	29	37	28	35																											

(六)黃血鹽錯合物沉澱量

黃血鹽錯合物沉澱量	結果																																			
<p>圖82 黃血鹽滴定蛋殼粉吸附後的金屬離子沉澱物質量</p> <table border="1"> <caption>Data for Figure 82: Eggshell powder adsorption</caption> <thead> <tr> <th>蛋殼粉質量(g)</th> <th>Fe (mg)</th> <th>Cu (mg)</th> <th>Zn (mg)</th> <th>Ni (mg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.0</td><td>50</td><td>60</td><td>40</td><td>60</td></tr> <tr><td>0.2</td><td>50</td><td>58</td><td>40</td><td>50</td></tr> <tr><td>0.4</td><td>30</td><td>55</td><td>40</td><td>45</td></tr> <tr><td>0.6</td><td>25</td><td>45</td><td>38</td><td>40</td></tr> <tr><td>0.8</td><td>20</td><td>35</td><td>38</td><td>35</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>28</td><td>28</td><td>35</td><td>32</td></tr> </tbody> </table>	蛋殼粉質量(g)	Fe (mg)	Cu (mg)	Zn (mg)	Ni (mg)	0.0	50	60	40	60	0.2	50	58	40	50	0.4	30	55	40	45	0.6	25	45	38	40	0.8	20	35	38	35	1.0	28	28	35	32	<p>加入 0.4g 的蛋殼粉，使黃血鹽和硝酸鐵溶液中的鐵離子結合成的錯離子沉澱量降低約 42%。隨蛋殼粉質量的增加，硝酸鎳、硝酸銅與黃血鹽錯離子的沉澱量降低，表示增加蛋殼粉可使溶液中的鎳離子及銅離子降低。</p>
蛋殼粉質量(g)	Fe (mg)	Cu (mg)	Zn (mg)	Ni (mg)																																
0.0	50	60	40	60																																
0.2	50	58	40	50																																
0.4	30	55	40	45																																
0.6	25	45	38	40																																
0.8	20	35	38	35																																
1.0	28	28	35	32																																
<p>圖83 黃血鹽滴定花生殼粉吸附後的金屬離子沉澱物質量</p> <table border="1"> <caption>Data for Figure 83: Peanut shell powder adsorption</caption> <thead> <tr> <th>花生殼粉質量(g)</th> <th>Fe (mg)</th> <th>Cu (mg)</th> <th>Zn (mg)</th> <th>Ni (mg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.0</td><td>50</td><td>48</td><td>40</td><td>35</td></tr> <tr><td>0.2</td><td>40</td><td>40</td><td>35</td><td>32</td></tr> <tr><td>0.4</td><td>42</td><td>40</td><td>30</td><td>30</td></tr> <tr><td>0.6</td><td>40</td><td>40</td><td>28</td><td>28</td></tr> <tr><td>0.8</td><td>40</td><td>40</td><td>28</td><td>30</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>40</td><td>45</td><td>28</td><td>30</td></tr> </tbody> </table>	花生殼粉質量(g)	Fe (mg)	Cu (mg)	Zn (mg)	Ni (mg)	0.0	50	48	40	35	0.2	40	40	35	32	0.4	42	40	30	30	0.6	40	40	28	28	0.8	40	40	28	30	1.0	40	45	28	30	<p>加入 0.4g 的花生殼粉，使黃血鹽和硝酸鐵、硝酸銅及硝酸鋅溶液中的離子與黃血鹽結合成的錯離子沉澱量降低，表示可去除重金屬離子，但是沉澱物的質量變化不大，表示花生粉吸附重金屬離子效果不明顯。</p>
花生殼粉質量(g)	Fe (mg)	Cu (mg)	Zn (mg)	Ni (mg)																																
0.0	50	48	40	35																																
0.2	40	40	35	32																																
0.4	42	40	30	30																																
0.6	40	40	28	28																																
0.8	40	40	28	30																																
1.0	40	45	28	30																																
<p>圖84 黃血鹽滴定蝦殼粉吸附後的金屬離子沉澱物質量</p> <table border="1"> <caption>Data for Figure 84: Shrimp shell powder adsorption</caption> <thead> <tr> <th>蝦殼粉質量(g)</th> <th>Fe (mg)</th> <th>Cu (mg)</th> <th>Zn (mg)</th> <th>Ni (mg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.0</td><td>50</td><td>45</td><td>60</td><td>35</td></tr> <tr><td>0.2</td><td>45</td><td>25</td><td>45</td><td>25</td></tr> <tr><td>0.4</td><td>40</td><td>18</td><td>40</td><td>18</td></tr> <tr><td>0.6</td><td>40</td><td>18</td><td>30</td><td>18</td></tr> <tr><td>0.8</td><td>40</td><td>18</td><td>35</td><td>18</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>45</td><td>20</td><td>38</td><td>18</td></tr> </tbody> </table>	蝦殼粉質量(g)	Fe (mg)	Cu (mg)	Zn (mg)	Ni (mg)	0.0	50	45	60	35	0.2	45	25	45	25	0.4	40	18	40	18	0.6	40	18	30	18	0.8	40	18	35	18	1.0	45	20	38	18	<p>加入 0.4g 的蝦殼粉，四種金屬溶液中的重金屬離子可有效降低，對於硝酸銅及硝酸鋅約可降低 48.5%。加入 0.6g 的蝦殼粉可有效降低硝酸鎳溶液濃度 49.2%。由黃血鹽滴定的錯離子反應中，可發現相較於蛋殼粉及花生殼粉，蝦殼粉有較佳的吸附效果。</p>
蝦殼粉質量(g)	Fe (mg)	Cu (mg)	Zn (mg)	Ni (mg)																																
0.0	50	45	60	35																																
0.2	45	25	45	25																																
0.4	40	18	40	18																																
0.6	40	18	30	18																																
0.8	40	18	35	18																																
1.0	45	20	38	18																																

#### 四、海藻酸鈉包覆廢棄殼粉進行重金屬離子吸附實驗的結果

##### (一) 包覆殼粉的海藻酸鈉晶球

##### 1. 大、小晶球外觀的結果

包覆蛋殼的海藻酸鈉晶球吸附硝酸鐵溶液14天後，明顯看到晶球的黃褐色變深，表示吸附效果良好。四種金屬離子經過三種殼粉晶球吸附一天後，晶球由原本的透明變成淡藍色，溶液顏色全部變成無色，幾乎全部吸附。蝦殼晶球原是淡粉色，吸附硝酸鋅及硝酸鎳後，慢慢變成無色，實驗中的小晶球，也有相同的吸附效果。每顆大晶球的質量約0.6g，一次實驗放入三顆，控制晶球總質量為1.8g，同時製作每顆質量約0.06g小晶球，30顆約1.80g，放入1000ppm的溶液中，控制相同的晶球重量，增加晶球的吸附面積。由溶液顏色觀察，增加晶球吸附面積，確實能增加吸附重金屬離子的效果。

表5 海藻酸鈉包覆不同質量殼粉吸附重金屬離子後的外觀(大晶球)

大晶球	吸附1天	吸附4天	吸附14天後	吸附14天後橫剖面
蛋殼粉				
花生殼粉				
蝦殼粉				

原先海藻酸鈉晶球呈現透明無色，包覆蛋殼粉後呈現白色，吸附硝酸鐵後呈現黃褐色，吸附硝酸銅後呈現藍色。包覆花生殼粉的大晶球吸附硝酸鐵及硝酸銅後，顏色也略有變深。包覆蝦殼粉後的晶球呈現粉色，吸附硝酸鐵後顏色變深，吸附硝酸銅後呈現藍色。

表6 海藻酸鈉包覆0.2g殼粉晶球剖面在顯微鏡下的外觀(放大100倍)

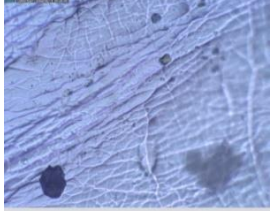

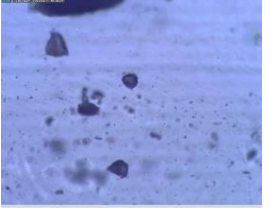

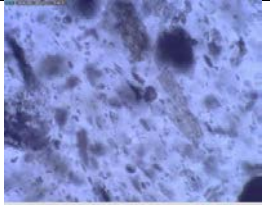

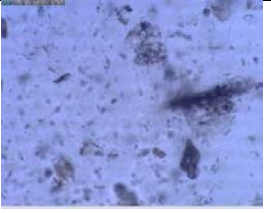
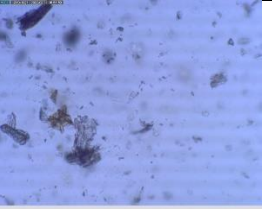
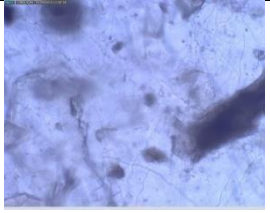



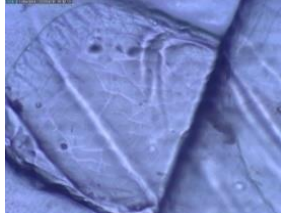
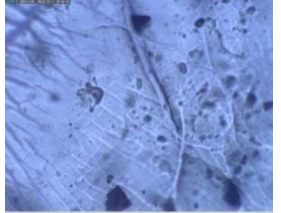

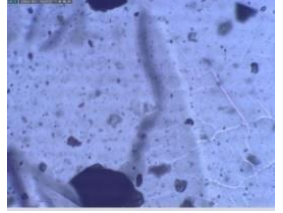


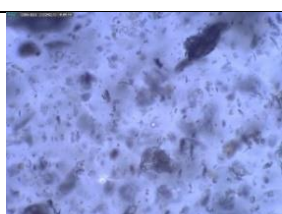
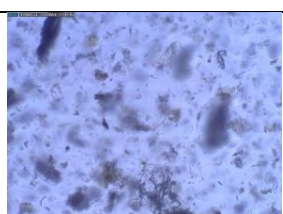

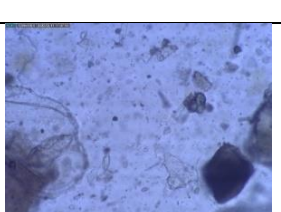

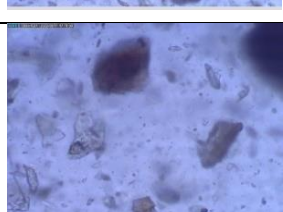
殼粉	硝酸鐵	硝酸銅	硝酸鋅	硝酸鎳
蛋殼粉				
花生殼粉				
蝦殼粉				

表7 海藻酸鈉包覆0.4 g殼粉晶球剖面在顯微鏡下的外觀(放大100倍)

殼粉	硝酸鐵	硝酸銅	硝酸鋅	硝酸鎳
蛋殼粉				
花生殼粉				
蝦殼粉				

蛋殼的孔洞縫隙具有吸附重金屬離子的功能，花生殼粉中的纖維結構具有吸附金屬離子的現象，蝦殼粉的周圍有硝酸鐵金屬離子的黃褐色附著。

表8海藻酸鈉包覆不同質量殼粉吸附重金屬離子後的外觀(小晶球)

小晶球	蛋殼粉	花生殼粉	蝦殼粉
吸附一周後			

結果:海藻酸鈉包覆蛋殼粉後，變得較白。包覆花生殼粉則變成黃褐色。不論是哪一種殼粉的小晶球對硝酸銅皆有明顯的吸附，顏色皆變成藍色小晶球。蝦殼粉小晶球對於硝酸鐵離子吸附明顯，晶球顏色呈現黃褐色。

### 3. 包覆殼粉的晶球吸附重金屬後吸光度變化

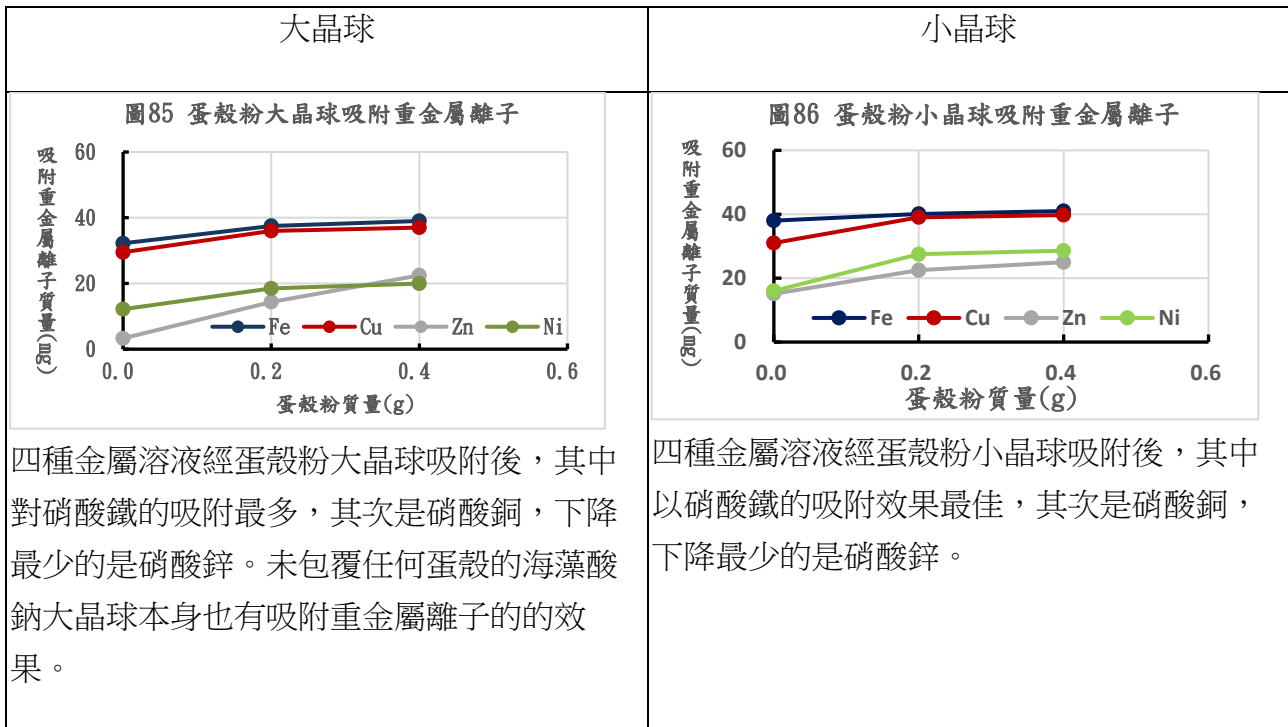
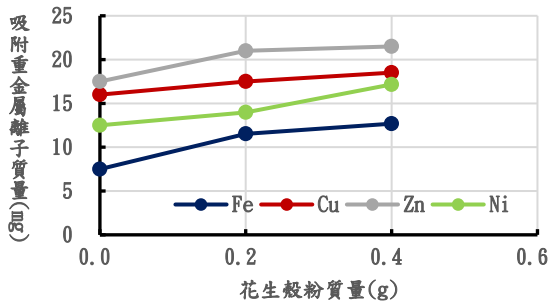
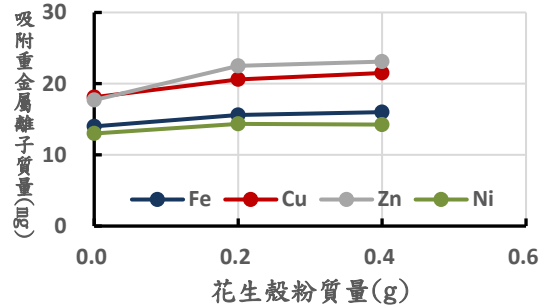


圖87 花生殼粉大晶球吸附重金屬離子



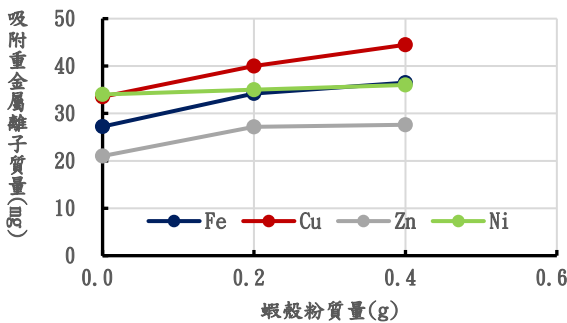
包覆 0.2g 花生殼粉的海藻酸鈉大晶球，可使硝酸鋅溶液的吸附量比對照組高約 20%；包覆 0.2g 或 0.4 g 花生殼粉的海藻酸鈉大晶球，對於硝酸銅的吸附並沒有明顯增加。

圖88 花生殼粉小晶球吸附重金屬離子



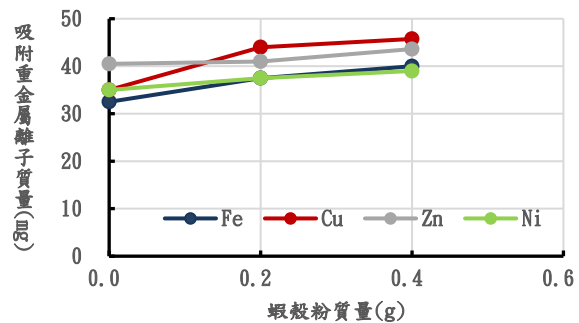
包覆花生殼粉的海藻酸鈉小晶球吸附後，對於硝酸鋅的吸附優於其他重金屬離子。對於硝酸鐵、硝酸鎳溶液，包覆花生殼粉的海藻酸鈉小晶球吸附變化量變化不大。

圖89 蝦殼粉大晶球吸附重金屬離子



包覆 0.2g 蝦殼粉的海藻酸鈉大晶球，對於硝酸銅溶液的吸附效果最佳，相較對照組增加約 19.3 % 的吸附量；蝦殼粉的海藻酸鈉大晶球對於四種重金屬離子吸附效果良好。

圖90 蝦殼粉小晶球吸附重金屬離子

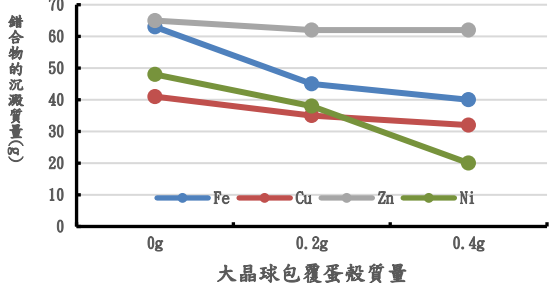


包覆 0.2g 蝦殼粉的海藻酸鈉小晶球，對四種離子的吸附效果皆相當理想。對硝酸銅溶液的吸附量高於對照組約 26%。

#### 4. 黃血鹽滴定金屬形成錯合物質量關係圖

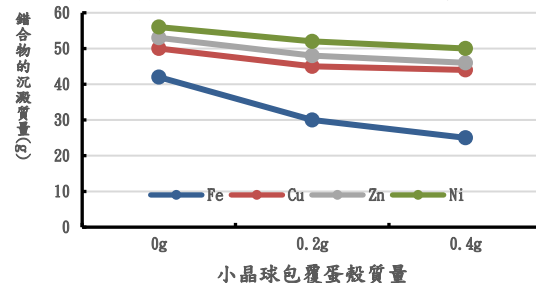
##### 大晶球

圖91 黃血鹽滴定蛋殼大晶球吸附重金屬離子



##### 小晶球

圖92 黃血鹽滴定蛋殼小晶球吸附重金屬離子

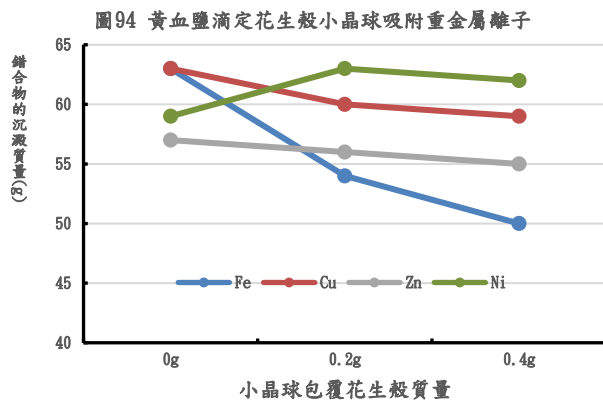
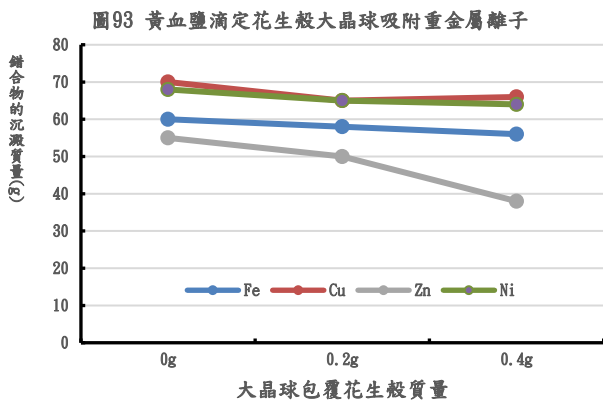


硝酸鋅溶液經蛋殼小晶球吸附後，黃血鹽滴定錯離子沉澱量，隨包覆蛋殼質量變多而



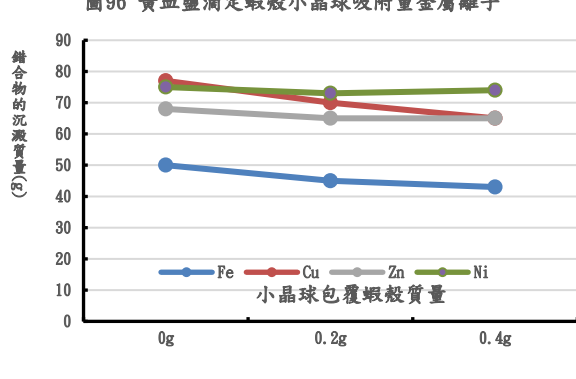
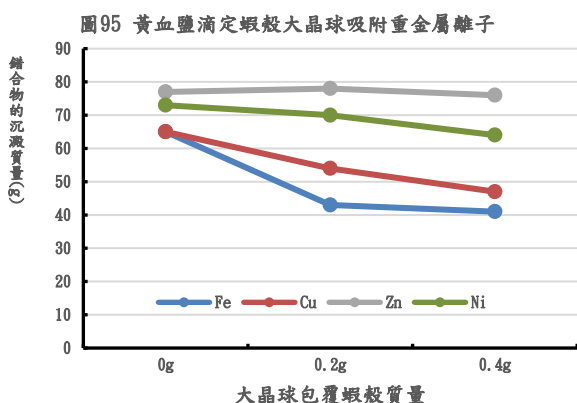
硝酸鋅溶液經蛋殼大晶球吸附後，黃血鹽滴定錯離子沉澱量沒有明顯改變。滴定硝酸鐵溶液中沉澱物的量，隨包覆蛋殼質量變多而降低。溶液經未包覆蛋殼粉的海藻酸鈉大晶球吸附，錯合物沉澱量也會降低。

降低，包覆 0.4g 蛋殼粉的海藻酸鈉小晶球，其硝酸鐵與黃血鹽錯合物的沉澱量比對照組少。溶液經未包覆蛋殼粉的海藻酸鈉小晶球吸附，錯合物沉澱量也會降。



硝酸鋅溶液經包覆 0.4g 花生殼粉的海藻酸鈉大晶球吸附後，黃血鹽滴定後形成錯合物的沉澱物量，約比對照組低 50.6%。未包覆花生殼粉的海藻酸鈉大晶球也會造成硝酸銅錯合物沉澱量減少。

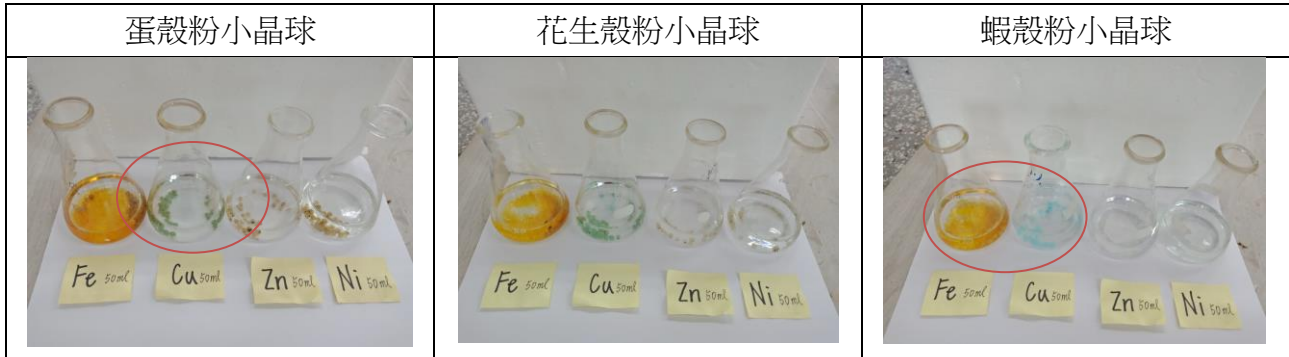
硝酸鋅溶液經包覆 0.4g 花生殼粉的海藻酸鈉小晶球吸附後，黃血鹽滴定後形成錯合物的沉澱物量，約比對照組降低約 23.1%。未包覆花生殼粉的海藻酸鈉小晶球也會造成硝酸鋅及硝酸鎳錯合物沉澱量減少。



硝酸鐵溶液經包覆 0.4g 蝦殼粉的海藻酸鈉大晶球吸附後，黃血鹽滴定錯合物的沉澱量，約比對照組低 48.8%。包覆 0.4g 蝦殼粉的海藻酸鈉大晶球吸收硝酸銅溶液中的銅離子後，錯合物的沉澱量，約比對照組低 53.4%。蝦殼粉大晶球也有吸收硝酸鎳溶液中鎳離子的功能。

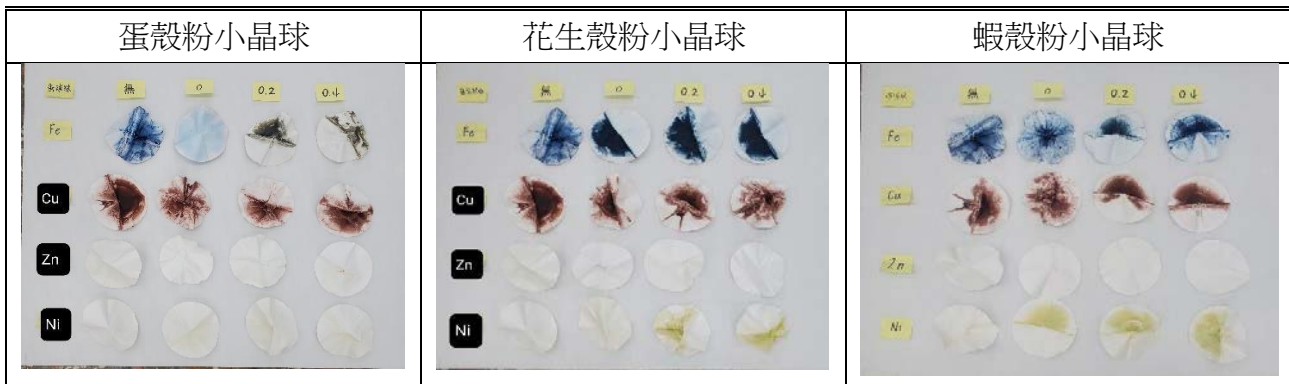
硝酸鐵溶液經包覆 0.4g 蝦殼粉的海藻酸鈉小晶球吸附後，黃血鹽滴定錯合物的沉澱量，約比對照組低 33.8%。包覆 0.4g 蝦殼粉的海藻酸鈉小晶球，吸收硝酸銅溶液中的銅離子後錯合物的沉澱量，約比對照組低 33.7%。

表9 不同殼粉小晶球吸附一周後照片



結果:不論是哪一種殼粉的小晶球對於硝酸銅溶液皆有明顯的吸附，其中又以蝦殼粉小晶球對於四種離子吸附效果最佳。

表10 重金屬溶液經小晶球吸附後滴定沉澱物過濾



結果:鐵離子與黃血鹽會產生藍色的錯合物沉澱，銅離子與黃血鹽會產生暗紅色的錯合物沉澱，鋅離子與黃血鹽會產生白色的錯合物沉澱，鎳離子與黃血鹽會產生黃綠色的錯合物沉澱。由沉澱物的量可大約看出小晶球的吸附效果。蝦殼粉小晶球吸附四種重金屬離子後，濾紙上的沉澱物皆明顯較少，而花生殼粉小晶球吸附後，濾紙上的沉澱物最多，表示吸附效果差。

## 五、最佳吸附重金屬離子的蝦殼粉與蛋殼粉比例的海藻酸鈉小晶球的結果

(一)不同比例的混合小晶球吸附重金屬前後溶液顏色的變化

表11 不同混合比例的蝦殼粉與蛋殼粉小晶球吸附前後的外觀的變化

吸附時間	硝酸鐵	硝酸銅
吸附前		
吸附一周後		

(五) 黃血鹽滴定不同比例的蝦殼粉與蛋殼粉小晶球吸附重金屬形成錯合物質量關係

由圖97可見，第1型(純蝦殼粉)小晶球及第4型(蛋殼粉與蝦殼粉質量比=3:1)小晶球，對於硝酸銅溶液有明顯的吸附。鐵離子與黃血鹽會產生藍色的錯合物沉澱，銅離子與黃血鹽會產生暗紅色的錯合物沉澱，鋅離子與黃血鹽會產生白色的錯合物沉澱，鎳離子與黃血鹽會產生黃綠色的錯合物沉澱。由圖98可見，第1型(純蝦殼粉)小晶球吸附四種重金屬離子後，濾紙上的沉澱物皆明顯較少。

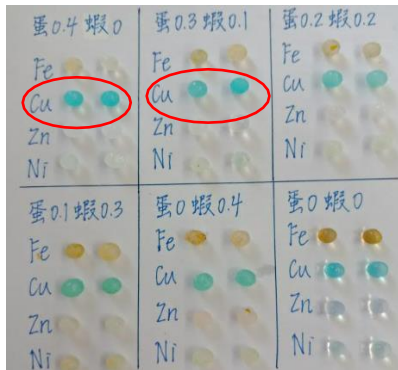
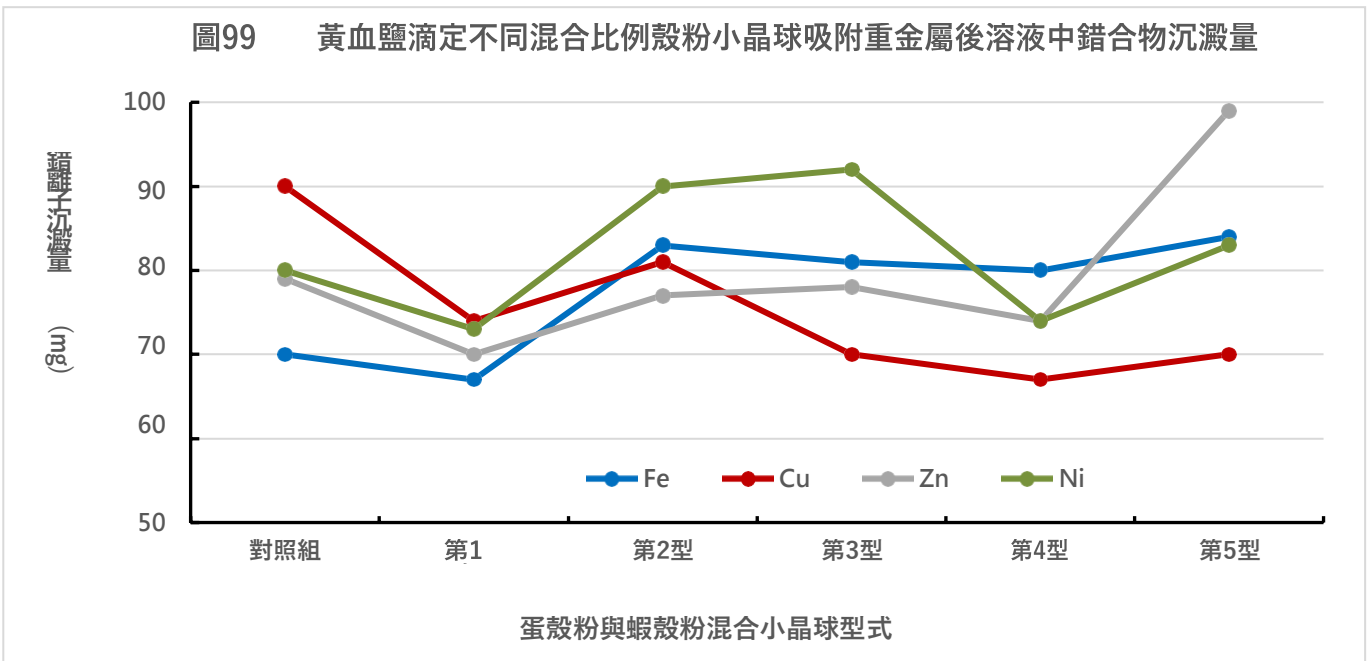


圖97不同混合比例小晶球吸附一周後 圖98黃血鹽滴定不同混合比例小晶球吸附重金屬離子



註：

殼粉	對照組	第1型	第2型	第3型	第4型	第5型
蛋殼粉	0	0.0 g	0.1 g	0.2 g	0.3 g	0.4 g
蝦殼粉	0	0.4 g	0.3 g	0.2 g	0.1 g	0.0 g

由結果可知第1型(0.4 g蝦殼粉)的海藻酸鈉小晶球組合對於鐵離子的吸附效果最佳，而以第4型(蛋殼粉與蝦殼粉質量比=3:1)的海藻酸鈉小晶球對於銅離子吸附效果最佳。

## 伍、 研究討論

### 一、 不同殼粉吸附重金屬離子效果不同的原因討論:

包覆蛋殼粉及蝦殼粉的晶球，對於四種金屬離子的吸收效果，以吸附鐵離子及銅離子較顯著。包覆花生殼粉的晶球吸附效果不佳，可能是因殼粉結構不同造成無法吸附。查詢相關文獻發現：蛋殼係由海綿層狀構造組成，98.4%是碳酸鈣，其中鈍端約有78~149個/cm<sup>2</sup>的氣孔，尖端約有19~90個/cm<sup>2</sup>的氣孔。蛋殼中含有碳酸鈣及孔洞結構，碳酸鈣藉由離子交換的方式達到吸附效果。鐵離子是正三價的物質，擁有較多電荷，所以優於二價的銅、鋅、鎳離子的吸附。花生殼粉屬於植物纖維，植物纖維素中富含纖維素(cellulose)與木質素(lignin:結構複雜的酚類聚合物)等成分，可提供 C-H、C-O、C-O-C、C=O、OH 等多極性的官能基，以利吸附重金屬。蝦殼中因為含蛋白質，結構中含有大量的胺基、羥基之官能基，對重金屬容易進行螯合及吸附作用，由於幾丁聚醣結構中存在許多的胺基團，為電子供給者，且當其均勻分布(結合)於蝦殼粉表面時，增加了金屬離子(帶正電)碰撞到幾丁聚醣，發生原子間之電子的交換、轉移或共有，形成吸附化學鍵的吸附作用。

### 六、 吸光度實驗的討論

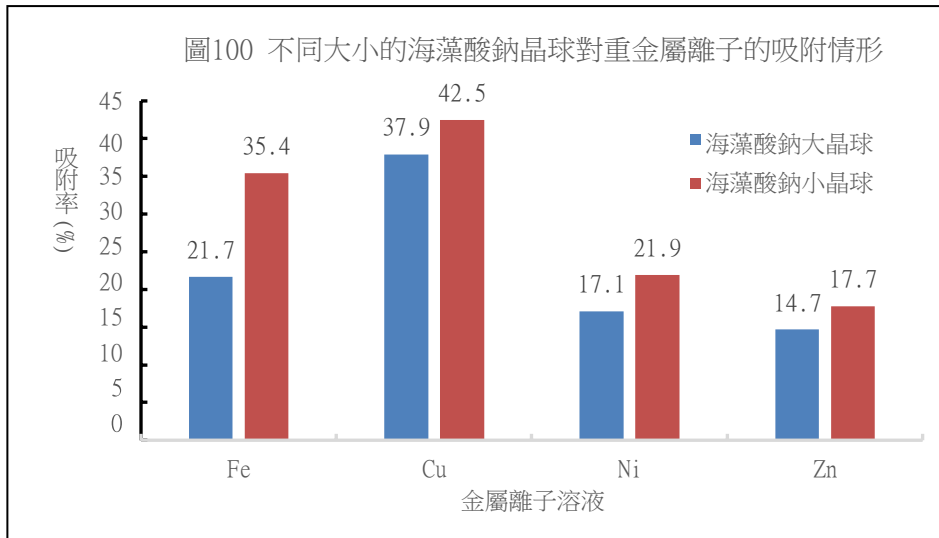
以易取得的實驗器材製作一臺吸光度計，並依據比爾定律來量測金屬離子濃度的變化，是實驗的特點。由於不同離子的最大吸收波長相異，實驗中設計不同顏色作為光源，來照射各重金屬離子溶液，不過殼粉與重金屬溶液中，也會釋出吸光物質，造成量測誤差、影響真正離子的吸光度。此外，LED 燈的亮度易受到9V 電池電量的影響，影響光度的量測，未來實驗可用9V 的變壓整流器取代9V 的電池，為 LED 燈提供穩定電源，避免電源影響實驗偵測的亮度。溶液中混有其他離子而吸收亮度，如何加以改良及修正，使其更加精準，是我們下個目標。

### 三、 導電度及pH量測的討論

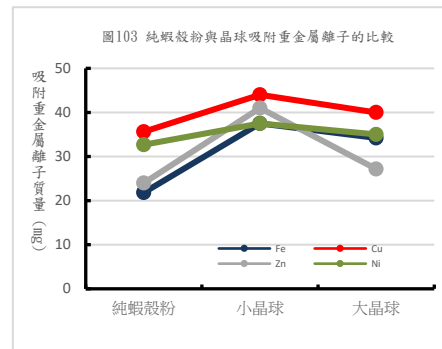
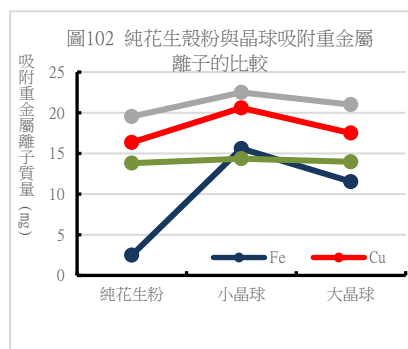
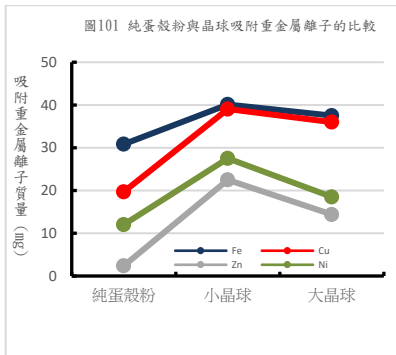
無論是包覆蛋殼粉、花生殼粉或蝦殼粉的小晶球，讓金屬離子導電度下降的幅度，皆高出大晶球許多，或許是因小晶球的總表面積較大，增加吸附金屬離子的界面。我們在實驗中發現，無包覆任何殼粉的海藻酸鈉晶球，置入金屬溶液中皆會造成導電度增加，可能是因海藻酸鈉晶球本身也有導電離子溶出。實驗中四種重金屬離子的pH值皆偏酸性，加入殼粉皆可增加溶液的pH值，使其趨近中性，達到放流水pH=7的標準。包覆殼粉的質量，對pH值的變化影響不大，可能是因為已達殼粉吸附的極限。海藻酸鈉晶球的pH值約6~8之間，所以酸性的金屬溶液中加入海藻酸鈉晶球，也可使pH值上升。四種重金屬離子都採用單純的硝酸根陰離子，所以可以檢測經過殼粉吸附後的重金屬溶液，導電度皆有明顯下降，但殼粉物質中也略有溶於水中的離子釋出，所以無法精準的以導電度下降來斷定吸附效果。

#### 四、海藻酸鈉晶球對重金屬離子吸附影響的討論：

實驗中的殼粉因為顆粒較小易漂浮於水面上，不利於重金屬溶液的吸附，使用海藻酸鈉包埋殼粉可變成沉體，達到吸附重金屬的效果。由圖100可知海藻酸鈉晶球對於四種重金屬離子的效果  $Cu > Fe > Ni > Zn$ ，而且海藻酸鈉小晶球因為能吸附的表面積大於海藻酸鈉大晶球，所以吸附重金屬效果較佳。



#### 五、包覆殼粉的海藻酸鈉晶球與純殼粉吸附重金屬離子效益的討論



由上列的比較圖形可發現：0.2 g 的蛋殼粉製成的大晶球對鐵的吸附較純蛋殼粉吸附可增加 7.5 %，小晶球對鐵的吸附增加 13.4 %；0.2 g 的花生殼粉製成大晶球對鋅的吸附較純花生殼粉吸附量增加 7.5 %，小晶球對鋅的吸附量增加 13.4%；0.2 g 的蝦殼粉製成大晶球對銅的吸附較純殼粉吸附量增加 12.3 %，小晶球對銅的吸附增加 24.2 %。製成大晶球的海藻酸鈉晶球可提升對重金屬離子的吸附，而且小晶球的總表面積較大晶球顆粒來得大，所以吸附效果更佳，約增加 2 倍。因為海藻酸鈉是一種天然多醣，由豐富的羥基和羧基組成，其中海藻酸鈉中的的鈉離子易被重金屬離子置換，而達到吸附重金屬離子的效果。海藻酸鈉晶球中包埋的蝦殼粉本身具有蛋白質及胺基結構，所以對於吸附重金屬有加成的效果。

另外殼粉用於吸附重金屬離子時，因粉末不易回收，易造成水質濁度增加，但製成海藻酸鈉晶球時，可以將其裝入濾網中，吸附重金屬後，方便直接過濾回收。

## 六、黃血鹽滴定實驗的討論

實驗中，黃血鹽與鐵離子會形成普魯士藍的錯合物沉澱；與銅離子會形成紅色亞鐵氰化銅沉澱，較容易判定，而黃血鹽與鋅離子反應生成白色亞鐵氰化鋅沉澱；與鎳離子反應生成淡綠色亞鐵氰化鎳沉澱，因顏色過淡，不易分辨是否已達滴定終點。實驗中有紀錄黃血鹽滴定體積，但不一定準確，若形成錯合物會使導電度降低，便可以在燒杯中滴定，並放入導電度計量測，紀錄導電度以及溶液導電度下降到最低時，所用去的黃血鹽體積，如此較能精準推算待測溶液的莫耳數。實驗中，我們也利用沉澱物的沉澱量，來推估晶球吸取重金屬離子的能力，如果錯合物沉澱的質量愈少，表示晶球吸取重金屬能力較強、溶液中殘留的重金屬濃度低，不過，精準的測量反應前後濾紙的質量也相當重要。

## 陸、結論

我們利用自製的吸光度計量測殼粉吸附重金屬溶液後濃度的變化，不同的離子依照吸光波長不同，採用不同光源照射。四種重金屬溶液皆偏酸性，其中硝酸鐵的pH值3.66最低，最高的是硝酸鎳的pH值5.65，加入蛋殼粉、花生殼粉、蝦殼粉皆可使偏酸的重金屬溶液pH值提升。三種殼粉對重金屬溶液吸附效果為蝦殼粉 > 蛋殼粉 > 花生殼粉。蝦殼粉小晶球對硝酸銅的吸附率為 $220.0 \text{ mg/g}_{\text{蝦殼粉}}$ ；蛋殼粉對硝酸鐵的吸附率為 $200.6 \text{ mg/g}_{\text{蛋殼粉}}$ ；而花生殼粉對硝酸鋅的吸附率為 $112.5 \text{ mg/g}_{\text{花生殼粉}}$ 。不同殼粉對於離子的吸附效果不同，其中蝦殼粉吸附能力  $\text{Cu} > \text{Ni} > \text{Fe} > \text{Zn}$ ；蛋殼粉吸附能力  $\text{Fe} > \text{Cu} > \text{Ni} > \text{Zn}$ ；花生殼粉吸附能力  $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{Ni} > \text{Fe}$ 。四種溶液中，包覆殼粉的小晶球，吸附重金屬離子效果皆優於大晶球及純殼粉，包覆0.2g蝦殼粉的小晶球，對銅離子的吸附效果較純殼粉高出30.1%。因為蝦殼結構中含有大量的胺基、羥基之官能基，對重金屬容易進行螯合及吸附作用，而蛋殼中含有碳酸鈣及孔洞結構，對重金屬吸附效果也十分良好。所以結合不同比例的蛋殼粉和蝦殼粉混合的小晶球中以第1型(純蝦殼粉0.4g)海藻酸鈉小晶球對於四種金屬離子的吸附效果最佳；而第4型(蛋殼粉與蝦殼粉質量比=3:1)的海藻酸鈉小晶球對於銅離子的吸附效果也相當良好，以蛋殼粉取代蝦殼粉可節省晶球製作成本，建議使用第4型的海藻酸鈉小晶球進行重金屬吸附。包覆殼粉的海藻酸鈉小晶球，不僅對吸附重金屬離子的效果顯著，而且在吸附後可以簡單的過濾方式回收再利用。此實驗成果，未來可應用於貴重金屬離子的吸附，及工業廢水的處理，希望達到廢棄物再利用，並維護環境生態的永續發展。

## 柒、參考文獻

1. 光譜學與光譜分析 <http://www.gpxygpfx.com/article/2018/1000-0593-38-6-1938.html>。
2. 海藻酸鈉：Yang, J. S., Xie, Y. J., He, W. (2011). Research progress on chemical modification of alginate: A review. Carbohydrate Polymers, 84, 33 ~39。
3. 科學遊戲實驗室-化學粉圓與麵條。國立台中教育大學，科學教育與應用學系，臺中，臺灣。（<http://scigame.ntcu.edu.tw/chemistry/chemistry-019.html>）檢閱日期：2015.03.02。
4. 林新如 賴婕綾 周泮琇。重金屬試紙。國立台中高工。
5. 廖瑋庭。神奇微膠囊 蹦出新科技。埔里高中。
6. 吳俊彥 陳信瑋。2004。包埋酵母菌的幾丁球珠對含銅、鐵、鋅、鉛離子之廢水處理及應用。國立臺南第一高級中學。
7. 葉文彬。幾丁聚醣之製備及其於農業之應用。
8. 呂卦南。幾丁質與幾丁聚醣之製備與鑑定。康寧學報 8:157 2006。
9. 湯宣擎。晶球世紀。中華民國第55屆中小學科展。國立台中第二高級中學。

## 【評語】 030213

利用身邊廢棄殼粉，包括蛋殼、花生殼及蝦殼，製作最佳混合殼粉的海藻酸鈉小晶球用以進行鐵、銅、鋅、鎳四種重金屬離子的吸附。藉由自製吸光度計、黃血鹽滴定重金屬離子形成錯合物，探討殼粉吸附重金屬離子的效果。研究相當有趣且目標明確。應用廢棄物再利用達到提升環境永續發展之目標。具有創作力，實驗數據分析及圖表製作詳盡清晰！



## 作品簡報

# 殼中生機

廢棄殼粉晶球戰勝重金屬廢液



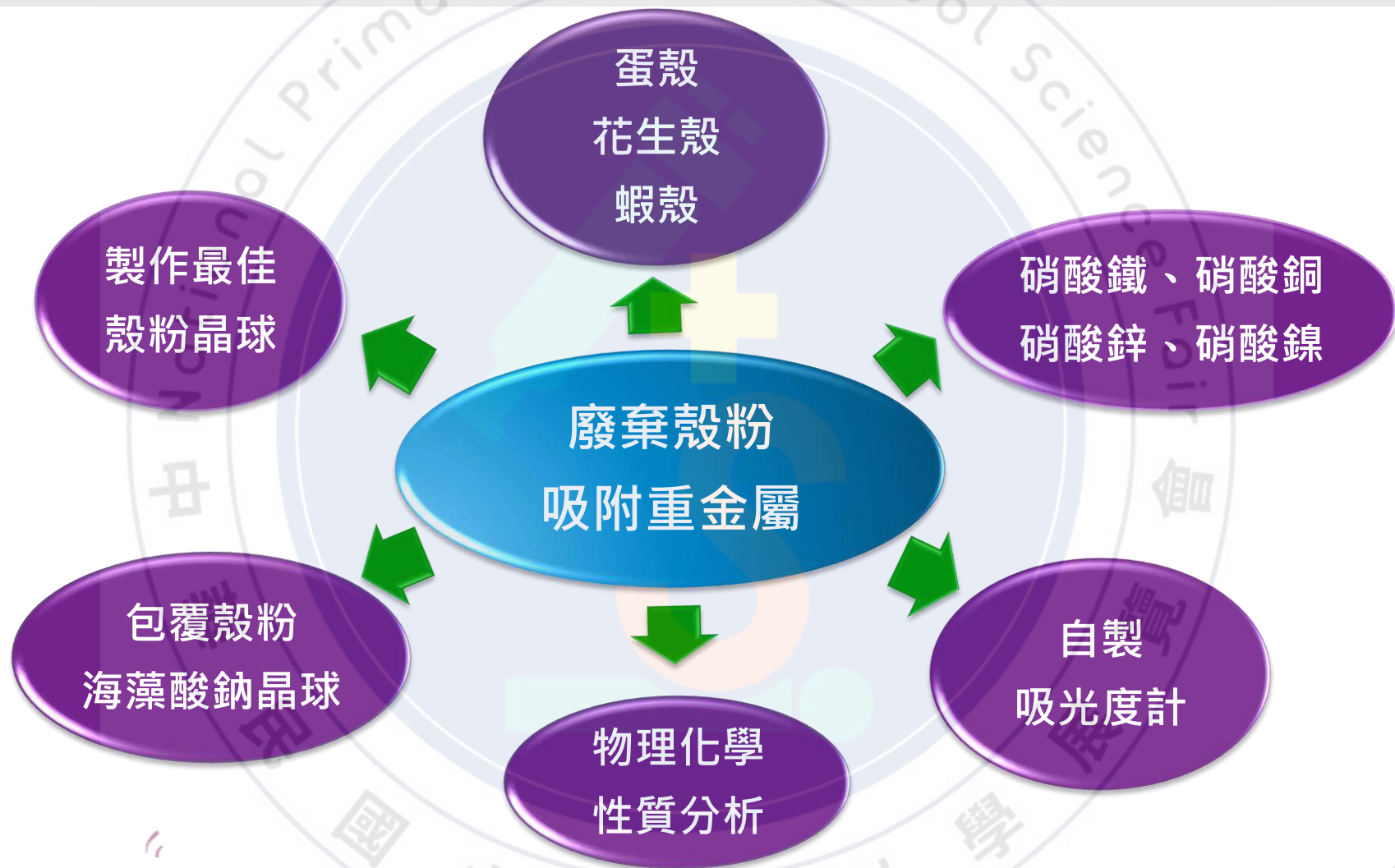


# 研究動機

- ◆ 重金屬工業廢水
- ◆ 家中廢棄物再利用
- ◆ 減少汙染
- ◆ 環境永續



# 實驗設計與規劃



Start



# 自製吸光度計

## ◆ 實驗步驟



## ◆ 光源的選擇

溶液	金屬離子	最大吸收波長(nm)	LED光源
硝酸銅	銅離子	550 nm	綠光(波長500nm~565nm)
硝酸鋅	鋅離子	626 nm	紅光(波長625nm~740nm)
硝酸鎳	鎳離子	660~750 nm	紅光(波長625nm~740nm)
硝酸鐵	鐵離子	490nm	藍光(波長455nm~492nm)

## ◆ 實驗理論:比爾朗伯定律



$$A = -\log_{10} \frac{I_t}{I_0} = \log_{10} \frac{1}{T} = K \cdot l \cdot c$$



# 殼粉吸附重金屬離子

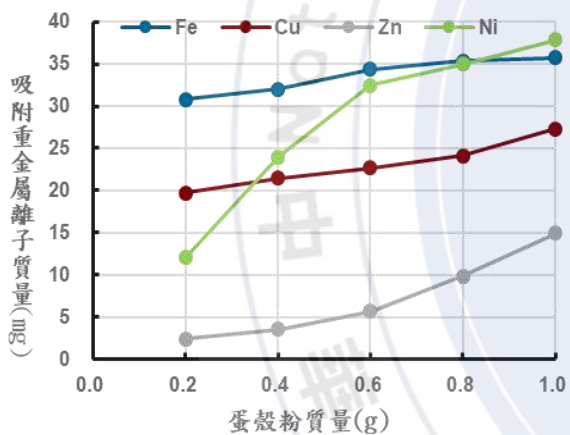




# 殼粉吸附重金屬的能力

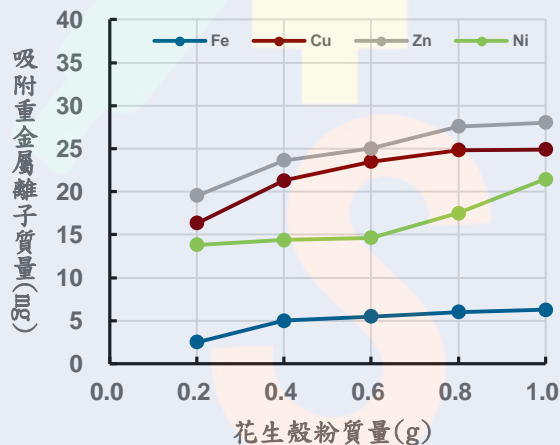
## 蛋殼粉

Fe > Cu > Ni > Zn



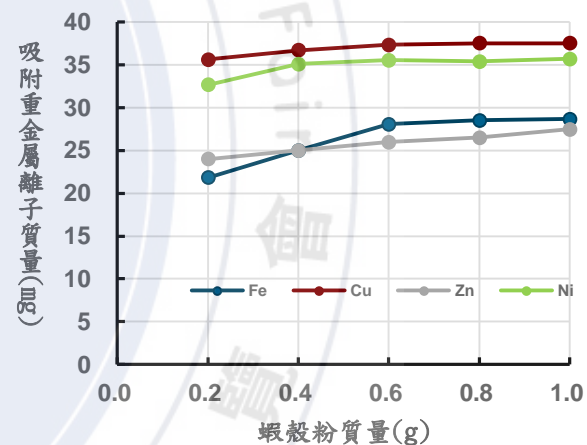
## 花生殼粉

Zn > Cu > Ni > Fe



## 蝦殼粉

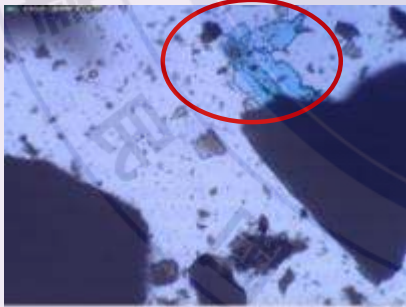
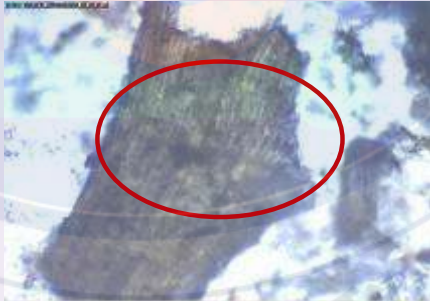

Cu > Ni > Fe > Zn



蝦殼粉 > 蛋殼粉 > 花生殼粉



# 物質結構影響吸附效果

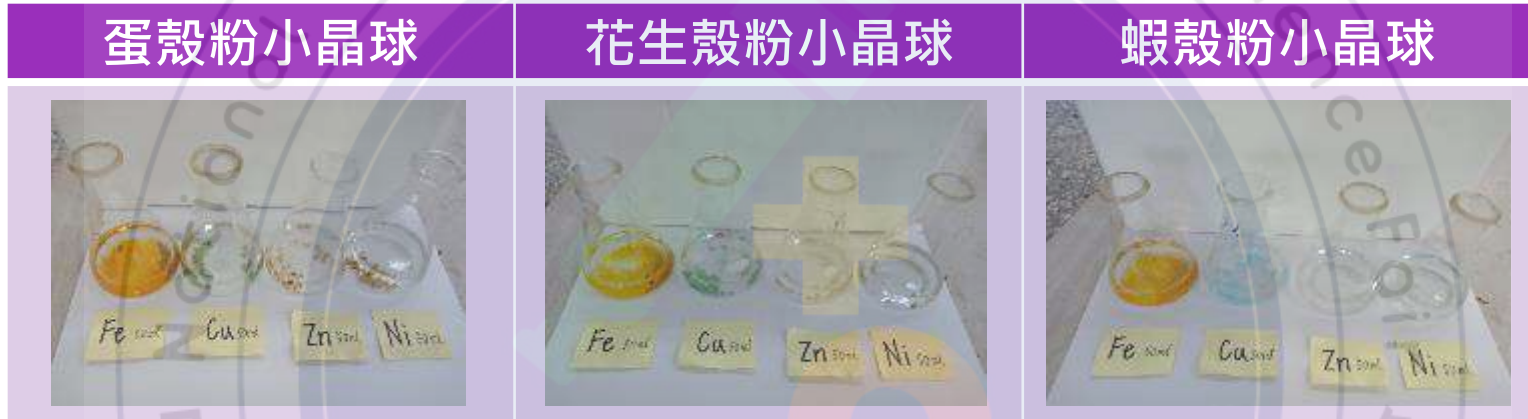
性質	蛋殼粉	花生殼粉	蝦殼粉
結構	<p>由海綿狀層構造組成，含有98.4%的<b>碳酸鈣</b>及<b>孔洞結構</b>，碳酸鈣藉由<b>離子</b>交換的方式達到吸附效果。鐵離子是正三價的物質，擁有較多電荷，推論故優於二價的銅鋅鎳。</p>	<p>花生殼粉中富含纖維素(cellulose)與木質素(lignin:結構複雜的酚類聚合物)等成分，可提供 C-H、C-O、C-O-C、C=O、OH 等<b>多極性的官能基</b>，以利吸附重金屬。</p>	<p>蝦殼中因為含蛋白質，結構中含有大量的<b>胺基</b>、<b>羥基</b>之官能基，對重金屬容易進行螯合及吸附作用</p>
圖片說明			





# 晶球吸附重金屬

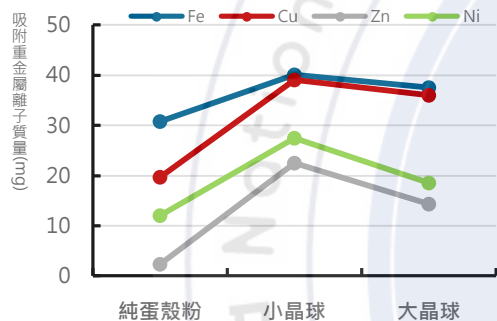
## 小晶球吸附重金屬離子



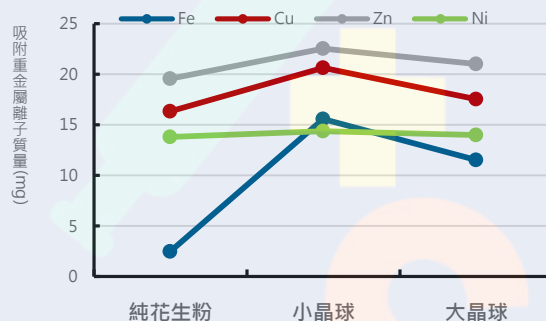


# 純粉末與晶球比較

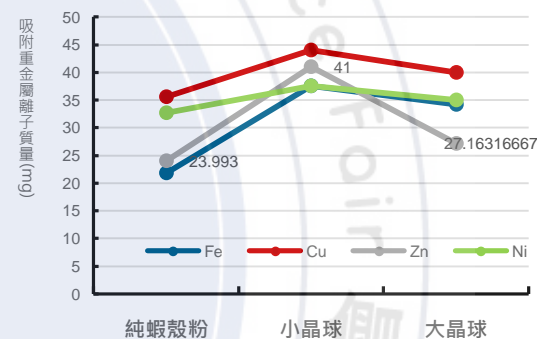
## 蛋殼粉



## 花生殼粉



## 蝦殼粉



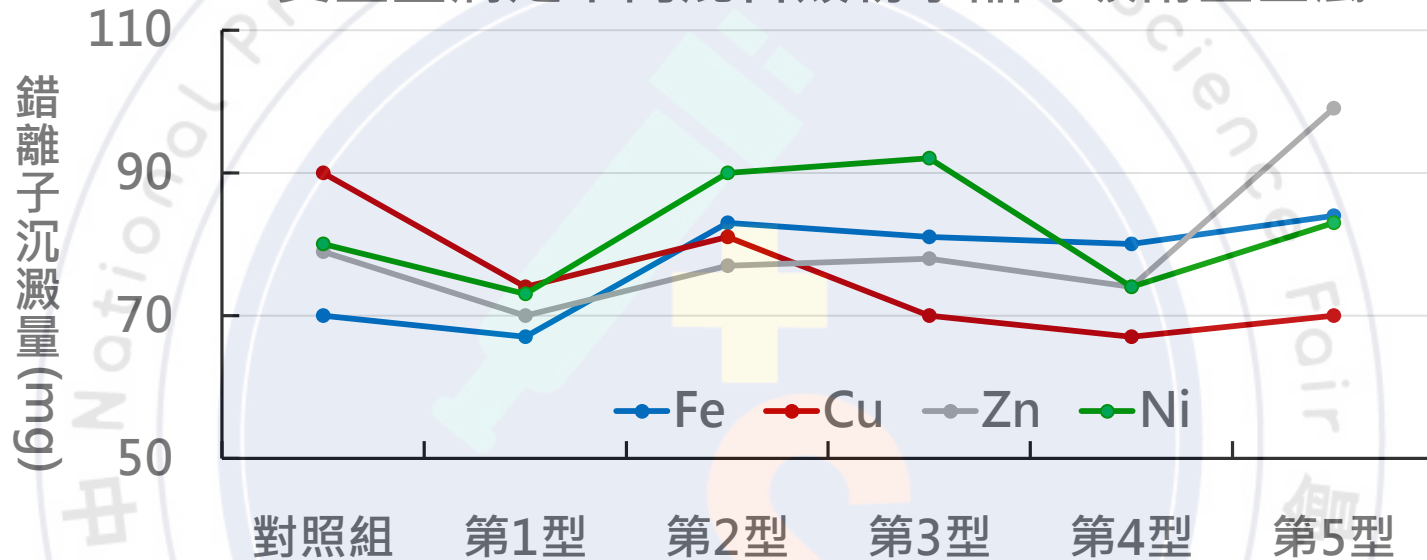
晶球	蛋殼粉	花生殼粉	蝦殼粉
小晶球	+ 30.1 % (Fe)	+ 13.4 % (Zn)	+ 30.1 % (Cu)
大晶球	+ 21.8 % (Fe)	+ 7.5 % (Zn)	+ 12.3 % (Cu)

以0.2g 的殼粉與包覆0.2g殼粉的晶球間吸附的比較



# 最佳晶球比例

黃血鹽滴定不同混合殼粉小晶球吸附重金屬



殼粉	對照組	第1型	第2型	第3型	第4型	第5型
蛋殼粉	0.0 g	0.0 g	0.1 g	0.2 g	0.3 g	0.4 g
蝦殼粉	0.0 g	0.4 g	0.3 g	0.2 g	0.1 g	0.0 g

**第1型(蛋殼粉:蝦殼粉=0:4):四種離子吸附效果佳**  
**第4型(蛋殼粉:蝦殼粉=3:1):吸附銅離子效果最佳**



# 結論

◆ 三種殼粉的吸附能力:蝦殼粉 > 蛋殼粉 > 花生殼

◆ 不同殼粉對金屬離子的吸附效果不同

蛋殼粉  $Fe > Cu > Ni > Zn$

花生殼粉  $Zn > Cu > Ni > Fe$

蝦殼粉  $Cu > Ni > Fe > Zn$

◆ 海藻酸鈉小晶球吸附重金屬優於大晶球

◆ 包覆蛋殼及蝦殼的海藻酸鈉最佳比例:

第1型(蛋殼粉:蝦殼粉=0:4) 四種離子吸附皆良好

第4型(蛋殼粉:蝦殼粉=3:1) 銅離子



# 貢獻及展望

- 一、自製吸光度計
- 二、針對不同離子進行分析
- 三、以海藻酸鈉晶球包覆殼粉進行吸附
- 四、以廢治廢：廢棄殼粉及可食用的海藻酸鈉  
對環境永續的助益
- 五、未來研究：
  - (一)花生殼粉碳化以改善吸附特性
  - (二)探討溫度與pH值對吸附的影響
  - (三)晶球應用於貴重金屬的吸附及脫附