

# 中華民國第 54 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 化學科

030203

銅銅滾『蛋』『殼』真神奇

學校名稱：南投縣立宏仁國民中學

作者：  國一 陳奕銘  國一 雷文晴  國一 林品蓁	指導老師：  蘇筱茵  楊沛勳
---	-----------------------------

關鍵詞：銅離子、蛋殼、吸附

## 摘要

蛋殼內約九成成分為碳酸鈣。實驗結果顯示蛋殼對吸附銅離子有良好的效果，蛋膜則無。我們為了提升蛋殼吸附銅離子的量與速度，做了六個實驗，分別改變不同溫度、轉速、蛋殼質量、顆粒大小、吸附材料及環境酸鹼度，實驗結果顯示，轉速及溶液酸鹼度對蛋殼吸附銅離子的量與速度並無太大影響。而蛋殼顆粒大小、質量及溫度及對於吸附銅離子有明顯差異，所以改變蛋殼質量與顆粒大小可提升吸附銅離子的量與速度。最後再以茶葉蛋、土雞蛋蛋殼進行銅離子吸附條件探討，並發現土雞蛋與雞蛋蛋殼對銅離子吸附效果較佳。

## 壹、研究動機

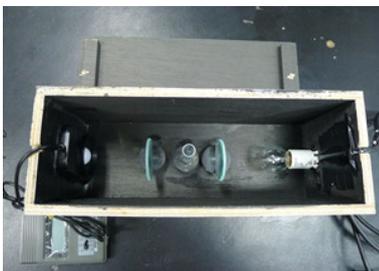
抬午餐時，我們常看見被丟棄的蛋殼且數量眾多，不易處理，心想:這些蛋殼還能做什麼利用？經討論及上網搜集資料後，發現曾有使用大理石吸附銅離子之研究。銅對人體有危害，且銅也被列為重金屬汙染之一。近年重金屬汙染事件頻傳，如工業用水排放至河川成為家庭用水，或排入海洋，汙染海洋生物。例:茄萣海域綠牡蠣、香山地區牡蠣銅鋅含量高，若長期使用，可能導致慢性銅中毒，使肝功能異常、心前區疼痛、心悸、高血壓、低血壓、陽痿、蝶鞍擴大、非分泌腦垂體腺瘤。因此我們嘗試利用廢棄蛋殼吸附銅離子，以降低成本，解決環保問題，並創造廢棄蛋殼經濟價值。

## 貳、研究目的

- 一、探討蛋殼與蛋膜剝離之最佳條件
- 二、探討蛋殼對銅金屬陽離子的吸附作用
- 三、探討蛋殼對銅離子去除率隨時間之變化
- 四、探討蛋殼顆粒大小、溫度、轉速、環境酸鹼度、質量、吸附材料對蛋殼吸附銅離子的影響
- 五、探討不同種類蛋殼對蛋殼吸附銅離子的影響

## 參、研究設備及器材

1. 儀器：自製光度實驗計、電子磅秤、加熱板、離心機、烤箱、吹風機、PH 值計。
2. 藥品：硫酸銅、氨水、碳酸鈣、氫氧化鈉、硫酸、硝酸、氯化鋇、草酸鈉。
3. 器材：燒杯、量筒、試管、100mL 定量瓶、玻璃滴管、塑膠滴管、玻璃攪拌棒、量秤紙、鋁箔紙、試管架、橡皮塞、鉢、杵、廣用試紙、培養皿、括勺、玻璃漏斗、保鮮膜、鐵鍋、溫度計、錐形瓶、口罩、手套、瓷漏斗、薊形漏斗、橡皮軟管、濾網、玻璃片、塑膠箱、攪拌磁石、封口膜。



自製光度實驗計



攪拌加熱器



電子磅秤



離心機



烤箱



蛋殼



PH 值計



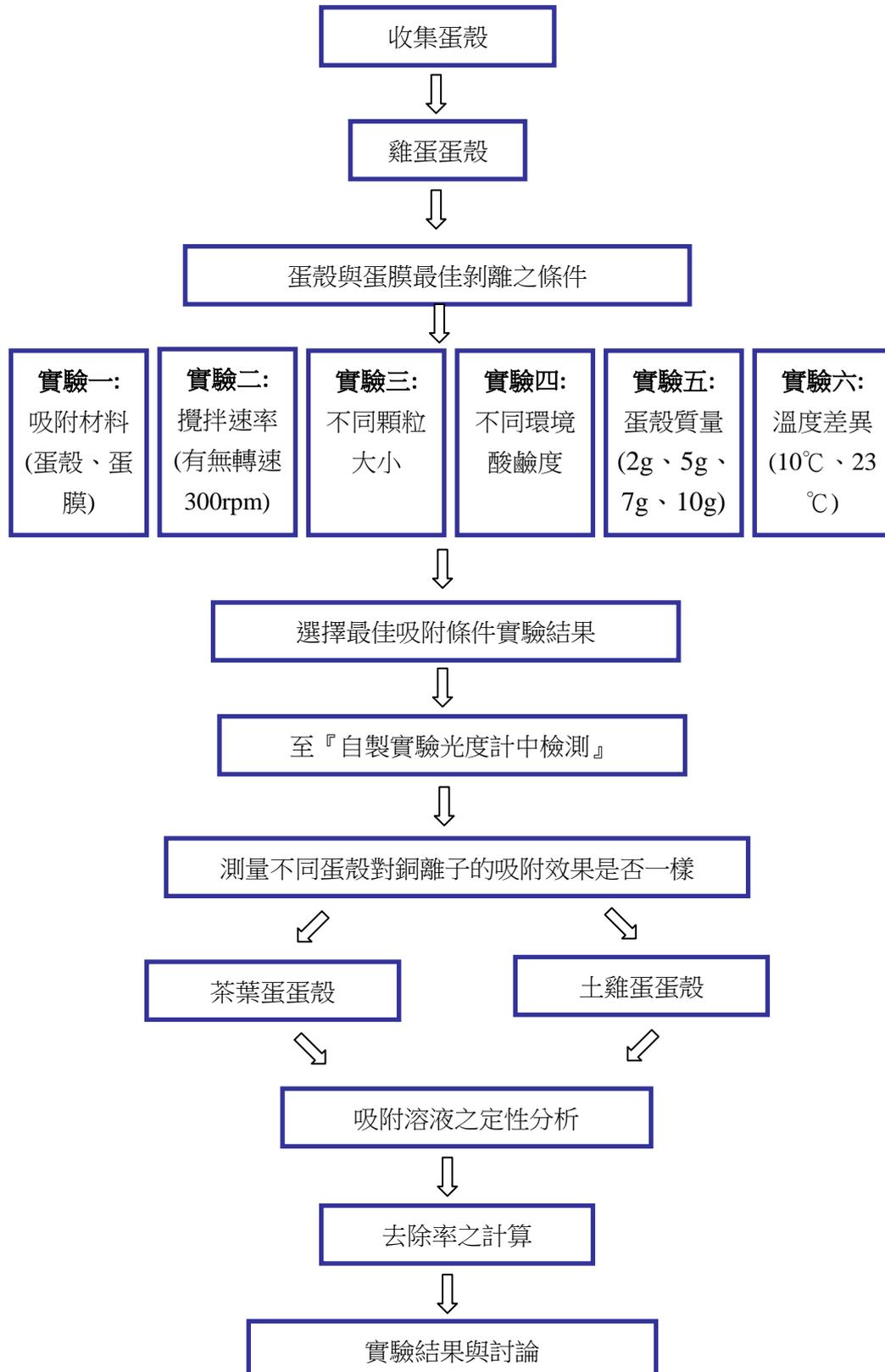
硫酸銅



碳酸鈣

## 肆、研究過程及方法

### 壹、研究過程及方法流程架構圖



## 貳、預備實驗

### 一、蛋殼與蛋膜分離實驗流程

(一) 至學校午餐廚房收集蛋殼並清洗乾淨。

(二) 測試殼膜分離之方法

1. 將蛋殼置於熱水中靜置 2 小時,並分離蛋殼與蛋膜。(如圖一)
2. 將蛋殼依序進泡冷水 1.2.3.4.5 小時後取出並分離蛋殼與蛋膜。(如圖二)



圖一、將蛋殼於熱水中靜置 2 小時。



圖二、將蛋殼分別浸泡於冷水中 1、2、3、4、5 小時依序取出蛋膜。

(三) 蛋殼表面水分去除之方法

1. 將蛋殼表面水分以濕紙巾擦乾後放置烤箱外圍烘烤,溫度約為 60°C,時間 30 分鐘。

### 二、蛋殼顆粒大小過篩方法

(一) 蛋殼顆粒大小

1. 將蛋殼磨成細粉,分別以直徑 7 mm×7 mm、0.5 cm×0.5 cm、1 cm×1 cm 的濾茶網及鐵網過篩。(如圖三、圖四、圖五 )



圖三、7mm×7mm 細粉



圖四、0.5cm×0.5cm 蛋殼



圖五、1cm×1cm 蛋殼

### 三、測定蛋殼中碳酸鈣(CaCO<sub>3</sub>)之含量 (利用排水集氣法測定 CO<sub>2</sub> 體積)

- (一) 取實驗室碳酸鈣作為標準品。
- (二) 秤取 1g CaCO<sub>3</sub> 置於三角錐瓶中。
- (三) 以量筒取 36.5% HCl 5mL 以定量瓶加水定量至 100mL。
- (四) 另準備排水及氣法所需要的裝置：薊頭漏斗、橡皮管、100mL 量筒、三角錐形瓶等。(如圖六)
- (五) 裝置就緒後，將步驟(三)取 20mL 由薊頭漏斗緩緩加入，並持續搖動錐形瓶，直至沒有氣泡產生。
- (六) 由量筒刻度得知二氧化碳產生的體積。
- (七) 秤取 1g 蛋殼粉至於三角錐形瓶中。
- (八) 重複步驟 (三)~(六)。



圖六、排水集氣法裝置

### 四、配置硫酸銅溶液及 PH 值測定

- (一) 硫酸銅溶液莫耳濃度配置方法

公式：莫耳濃度 =  $\frac{\text{質量/分子量}}{\text{體積 (公升)}}$ ，依序配置成濃度 0.01M、0.1M、0.2M、0.35、0.5M、

1M 之硫酸銅水溶液。

- (二) 以 PH 值計測量不同硫酸銅溶液濃度之 PH 值 (表一)

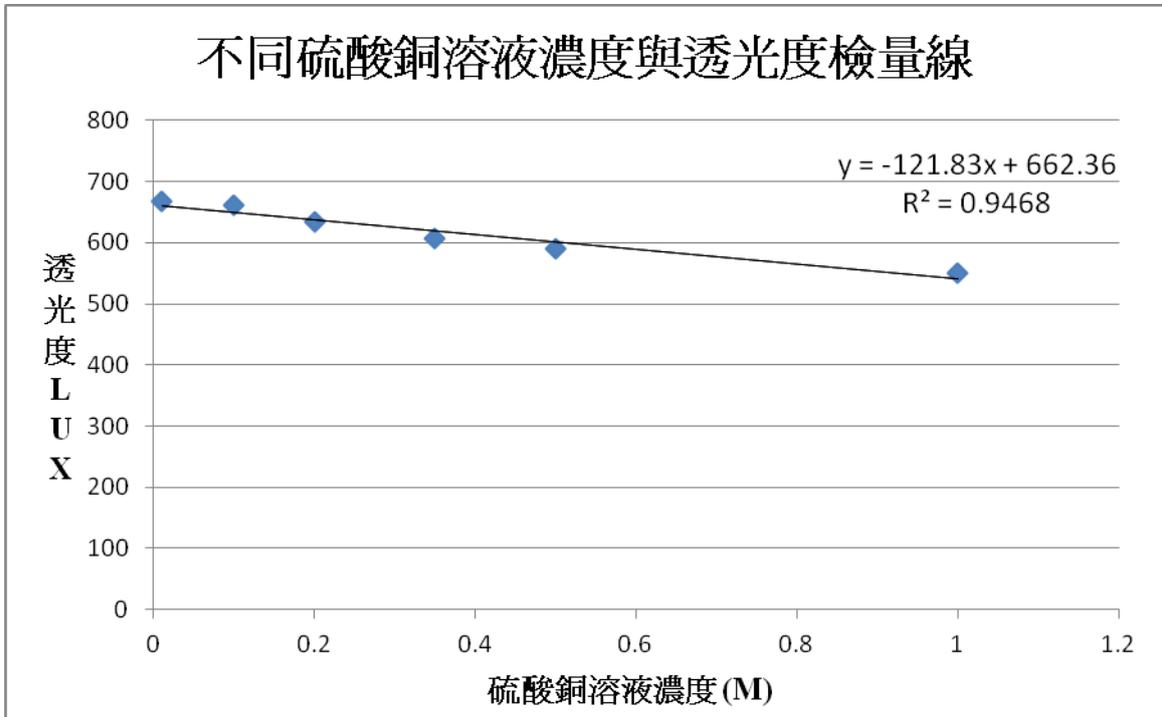
表一、硫酸銅溶液 PH 值

濃度	0.01M	0.1M	0.2M	0.35M	0.5M	1M
PH 值	4.2	3.6	3.3	3.1	3.0	2.8

五、銅離子濃度檢量線及 PH 值

(一) 利用自製光度實驗儀器量測 0.01M、0.1M、0.2M、0.5M、1M 濃度之標準硫酸銅水溶液之透光度。(圖七)

(二) 將其透光度 ( 測得三次平均 ) 依序繪製成其檢量線趨勢圖。(表二)



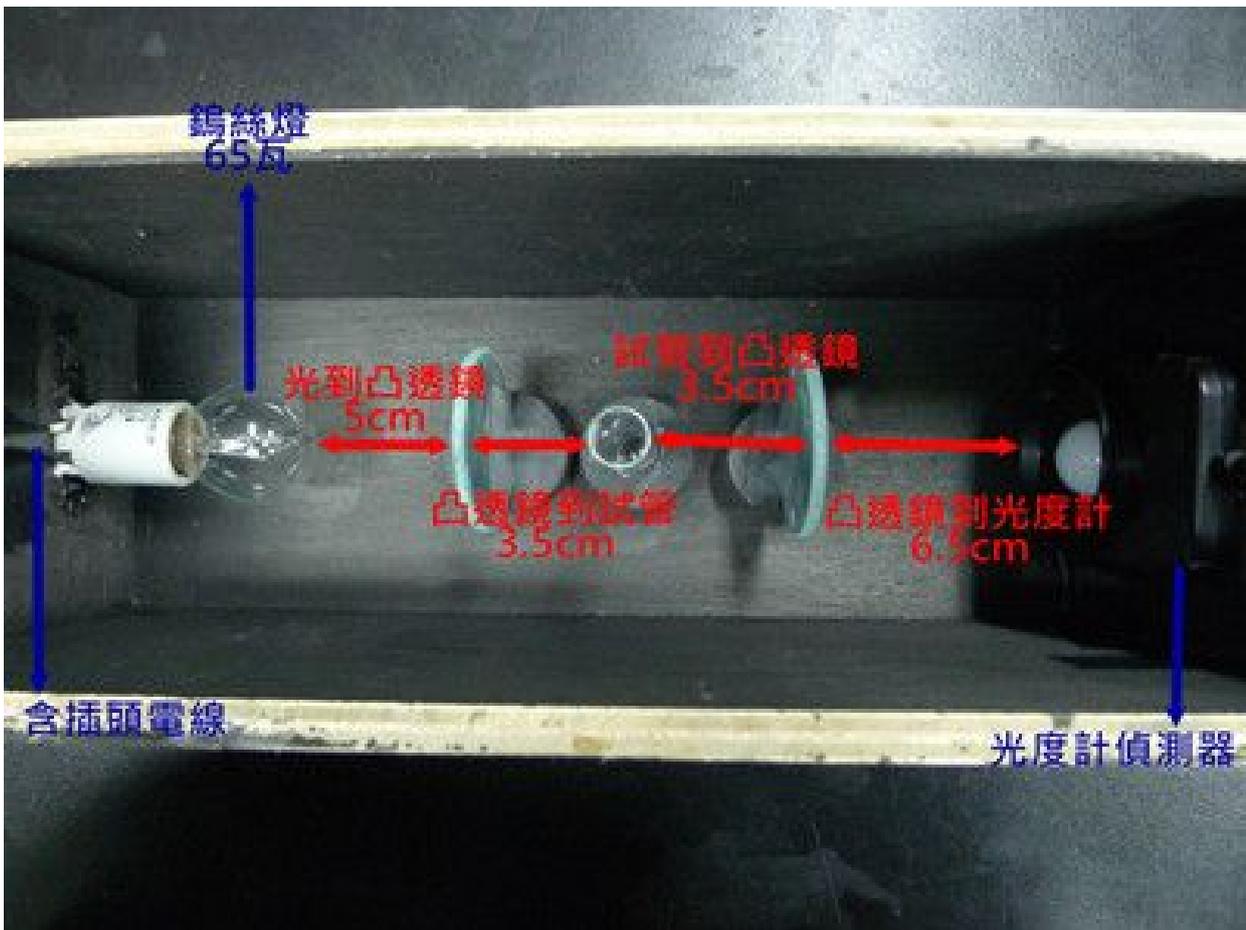
圖七、不同硫酸銅溶液濃度與吸光度檢量線

表二、硫酸銅溶液透光度與 PH 值

濃度	清水	0.01M	0.1M	0.2M	0.35M	0.5M	1M
PH 值	6.6	4.2	3.6	3.3	3.1	3.0	2.8
透光度	711	668	661	634	608	590	550

## 六、自製光度實驗儀器

- (一) 原理：由於有色物質能吸收可見光內的某一波長，因此若將有色溶液以特定單色光投射，再測定其透光度並與標準溶液的透光度對照，則可求得該溶液的濃度，藉由此濃度即可算出此成分在試料中的含量。
- (二) 光度實驗儀器之構造：此構造分別由光源、分光器、調節器、吸收槽、感應器、偵測器等六部份所構成。(圖八)(表三)



圖八、自製光度實驗儀器之構造

表三、自製光度實驗儀器構造原理解說

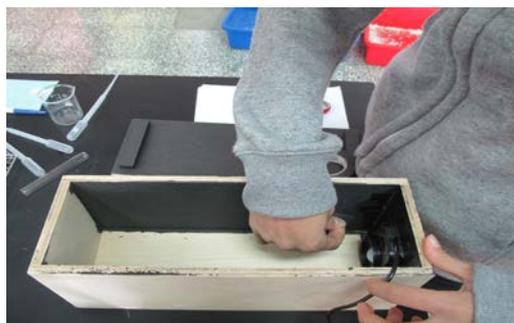
照度計感應器：感應經過試管的光線。	凸透鏡到照度計：將光聚在光度計感應處。
墨汁：製作暗箱時所需材料。	試管：裝取溶液用，做為透光槽。
暗箱：避免光線外露。	光源(使用錳絲燈)：作為測定時所需之適當光源
軟木塞：固定試管。	照度計偵測器：偵測試管的讀數
光到凸透鏡：將光源聚集至試管前端。	石膏粉+白膠：固定軟木塞基座及光源

(三) 製作流程

1. 準備木箱，將內部漆三層墨汁。



2. 固定光度計。



3. 加工電線。



4. 固定鎢絲燈。



5. 加裝軟木塞，用黑膠帶固定，放置試管及凸透鏡。



6. 將白膠混合石膏粉。



7. 將混合後的白膠塗抹於燈泡基座處，加強固定。



8. 完成



## 七、定性分析藥品溶液配置

- (一) 配置 0.1M 草酸鈉溶液。取  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$  1.34g 加入 100mL 定量瓶中並加水至 100mL。
- (二) 配置 0.1M 氯化鋇溶液。取  $\text{BaCl}_2$  2.44g 加入 100mL 定量瓶中並加水至 100mL。
- (三) 取硝酸(61%) 5mL，加入 100mL 定量瓶中並加水至 100mL。
- (四) 取氨水 10mL 至 100mL 定量瓶中並加水至 100mL。

## 參、實驗步驟

### 一、實驗一：攪拌速度的不同對硫酸銅溶液之銅離子去除率影響。

#### 【步驟】

- (一) 取 2 支 250mL 錐形瓶，分別加入 100mL、0.5M 的硫酸銅溶液。
- (二) 分別加入 10g 之蛋殼塊(1cm×1cm)於錐形瓶中，以封口膜封閉瓶口，靜置和以攪拌器轉速設定為 300rpm 轉 7 天、14 天後，以簡易 PH 儀測量溶液 PH 值。
- (三) 取出 5mL 溶液，經離心後，抽取澄清液 4mL 至自製分光光度計試樣管中測透光度。
- (四) 計算濃度及去除率。

### 二、實驗二：A.蛋殼粉(7 mm×7 mm)，B.蛋殼塊(0.5 cm×0.5 cm)，C.蛋殼塊(1 cm×1 cm)對硫酸銅溶液之銅離子的去除率。

#### 【步驟】

- (一) 取 3 支 250mL 錐形瓶，分別加入 100mL、0.5M 的硫酸銅溶液。
- (二) 分別加入 10g A、B、C 於錐形瓶中，以封口膜封閉瓶口，靜置 7 天、14 天後，以簡易 PH 儀測量溶液 PH 值。
- (三) 取出 5mL 溶液，經離心後，抽取澄清液 4mL 至自製分光光度計試樣管中測透光度。
- (四) 計算濃度及去除率。

### 三、實驗三：蛋殼質量對硫酸銅溶液之銅離子去除率影響。

#### 【步驟】

- (一) 取 4 支 250mL 錐形瓶，分別加入 100mL、0.5M 的硫酸銅溶液。
- (二) 分別加入 2、5、7、10 g 之蛋殼粉於錐形瓶中，以封口膜封閉瓶口，靜置 7 天、14 天後，以簡易 PH 儀測量溶液 PH 值。

(三) 取出 5mL 溶液，經離心後，抽取澄清液 4mL 至自製分光光度計試樣管中測透光度。

(四) 計算濃度及去除率。

#### 四、實驗四：不同 PH 值對硫酸銅溶液之銅離子去除率影響。

##### 【步驟】

(一) 利用硫酸調整配置 PH 值 = 1.0 濃度 0.5M 的硫酸銅溶液。

(二) 取 2 支 250mL 錐形瓶，分別加入 100mL、0.5M、PH 值 = 1.0、3.0 的硫酸銅溶液。

(三) 分別加入 10g 之蛋殼粉於錐形瓶中，以封口膜封閉瓶口，靜置 7 天、14 天後，以簡易 PH 儀測量溶液 PH 值。

(四) 取出 5mL 溶液，經離心後，抽取澄清液 4mL 至自製分光光度計試樣管中測透光度。

(五) 計算濃度及去除率。

#### 五、實驗五：不同溫度對硫酸銅溶液之銅離子去除率影響。

##### 【步驟】

(一) 取 2 支 250mL 錐形瓶，分別加入 100mL、0.5M 的硫酸銅溶液。

(二) 分別加入 10g 之蛋殼粉於錐形瓶中，以封口膜封閉瓶口，將其中一瓶放置冰箱冷藏處(溫度約為 10°C)；另一瓶至於常溫下(取實驗室 14 日平均室溫 23°C)靜置 7 天、14 天後，以簡易 PH 儀測量溶液 PH 值。

(三) 取出 5mL 溶液，經離心後，抽取澄清液 4mL 至自製分光光度計試樣管中測透光度。

(四) 計算濃度及去除率。

#### 六、實驗六：蛋殼吸附硫酸銅溶液銅離子後，其溶液之定性分析。

##### 【步驟】

(一) 取 2 支 250mL 錐形瓶，分別加入 100mL、0.5M 的硫酸銅溶液。

(二) 分別加入 10g 之蛋殼粉於錐形瓶中，以封口膜封閉瓶口，靜置 7 日。

(三) 將溶液過濾，並放置離心機離心 5 分鐘後，將上層澄清液取出。

(四) 各取澄清液 1mL，分別加入 1mL 0.5M  $\text{HNO}_3$ 、 $\text{BaCl}_2$ 、 $\text{NH}_4\text{OH}$ 、 $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$  溶液。

(五) 另取一對照組(加入 10g 之蛋殼粉及 100mL 蒸餾水於錐形瓶中，以封口膜封閉瓶口，靜置 7 日)。

## 七、實驗七：不同種類蛋殼對硫酸銅溶液吸附銅離子去除率影響

### 【步驟】

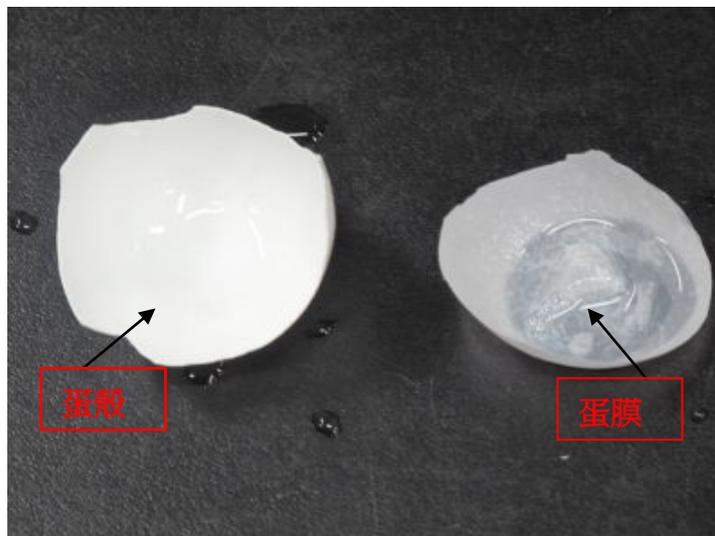
- (一) 取 2 支 250mL 錐形瓶，分別加入 100mL、0.5M 的硫酸銅溶液。
- (二) 分別加入 10g 之土雞蛋蛋殼粉及茶葉蛋蛋殼粉於錐形瓶中，以封口膜封閉瓶口，放置於常溫 7 天、14 天後，以簡易 PH 儀測量溶液 PH 值。
- (三) 取出 5mL 溶液，經離心後，抽取澄清液 4mL 至自製分光光度計試樣管中測透光度。
- (四) 計算濃度及去除率。

## 伍、研究結果

### 一、蛋殼與蛋膜分離方法之比較

#### (一) 蛋殼與蛋膜不同的分離方法結果照片

1. 不經任何處理，直接徒手撕開，使得大部分蛋膜仍留於蛋殼上，且蛋膜不易完整剝離，呈現條狀、破碎狀。
2. 浸泡熱水 2 小時後，殼膜更難完整分離，推論其原因，可能是由於熱脹冷縮，造成殼膜之間無空隙，導致更難完整剝離。
3. 將分別浸泡於冷水 1、2、3、4、5 小時，實驗結果得知浸泡五小時後可達至最佳效果，於實驗過程中需事先將蛋殼與蛋膜些微撕離，如此可減少蛋殼浸泡時間，且有利於殼膜之分離。(圖九)



圖九、浸泡冷水 5 小時後蛋殼與蛋膜分離之情況

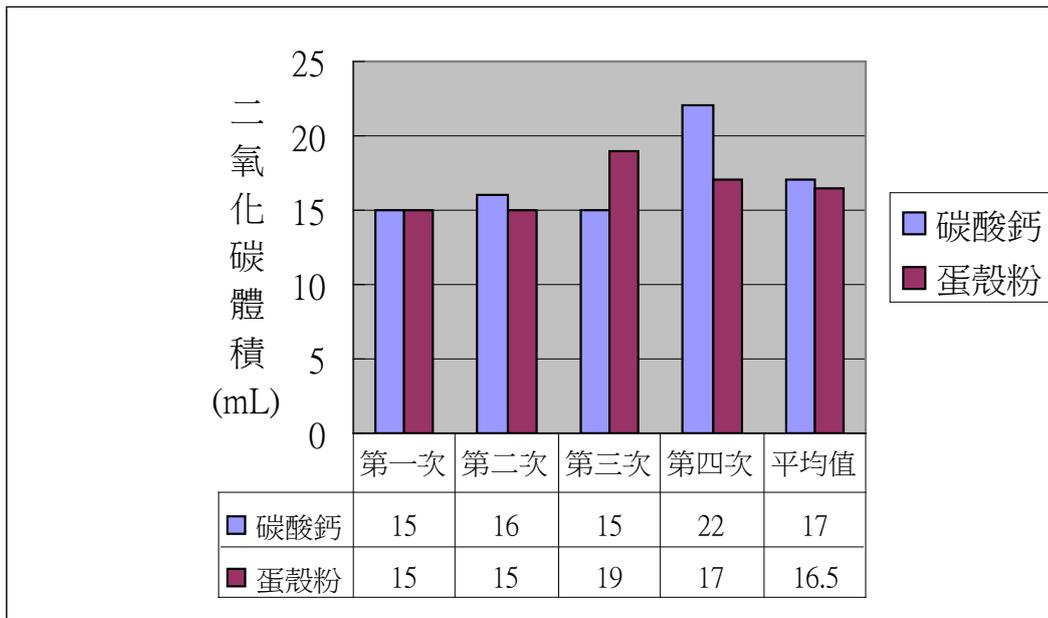
### 二、測定蛋殼中碳酸鈣含量與標準品碳酸鈣之比較

(一)反應式： $\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

(二)標準品  $\text{CaCO}_3$  與蛋殼中  $\text{CO}_2$  體積

(三)計算蛋殼中  $\text{CaCO}_3$  含量：以  $\text{CaCO}_3$  與鹽酸反應產生的  $\text{CO}_2$  體積當作百分之百，用蛋殼粉與鹽酸反應後產生的  $\text{CO}_2$  體積來比較，計算蛋殼中  $\text{CaCO}_3$  所佔的比例。(圖十)

$$16.5/17 \times 100\% = 97\%$$



圖十、碳酸鈣與蛋殼粉產生二氧化碳體積條狀比較圖

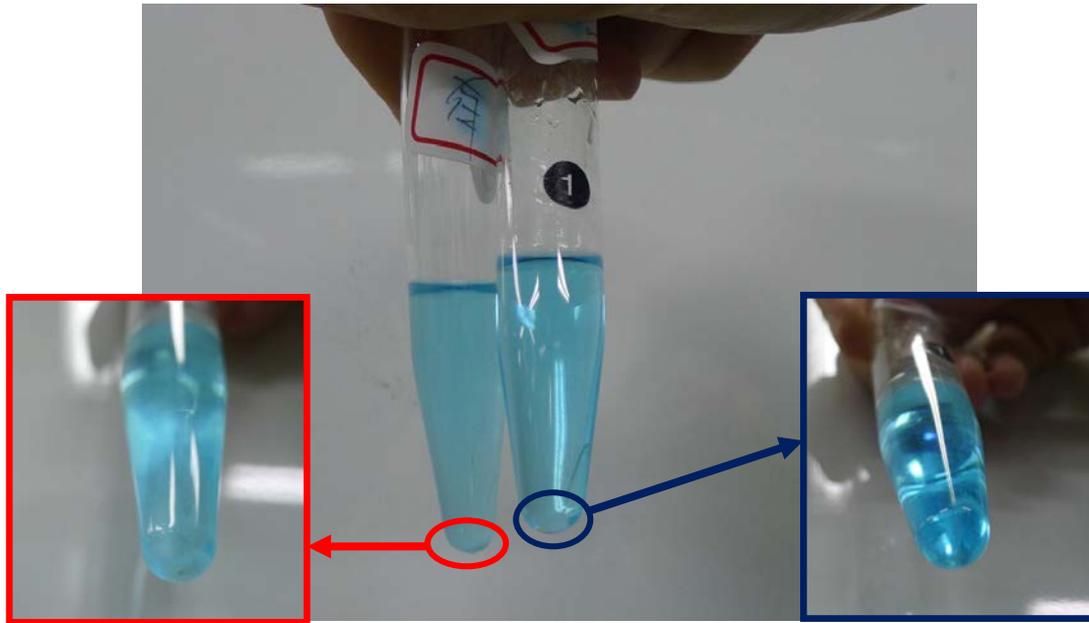
三、不同攪拌速度對硫酸銅溶液之銅離子去除率影響

- (一) 不同攪拌速度對其銅離子去除率 7 日及 14 日之比較 (表四)
- (二) 由實驗結果得知，第 14 日時，銅離子去除率達 22.2%，且靜置或攪拌與否對其銅離子去除率並無顯著差異，但經由轉速 300rpm 攪拌的過程中，易使得部分蛋殼破裂，經由離心後，底部及溶液中有部分蛋殼粉末殘留，攪拌無助於銅離子之去除，且可能使得前處理過程更為繁複，因此以靜置最為最佳條件 (圖十一)。

表四、攪拌速度對 100mL、0.5M 硫酸銅的去除率

	銅離子初濃度之透光度	第 14 天之透光度	第 14 天去除率
靜置	590	611	15.6%
轉速 300rpm	590	615	22.2%

$$\text{※去除率} = \frac{(\text{初始濃度} - \text{去除銅離子後的濃度})}{\text{初始濃度}}$$



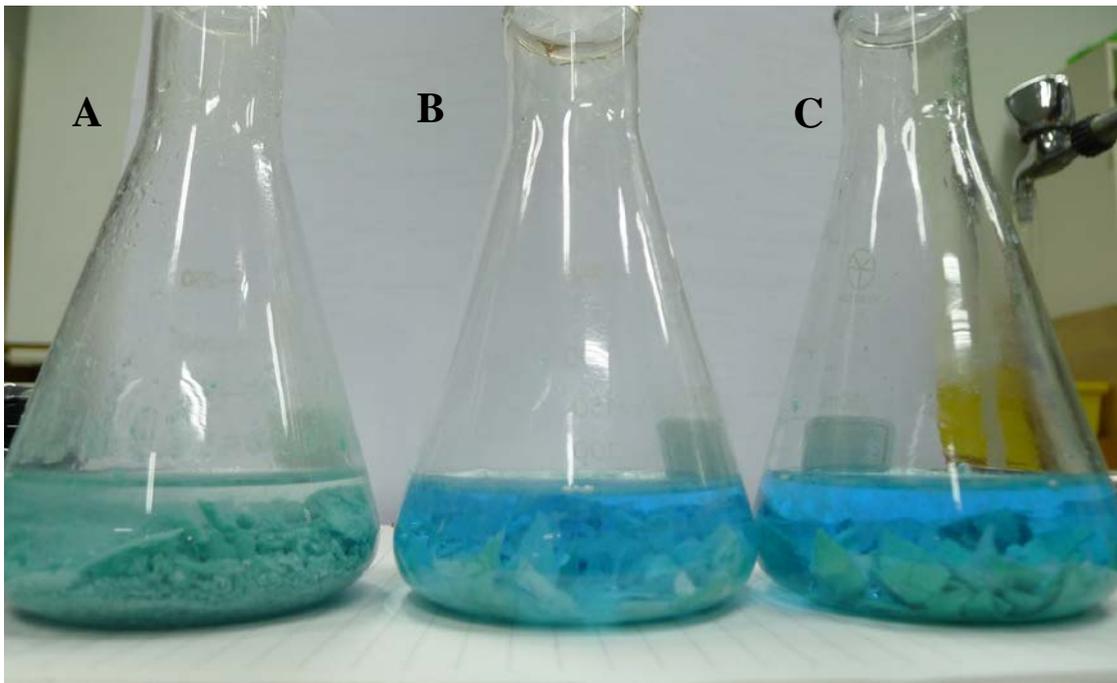
圖十一、硫酸銅溶液底部沉澱

四、不同顆粒大小蛋殼對硫酸銅溶液之銅離子去除率影響

- (一) 10g 不同顆粒大小蛋殼對 100mL、0.5M 硫酸銅的去除率之比較 (表五)
- (二) 由實驗結果發現顆粒越小，去除銅離子效率越佳。
- (三) 以 10g 不同顆粒大小蛋殼粉吸附 100mL、0.5M 硫酸銅溶液之銅離子，可發現至第 14 日時，粉末狀蛋殼粉，已達 100% 的吸附率，蛋殼表面呈現藍綠色。
- (四) 硫酸銅溶液由藍色轉淡至接近無色，且底部有藍綠色沉澱 (圖十二)

表五：10.0(g)不同顆粒大小蛋殼對 100mL、0.5M 硫酸銅的去除率

	銅離子初 濃度之吸 光度	銅離子初 濃度之 PH 值	第 7 天 之透光 度	第 7 天 去除率	第 14 天之透 光度	第 14 天之 PH 值	第 14 天去除 率
A	590	3.0	692	99.1%	712	6.5	100%
B	590	3.0	620	30.4%	632	4.6	50.2%
C	590	3.0	611	15.6%	623	4.5	35.4%



圖十二、A 蛋殼粉(7 mm×7 mm)，B.蛋殼塊(0.5 cm×0.5 cm)，C.蛋殼塊(1 cm×1 cm)，14 日後銅離子被蛋殼吸附之情況。

#### 五、蛋殼質量對硫酸銅溶液之銅離子去除率影響

- (一) 蛋殼粉於不同質量下對 100mL、0.5M 硫酸銅的去除率之比較(表六)
- (二) 由實驗結果發現質量較多對於銅離子吸附有較好的結果，於實驗過程中曾以 2g、5g、7g、10g 不同質量的蛋粉測試。(圖十三、十四、十五、十六)
- (三) 實驗結果顯示不同質量對銅離子的吸附有明顯差異，但於實驗過程中若將蛋殼粉再增加超過 10g 以上，會使得實驗觀察不易，故以 10g 蛋殼粉為實驗最佳條件。

表六、不同蛋殼粉質量對 100mL、0.5M 硫酸銅的去除率

	銅離子初濃度之透光度	第 7 天之透光度	第 7 天去除率	第 14 天之透光度	第 14 天之 PH 值	第 14 天去除率
2g	590	593	<1%	596	3.2	<1%
5g	590	627	42%	645	5.1	71.6%
7g	590	644	70.2%	658	6.0	80%
10g	590	692	99.1%	712	6.7	100%



圖十三、2g 蛋殼粉靜置 7 日後銅離子去除情況



圖十四、5g 蛋殼粉靜置 7 日後銅離子去除情況



圖十五、7g 蛋殼粉靜置 7 日後銅離子去除情況



圖十六、10g 蛋殼粉應置 7 日後銅離子去除情況

#### 六、不同 PH 值對硫酸銅溶液之銅離子去除率影響

- (一) 10.0g 蛋殼粉於不同 PH 值下對 100mL、0.5M 硫酸銅的去除率之比較。(表七)
- (二) 由實驗結果發現 PH 值的大小對於銅離子的去除率並無太大的影響。於實驗過程中曾以硫酸、氫氧化鈉、氨水等溶液調製 PH 值，當加入氫氧化鈉會產生硫酸鈉沉澱，加入氨水時則會使得顏色變深、變濁，使得透光度造成誤差，故最後以 PH=1 和 PH=3 做為實驗條件。
- (三) 實驗結果顯示 PH=1 與 PH=3 時，對銅離子之去除率並無太大差異，故以原先溶液之 PH=3 做為實驗條件。

表七、不同 PH 值對 100mL、0.5M 硫酸銅的去除率

	銅離子初 濃度之透 光度	第 7 天 之透光 度	第 7 天 去除率	第 14 天之透 光度	第 14 天去除 率
1.0	590	690	99.0%	701	99.5%
3.0	590	678	98.5%	712	100%

### 七、不同溫度對硫酸銅溶液之銅離子去除率影響

- (一) 10g 蛋殼粉於不同溫度下對 100mL、0.5M 硫酸銅的去除率之比較(表八)
- (二) 由實驗結果發現溫度的高低對於銅離子的去除率並無太大的影響。於實驗過程中以放置室溫及冰箱冷藏，溫度分別為常溫(取實驗室 14 日平均室溫 23℃)與 10℃。
- (三) 實驗結果顯示溫度低銅離子去除率越差，故以放置室溫為實驗最佳條件。

表八、不同溫度對 100mL、0.5M 硫酸銅的去除率

	銅離子初濃度之透光度	第 7 天之透光度	第 7 天去除率	第 14 天之透光度	第 14 天去除率
10℃	590	642	66.6%	656	89.6%
23℃	590	692	99.1%	712	100%

### 八、不同蛋殼粉對吸附硫酸銅溶液銅離子之影響

- (一) 取 10g 不同蛋殼粉，加入 100mL、0.5M 硫酸銅溶液的去除率之比較(表九)
- (二) 由實驗結果得知，土雞蛋殼對蛋殼吸附銅離子與一般雞蛋殼無明顯影響，而茶葉蛋殼則有些微差異，其吸附度較土雞蛋殼與一般雞蛋殼差。

表九、不同蛋殼粉對 100mL、0.5M 硫酸銅的去除率

	銅離子初濃度之透光度	第 7 天之透光度	第 7 天去除率	第 14 天之透光度	第 14 天去除率
土雞蛋	590	694	>99%	707	近 100%
茶葉蛋	590	664	98%	669	98%

九、蛋殼吸附硫酸銅溶液銅離子後，其溶液之定性分析

(一) 由實驗結果顯示，當硫酸銅溶液之銅離子被蛋殼近乎去除後，溶液中銅離子、碳酸根含量將近為零，但有少量的鈣離子及硫酸根，故推論錐形瓶底部部分的白色沉澱應為硫酸鈣。(圖十七)



圖十七、硫酸銅溶液底部白色沉澱為硫酸鈣

(二)其結果分別為下表

表十、加入不同溶液對蛋殼吸附硫酸銅溶液銅離子後，其溶液之定性分析

	PH 值	加入 HNO <sub>3</sub>	加入 BaCl <sub>2</sub>	加入 NH <sub>4</sub> OH	加入 Na <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
對照組	8.5	無	無	無	無
實驗組	6.6	無氣泡	有白色硫酸 鋇沉澱	無淡藍色氫 氧化四銨錯 離子溶液	有白色草酸 鈣沉澱
實驗結果					
		(圖十八)	(圖十九)	(圖二十)	(圖二十一)
結果推論		無碳酸根	含硫酸根	無銅離子	含鈣離子

#### 十、蛋殼吸附硫酸銅溶液銅離子後，其定性分析

- (一) 我們將氨水加入吸附完硫酸銅溶液的蛋殼後，發現產生淡藍色的氫氧化四銨銅錯離子溶液，由此可推論硫酸銅溶液中的銅離子已被蛋殼去除。(圖二十二)

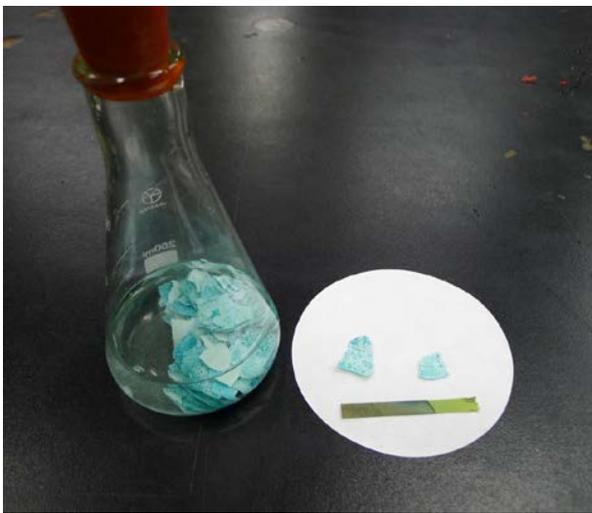


圖二十二、產生淡藍色的氫氧化四銨銅錯離子溶液

- (二) 當銅離子加入過量氨水時，可由化學反應方程式推得其藍色溶液為氫氧化四銨銅錯離子溶液。
- (三) 其反應方程式為  $\text{Cu}^{2+} + 4\text{NH}_4\text{OH}(\text{aq}) \rightarrow [\text{Cu}(\text{NH}_4)](\text{OH})_2(\text{aq})$

## 陸、討論

- 一、由準備實驗發現，浸泡冷水五小時以上，可將蛋殼與蛋膜有效分離，並利用烤箱外圍（約  $60^{\circ}\text{C}$ ）溫度烘烤蛋殼，可將表面水分有效去除，並利用碳酸鈣做為標準品，以鹽酸測得蛋殼中所含碳酸鈣成分為九成。
- 二、自製光度實驗儀器，將試管前端與照度計感應器前端架置凸透鏡，可使得感度增加，於相同條件下，照度增加近 200 Lux。
- 三、為了證明雞蛋中能去除銅離子的為蛋殼或蛋膜，因此設計以下實驗，我們將殼膜分離後，分別浸至於 0.2M 硫酸銅溶液中，經過 14 日後，再測其吸光度及 PH 值，實驗結果顯示，能去除銅離子的為蛋殼，PH 值也接近中性，故驗證蛋殼能夠有效去除銅離，而非蛋膜（圖十九、圖二十）。



圖十九、蛋殼能去除硫酸銅



圖二十、蛋膜不能去除硫酸銅

- 四、由表二及圖七可得知，我們以自製光度實驗儀器檢測不同濃度下硫酸銅溶液的透光度，線性關係趨近於一斜直線。
- 五、由表四及圖十一可得知，攪拌速率對蛋殼吸附銅離子並無明顯影響，且可能因為攪拌過程中，使得蛋殼部分碎裂成粉狀，增加樣品前處理的困難，離心後，底部沉澱量增加，影響透光度的測定。
- 六、由表五及圖十二可得知，同質量的蛋殼，其顆粒越小，接觸總表面積越大，可有效增加銅離子的去除率，至第 14 日時蛋殼粉對銅離子的去除率已達近 100%，且 PH 值已達 6.5，故推測蛋殼中的成分可中和硫酸銅之酸性。
- 七、由表六及圖十三可得知，在相同顆粒大小下，蛋殼質量越大，對銅離子之去除率效果越佳，且可縮短實驗流程，約 7 日即可達 98%，14 日則可達 100% 去除率。

- 八、由表七可得知，初始溶液的 PH 值對銅離子之去除率並無太大的影響，此為蛋殼中所含的碳酸鈣成分可中和酸性，在一開始反應過程中有氣泡的產生。
- 九、由表八可得知，在低溫下，銅離子的去除率降低。
- 十、由表九可得知，茶葉蛋蛋殼、土雞蛋蛋殼、雞蛋蛋殼都可有效吸附銅離子，但土雞蛋蛋殼、雞蛋蛋殼去除率較茶葉蛋蛋殼佳。
- 十一、由表十及圖十七、十八、十九、二十、二十一可得知，當硫酸銅溶液之銅離子被蛋殼近乎去除後，溶液中銅離子、碳酸根含量將近為零，但有少量的鈣離子及硫酸根。
- 十二、由圖二十二可得知，氨水加入吸附完硫酸銅溶液的蛋殼後，發現產生淡藍色的氫氧化四銨銅錯離子溶液，由此可推論蛋殼能有效去除銅離子。
- 十三、實驗過程中測量溶液之透光度時，同一濃度度測量三次以求得平均值，並在測量前，以清水作為儀器校正，使得自製光度實驗儀器的實驗數據可信度提高。

## 柒、結論

- 一、 分離蛋殼與蛋膜的實驗最佳條件，為浸置冷水 5 小時，且在浸置前須先將蛋殼與蛋膜撕開一小處，讓水分子透過，以利殼膜分離，實驗過程中發現浸置時間不宜超過 12 小時，否則會產生臭味。
- 二、 自製實驗光度計，可藉由透光度的差異，得知硫酸銅溶液中銅離子的去除率。
- 三、 在自置實驗光度計的光源前端與照度偵測器前端加裝凸透鏡，可有效提感度，在相同實驗條件下，照度增加 200 Lux。
- 四、 蛋殼能有效吸附銅離子，將蛋殼浸置於硫酸銅溶液中，可使得大部分銅離子被吸附於蛋殼表面上，而呈現藍綠色，少部分則沉澱於平底。
- 五、 蛋殼顆粒越小，能增加反應表面積，縮短反應時間，越能有效去除銅離子。
- 六、 蛋殼質量越大，越能有效去除銅離子。依實驗過程中得知以 100mL、0.5M 的硫酸銅溶液，加入 10g 蛋殼粉 7 日即能達到 98%；14 日可達成 100% 去除率。
- 七、 溶液初始的 PH 值對於銅離子去除率影響不大。
- 八、 於低溫下銅離子去除率較慢。
- 九、 當銅離子完全去除時，其 PH 值接近 7，水溶液呈現透明無色，故可由 PH 值及溶液顏色變化來推估，銅離子已達成去除。
- 十、 利用廢棄蛋殼來去除銅離子，可達成低成本、高去除率、繁複樣品前處理、免有機溶劑使用等優點。
- 十一、利用自製光度儀器來檢測銅離子去除率，與實驗室所用分光光度儀器，相較之下成本低、且材料易取得。
- 十二、未來展望：我們希望能讓實驗更完善、更完整
  - (一) 尋找他種廢材做為吸附材料，與廢棄蛋殼做為比較，是否可以將吸附時間縮短。
  - (二) 以真實樣品做為溶液，探討廢棄蛋殼能否依舊對銅離子保有良好之去除率。
  - (三) 利用實驗室貴重儀器分光光度計，以相同硫酸銅溶液進行檢量線配置，將所呈現之數據與自製光度計做比較，換算銅離子去除率後，兩者間的差異。

## 捌、參考文獻

1. 醫學百科(銅中毒):  
<http://cht.a-hospital.com/w/%E9%93%9C%E4%B8%AD%E6%AF%92#.UvooF6EVFLM>
2. 新光醫訊第 173 期:  
<http://www.skh.org.tw/mnews/173/2-1.htm>
3. 林育任。自製多功能光度計之研究。第四屆旺宏科學獎成果報告書。
4. 許維芳等三人。神秘魔法石，銅銅抓起來。中華民國第 53 屆中小學科學展覽會作品說明書。
5. 蛋殼大變身-廢棄物的回收與再利用。中華民國第 48 屆中小學科學展覽會作品說明書。
6. 邱博之。升大學化學－九陰真經(上)。
7. 楊思廉。工業定量分析。

## 【評語】 030203

以蛋殼吸附銅離子具環保精神，惟內容宜再更廣，實用性可更

高