

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生活與應用科學(三)科

探究精神獎

033005

金雞“牡”——廢棄牡蠣殼製作重金屬吸收發泡煉石之研究

學校名稱：臺中市立居仁國民中學

作者： 國一 廖彥勛	指導老師： 張耀仁 蔡明致
-------------------	-----------------------------

關鍵詞：多孔隙吸附材料、吸光度、牡蠣發泡煉石

摘要

本研究使用廢棄牡蠣殼，製作可回收、多孔隙的發泡煉石，吸附重金屬以解決水污染問題。由實驗可知，外層牡蠣殼粉末的吸附能力比內部珍珠層更佳。觀察顯微鏡，牡蠣殼的碳酸鈣成分經煅燒後會呈多孔隙狀態，具有更好的吸附重金屬效果，研判是表面積增加所致。

研究也發現pH=10有最高的重金屬吸收量。依據勒沙特列原理，鹼性環境有利於 $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$ 正反應的進行，推測是牡蠣殼粉解離生成 HCO_3^- ，促進了重金屬的吸附。

自製發泡煉石確實能有效吸附重金屬並可重複回收使用，達到聯合國永續發展目標 (SDGs)中SDG 6 淨水及衛生、SDG 14 保育海洋生態兩大核心目標。

壹、研究動機

臺灣西部沿海，淡水、鹹水、海面養殖漁業非常興盛，其中彰化縣、雲林縣、嘉義縣、臺南市的牡蠣更是台灣重要養殖水產。臺灣牡蠣養殖留下的蚵殼堆廢棄物每年可達16萬噸，造成環境髒亂、孳生蚊蟲、佔據空間。常見的牡蠣廢棄物使用在建築材料、土壤改良及飼料等，從文獻資料可知鍛燒後的蚵殼粉不但有抗菌功效，且能吸附重金屬，達到與活性碳的相似功能，因此本研究以自製牡蠣殼發泡石，快速吸附重金屬，達到回收再利用之經濟目的。



圖2.廢棄牡蠣殼 (圖片來源:photoAC免費照片 圖片下載)

貳、研究問題

- 一、製作重金屬溶液濃度的檢量線
- 二、探討牡蠣殼粉內層與外層物質，對重金屬吸附能力之影響
- 三、探討牡蠣殼粉發泡石吸附重金屬的能力
- 四、探討酸鹼值對牡蠣殼粉發泡石吸附重金屬能力的影響
- 五、探討牡蠣殼粉發泡石回收再利用的可能性
- 六、探討碳酸氫鈉對重金屬吸附效果的影響
- 七、探討鹼性環境對牡蠣殼表面結構的影響

參、研究設計

一、研究設備及器材

表1 研究器材(作者繪製，表內圖片均由作者親自拍攝)

牡蠣殼 	沒食子酸 	分光光度計 	氯化鐵 
PH值測量器 	硫酸銅 	離心管 	離心機 
試管	鋸木屑	純水	吸水布
電子秤	安全手套	計時器	陶土
濾紙	篩網100目	肉槌	廢棄報紙
滴管	燒杯		

肆、研究過程或方法

一、重要名詞解釋

(一)分子篩(molecular sieve)：使用微小孔洞材料進行吸附時，微小分子可穿過孔道被吸附，大分子無法進行。牡蠣殼粉在經過煨燒之後，總面積會由原本的 $182\text{m}^2/\text{g}$ 上升至 $248\text{m}^2/\text{g}$ ，而粒徑由84%可通過20網目(mesh)，縮小至有90%可通過325網目，其顆粒細度極接近活性碳的標準，本研究煨燒牡蠣殼粉有利於提升吸附低分子量物質的能力。(農業部100年8月(第230期)

(二)蛭石：天然、無毒，在高溫作用下會膨脹的礦物質，多為層狀的矽酸鹽晶體。(節錄自20230914維基百科 蛭石)

(三)煉製發泡煉石方法：陶土粉與鋸木屑之比例1：5 (v/v)，混合均勻後，先少許放入造粒機，令其轉動並噴水製成小顆粒，然後再慢慢撒入土粉與木屑混合物並噴水，漸形成大小約10~18mm圓形顆粒，待陰乾後置於電氣窯燒之。初燒時窯門微開，水氣灰煙逸出後， 500°C 時關緊窯門。定溫 1000°C ，等待7小時完成。(行政院農業委員會台南區農業改良場。)

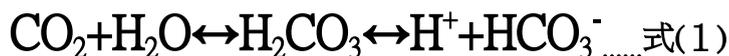
(四)分光光度計：將燈源的光線分散成七色光，擷取某單色光，使單色光穿過樣品溶液，以光感測器量測單色光的衰減程度，並將衰減程度量化成數字。以單色光被溶液吸收比例(穿透比例)來呈現測量結果。樣品溶液放置前(基線 Baseline)、放置後，由光感測器測得色光強度，得到樣品溶液在單色光下的相對光度，此為分光光度計設計原理，適用比耳定律(Beer's law)。

(五)可見光光譜：人類可看見的電磁波，其波長範圍(360-400nm~760-830nm)，其頻率範圍(830-750THz~395-360THz) (tera hertz, 簡稱為THz)。

白光分波段並不是一個精確的作法，因各色光間無明顯界線，但仍可分成數個波段：

1. 紫光(violet)，波長380 - 450nm，頻率668 - 789THz。
2. 藍光(blue)，波長450 - 495nm，頻率606 - 668THz。
3. 綠光(green)，波長495 - 570nm，頻率526 - 606THz。
4. 黃光(yellow)，波長570 - 590nm，頻率508 - 526THz。
5. 橘光(orange)，波長590 - 620nm，頻率484 - 508THz。
6. 紅光(red)，波長620 - 750nm，頻率400 - 48THz。

(六)乙二胺四乙酸(ethylenediaminetetraacetic acid, EDTA)：該分子結構有兩個胺基(Amino groups)與四個羧基(Carboxylic groups)，共有六個配基可與金屬離子鍵結，為一強螯合劑。當pH降低時($\text{pH}<2.5$)，如式(1)與式(2) (Dreybrodt et al., 1996)：



式(1)前段二氧化碳之水合反應較慢，後段碳酸解離反應極快，反應系統中 H_2CO_3 與 H^+ 及 HCO_3^- 皆達平衡狀態；強鹼時($\text{pH}>9$)時，式(2)為主反應。

綜上所述，當溶液呈鹼性時，反應趨向右進行，二氧化碳之吸收與溶解速率會加快。碳酸氫根會再解離出一個 H^+ 形成碳酸根，碳酸根亦可能與碳酸作用形成碳酸氫根，反應式如下：



由式(3)、式(4)可知，溶液中 H_2CO_3 、 HCO_3^- 及 CO_3^{2-} 會形成複雜平衡，與 H^+ 濃度有關，各pH值下之組成可繪成圖2(Tai et al., 1999)，當pH呈中性或弱鹼時，多以 HCO_3^- 形式存在。

(七)pH值會影響水中銅離子的吸附：水合反應如式(5)



H^+ 濃度越高，有利逆反應進行，降低 Cu^{2+} 濃度； H^+ 與金屬離子會互相競爭，造成吸附在茶葉渣表面的金屬粒子變少，減少吸附量。(嘉義市第37屆中小學科學展覽會作品說明書)

(八)碳酸鈣吸附重金屬原理：

物理吸附主要作用是由凡得瓦力(var der Waals force)造成，當吸附物質通過吸附劑時，分子間電子發生連續波動，進而產生暫時性、快速變動的電偶極矩(dipole moment)與四極矩(quadroupe moment)，構成物理吸附。此吸引力常作用在偶極矩、共價性、金屬性、及離子性固體表面上，與吸附劑之表面積、孔隙大小有關。(經濟部廢水處理常用化學藥劑應用手冊)

二、實驗方法

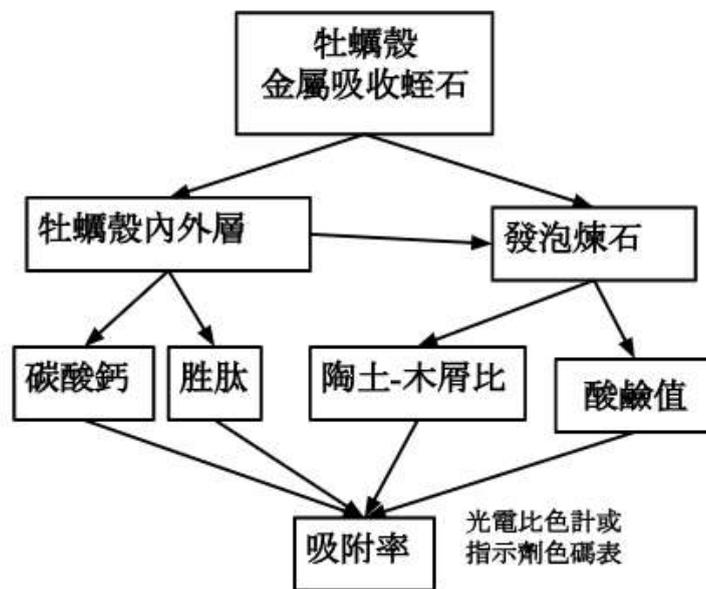


圖3實驗研究架構圖(作者繪製)



圖4分光光度光計 實驗照片(作者拍攝)

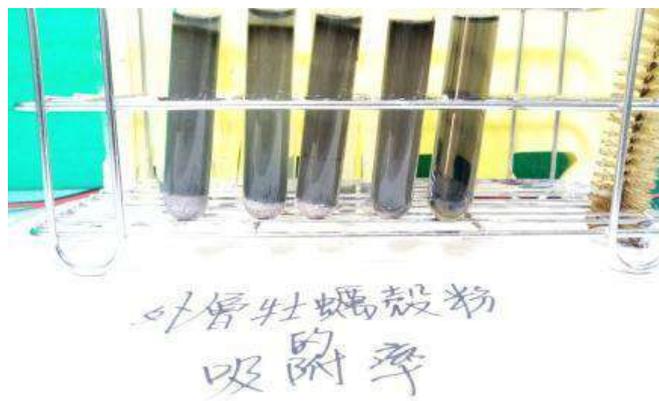


圖5 實驗照片(作者拍攝)

三、研究步驟

(一之一)、鐵離子的檢量線的製作

假設:鐵離子濃度越高，吸光度變化越明顯

操作變因:不同濃度氯化鐵水溶液

控制變因:分光光度計波長

應變變因:鐵離子吸光度

- (1).重金屬檢量線的製作：配製氯化鐵水溶液(20 ppm、30 ppm、40 ppm、**50 ppm**、60 ppm)
- (2).沒食子酸(顯色計)與水配置比例(1：3)
- (3).沒食子酸溶液以滴管分別加入不同濃度重金屬濃度
- (4).觀察不同顏色變化並找出分光光度計適合波長進行測量吸光度。



圖6 沒食子酸鐵離子檢量線實驗照片(作者拍攝)

(一之二)、銅離子的檢量線的製作

假設:銅離子濃度越高，吸光度變化越明顯

操作變因:不同濃度硫酸銅水溶液

控制變因:分光光度計波長

應變變因:銅離子吸光度

- (1).重金屬檢量線的製作：配製硫酸銅水溶液(100 ppm、200 ppm、300 ppm、**400 ppm**、500 ppm)。
- (2).觀察不同顏色變化並找出分光光度計適合波長進行測量吸光度。



圖7 銅離子檢量線實驗照片(作者拍攝)



圖8 分光光度計實驗照片(作者拍攝)

(二)、外層牡蠣殼對吸附鐵離子效果之影響

假設:鐵離子吸光度隨外層牡蠣殼粉的添加量而降低

操作變因:外層牡蠣殼粉的添加量

控制變因:牡蠣殼、吸附時間、氯化鐵濃度

應變變因:鐵離子濃度

實驗步驟:

- 1.用銼刀取用牡蠣殼外層粉末並用100網目過篩。
- 2.牡蠣殼外層粉末0g、0.3g、0.6g、0.9g、1.2g，分別加入50 ppm的氯化鐵溶液。
- 3.攪拌後靜置一天。
- 4.使用離心機離心和濾紙過濾後，使用分光光度計(520 nm)測量吸光度。

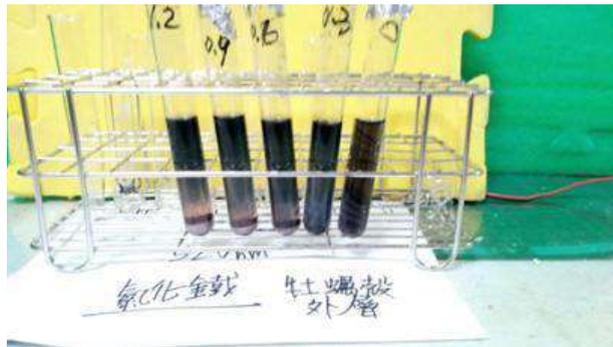


圖9 外層蠣殼+不同鐵離子濃度溶液實驗照(作者拍攝)

(三)、內層牡蠣殼對吸附鐵離子效果之影響

假設:鐵離子吸光度隨內層牡蠣殼粉的添加量而降低

操作變因:內層牡蠣殼粉的添加量

控制變因:牡蠣殼、吸附時間、氯化鐵濃度、分光光度計波長

應變變因:鐵離子濃度

實驗步驟:

- 1.用銼刀取用牡蠣殼內層粉末並用100網目過篩。
- 2.牡蠣殼內層粉末0g、0.3g、0.6g、0.9g、1.2g，分別加入50 ppm的氯化鐵溶液。
- 3.攪拌後靜置一天。
- 4.使用離心機離心和濾紙過濾後，使用分光光度計(520 nm、650 nm)測量吸光度。



圖10 內層蠣殼+不同鐵離子濃度溶液實驗照(作者拍攝)

(四之一)、製作牡蠣殼發泡煉石

實驗步驟

- 1.先將陶土粉、鋸木屑、牡蠣殼粉依照配方混合。
- 2.固定質量3g並將發泡煉石搓成圓形。
- 3.晾乾1日後完全乾燥。
- 3.加熱至350°C，時間控制3.5小時。
- 4.冷卻後使用。

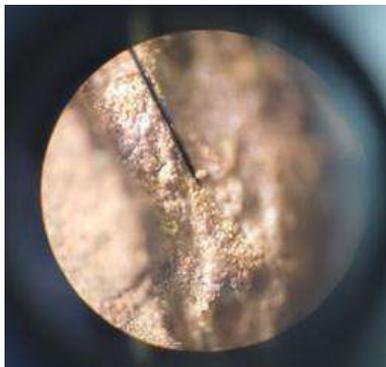


圖11 顯微鏡下發泡煉石實驗照片(作者拍攝) 圖12 自製牡蠣殼發泡煉石實驗照片(作者拍攝)

(四之二)、牡蠣殼添加比例對發泡煉石吸收重金屬之影響

假設:牡蠣殼粉添加越多，發泡煉石吸光度越高

操作變因:牡蠣殼粉添加比例

控制變因:發泡煉石、鍛燒時間、溫度

應變變因:鐵離子濃度

實驗步驟:

- 1.在試管中放入自製發泡煉石。
- 2.放入50 ppm氯化鐵溶液。
- 3.攪拌後靜置一天。
- 4.使用離心機離心和濾紙過濾後，使用分光光度計(520 nm)測量吸光度。

(五)自製發泡煉石在不同pH值下，對硫酸銅和與氯化鐵吸附能力之比較

假設:依文獻資料得知，pH>9的吸附效果最好

操作變因:pH值

控制變因:發泡煉石、吸附時間、氯化鐵濃度、硫酸銅濃度、分光光度計波長

應變變因:鐵離子濃度、硫酸銅濃度

- 1.在試管中放入自製發泡煉石。
- 2.放入50 ppm的氯化鐵溶液，並操作酸鹼值pH4、pH6、pH8、pH10、pH12。
- 3.放入400 ppm的硫酸銅溶液，並操作酸鹼值pH4、pH6、pH8、pH10、pH12。
- 4.攪拌後靜置一天。
- 5.使用離心機離心和濾紙過濾後，使用分光光度計(520 nm、650 nm)測量吸光度。



圖13 不同濃度銅離子溶液+發泡煉石實驗照片(作者拍攝)

(六)、自製發泡煉石回收再利用後，氯化鐵和硫酸銅吸附能力之測定

假設:回收後仍有吸附力效果但效果降低

操作變因:清洗吸附過重金屬的發泡煉石

控制變因:吸附時間、氯化鐵濃度、硫酸銅濃度、分光光度計波長

應變變因:鐵離子濃度、硫酸銅濃度

實驗步驟:

- 1.在試管中放入自製發泡煉石。
- 2.各別放入50 ppm氯化鐵溶液及400 ppm硫酸銅溶液。
- 3.攪拌後靜置一天。
- 4.使用離心機離心和濾紙過濾後，使用分光光度計(520 nm、650 nm)測量吸光度。
- 5.清洗發泡煉石後回收。
- 6.再次放入50 ppm的氯化鐵溶液和放入400 ppm的硫酸銅溶液
- 7.攪拌後靜置一天。
- 8.使用離心機離心和濾紙過濾後，再以分光光度計(520 nm、650 nm)測量吸光度。
- 9.重複實驗直到發泡煉石無法再回收為止。

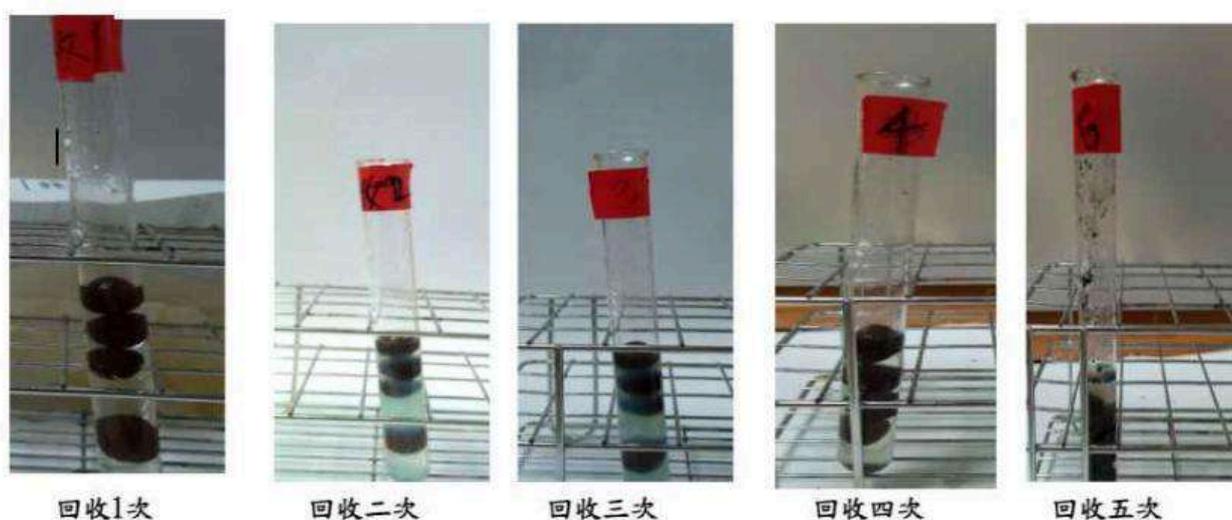


圖14 發泡煉石+不同濃度鐵離子溶液實驗照片(作者拍攝)

七、不同濃度下，碳酸氫鈉水溶液對重金屬吸光度之影響 (銅離子)

假設:加入碳酸氫鈉越多，吸光度越低

操作變因:不同濃度碳酸氫鈉水溶液

控制變因:吸附時間、硫酸銅溶液濃度、分光光度計波長

應變變因:硫酸銅溶液濃度

- 1.在試管中加入相同濃度硫酸銅溶液。
- 2.加入分別為10比1、2、3、4、5的碳酸氫鈉水溶液。
- 3.攪拌後靜置一天。
- 4.使用離心機離心和濾紙過濾後，再以分光光度計(650 nm)測量吸光度。

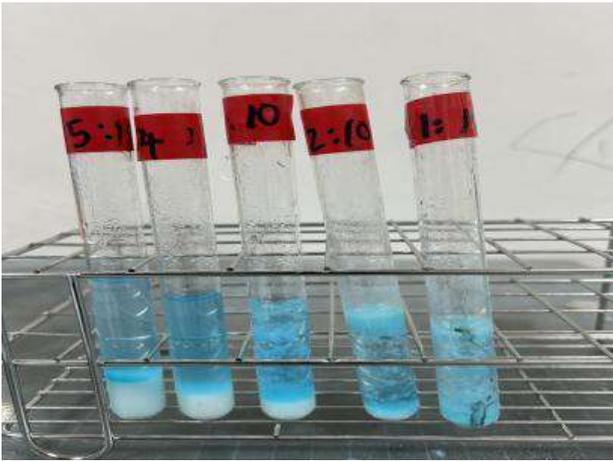


圖15 不同量的碳酸氫鈉+硫酸銅溶液(作者拍攝)

八、不同 pH 值造成牡蠣殼粉破損增加表面積程度之影響 (銅離子)

假設:加入碳酸氫鈉越多，吸光度越低

操作變因:加入不同量的酸鹼變化劑

控制變因:牡蠣殼量、靜置時間、標記位置

應變變因:牡蠣殼破損

- 1.在牡蠣殼上標記黑點並用顯微鏡觀察
- 2.在培養皿中分別加入牡蠣殼和pH值12、11、10、9、8、7的溶液
- 3.攪拌後靜置一天。
- 4.利用顯微鏡觀察黑色標點附近破損情形。

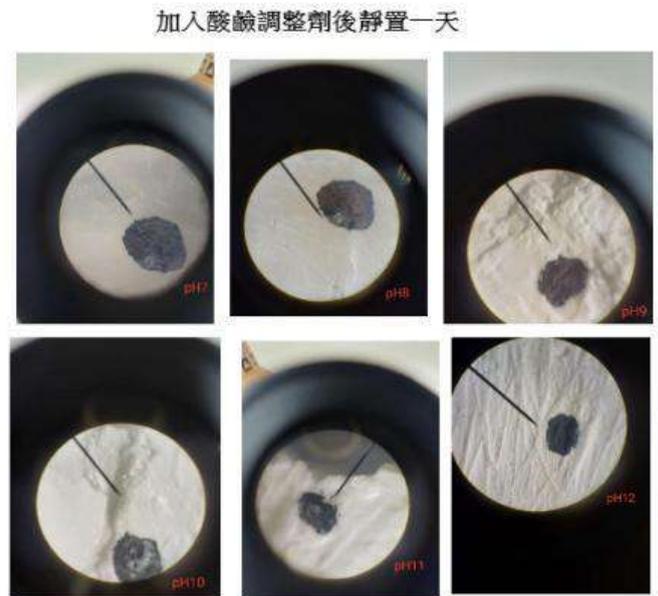


圖16 酸鹼對牡蠣殼破損情況實驗照(作者拍攝)

伍、研究結果與討論

(一之一)、鐵離子的檢量線的製作

假設:鐵離子濃度越高，吸光度變化越明顯

實驗數據表格及統計圖:

(鐵離子)



圖17 分光光度計實驗照片(作者拍攝)

圖18 不同濃度沒石子酸鐵離子溶液實驗照片(作者拍攝)

鐵離子(沒石子酸)濃度(ppm)對各個波長的吸光度(%)影響

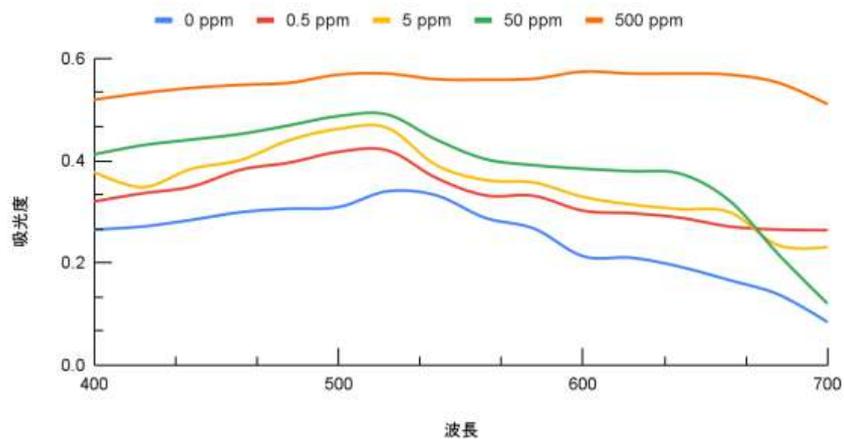
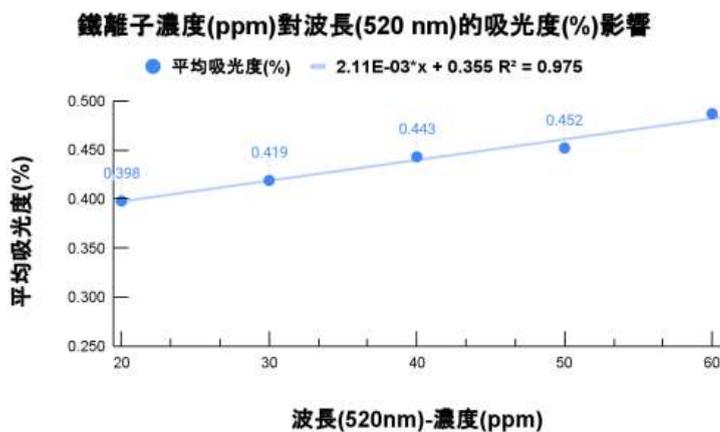


圖19 鐵離子與沒食子酸溶液的吸收光譜(作者繪製)

表2 鐵離子濃度的檢量線數據 (作者繪製)



波長(520 nm)-濃度(ppm)	平均吸光度(%)
20	0.398
30	0.419
40	0.443
50	0.452
60	0.487

圖20 鐵離子濃度的檢量線(作者繪製)

(一之一)、銅離子的檢量線的製作
 假設:銅離子濃度越高，吸光度變化越明顯

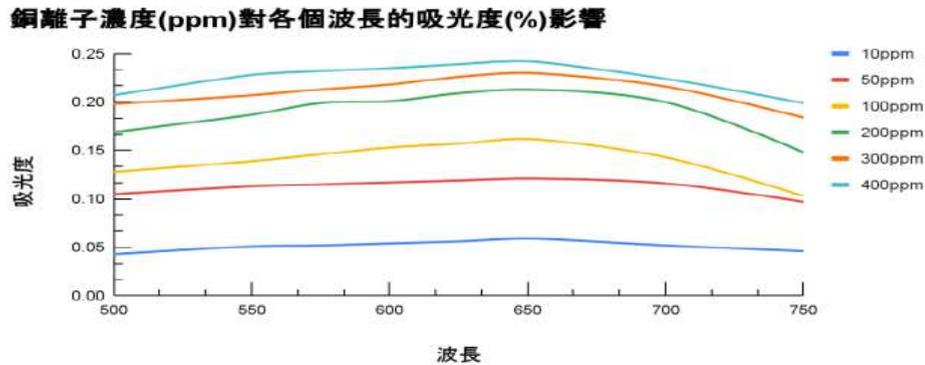
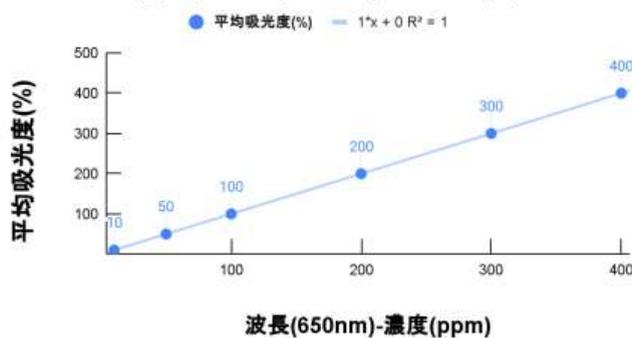


圖21 銅離子溶液的吸收光譜(作者繪製)

表3 銅離子濃度的檢量線數據 (作者繪製)

銅離子濃度(ppm)對波長(650 nm)的吸光度(%)影響



波長(650nm)-濃度(ppm)	平均吸光度(%)
10	0.059
50	0.121
100	0.162
200	0.213
300	0.230
400	0.242



圖22 銅離子濃度的檢量線(作者繪製)

圖23 銅離子溶液實驗照片(作者拍攝)

結果與討論:

1. (WHAT)如圖18所示，鐵離子與沒食子酸溶液的吸收光譜，吸收度最大的波長為520 nm，故之後的實驗以520 nm的吸收度，作為鐵離子濃度的偵測訊號。
2. 如圖20所示，銅離子溶液的吸收光譜，吸收度最大的波長為650 nm，故之後的實驗以650 nm的吸收度，作為鐵離子濃度的偵測訊號。
3. (WHY)仔細分析分光光度計使用520nm測量的檢量線(圖19)，20ppm~60ppm之間的吸光度接近直線的線性趨勢($R^2=0.975$)，證明在此一濃度範圍內，濃度越高吸光度越高，最後決定用50 ppm以達到最佳偵測效果。
4. 仔細分析分光光度計使用650nm測量的檢量線(圖21)，100ppm~400ppm之間的吸光度最接近直線的線性趨勢($R^2=0.887$)證明在此一濃度範圍內，濃度越高吸光度越高，最後決定用400 ppm以達到最佳偵測效果。
5. (HOW)鐵離子濃度測量的檢量線在20 ppm~60 ppm之間呈線性關係，方便後續定量實驗測量使用。

(二)外層牡蠣殼粉添加量對吸附鐵離子效果之影響
 假設:鐵離子吸光度隨外層牡蠣殼粉的添加量而降低
 實驗數據表格及統計圖:

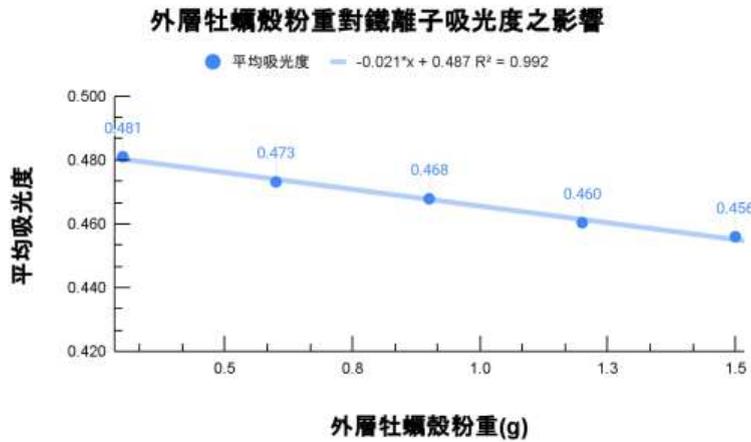


表4實驗數據 (作者繪製)

吸光度	下降百分率 (%)	外層牡蠣殼粉重 (g)
0.476	16.491	0.3
0.473	17.000	0.6
0.468	17.930	0.9
0.460	19.246	1.2
0.456	20.018	1.5

圖24 鐵離子溶液添加外層牡蠣殼粉的吸收度(作者繪製)

表5(作者繪製)

外層牡蠣殼粉重 (g)	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均吸光度
0.3	0.482	0.482	0.480	0.481	0.481	0.481
0.6	0.474	0.475	0.474	0.474	0.473	0.473
0.9	0.470	0.469	0.469	0.469	0.468	0.468
1.2	0.463	0.462	0.462	0.461	0.461	0.460
1.5	0.457	0.455	0.457	0.456	0.456	0.456

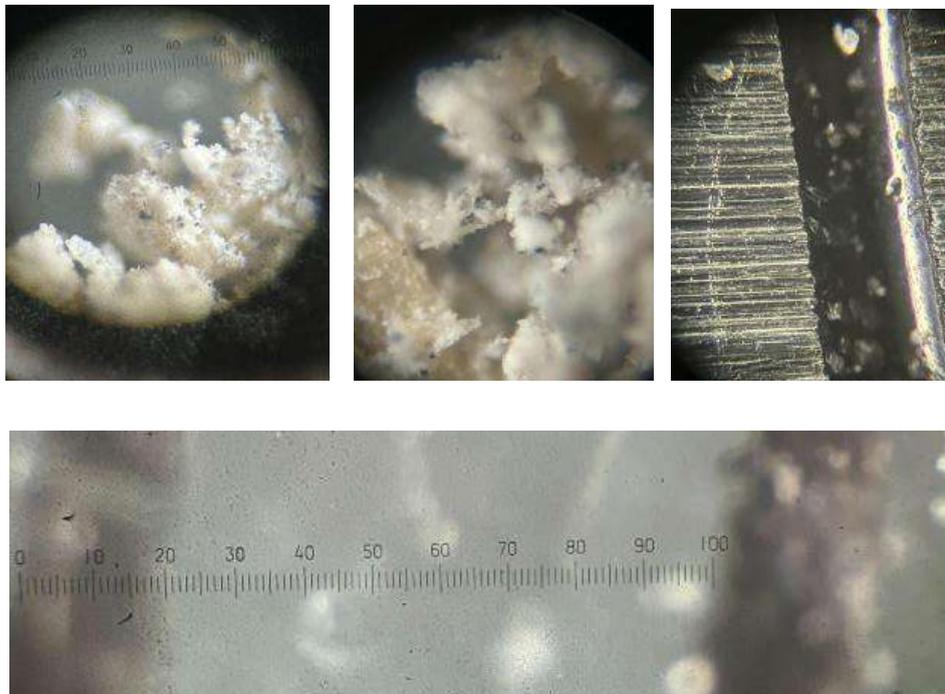


圖25複試顯微鏡下外層牡蠣殼(作者拍攝)

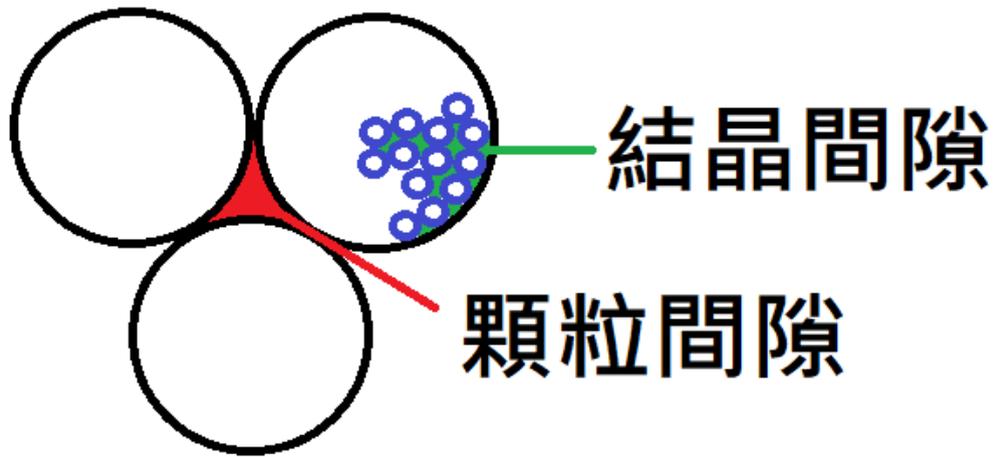


圖26 (作者繪製)牡蠣殼粉孔隙大小分為顆粒間隙及結晶間隙(右圖為比例尺200 μm 寬，結晶顆粒約為20 μm -微米，而結晶間約為2 μm -微米，就是在此處吸附重金屬。)

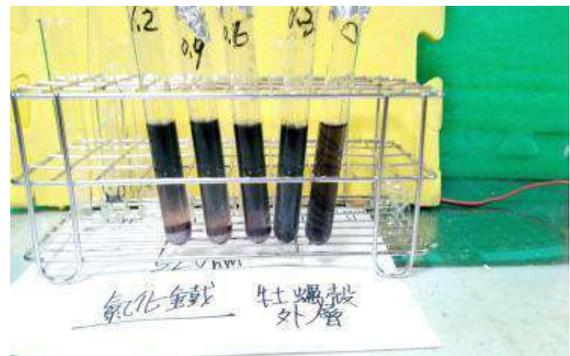
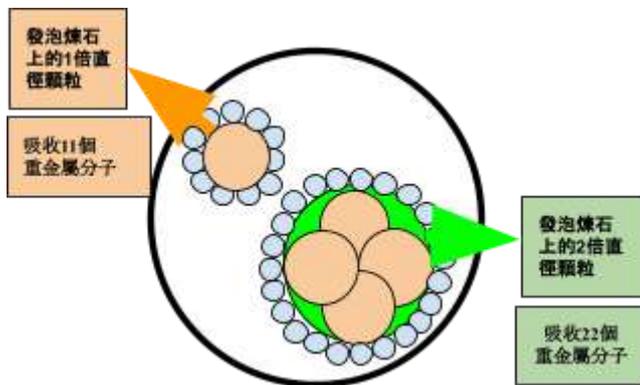


圖28 實驗照片(作者拍攝)

圖27大小牡蠣殼在發泡煉石吸附效果上比較(作者繪製)

結果與討論:

1. (WHAT)牡蠣殼外層粉末加入克數愈多吸附量越大，確實有吸附重金屬的能力，根據檢量線(如下表)推算10毫升60ppm的鐵離子重金屬需要添加1.8克的牡蠣殼外層粉末就能全部吸附乾淨。
2. (WHY)牡蠣殼外層**主要成分是碳酸鈣**，推測是碳酸鈣解離出的鈣離子與金屬離子之間的離子交換(推測是由凡得瓦力所形成，當吸附物質通過吸附劑時，二者分子間所帶的電子將產生連續波動，進而產生暫時性及迅速變動的偶極矩，造成物理吸附)，使溶液中的鐵離子被移除。
3. (HOW)要增加碳酸鈣解離出的鈣離子與金屬離子之間進行離子交換，應可以調整酸鹼性加速碳酸鈣解離，促使鐵離子被吸附移除。

(三)內層牡蠣殼粉添加量對吸附鐵離子效果之影響

假設:鐵離子吸光度隨內層牡蠣殼粉的添加量而降低

表6牡蠣殼粉添加量對吸附鐵離子效果之數據(作者繪製)

內層 牡蠣殼粉重 (g)	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	平均 吸光度
0.3	0.480	0.482	0.480	0.481	0.481	0.477
0.6	0.479	0.478	0.479	0.479	0.477	0.475
0.9	0.476	0.475	0.474	0.475	0.474	0.474
1.2	0.477	0.476	0.477	0.477	0.475	0.476
1.5	0.476	0.477	0.476	0.475	0.475	0.475

實驗數據表格及統計圖:

內層及外層牡蠣殼粉重對鐵離子吸光度之影響

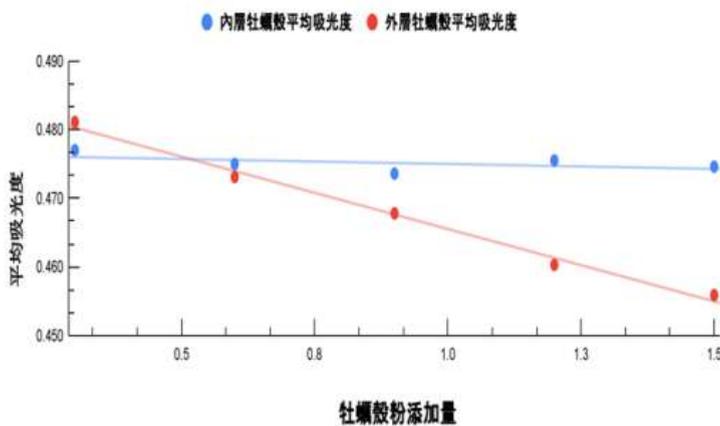


圖29 牡蠣殼粉添加量對吸附鐵離子實驗統計圖(作者繪製)

吸光度	下降百分率 (%)	內層牡蠣殼粉重 (g)
0.447	21.579	0.3
0.475	16.667	0.6
0.474	16.912	0.9
0.476	16.579	1.2
0.475	16.737	1.5

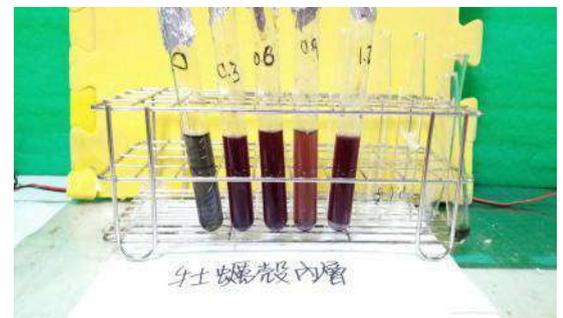


圖30 牡蠣殼粉添加量實驗照片(作者拍攝)

結果與討論:

1. (WHAT)加入牡蠣殼內層粉末，吸光度無明顯的變化(圖29)，發現文獻中雖說明牡蠣殼內層具有胜肽層(珍珠層)，但卻無法幫助重金屬的吸收。
2. (WHY)推測牡蠣殼內層珍珠蛋白 (Conchiolin)是種硬蛋白，不易和金屬離子結合。
3. (HOW)後續改良將以牡蠣殼外層粉末進行吸附金屬離子。

(四)牡蠣殼粉添加比例對發泡煉石吸收鐵離子之影響
 假設:牡蠣殼粉添加越多，發泡煉石吸收鐵離子吸光度越高

牡蠣殼添加比例對發泡煉石吸收重金屬之吸光度影響

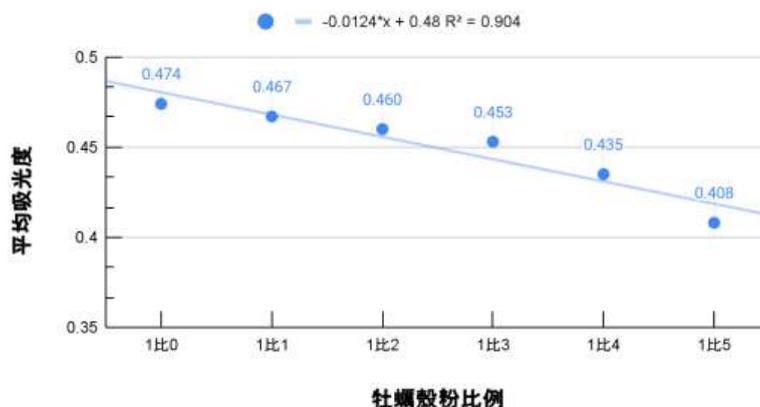


圖31 發泡煉石添加不同牡蠣殼粉比例的鐵離子吸收度(作者繪製)

表8發泡煉石添加不同牡蠣殼粉比例的鐵離子吸收度實驗數據(作者繪製)

牡蠣殼碳酸鈣和蛭石比例	牡蠣殼和蛭石比例	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次
1比0	1.00	0.476	0.475	0.476	0.476	0.474
1比1	0.50	0.47	0.469	0.469	0.47	0.467
1比2	0.33	0.462	0.461	0.459	0.462	0.461
1比3	0.25	0.453	0.452	0.454	0.454	0.453
1比4	0.20	0.437	0.435	0.435	0.435	0.436
1比5	0.17	0.407	0.408	0.407	0.409	0.408

表9發泡煉石添加不同牡蠣殼粉比例的鐵離子吸收度下降比例(作者繪製)

吸光度	下降百分率(%)	比例
0.474	16.842	1比0
0.467	18.070	1比1
0.460	19.298	1比2
0.453	20.526	1比3
0.435	23.684	1比4
0.408	28.421	1比5

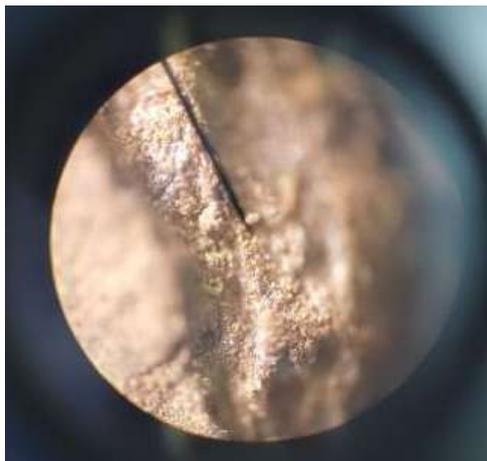


圖32 實驗照片(作者拍攝)



圖33 實驗照片(作者拍攝)

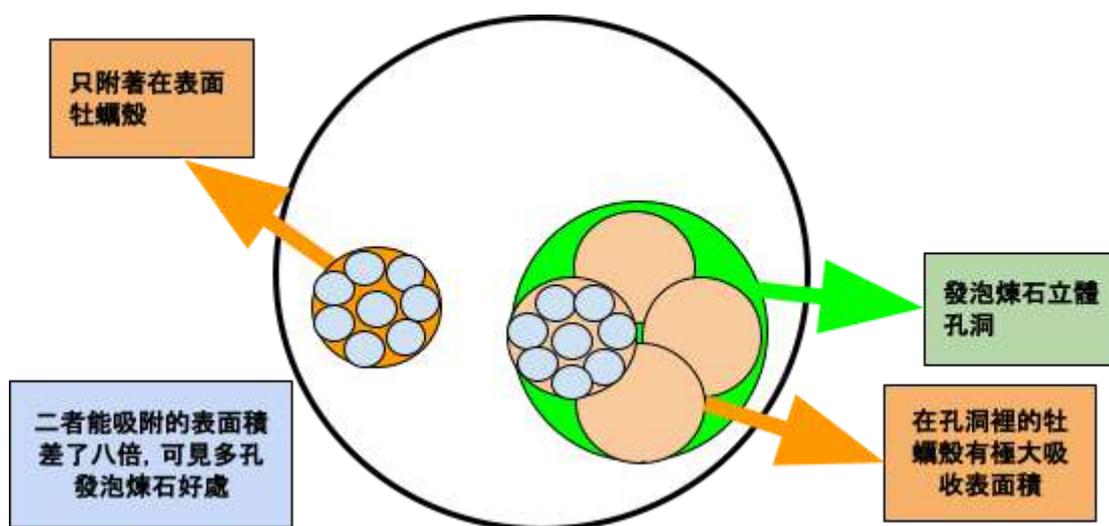


圖34 牡蠣殼發泡煉石吸附原理說明圖(作者繪製)

結果與討論

1.(WHAT)表現出發泡煉石加入越多牡蠣殼粉吸附效果越好。

2.(WHY)牡蠣殼成分碳酸鈣經**煨燒後呈多孔隙材料並結合發泡煉石的吸附力進行物理吸附，更能有效吸附重金屬。**

3.(HOW)已經成功自製發泡煉石並找出牡蠣殼發泡煉石的最好比例，預計在未來實驗中找出最佳酸鹼值，持續改良牡蠣發泡煉石達到更好的吸附效果。

(五) 牡蠣殼發泡煉石在不同pH值下對金屬離子吸光度之影響
 實驗5-1牡蠣殼發泡煉石在不同pH值下，鐵離子吸光度之比較
 假設:依文獻資料得知，pH>9的吸附效果最好

表10牡蠣殼發泡煉石在不同pH值下對鐵離子吸光度之影響(作者繪製)

pH	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	平均吸光度
2	0.528	0.527	0.526	0.527	0.529	0.528
4	0.518	0.519	0.519	0.518	0.520	0.520
6	0.508	0.510	0.511	0.510	0.513	0.513
8	0.498	0.497	0.497	0.499	0.498	0.498
10	0.462	0.459	0.461	0.459	0.462	0.461

圖5-5-1不同pH值對鐵離子吸光度之影響

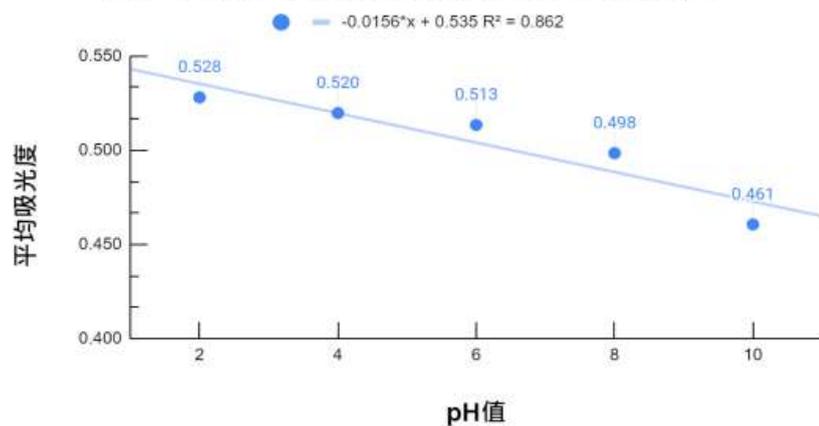


圖35 牡蠣殼發泡煉石在不同pH值下對鐵離子吸光度之影響(作者繪製)



圖36 牡蠣殼發泡煉石吸附顏色變化(作者繪製)

實驗5-2牡蠣殼發泡煉石在不同pH值下，銅離子吸光度之比較

假設：依文獻資料得知，pH>9的吸附效果最好

表11 牡蠣殼發泡煉石在不同pH值下對銅離子吸光度之影響(作者繪製)

pH	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	平均吸光度
2	0.099	0.101	0.102	0.103	0.102	0.103
4	0.096	0.097	0.096	0.098	0.096	0.097
6	0.082	0.081	0.079	0.081	0.082	0.081
8	0.076	0.074	0.073	0.073	0.072	0.071
10	0.065	0.066	0.062	0.065	0.064	0.064

圖5-5-2不同pH值對銅離子吸光度之影響

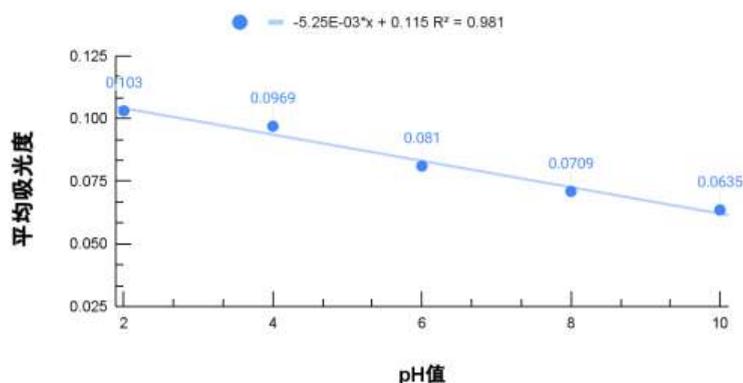


圖37 實驗照片(作者繪製)

表12牡蠣殼發泡煉石在不同pH值下對銅離子吸光度之變化(作者繪製)

吸光度	下降百分率(%)	pH
0.099	59.091	2
0.097	59.959	4
0.081	66.529	6
0.071	70.702	8
0.064	73.760	10



圖38 銅離子溶液添加牡蠣殼發泡煉石後，在不同pH值的吸收度(作者拍攝)

結果與討論:

1 · (WHAT)發現銅離子酸鹼值在pH=10時對重金屬的吸附效果最好，但由於鐵離子遇到酸鹼顏色改變，無法用分光光度計測量。

2 · (WHY)根據以下化學平衡式， $H_2CO_3 \rightleftharpoons H^+ + HCO_3^-$ ，加入鹼性物質使反應向右進行，產生更多的碳酸氫根，吸附更多金屬離子。

3 · (HOW)本研究發現銅離子在pH=10時吸附效果最好，但鐵離子無法準確測量，因此未來希望利用氧化還原滴定法偵測 Fe^{3+} 的濃度，並加入可變化顏色的還原劑。

例如，鐵含有 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 二種鐵離子要分析鐵含量，可以把它溶解在酸性溶液裡，把所有的鐵還原成「 Fe^{2+} 離子」，然後用「過錳酸鉀 $KMnO_4$ 標準溶液來滴定；結果，「 MnO_4^- 」被還原成「 Mn^{2+} 」，「 Fe^{2+} 」被氧化成「 Fe^{3+} 」。滴定終點（當顏色改變就代表必須停止滴過錳酸根溶液）大約就是計量點（當量點）之後的那一滴。所以計量點，就是還原劑消耗掉的位置，可能反應式為： $5Fe^{2+} + MnO_4^- + 8H^+ \rightleftharpoons 5Fe^{3+} + Mn^{2+} + 4H_2O$

(六)牡蠣殼發泡煉石回收再利用後氯化鐵吸附能力之測定

(六之一)假設:回收後對鐵離子仍有吸附力效果但效果降低

表13不同回收次數的鐵離子吸光度之測量數據 (作者繪製)

回收次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
0	0.408	0.409	0.407	0.41	0.409	0.409
1	0.411	0.413	0.415	0.415	0.413	0.415
2	0.418	0.417	0.418	0.419	0.416	0.417
3	0.424	0.424	0.421	0.423	0.423	0.423
4	0.436	0.437	0.437	0.436	0.435	0.435

圖6-6-1不同回收次數鐵離子吸光度之影響

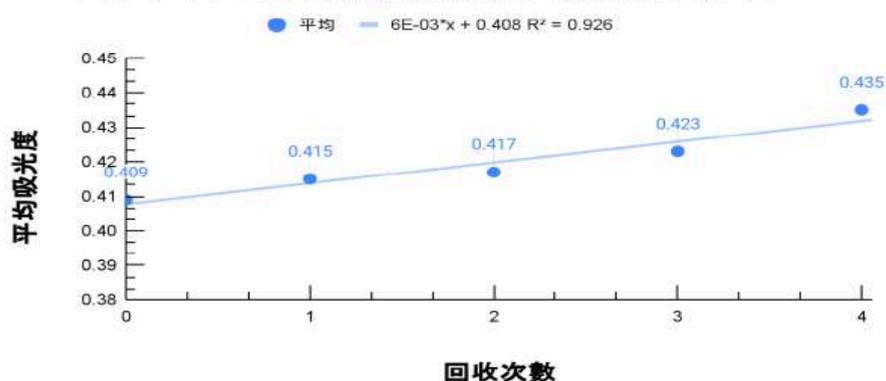


圖39 不同回收次數的鐵離子吸光度(作者繪製)

吸光度	下降百分率(%)	回收次數
0.409	14.792	1
0.415	13.542	2
0.417	13.125	3
0.423	11.875	4
0.435	9.375	5

表14 不同回收次數的鐵離子吸光度的影響程度(作者繪製)



圖40 不同回收次數的鐵離子溶液照片(作者拍攝)

(六)牡蠣殼發泡煉石回收再利用後氯化鐵和硫酸銅吸附能力之測定

(六之二)假設: 牡蠣殼發泡煉石回收再利用後對銅離子吸附力效果降低

表15牡蠣殼發泡煉石回收再利用後對銅離子吸附力 (作者繪製)

回收次數	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	平均吸光度
0	0.096	0.098	0.097	0.098	0.096	0.097
1	0.101	0.102	0.100	0.101	0.102	0.102
2	0.121	0.124	0.123	0.123	0.121	0.122
3	0.129	0.135	0.133	0.130	0.133	0.133
4	0.137	0.139	0.138	0.141	0.142	0.143

圖6-6-2不同回收次數銅離子吸光度之影響

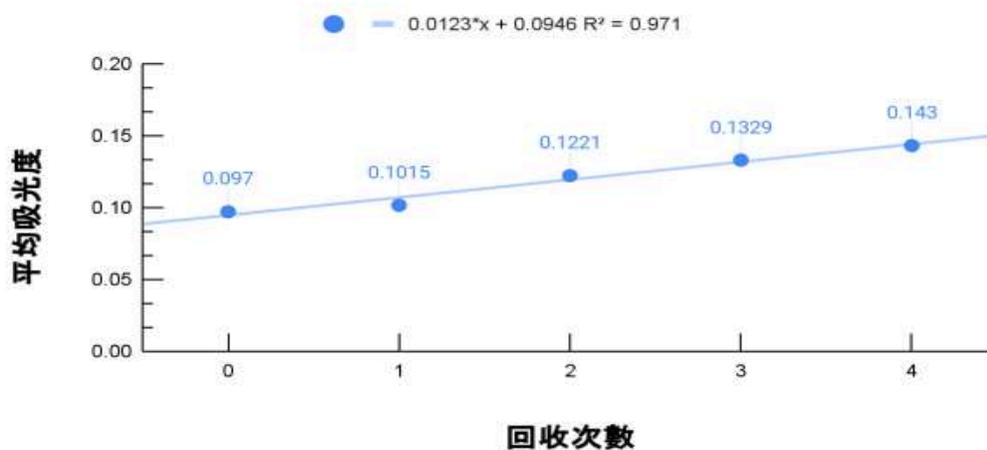


圖41 不同回收次數的銅離子吸光度 (作者繪製)

表16不同回收次數的銅離子吸光度變化(作者繪製)

吸光度	下降百分率(%)	回收次數
0.097	59.917	1
0.102	58.058	2
0.122	49.545	3
0.133	45.083	4
0.143	40.909	5

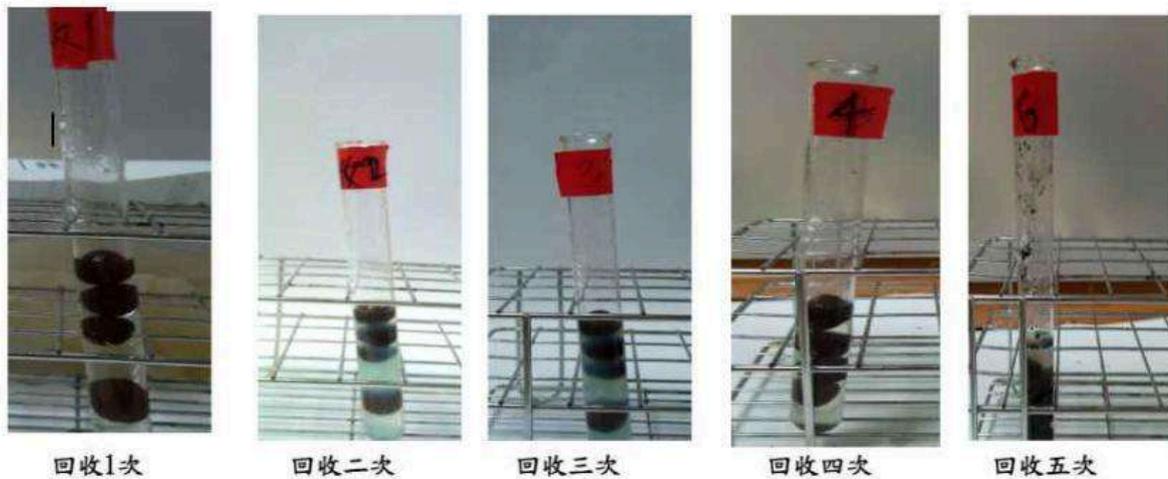


圖42 不同回收次數的銅離子溶液照片(作者拍攝)

結果與討論:

1. (WHAT)顯示回收後牡蠣殼粉發泡煉石還是有一定吸收能力，並可回收**3次以上**。
2. (WHY)簡單清洗後重金屬就能大部分去除，因此晾乾後還能再次吸收。
3. (HOW)雖可重複利用並吸收重金屬，但仍有部分**重金屬滲入發泡煉石內**，殘留的重金屬無法完全去除，吸附過的牡蠣殼孔洞會被重金屬填滿，降低吸附力。**未來將發展其他新方法，增加回收再利用之經濟效益。**

七、不同濃度下，碳酸氫鈉水溶液對重金屬吸光度之影響

假設:加入的碳酸氫鈉越多，對銅離子吸光度越低

表17 碳酸氫鈉添加量對銅離子吸光度的影響(作者繪製)

碳酸氫鈉質量 (g)	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	平均吸光度
1	0.147	0.168	0.169	0.168	0.169	0.164
2	0.160	0.161	0.163	0.163	0.163	0.162
3	0.156	0.148	0.148	0.142	0.142	0.147
4	0.138	0.139	0.137	0.138	0.140	0.138
5	0.136	0.132	0.131	0.131	0.130	0.132

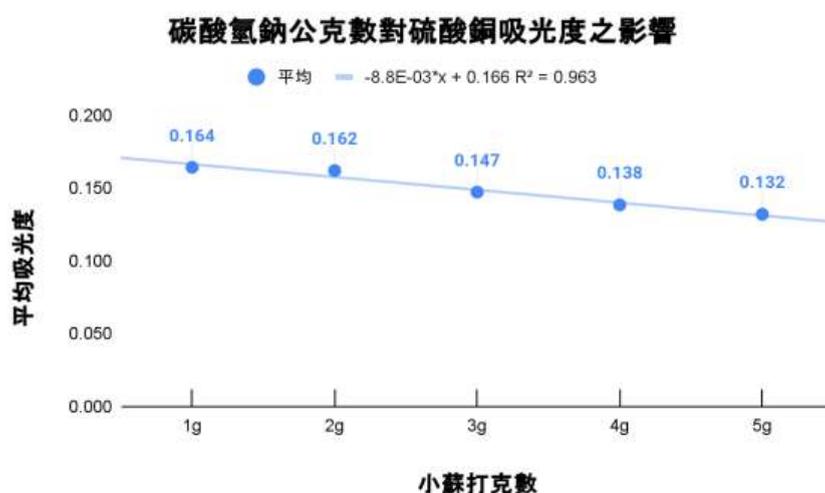


圖43 碳酸氫鈉添加量對銅離子吸光度的影響實驗數據(作者繪製)

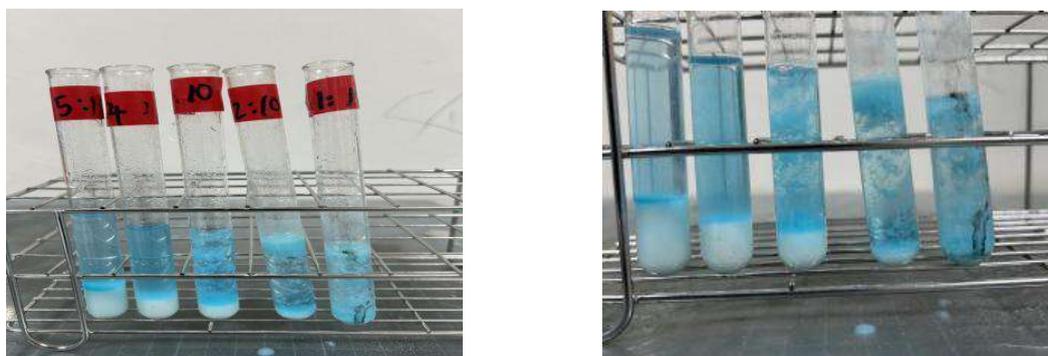


圖44 不同濃度碳酸氫鈉水溶液在硫酸銅溶液中的反應變化(作者繪製)

結果與討論:

1. (WHAT)硫酸銅與碳酸氫鈉反應，屬於雙水解反應。硫酸銅與碳酸氫鈉產生**藍色** $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 沉澱及**綠色** $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ 沉澱，此沉澱物會沉澱在試管底下和附著於試管管壁。
2. (WHY)當弱酸的酸根與弱鹼的陽離子同時存在於水溶液中時，弱酸的酸根水解生成 OH^- ，與弱鹼的陽離子水解生成 H^+ ，反應生成 H_2O ，而使兩種離子的平衡向水解方向移動，互相促進水解至完成水解為止。 **Cu^{2+} 、 Fe^{3+} ，會跟 HCO_3^- 進行雙水解反應。**
3. (HOW)鹼性水溶液確實有益於吸附重金屬離子。

八、不同 pH 值造成牡蠣殼粉和發泡煉石破損增加表面積程度之影響
 假設:加入的酸鹼值越高，破損越嚴重

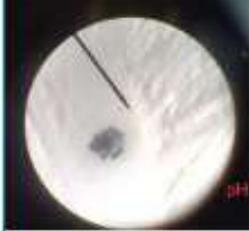
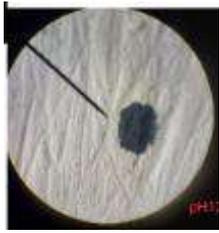
pH值	浸泡前	浸泡後
7		
8		
9		
10		
11		
12		

圖45 顯微鏡下牡蠣殼實驗照片(作者拍攝)

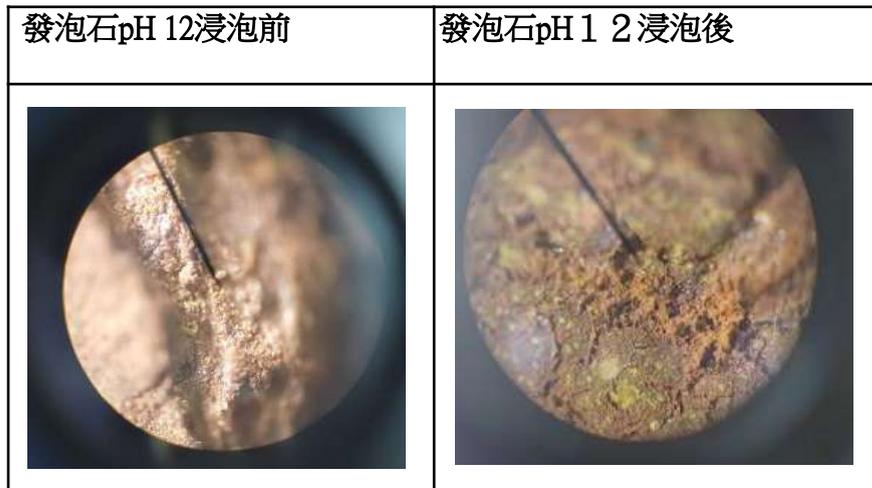


圖47 顯微鏡下發泡煉石實驗照片(作者拍攝)

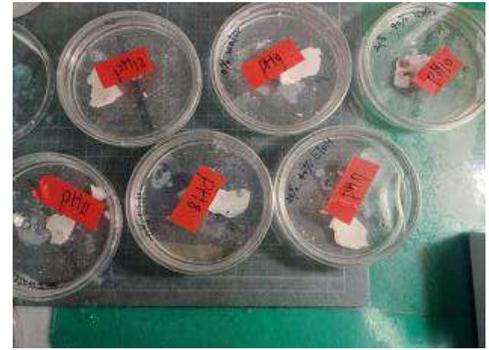


圖46 牡蠣殼浸泡鹼性實驗照片(作者拍攝)

結果與討論:

1. (WHAT)在牡蠣殼上標記定位點，浸泡不同pH值鹼液後，藉由顯微鏡觀察定位點間距，判斷表面積改變情形。
2. 發現發泡煉石受到鹼性溶液浸泡後有破損和孔洞增多趨勢
3. (WHY)當pH9~12時，牡蠣殼表面破損變化量大於pH7、pH8。
4. (HOW)由實驗得知，鹼性溶液會增加牡蠣殼表面破損嚴重因而造成孔隙數目及接觸表面積較未破損前大，使反應速率增加，而自製牡蠣殼發泡煉石也有增加孔洞趨勢，推測鹼度越高，吸附效果越好的原因是由以上兩種因素造成。

柒、結論

- 一.分光光度計使用**520nm**在一定濃度範圍內測量氯化鐵溶液**效果最佳**，而使用**650nm**則是對檢測銅離子有最好效果。
- 二.顯示氯化鐵溶液在**50ppm**用分光光度計測量(520 nm)吸光度最好，而銅離子則是用**400 ppm**用分光光度計測量(650 nm)吸光度最好。
- 三.使用**經過煨燒牡蠣殼外層碳酸鈣**確實能利用多孔物理吸附(**凡得瓦力**)吸附重金屬。
- 四.證明牡蠣殼**內層胜肽不具有吸附重金屬能力**，若比較內外層，**外層牡蠣殼吸附力遠優於內層**。
- 五.**證明添加越多牡蠣殼粉**的自製多孔發泡煉石對於重金屬離子吸附效果越好。
- 六.可以發現當**pH值大約為10**時，銅離子的吸附效果最好，推論鹼性環境使碳酸鈣產生更多碳酸氫根離子，碳酸氫根離子與銅離子生成鹼式碳酸銅沉澱，增加牡蠣殼粉的吸附。鐵離子吸光度有下降趨勢，但鐵離子融液因加入酸檢調整劑後變色，所以色無法用分光光度計同一個色碼來證明重金屬有下降趨勢。
- 七.發現自製牡蠣殼發泡煉石**可以回收再利用**，清洗晾乾後**可達到一定吸附效果**，是環保的重金屬吸附物，但仍有部分重金屬殘留填滿牡蠣殼孔隙。
- 八.發現硫酸銅與碳酸氫鈉發生雙水解反應，**硫酸銅與碳酸氫鈉產生藍色Cu(OH)₂沉澱及綠色Cu₂(OH)₂CO₃沉澱**，且證明鹼性水溶液有益吸附重金屬離子。
- 九.當**pH9~12**時，牡蠣殼表面破損變化量大於**pH7、8**，發現**鹼性溶液**會增加牡蠣殼表面破損嚴重因而造成**孔隙數目及接觸表面積變大**，使反應速率增加。

捌、未來展望

期望能再**製作出回收效果更好的廢棄牡蠣殼發泡煉石**，更深入了解其吸附原理，並利用更**準確的氧化還原滴定測量重金屬濃度**，**提高廢棄牡蠣殼的價值**，並尋找發泡煉石其他用處(用於改善土壤重金屬殘留，或製作成類似活性炭濾材)，成為**金雞「牡」**。

捌、參考資料及其他

photoAC免費照片圖片下載(圖1牡蠣)

<https://zh-tw.photo-ac.com/photo/26151010/%E7%89%A1%E8%A0%A3>

馬秉逸 容丞佑 許博策 李孟珊(2019)名偵探「蚵」南 ~以牡蠣殼作為環保材料之研究，中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書。20230906節錄自:

<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/59/pdf/NPHSF2019-082904.pdf>

農業部(2011)煨燒牡蠣殼粉-安全、環保的天然抗菌物質，農政與農情。20230908節錄自:

<https://www.moa.gov.tw/ws.php?id=23987>

維基百科 蛭石。20230908節錄自:

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%9B%AD%E7%9F%B3#%E5%90%8D%E7%A7%B0>

落葉變黑金-由校園落葉製成活性碳應用於高中 實驗室廢液處理之研究。(林詩潔 李姿瑩 蘇郁婷 蔡宛伶)中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會作品說明書。20230914節錄自:

<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/50/pdf/040808.pdf>

方新政·1991·發泡煉石之製造。台南區農業改良場研究彙報27：32~36。20230915節錄自:

<https://book.tndais.gov.tw/RBulletin/27-5.pdf>

大塚科技 光光度計原理說明。20230921節錄自:

https://www.otsuka-tw.com/technical_articles-detail/45/

20231110節錄自:記者/陳彥錦、劉彥妤

<https://mol.mcu.edu.tw/%E5%A6%82%E4%BD%95%E8%99%95%E7%90%86%E5%BB%A2%E6%A3%84>

<https://mol.mcu.edu.tw/%E8%9A%B5%E6%AE%BC%E5%95%8F%E9%A1%8C-%E5%98%89%E7%BE%A9%E7%B8%A3%E6%9D%B1%E7%9F%B3%E5%B1%85%E6%B0%91%E4%B8%8D%E5%90%8C%E8%AA%BF/>

(台灣博碩士論文知識加值系統)牡蠣殼作為綠色化學製成球型氧化鈣奈米粒子及重金屬吸附劑(2017) 研究李俊賢。節錄自20240117

<https://ndltd.ncl.edu.tw/cgi-bin/gs32/gsweb.cgi/login?o=dnclcdr&s=id=%22105NSYS5065018%22.&searchmode=basic>

國中常用元素符號。節錄自20240117

<http://163.20.145.5/list/SchoolWorksAccreditation/teacher/dir1/0551-%E5%8C%96%E5%AD%B8%E5%BC%8F1.pdf>

經濟部廢水處理常用化學藥劑應用手冊。節錄自20240124

<https://proj.ftis.org.tw/eta/WebPhotos/2017/B0735%E5%BB%A2%E6%B0%B4%E8%99%95%E7%90%86%E5%B8%B8%E7%94%A8%E5%8C%96%E5%AD%B8%E8%97%A5%E5%8A%91%E6%87%89%E7%94%A8%E6%89%8B%E5%86%8A2006%E5%B9%B4%E6%9B%B4%E6%96%B0%E7%89%88.pdf>

嘉義市第 37 屆中小學科學展覽會(2019) 作品說明書。節錄自20240229

<https://cy.jesf.eduweb.tw/cy.jesf37/Upfile/final/%E3%80%8C%E8%8D%BC%E3%80%8D%E3%80%8C%E6%AF%92%E3%80%8D%E7%94%9F%E9%9D%88-%E8%8C%B6%E8%91%89%E6%B8%A3%E5%B0%8D%E9%87%8D%E9%87%91%E5%B1%AC%E7%9A%84%E5%90%B8%E9%99%84.pdf>

碳酸氫鈣

<https://m.hxzxs.cn/view-14680-1.html>

煨燒牡蠣殼粉抗菌能力之多元利用研究(黃培安、高淑雲、吳純衡99-10-11)節錄自20240531

https://www.tfrin.gov.tw/News_Content.aspx?n=228&sms=9016&s=21421

玖、附錄

分光光度計銅離子和鐵離子波長及濃度測定數據

波長nm	0	0.5	5	50	500
400	0.265	0.320	0.378	0.412	0.519
420	0.271	0.336	0.348	0.430	0.532
440	0.284	0.349	0.384	0.441	0.542
460	0.299	0.382	0.401	0.452	0.548
480	0.306	0.396	0.440	0.469	0.552
500	0.309	0.417	0.462	0.487	0.568
520	0.340	0.420	0.464	0.490	0.570
540	0.332	0.366	0.391	0.441	0.559
560	0.288	0.332	0.362	0.403	0.558
580	0.267	0.331	0.357	0.391	0.560
600	0.213	0.302	0.329	0.384	0.574
620	0.210	0.297	0.314	0.379	0.570
640	0.192	0.288	0.305	0.374	0.570
660	0.166	0.271	0.299	0.321	0.568
680	0.138	0.265	0.234	0.216	0.552
700	0.084	0.264	0.231	0.120	0.51

分光光度計銅離子和鐵離子波長及濃度測定數據

波長 nm	10 ppm	50ppm	100 ppm	200 ppm	300 ppm	400 ppm
750	0.046	0.097	0.103	0.148	0.184	0.199
700	0.052	0.116	0.143	0.200	0.216	0.224
650	0.059	0.121	0.162	0.213	0.230	0.242
625	0.056	0.119	0.157	0.209	0.226	0.239
600	0.054	0.117	0.153	0.201	0.218	0.235
575	0.052	0.115	0.146	0.199	0.213	0.232
550	0.051	0.113	0.139	0.187	0.207	0.228
500	0.043	0.105	0.128	0.169	0.198	0.207

以上均由
作者繪製

【評語】 033005

本作品採用廢棄牡蠣殼經煅燒，製作多孔隙、可回收的發泡煉石，研究主題明確，研究設計具有可行性。建議增加數據統計分析，如分光光度計對銅離子濃度分析的偵測極限以及變異數，以支持研究再現性及結果。實驗項目：自製發泡煉石回收再利用，在吸附實驗之後，清水潤洗，即刻進行再一次的吸附，並無脫附程序，非正規的回收再利用，較像是評估飽和吸附能力的實驗。另外也需注意吸附實驗前後 pH 的變化。

作品簡報

壹、研究動機

臺灣養殖業興盛，尤其牡蠣更是台灣重要養殖水產，但留下的蚵殼堆廢棄物每年可達 16萬噸，造成環境髒亂、佔據空間。牡蠣廢棄物常使用在建築材料、土壤改良及飼料等，從文獻資料可知鍛燒後的蚵殼粉不但有抗菌功效，且能吸附重金屬，達到與活性碳的相似功能，因此本研究以自製牡蠣殼發泡石，快速吸附重金屬，達到回收再利用之經濟目的。

圖1 photoAC免費照片圖片下載

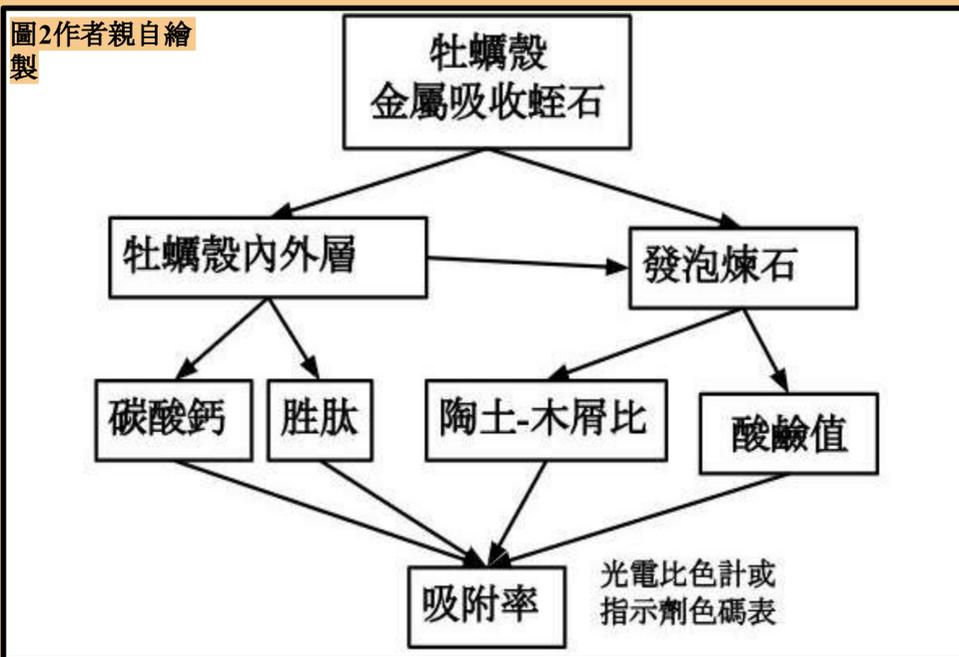


貳、研究問題

- 一、製作重金屬溶液濃度的檢量線
- 二、探討牡蠣殼粉內層與外層物質，對重金屬吸附能力之影響
- 三、探討牡蠣殼粉發泡石吸附重金屬的能力
- 四、探討酸鹼值對牡蠣殼粉發泡石吸附重金屬能力的影響
- 五、探討牡蠣殼粉發泡石回收再利用的可能性
- 六、探討碳酸氫鈉對重金屬吸附效果的影響

參、研究方法

圖2作者親自繪製



肆、研究結果與討論

實驗一之一、鐵離子(沒食子酸)的檢量線的製作

鐵離子(沒食子酸)濃度(ppm)對各個波長的吸光度(%)影響

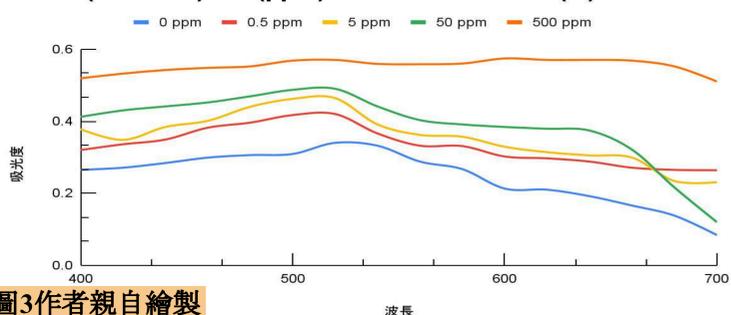


圖3作者親自繪製

根據分光光度鐵離子(沒食子酸)溶液的吸收光譜，發現測量鐵吸收度最大的波長為 520 nm 和濃度 50 ppm，故之後的實驗以此波長濃度作為鐵離子濃度的偵測訊號。

2.分析分光光度計使用 520 nm 測量的檢量線光譜圖，發現在濃度 50 ppm 時最接近吸收波高峰。

鐵離子濃度(ppm)對波長(520 nm)的吸光度(%)影響

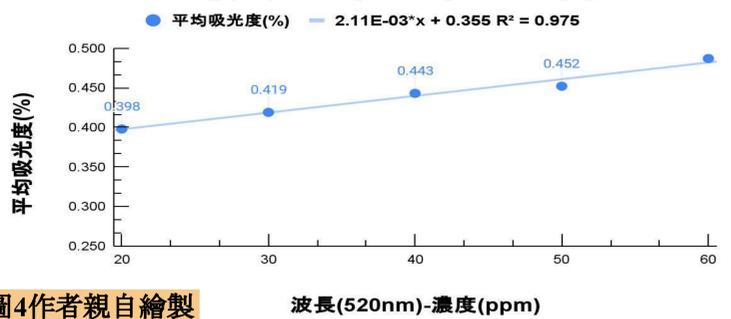


圖4作者親自繪製



圖5 作者親自拍攝



圖6 作者親自拍攝



圖7 作者親自拍攝

實驗一之二、銅離子的檢量線的製作

銅離子濃度(ppm)對波長(650 nm)的吸光度(%)影響

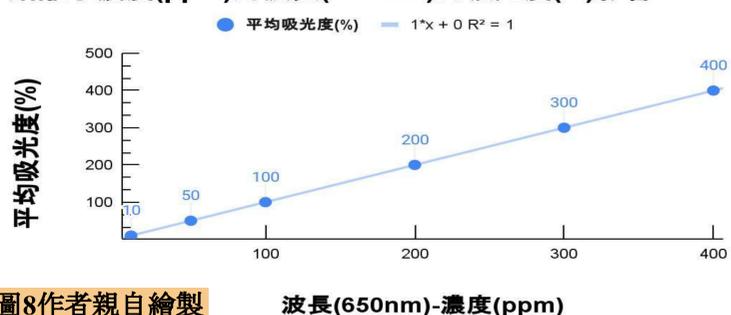


圖8 作者親自繪製

銅離子濃度(ppm)對各個波長的吸光度(%)影響

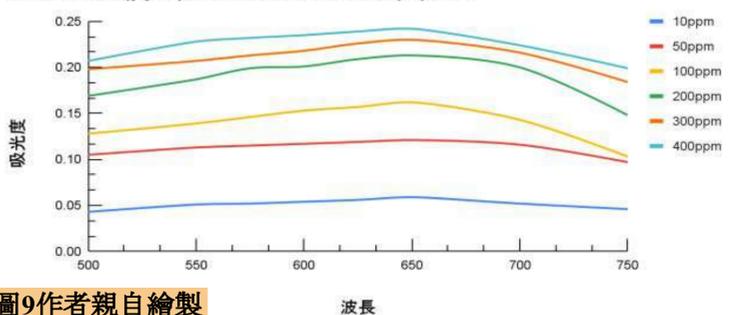


圖9 作者親自繪製

1.根據分光光度銅離子溶液的吸收光譜，發現測量銅吸收度最大的波長為 650 nm 和濃度 400 ppm，故之後的實驗以此波長濃度作為銅離子濃度的偵測訊號。

2.分析分光光度計使用 650 nm 測量的檢量線光譜圖，發現在濃度 400 ppm 時最接近吸收波高峰。

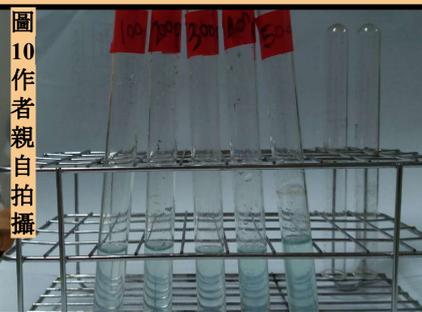


圖10 作者親自拍攝

金雞“牡”

廢棄牡蠣殼製作重金屬吸收發泡煉石之研究

實驗二、內層與外層牡蠣殼粉對鐵離子溶液吸光度的影響

因果:牡蠣殼外層主要成分是碳酸鈣，經鍛燒後成多孔隙材料。

原理:推測是碳酸鈣解離出的鈣離子與金屬離子之間的離子交換(推測是由凡得瓦力(vander Waals force)所形成，當吸附質通過吸附劑時，二者分子間所帶的電子將產生連續波動，進而產生暫時性及迅速變動的偶極矩之間，而構成物理吸附)，造成溶液中的鐵離子被移除。

內層及外層牡蠣殼粉重對鐵離子吸光度之影響

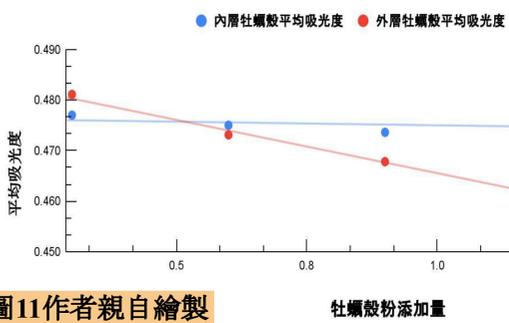


圖11作者親自繪製

牡蠣殼粉添加量



圖12作者親自拍攝

因果:牡蠣殼內層具有胜肽層(珍珠層)但卻無法幫助重金屬的吸收。

原理:推測牡蠣殼內層珍珠蛋白Conchiolin是種硬蛋白，不易和金屬離子結合。後續改良將以牡蠣殼外層粉末圍住要成分。

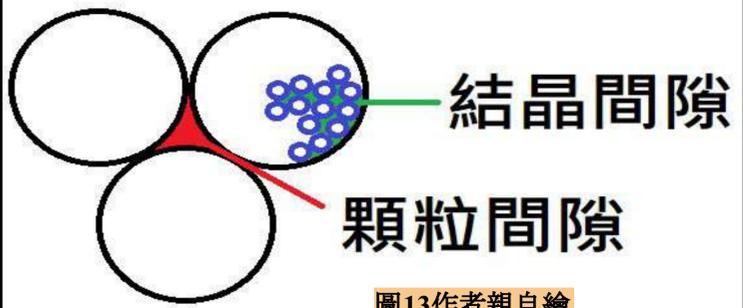


圖13作者親自繪製

牡蠣殼粉孔隙大小分為顆粒間隙及結晶間隙(右圖為比例尺200μm寬，結晶顆粒約為20μm(微米，而結晶間約為2μm-微米，推測是此處吸附重金屬。)

實驗四、牡蠣殼粉添加比例對發泡煉石吸收鐵離子的影響

牡蠣殼發泡煉石的製

發泡煉石吸收鐵離子的影響

牡蠣殼添加比例對發泡煉石吸收重金屬之吸光度影響

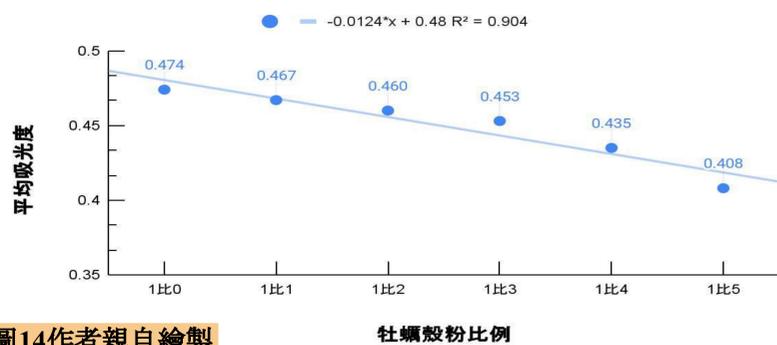


圖14作者親自繪製

牡蠣殼粉比例

因果:牡蠣殼成分碳酸鈣 煅燒後呈多孔隙並配合發泡煉石孔洞吸附力進行物理吸附，能有效吸收重金屬。

原理:牡蠣殼在發泡煉石吸附比較煅燒後呈多孔隙材料並結合發泡煉石的吸附力進行物理吸附，更能有效吸附重金屬。

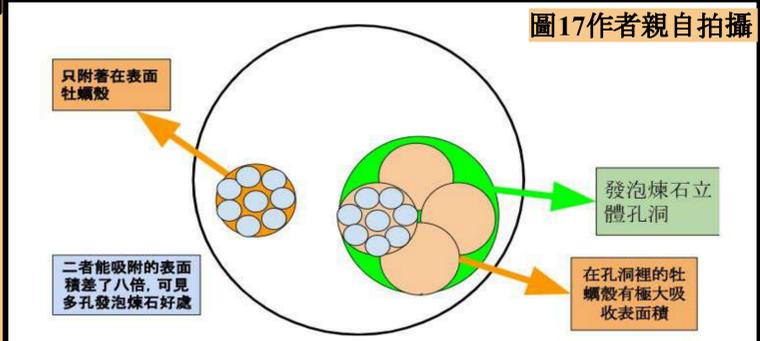


圖17作者親自拍攝



圖15作者親自拍攝



圖16作者親自拍攝

實驗五、牡蠣殼發泡煉石在不同酸鹼值下的吸附硫酸銅和氯化鐵能

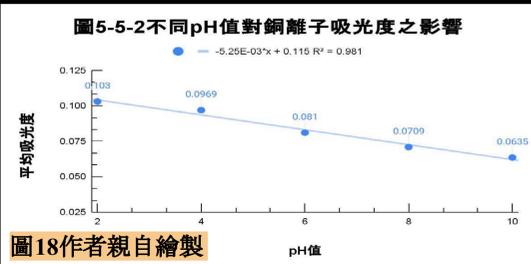


圖18作者親自繪製

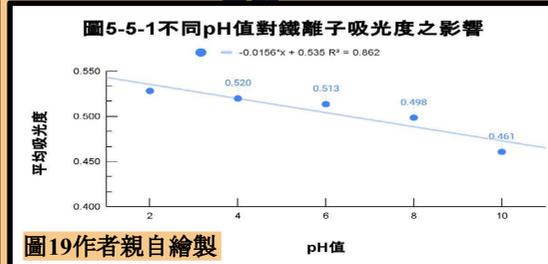


圖19作者親自繪製

因果:發現銅離子酸鹼值在pH=10時吸附效果最好。

原理:推測加入鹼性物質會和氫離子中和，使平衡反應偏向正反應 $H_2CO_3 \leftrightarrow H^+ + HCO_3^-$ 產生更多的碳酸氫根，會吸附更多金屬離子。



圖20作者親自拍攝

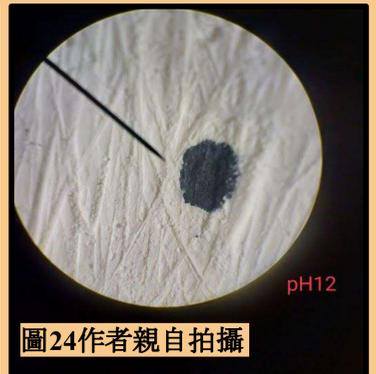
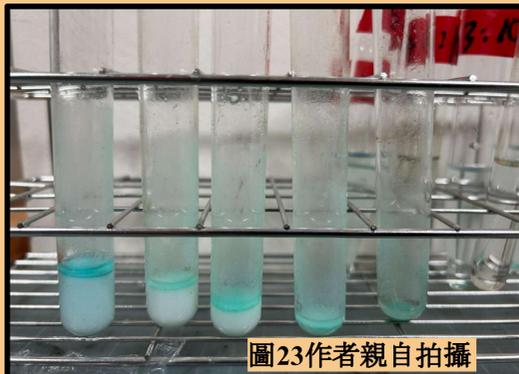
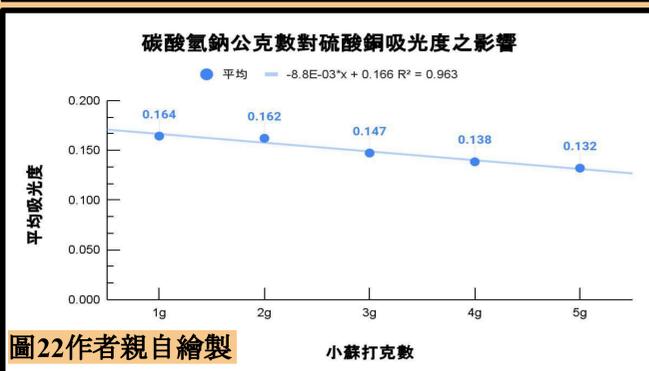


圖21作者親自拍攝

因果:銅離子在pH10時吸附效果最好，但鐵離子色碼無法準確測量。

原理:鐵溶液呈黃棕色是因水解生成 Fe^{2+} 的顏色，加酸顏色會變淡，加鹼顏色會變深
未來展望:利用過錳酸鉀 $KMnO_4$ 標準溶液來進行氧化還原滴定得知 Fe^{3+} 濃度。

實驗六、不同濃度下，碳酸氫鈉水溶液對重金屬吸光度之影響

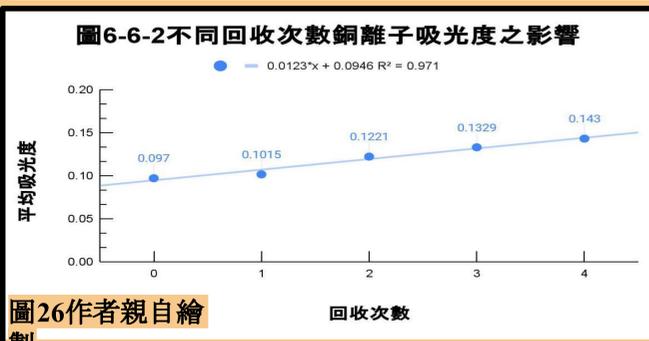
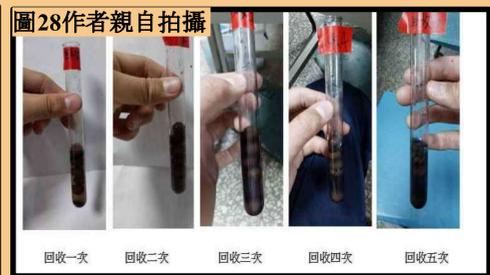
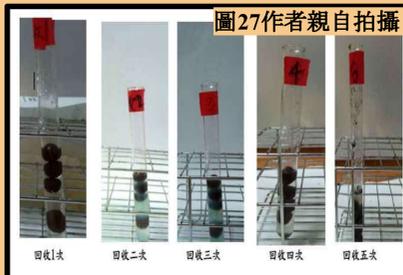
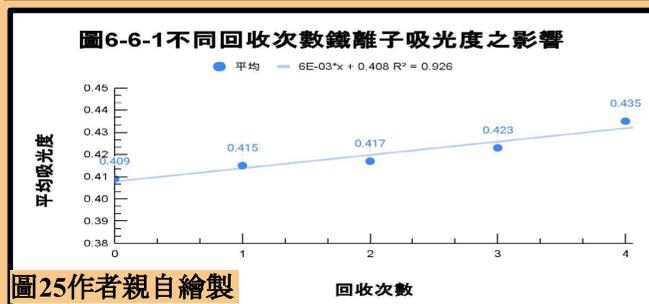


因果:硫酸銅與碳酸氫鈉產生藍色 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 沉澱及綠色 $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ 沉澱，此沉澱物會沉澱在試管底下和附著於試管管壁。

原理:當弱酸的酸根與弱鹼的陽離子同時存在於水溶液中時，弱酸的酸根水解生成 OH^- ，與弱鹼的陽離子水解生成 H^+ ，反應生成 H_2O ，而使兩種離子的平衡向水解方向移動，互相促進水解至完成水解為止。 Cu^{2+} 、 Fe^{3+} ，會跟 HCO_3^- 進行雙水解反應。此實驗也證明了實驗五的推論，鹼性水溶液確實有益於吸附重金屬離子

原理:在此實驗中，發現鹼性也會影響牡蠣殼破損，進而影響到表面積和吸附能力。

實驗七、牡蠣殼發泡煉石回收再利用後吸附氯化鐵和硫酸銅能力



1. **因果:**回收後牡蠣殼粉發泡煉石有一定吸收能力，並可回收3次以上。

2. **原理:**有重金屬滲入發泡煉石 牡蠣殼孔洞會被重金屬填滿，因此再次利用時吸附能力較差。未來展望:可利用其他方法完全去除重金屬達到真正回收再利的效果。

柒、結論

一.氯化鐵溶液在 50ppm 用分光光度計 520nm 測量時，和銅離子在 400ppm 用分光光度計 650 nm 測量時，最好效果。

二.使用經過煨燒牡蠣殼外層碳酸鈣 確實能利用多孔物理吸附 (凡得瓦力) 吸附重金屬，而內層胜肽不具有吸附重金屬能力，外層牡蠣殼吸附力遠優於內層。

四.證明添加越多牡蠣殼粉的自製多孔發泡煉石對於重金屬離子吸附效果越好。

五.當 pH 值大約為 10 時，銅離子吸附效果最好，鐵離子吸光度有下降趨勢，但鐵離子因加入酸鹼調整劑後變色，無法用分光光度計同一個色碼來證明重金屬有下降勢。

六.發現自製牡蠣殼發泡煉石 可以回收再利用，清洗晾乾後 可達到一定吸附效果，是環保的重金屬吸附物，但仍有部分重金屬殘留填滿牡蠣殼孔隙。

七.發現硫酸銅與碳酸氫鈉發生雙水解反應，硫酸銅與碳酸氫鈉產生藍色 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 沉澱及綠色 $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ 沉澱，且證明此化學式 $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$ ，並確定鹼性水溶液有益吸附重金屬離子。

八.當 pH 9~12 時，牡蠣殼表面破損變化量大於 pH 7、8，發現鹼性溶液會增加牡蠣殼表面破損嚴重因而造成孔隙數目及接觸表面積變大，使反應速率增加。

捌、未來展望

期望能製作出回收效果更好的廢棄牡蠣殼發泡煉石，更深入了解其吸附原理，並用更準確的氧化還原滴定測量重金屬濃度，也可測量同時有銅鐵離子的溶液，提高廢棄牡蠣殼的價值，並尋找發泡煉石其他用處 (如改善土壤重金屬殘留，或製作成類似活性炭濾材)，成為金雞“牡”。

玖、參考資料及其他

- photoAC免費照片圖片下載 (圖1牡蠣) <https://zh-tw.photo-ac.com/photo/26151010/%E7%89%A1%E8%A0%A3>
- 馬秉逸 容丞佑 許博策 李孟珊(2019)名偵探「蚵」南~以牡蠣殼作為環保材料之研究，中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書。20230906節錄自: <https://wsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/59/pdf/NPSP2019-082904.pdf>
- 農業部(2011)煨燒牡蠣殼粉-安全、環保的天然抗菌物質，農政與農情。20230908節錄自: <https://www.moa.gov.tw/ws.php?id=23987>
- 維基百科 銻石。20230908節錄自: <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%9B%AD%E7%9F%B3%E5%90%8D%E7%A7%B0>
- 落葉雙黑金-由校園落葉製成活性碳應用於高中 實驗室廢液處理之研究。(林詩潔 李姿瑩 蘇郁婷 蔡宛伶)中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會 作品說明書。20230914節錄自: <https://wsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/50/pdf/040808.pdf>
- 方新政。1991。發泡煉石之製造。台南區農業改良場研究彙報27: 32-36。20230915節錄自: <https://book.tndais.gov.tw/RBulletin/27-5.pdf>
- 大家科技 光度計原理說明。20230921節錄自: https://www.otsuka-tw.com/technical_articles-detail/45/
- 20231110節錄自:記者陳彥錦、劉彥妤 <https://mol.mcu.edu.tw/>
- (台灣博碩士論文知識加值系統)牡蠣殼作為綠色化學製成球型氧化鈣奈米粒子及重金屬吸附劑(2017) 研究李俊賢。節錄自20240117 <https://ncltd.ncl.edu.tw/cgi-bin/g32/gswweb.cgi/login?o=dncldr&ssid=%22105NSYS065018%22.&searchmode=basic>
- 國中常用元素符號。節錄自20240117 <http://163.20.145.5/jist/SchoolWorksAccreditation/teacher/dir/10551-%E5%8C%96%E5%AD%B8%E5%BC%8F1.pdf>
- 經濟部廢水處理常用化學藥劑應用手冊。節錄自20240124 <https://proj.ftis.org.tw/eta/WebPhotos/8.pdf>
- 嘉義市第 37 屆中小學科學展覽會(2019) 作品說明書。節錄自20240229 <https://cysf.edu.tw/web/tw/>
- 碳酸氫鈣 <https://m.bxzs.cn/view-14680-1.html>
- 煨燒牡蠣殼粉抗菌能力之多元利用研究(黃培安、高淑雲、吳純銜99-10-11)節錄自20240531 https://www.tfrin.gov.tw/News_Content.aspx?n=228&sms=9016&ss=21421