

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 化學科

030208

好「蝦」好「辣」好乾淨

-辣木籽與甲殼素淨水效應探討

學校名稱：新竹縣立博愛國民中學

作者： 國二 張婷婷 國二 溫昕荷	指導老師： 陳鴻文
-------------------------	--------------

關鍵詞：辣木籽、濁度、化學吸附

摘要

「高分子蛋白」因無毒已慢慢取代化學混凝劑成為淨水材料新趨勢。本實驗探討辣木籽與甲殼素淨水效應探並找出最佳條件。結果:①泥水原水濁度去除率% :活性炭(82.7%)> 甲殼素(82.3%)> 炭化辣木籽(66.3%)> 辣木籽(62.8%)>多元氯化鋁(61.3%)>明礬(40.9%) ②藍色染料色度去除率>80%。③最佳比例:活性炭粉:炭化辣木籽粉:辣木籽粉:甲殼素粉: =2: 2: 1: 1④.最佳 pH 範圍 6~7.5, pH6.5 濁度去除率 97.5%、色度去除率 93.1%。⑤Freundlich 等溫吸附模式, 顯示最佳最佳比例混凝劑吸附容量大, 屬有利性吸附。⑥最佳最佳比例混凝劑銅離子飽和吸附當量 $q_e=809.0(\text{mg/g})$ 。展望未來:為了永續生存,「高分子蛋白」混凝劑應繼續開發研究, 讓它能推廣使用, 使台灣以環保著稱, 成為名符其實的福爾摩沙。

壹、 研究動機與教材相關性

(一)研究動機

之前曾在網路上看到一個「使用辣木樹種子可以快速淨化水質」的影片, 影片中的效果相當顯著, 太過神奇, 所以我們對此抱持懷疑態度; 再加上台灣的水資源因地形的關係較容易流失且汙染嚴重, 相對乾淨又可利用的水資源就更少了; 而國中理化課本也有提到離子吸附沉降的相關概念, 因此我們整合了這些疑問和概念, 希望能透過這項研究找出快速、方便、對環境友善又環保的淨水物質和方法。我們將以「辣木籽」及已知的「甲殼素」為研究主軸, 並研究其他已知的淨水物質, 找出淨化水質的最佳方法。

(二)研究與教材相關性

1. 本研究結合自然與生活科技(一)南一版:

科學方法:(1)觀察(2)提出問題 (3)參考文獻(4)提出假說 (5)實踐設計 (6)分析結果 (7)結論。

維持生命的營養:醣類與澱粉

2. 自然與生活科技(三) 南一版 第三章物質分離

3. 自然與生活科技(四) 南一版 第一章 化學反應種類 第五章 有機化合物、炭化反應、分子親和力。

貳、 研究目的

本研究分成三部分:

- 一、探討辣木籽與甲殼素作為混凝劑處理高濁度原水之效果。
- 二、是探討辣木籽與甲殼素處理原水色度之效果。
- 三、是作為吸附劑移除水中重金屬銅離子之研究。

●目的:

- 一、萃取甲殼素與製作炭化辣木籽
- 二、探討混凝劑種類去除濁度效應
- 三、探討混凝劑種類去除色度效應
- 四、混凝劑添加劑量及最佳比例效應
- 五、混凝劑對原水 pH 值效應
- 六、混凝最佳 pH 值與氧化電位效應
- 七、最佳比例混凝劑對銅離子吸附效應
- 八、管柱淨水效應探討

●特色:

1. 「高分子蛋白」辣木籽與甲殼素取代化學混凝劑。
2. 研究兼具物理性吸附與化學性吸附。
3. 同時探討濁度、色度、pH、重金屬吸附效應。
4. Freundlich 等溫吸附模式推估。
5. 管柱吸附試驗。

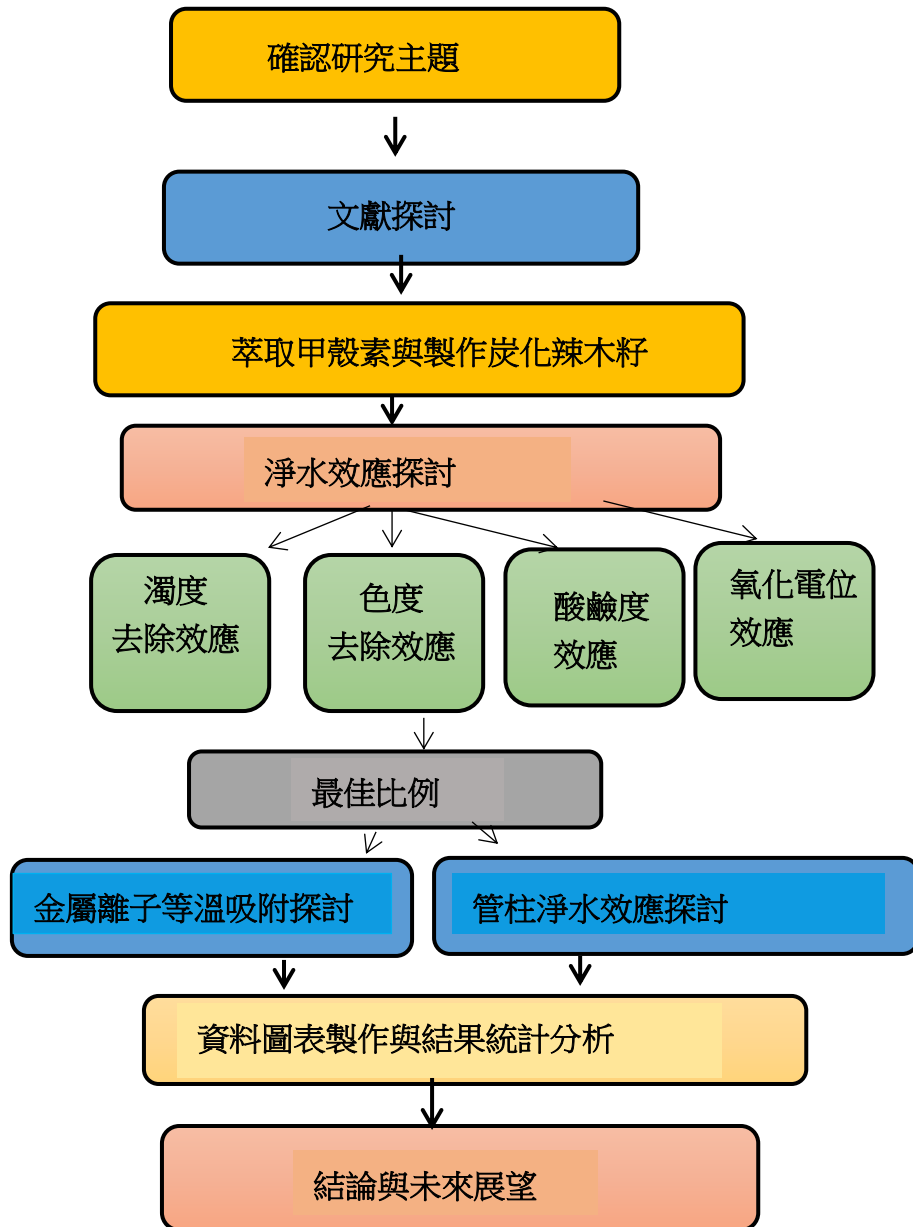


圖 1 研究流程架構圖

叁、文獻探討

一、辣木籽

起源於印度及非洲，辣木（Moringa；也被當地人稱作 Malunggay 生命之樹）屬於多年生熱帶落葉喬木，樹齡長達 20 年。辣木的果莢細長，約 20~60 公分。辣木樹的嫩葉的生長速度很快，約 2-3 星期即可採收一次；較老的葉子，則可在採收後乾燥加工成粉末作為食品添加物。辣木的莢含有約 12~35 個辣木籽，每棵辣木樹每年平均可生產一萬到三萬粒不等的種子，其外殼呈灰褐色的三角形果實，成熟辣木種子含油率約有 30~40%，可榨成油脂⁽¹⁻²⁾。


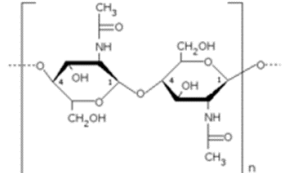
天然的辣木籽淨水劑和化學性淨水劑比起來，具有無毒、可降解、對環境較無害等優點。它對於所淨化水的 pH 值及導電性沒有影響，淨水過程中還能夠除去水中微生物和污水中重金屬離子⁽³⁾；辣木籽中含有許多低分子量水溶性蛋白質，會在溶液裡呈正電性，和讓水混濁的負電性微粒，如泥沙、黏土、細菌等結合。配合適當的攪拌後，可幫助除去 90% 以上的細菌、淨化混濁的飲水。對獲取潔淨水源相對困難的非洲與印度居民來說，辣木籽無疑是天然又方便的淨水工具⁽⁴⁾。其淨水後所產生的淨水汙泥體積僅為化學淨水劑的 1/3，且該可做為肥料使用，不但不傷害環境，且更加經濟、方便。通過對辣木活性成分的提取與處理，可將其運用到廢水處理及高濁度水體淨化中，也可提高景觀水體的感官效果⁽³⁾。

	
辣木	辣木籽

二、甲殼素(幾丁質)介紹

幾丁質（英語：Chitin），分子結構「 $(C_8H_{13}O_5N)_n$ 」，又名甲殼素、幾丁聚醣、幾丁寡醣、甲殼質或殼多醣，是一種含氮的多醣類物質。幾丁質為長鏈狀聚合物，是由約 8000 個葡萄糖的衍生物，N-乙醯葡萄糖胺作為單體聚合而成，且是自然界的一種半透明而堅固的材料，常見於真菌的細胞壁和節肢動物（如蝦、蟹）或昆蟲的外骨骼。幾丁質與屬多醣的纖維

素類似，都會構成奈米纖維或細毛狀的晶體結構，在實際功能上，則近於構成皮膚的角質蛋白，因為具有這些特性，幾丁質在醫學和工業上具有實用價值，例如在工業上被用於水和廢水淨化，作為穩定食物的食品添加劑和藥品，還可以作為染料、織物、黏合劑。工業的分離薄膜和離子交換樹脂可用幾丁質製成，加工紙的大小和強度也使用幾丁質。(4)

	
甲殼(蝦殼)	甲殼素(基丁質)構造

三、分光光度計原理

「分光」光度計的設計原理，是將燈源的光線分散成七彩色光，並從中擷取出某個「單一色光」，然後讓這個「單一色光」穿過樣品溶液之後，以光感測器量測這個單一色光的衰減程度，並將此衰減程度量化成數字。最後，以單一色光被樣品溶液所吸收的比例，來呈現測量結果（也可以穿透的比例來呈現）透過測量光吸收度推算出溶液濃度。這個比例，可以從還沒有放置樣品之前（基線 **Baseline**）、以及放樣品之後，由光感測器所測得的單一色光強度，來得到樣品在該色光下的相對「光度」。這便是「分光」「光度」計的原理。(5)

四、濁度與濁度計

水質濁度（turbidity），是指水樣中因為大量肉眼可見懸浮物質而造成的混濁情形，濁度量測是水污染的重要測試項目之一。流體中可能包括許多大小不同的懸浮物質，夠大夠重的懸浮物質在液體靜置時會沈澱到底部，但非常小的懸浮物質沈澱較慢，若是水體定時攪拌或是形成膠體，懸浮物質甚至不會沈澱。這些小的粒子就是讓液體變混濁的原因。水中含有泥土、粉砂、微細有機物、無機物、浮游生物等懸浮物和膠體物都可以使水質變的渾濁而呈現一定濁度，1L 水中含有 1mg SiO₂所構成的濁度為一個標準濁度單位，簡稱 1 度(NTU)。通常濁度越高，溶液越渾濁。

正常之酸性環境的水質為澄清狀態，中性或鹼性環境水質經常出現混濁現象，來自於金屬離子與氫氧根或碳酸根所形成的懸浮固體以及水體中的微生物。濁度測定起源於傑克遜濁光度

測定法，單位為 JTU (Jackson turbidity unit)，現今濁度分析慣用散射比濁測定法，單位為 NTU (nephelometric turbidity unit) (6)。

濁度計發出光線，使之穿過一段樣品，並從與入射光呈 90°的方向上檢測有多少光被水中的顆粒物所散射。一束平行光在透明液體中傳播，如果液體中無任何懸浮顆粒存在，那麼光束在直線傳播時不會改變方向；若有懸浮顆粒，光束在遇到顆粒時就會改變方向（不管顆粒透明與否）。這就形成所謂散射光。顆粒愈多（濁度愈高）光的散射就愈嚴重。

三、混凝及膠凝作用

混凝的意義就是要打破膠體粒子的穩定狀態，也就是降低粒子與粒子間的互斥電位，使粒子能相互接觸而凝聚。讓凝聚後的膠羽成為較大的個體而增加其沉降速度，稱為膠凝。降低粒子間互斥電位的方法有增加電荷或是電解質濃度，這些電解質通稱為混凝劑，為了增加電荷，常被用做為混凝劑的電解質有三價的鐵鹽或鋁鹽。當混凝劑加入水或廢水中時，即發生膠體之去穩定化作用(destabilization)並形成膠羽進一步產生沉降⁽¹⁰⁻¹¹⁾。

四、吸附或化學吸附原理

吸附(adsorption)是利用吸附劑(Adsorbent)的吸附容量將溶液中之吸附質(Adsorbate)結合於吸附劑表面的現象。吸附作用可以區分為物理性吸附(Physical Adsorption)及化學性吸附(Cheical Adsorption)。物理性吸附其吸附能小於 10 Kcal/mole，主要的親和作用力為凡得瓦力(Van der Waals)，當溶液中溶質與吸附劑間的吸引力大於溶質與溶劑間之吸引力時，溶質即被吸附於吸附劑上，為一種可逆反應。化學性吸附的吸附能大於 10 Kcal/mole，其親和作用力是利用吸附質與吸附劑之活性位置間所形成的化學鍵結，是一種不可逆現象。在環境工程中常利用吸附技術以去除廢、污水中的毒性物質，或難以被生物降解的污染物如重金屬、農藥、清潔劑、臭味物質、或產生色度的物質等。例如常用於環境工程上之吸附劑—活性炭(Activated Carbon)、活性鋁(Activated Alumina)或矽膠(Silica gel)等；在給水工程中，利用活性炭可以去除臭味及色度；用於廢水的三級處理中，可以用來吸附水中的色度、臭味及有機物質；也可以用於工業廢水的處理中，以去除毒性有機物質⁽¹⁰⁻¹¹⁾。

化學吸附是由分子間的化學反應所導致的吸附作用，過程中可能發生電子轉移、原子重排、化學鍵的破壞與形成等過程，以離子結合最受重視，其有明顯的選擇性，作用力為化

學鍵力，只能單層吸附，且吸附和脫附速度都較慢，不易達到吸附平衡。提高溫度，則可以加快吸附的速度。

化學吸附(活性吸附)：(1)高溫通用 (2)吸附熱高於 10kcal 以上。(3)分子間有化學鍵。
(4)吸附熱=生成熱。(5)為一不可逆吸附。(6) Freundlich 吸附模式








六、台灣水資源與水污染

台灣地區地狹人稠、山坡陡峭、雨勢集中，再加上河川短促，所以大部分的雨水都迅速地流入海洋。因此，台灣地區每人每年平均可以分配到的水約只有一千公噸（1,000 立方公尺），以目前世界可用水量的標準來說，台灣地區是屬於缺水國家。台灣地區中度污染的河段有 451.30 公里，佔河川總長度的 15.38%；嚴重污染的河段有 386.20 公里，佔河川總長度的 13.16%。也就是說河川污染的問題愈來愈嚴重，結果導致許多河川的水質無法利用，相對地可用的水量也就愈來愈少了。

七、淨水相關文獻整理

篇名	濾料	結果	評論
DIY 隨行濾水杯 ⁽⁷⁾	活性炭、麥飯石	總溶解固體符合標準	定量不足，缺乏濁度、色度測量
環保淨水器 ⁽⁸⁾	辣木籽、明礬、黃豆粉	辣木籽粉具有良好淨水效果 黃豆粉不具淨水效果	濁度缺乏定量、缺乏重金屬、色度吸附測量，未有吸附曲線實驗與計算
甲若殼以結素重金屬汙染－甲殼素吸附重金屬水溶液 ⁽⁹⁾	甲殼素	pH值越小時，甲殼素對銅離子吸附量越多	缺乏色度吸附測量，未有吸附曲線實驗與計算

肆、研究器材

					
磨粉機	分光光度計	濁度計	錫箔紙	高溫烤箱	酸鹼度計
					
攪拌棒	夾鏈袋	100mL 燒杯	電子磅秤	1L 燒杯	電腦顯微鏡
					
量筒	紙巾	加熱攪拌器	藍紅色染料	辣木子	蝦殼
					
硫酸	氫氧化鈉	活性碳	多元氯化鋁	明礬	氧化還原電位計(ORP 計)

伍、研究過程

一、蒐集資料：

- (1) 用電腦網路收集澱粉與塑膠製程等相關資料
- (2) 參考相關文獻資料說明

二、調查市售常見混凝劑或吸附劑比較

種類	聚氯化鋁	明礬	活性碳
特性	是一種多羥基，多核絡合體的陽離子型無機高分子絮凝劑，固體產品外觀為黃色或白色固體粉末，且易	含有結晶水的硫酸鉀和硫酸鋁的複鹽。無色立方晶體，外表常呈八面體。密度 1.7g/cm ³ ，熔點 92.5℃。64.5℃時失去 9 個分	活性炭主要由果殼(核)等含碳材料製成，外觀呈黑色，內部孔隙結構發達，具有很強的吸附能力，能有效地吸附水

	<p>溶於水，有較強的架橋吸附性，在水解過程中伴隨電化學，凝聚，吸附和沈淀等物理化變化，最終生成 $Al_2(OH)_3(OH)_3$，從而達到淨化目的。</p> <p>●缺點:鋁離子對人體有害，過多攝入會導致缺鈣，對大腦造成損傷，積聚在肝、脾、腎等部位，妨礙人體的消化吸收功能。</p>	<p>子結晶水，200°C時失去12個分子結晶水，溶于水，不溶於乙醇。Al^{3+}與水電離產生的 OH^- 結合生成了氫氧化鋁，氫氧化鋁膠體粒子帶有正電荷，與帶負電的泥沙膠粒相遇，彼此電荷被中和。失去了電荷的膠粒，很快就會聚結在一起，粒子越結越大，終於沉入水底。</p> <p>●缺點:明礬性味酸澀，寒，有毒。</p>	<p>中的有機污染物。</p> <p>活性炭對分子量 500-1000 範圍內的有機物具有較強的吸附能力。活性炭對有機物的吸附受其孔徑分佈和有機物特性的影響，主要是受有機物的極性和分子大小的影響。</p> <p>●缺點:同樣大小的有機物，溶解度越大、親水性越強，活性炭對它的吸附性越差，反之，對溶解度小，親水性差、極性弱的有機物如苯類化合物、酚類化合物等具有較強的吸附能力。</p>
--	---	---	---

三、甲殼素製備

本研究甲殼素製備參考相關文獻^(9,12-13)，修正如下:

步驟一：將廢棄的螃蟹殼及龍蝦殼洗淨後烘乾，再利用研鉢及杵將蝦蟹殼磨碎

步驟二：以2M的HCl浸泡，靜置一天(起始反應會產生氣泡)



步驟三：倒掉步驟二之HCl廢液，以蒸餾水清洗多次，直至去碳酸鈣的蝦蟹殼為中性，濾出後以高溫烤箱烘乾。

步驟四：加入2.5M的NaOH，攪拌並加熱到70度，浸泡一天，以去除蛋白質。

步驟五：倒掉步驟四之NaOH廢液，以蒸餾水清洗多次，直至去蛋白質的蝦蟹殼為中性，濾出後以高溫烤箱烘乾，得到甲殼素，以磨粉機磨粉備用。

四、炭化辣木籽(活性炭)製備

使用化學法（藥品活化法）

步驟一：將辣木籽浸入飽和氯化鋅溶液中三天。

步驟二：將辣木籽自氯化鋅溶液中取出，以鋁箔紙包覆後以酒精燈進行乾餾 2 小時再移入高溫烤箱進行烘烤，烘烤完後以磨粉機磨粉。

六、混凝劑種類去除濁度效應

實驗設計：操縱變因：辣木籽、炭化辣木籽、甲殼素、多元氯化鋁、明礬、活性炭。

控制變因：混凝劑劑量(1g/100mL)、原水濁度 500NTU

、混凝攪拌速度(200 rpm, 30sec, 50rpm 3min)、沉降時間(2hr)。

應變變因：濁度去除率。

七、混凝劑種類去除色度效應

實驗設計：操縱變因：辣木籽、炭化辣木籽、甲殼素、多元氯化鋁、明礬、活性炭。

控制變因：色度(藍色染料 3000mg/L，紅色染料 3000mg/L)

、混凝攪拌速度(200 rpm, 30sec, 20rpm 3min)、沉降時間(2hr)。

紅: 580nm 藍: 500nm 銅離子: 600nm

八、混凝劑添加劑量及最佳比例效應

實驗設計：操縱變因：(1)辣木籽、炭化辣木籽、甲殼素、多元氯化鋁、明礬、活性炭劑量。

(2)混合比例

控制變因：原水濁度 500NTU，、混凝攪拌速度(200 rpm, 30sec, 20rpm 5min)

、沉降時間(2hr)。

應變變因：濁度去除率。

九、混凝劑對原水 pH 值效應

實驗設計：操縱變因：辣木籽、炭化辣木籽、甲殼素、多元氯化鋁、明礬、活性炭。

應變變因： Δ pH。

十、混凝最佳 pH 值與氧化電位效應

實驗設計：操縱變因：pH 值、ORP 氧化電位。

應變變因：濁度去除率%、紅色色度去除率%、銅離子去除率%

十一、最佳比例混凝劑對銅離子吸附效應

依 Freundlich 吸附模式進行實驗與計算

$$\log q_e = \log K_F + 1/n \log C_e$$

- (1) 其中 q_e 為平衡時單位吸附劑之吸附量(ADMI L/g)
- (2) C_e 為被吸附質之平衡濃度(ADMI)
- (3) K_F 和 n 為 Freundlich 常數，分別代表吸附容量和吸附強度

十二、最佳比例混凝劑的吸附實驗：

不同濃度的硫酸銅溶液，對甲殼素吸附銅離子的關係：

01. 配製標準溶液 100、500、1000、2000mg/L 各取 500 ml，每種濃度各三杯
02. 秤之前製作的最佳比例混凝劑(RCs)活性碳、炭化辣木籽、辣木籽、甲殼素 =2:2:1:1) 各取 0.33、0.33、0.16、0.16 克共 1 克。
03. 測量未吸附前的照度。並放置於室溫下(25 °C)。
04. 加入最佳比例混凝劑(RCs)，吸附 2 小時。
05. 吸附後的溶液約取 3 ml，加入分光 cell 中，並以超音波震盪去除溶液中的氣泡。
06. 以簡易分光光度計測量銅離子吸光值。(銅離子:600nm)
07. 將數值帶入標準曲線線性迴歸方程式，得到吸附後濃度，並計算出濃度差。

$$\text{吸附率}\% = (\text{濃度差}/\text{起始濃度}) \times 100\%$$

利用以下公式計算：被吸附的離子莫耳數=吸附前後的濃度差×溶液的公升(0.5L)···(1)

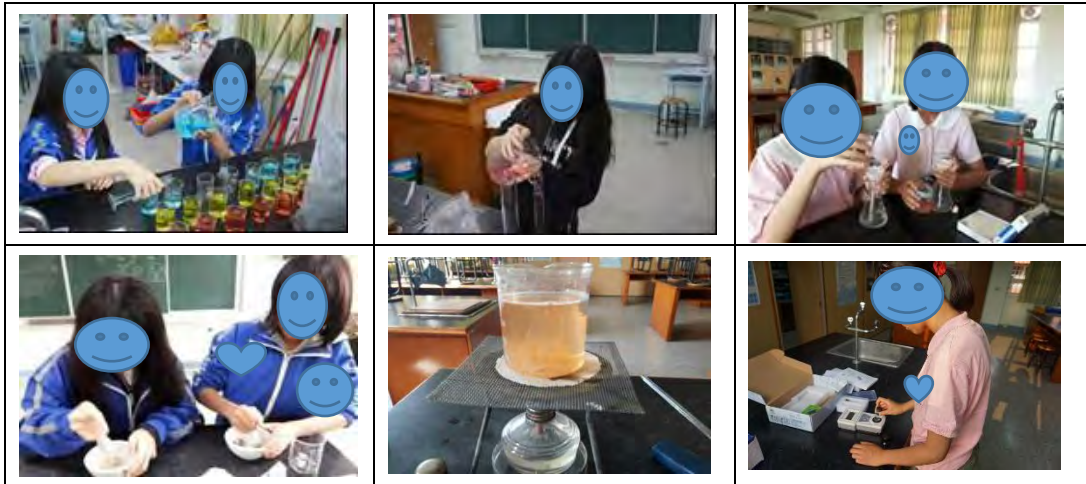
由上式即可算出吸附量 $q_e = (\text{吸附前後的濃度差} \times \text{溶液的公升}(0.5L)) \times \text{銅原子量} / 0.8g$ 。

C_e :平衡時銅離子濃度

十三、管柱淨水效應

1. 由下而上在針筒中充填活性炭粉:炭化辣木籽粉:辣木籽粉:甲殼素粉: =2: 2: 1: 1 比例，分別添加: 2g、2g、1g、1g 共 4g，每個物質中間以海棉當作夾層避免混合及析出。
2. 配製三種濃度硫酸銅溶液(500、1000、2000mg/L)倒入針筒管柱中，擠壓針筒並過濾出水溶液。
3. 當達到飽和析附濃度時即原始濃度 90%，則停止。
4. 分別計算:飽和吸附量、飽和吸附當量、去除率。





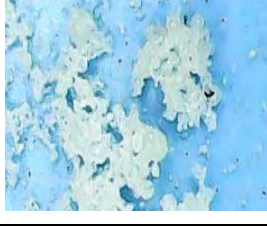

實驗過程圖



陸、結果與討論

實驗一、萃取甲殼素與製作炭化辣木籽

表一 顯微鏡分析辣木籽與甲殼素結構

混凝劑	結構圖	結果
辣木籽		<ol style="list-style-type: none"> 1. 顏色淺黃色 2. 孔隙大 3. 形狀立體鋸齒不規則 4. 溶解度小，易起泡，劑量不宜太多 5. 水溶液呈微酸性
甲殼素		<ol style="list-style-type: none"> 1. 顏色淺黃色 2. 孔隙中等 3. 形狀鋸齒略扁平 4. 溶解度小，易起泡，劑量不宜太多 5. 甲殼素純度經分析鑑定約為 50-60%
炭化辣木籽		<ol style="list-style-type: none"> 1. 顏色黑色 2. 粒徑小 孔隙小 3. 易因靜電粒產生凝絮聚集成狀塊、膨鬆狀 4. 密度小易產生漂浮，劑量不宜太多
活性炭		<ol style="list-style-type: none"> 1. 顏色黑色 2. 孔隙中等 3. 形狀不規則 4. 適合物理與化學吸附
多元氯化鋁		<ol style="list-style-type: none"> 1. 顏色白色 2. 孔隙中等、孔洞多 3. 形狀鋸齒不規則 4. 水溶性高，水溶液呈 pH=3-4 酸性
明礬		<ol style="list-style-type: none"> 1. 顏色透明色 2. 孔隙小 3. 形狀結晶狀不規則 4. 水溶性高，水溶液呈 pH=4-5 酸性

實驗二、混凝劑種類去除濁度效應

(一)實驗設計理念: 混凝劑種類常見有多元氯化鋁、明礬等，不同種類混凝劑有不同特性，會影響淨水效果。含鋁的會造成身體病變，使用天然材料取代化學混凝劑。

(二)實驗假設: (1) 不同種類混凝劑有不同特性，對原水濁度有不同去除效果。

(三)實驗設計:

依據假設: 操縱變因: 辣木籽、炭化辣木籽、甲殼素、多元氯化鋁、明礬、活性炭。

控制變因: 混凝劑劑量(1g/100mL)、原水濁度 500NTU

、混凝攪拌速度(200 rpm, 30sec, 50rpm 3min)、沉降時間(2hr)。

應變變因: 濁度去除率。

(四)結果與討論:

高嶺土原水:是人工原水使用高嶺土配製，屬於無機原水

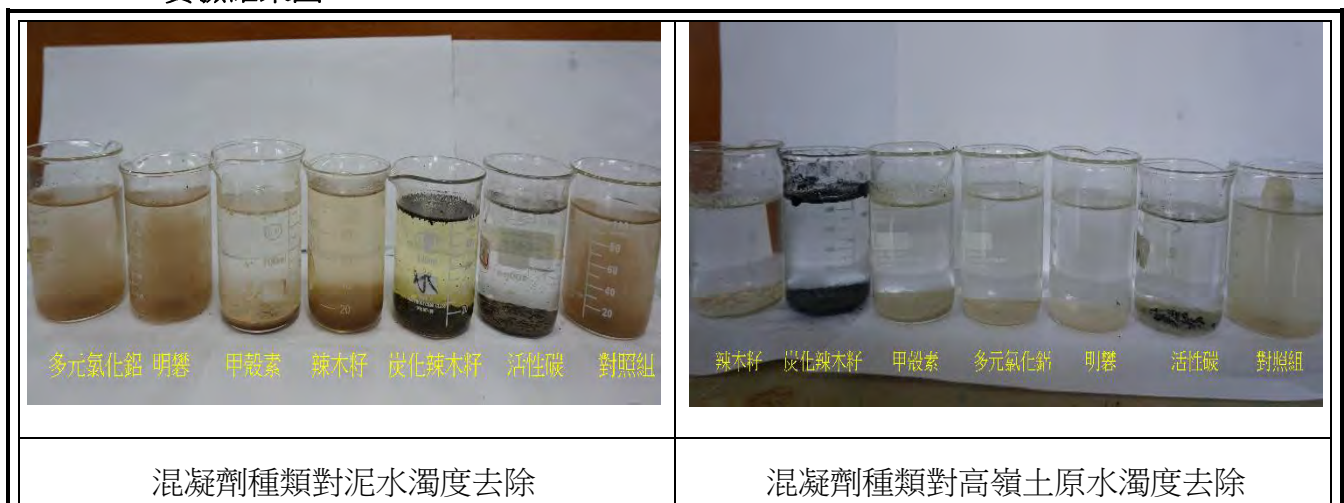
泥土原水:是天然原水取用校園土壤配製，屬於部分有機原水



表 1 不同種類的混凝劑對兩種原水濁度去除效應

組別	混凝劑種類	泥土原水 濁度去除率%	外觀與沉澱	高嶺土原水 濁度去除率%	外觀與沉澱
實驗組	辣木籽	62.8	少許懸浮 厚膠羽蓬鬆沉澱	78.8	淺黃有漂浮物 有氣泡、 顆粒較小
	炭化辣木籽	66.3	略帶黃色 黑色沉澱	82.3	透明有漂浮物 無氣泡 顆粒較小
	甲殼素	82.3	清澈 黃色大顆粒沉澱	70.8	淺黃有漂浮物 有氣泡 顆粒較小
	活性炭	82.7	清澈 黑色大顆粒沉澱	82.7	透明有漂浮物 無氣泡顆粒較大
對照組	多元氯化鋁	61.3	混濁 少量沉澱	81.9	透明 沉澱量少
	明礬	40.9	混濁 少量沉澱	58.9	透明 沉澱量少
	未加混凝劑	13.9	混濁 少量沉澱	22.1	混濁 少許沉澱

● 實驗結果圖:



● 結果:

- (1) 混凝劑混凝後對高領土原水濁度去除率% 活性炭(82.7%)> 炭化辣木籽(82.3%)> 多元氯化鋁(81.9%)> 辣木籽(78.8%)> 甲殼素(70.8%)>明礬(58.9%)> 對照組(22.1%)
- (2) 混凝劑混凝後對泥水原水濁度去除率% 活性炭(82.7%)> 甲殼素(82.3%)> 炭化辣木籽(66.3%)> 辣木籽(62.8%)>多元氯化鋁(61.3%)>明礬(40.9%)> 對照組(13.9%)

● 討論:

- (1)從表 1 結果可歸納出規則性:多元氯化鋁與明礬溶解度相對較高用於高領土無機原水時效果較佳，但用於泥水原水時因為土壤中含有無機質與有機質，對有機質混凝沉降效果明顯偏低。
- (2) 泥水成分可分為有機和無機兩種。陽離子辣木籽與陰離子適合用於處置待有機泥水，相對的活性炭與炭化辣木籽則以物理性吸附為主，水中有機無機物混凝去除均適用。
- (3) 甲殼素、炭化辣木籽、辣木籽可以有效取代多元氯化鋁、明礬作為去除濁度的混凝劑。

實驗二、混凝劑種類去除色度效應

(一)實驗設計理念: 混凝劑種類有多元氯化鋁、明礬等，不同種類混凝劑有不同特性，會影響淨水效果。含鋁的會造成身體病變，使用天然材料取代化學混凝劑。

(二)實驗假設: 不同種類混凝劑有不同特性，對原水色度會有不同去除效果。

(三)實驗設計:

依據假設: 操縱變因: 辣木籽、炭化辣木籽、甲殼素、多元氯化鋁、明礬、活性炭。

控制變因: 色度(藍色染料 3000mg/L，紅色染料 3000mg/L)

、混凝攪拌速度(200 rpm, 30sec, 20rpm 3min)、沉降時間(2hr)。

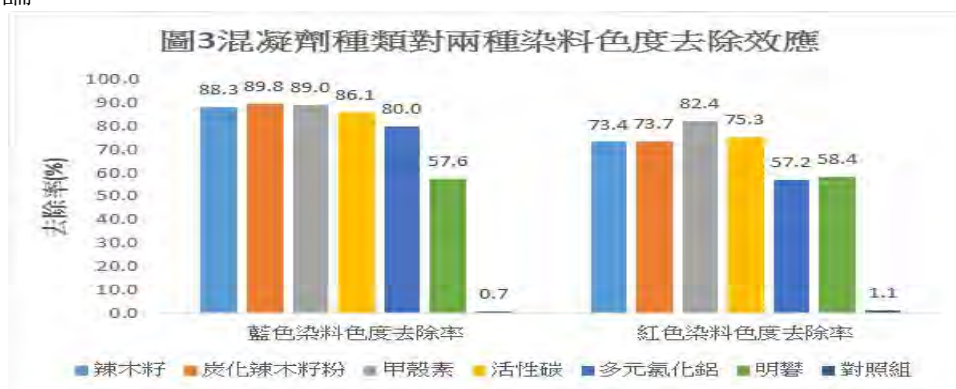
實驗前以氯化氫與氫氧化鈉添加確認染料不會因為酸鹼而產生變色反應。

應變變因: 色度(吸光值)。

表 1 不同種類的混凝劑對兩種水性染料色度去除效應

組別	混凝劑種類	紅色染料色度去除率%	藍色染料色度去除率%
實驗組	辣木籽	73.4	88.3
	炭化辣木籽	73.7	89.8
	甲殼素	82.4	89.0
	活性碳	75.3	86.1
對照組	多元氯化鋁	57.2	86.0
	明礬	58.4	57.6
	未加混凝劑	1.1	0.7

(四)結果與討論



(1) 藍色染料色度去除率> 紅色染料色度去除效率。藍色染料色度去除率>80% 紅色染料色度去除率>70%

(2) 辣木籽、炭化辣木籽、甲殼素、活性碳四種混凝劑對兩種染料色度去除效率明顯高於對照組多元氯化鋁及明礬。

●討論

(1) 物理吸附: 辣木籽、炭化辣木籽、甲殼素、活性碳均具有孔洞性，可進行物理性吸附。

(2) 辣木籽與甲殼素由於具有羥基 (-OH)、乙醯胺基 (-NHCOCH₃)、胺基(-NH₂) 與孔洞性，所以具有吸附之活性位置，容易與染料有機結構產生鍵結形成巨大結構而產生沉澱。

(3) 辣木籽與甲殼素與有機染料可藉化學性吸附產生沉澱，吸附模式是多重的，包括螯合 (chelation)、靜電吸引 (electrostatic attraction) 等機制，依情況而有不同的優勢。

(4) 化學吸附與膠凝作用: 辣木籽與甲殼素含有陽離子白蛋白，具有黏性加上化學鍵結關係會容易與水中雜質形成膠羽，進而產生化學吸附沉澱，由圖底層厚厚膠羽可以得知。

(5) 化學吸附特性(活性吸附): ①高溫通用 ②分子間有化學鍵。 ③Freundlich 吸附模式

● 實驗結果圖:

<p>辣木籽 炭化辣木籽 甲殼素 多元氯化鋁 明礬 活性炭 對照組</p>	<p>辣木籽 炭化辣木籽 甲殼素 多元氯化鋁 明礬 活性炭 對照組</p>
<p>混凝劑種類對甲基橙去除</p>	<p>混凝劑種類對甲基藍去除</p>
<p>辣木籽 炭化辣木籽 甲殼素 多元氯化鋁 明礬 活性炭 對照組</p>	<p>辣木籽 炭化辣木籽 甲殼素 多元氯化鋁 明礬 活性炭 對照組</p>
<p>混凝劑種類對紅色染料去除</p>	<p>混凝劑種類對藍色染料去除</p>

<p>泥水原水混凝後膠羽</p>	<p>高岭土原水混凝後膠羽</p>	<p>藍色染料原水混凝後膠羽</p>
<p>紅色染料原水混凝後膠羽</p>	<p>銅離子吸附後膠羽</p>	<p>氯化亞鈷吸附後膠羽</p>

實驗三、混凝劑添加劑量及最佳比例效應

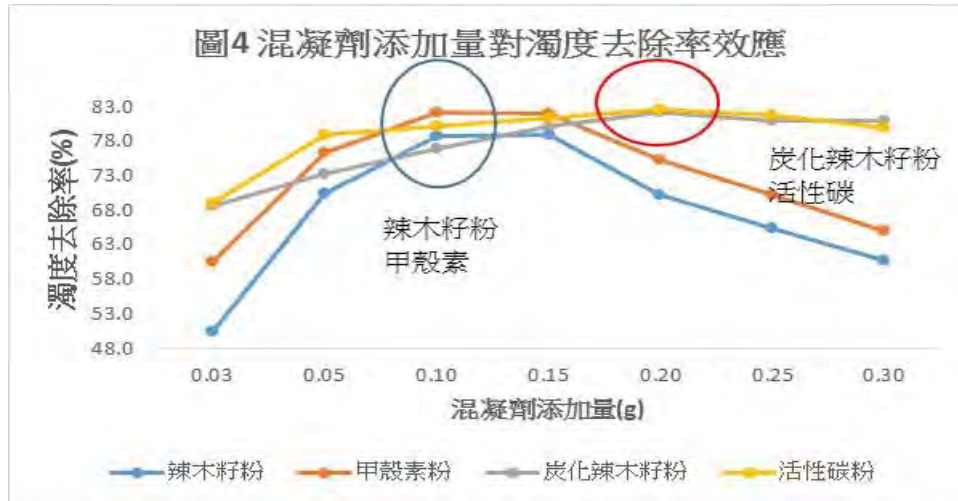
- (一)實驗設計理念: 混凝劑的劑量與混合比例會影響濁度去除率。
- (二)實驗假設: 混凝劑的適當劑量與適當混合比例會提升濁度去除率。
- (三)實驗設計: 操縱變因: (1)辣木籽、炭化辣木籽、甲殼素、多元氯化鋁、明礬、活性炭劑量。

(2)混合比例

控制變因: 原水濁度 500NTU , 混凝攪拌速度(200 rpm, 30sec, 20rpm 5min)
、沉降時間(2hr)。

應變變因: 濁度去除率。

(四)結果與討論:



● 結果:

- (1) 辣木籽粉與甲殼素粉在 0.1g/100mL=1mg/L 的添加劑量, 對 500NTU 泥土原水有最佳的濁度去去效率, 分別是 78.9%、82.1%。
- (2) 炭化辣木籽粉與活性炭粉在 0.2g/100mL=2mg/L 的添加劑量, 對 500NTU 泥土原水有最佳的濁度去去效率, 分別是 82.3%、82.7%。

● 討論:

- (1) 辣木籽與甲殼素成分分別為陽離子蛋白, 因此溶解度不高, 溶於水後容易產生泡沫且過量劑量會產生黃色色素反而不利混凝沉澱, 因此劑量不能太高以免產生反作用。
- (2) 加入適量的混凝劑可以獲得良好的混凝效果, 但如果加藥量過多時則會產生再穩定化

(restabilization)的現象。例如帶正電的辣木籽蛋白與甲殼素蛋白，能吸附在帶負電的混濁粒子上，成為中性並凝聚在一起。但如果加入過量，則又成為帶正電而穩產生再穩定化(restabilization)的現象。

(3) 後續實驗發現，活性炭粉:炭化辣木籽粉:辣木籽粉:甲殼素粉: =2: 2: 1: 1 比例，依序添加混凝，先進行物理性吸附在進行化學性吸附，會產生最大的濁度去除率達 95.5%，可將原水濁度在 2 小時內迅速變成乾淨清水，濁度由 500NTU 降到 22.5NTU。

實驗四、混凝劑對原水 pH 值效應

(一)實驗設計理念: 混凝過程混凝劑添加對影響原水 pH 值進而影響混凝膠凝成效。

(二)實驗假設: 辣木籽與甲殼素陽離子蛋白，混凝過程對原水 pH 改變量較小。

(三)實驗設計: 操縱變因: 辣木籽、炭化辣木籽、甲殼素、多元氯化鋁、明礬、活性炭。

應變變因: pH 差。



(四)結果:

表 1 不同種類的混凝劑對兩種水性染料色度去除效應

組別	混凝劑種類	混凝前 原水 pH 值	混凝後 原水 pH 值	Δ pH 改變量
實驗組	辣木籽粉	7.2	6.8	0.4
	炭化辣木籽粉	7.2	6.9	0.3
	甲殼素粉	7.2	6.3	0.9
	活性炭粉	7.2	7.1	0.1
對照組	多元氯化鋁	7.2	3.9	3.3
	明礬	7.2	4.8	2.4

● 結果:

實驗組混凝劑(辣木籽粉、炭化辣木籽粉、甲殼素粉、活性炭粉)對原水 pH 值改變量影響較小，混凝前後原水 pH 值差 <1 ，對照組多元氯化鋁與明礬對原水 pH 影響較大，會讓原水由 pH7.2 變成 pH3.9, pH4.8 酸性。

● 討論:

高分子凝聚劑(辣木籽及甲殼素)通常具有電荷中和及架橋作用，可區分為陽離子、陰離子及非離子凝聚劑，高分子凝聚劑不會造成 pH 劇烈的改變，添加微量即可產生變化，如硫酸鋁、多元氯化鋁不易處理之原水，因添加高分子凝聚劑而提高處理效率，且不造成 pH 變化。

實驗五、混凝最佳 pH 值與氧化電位效應

(一)實驗設計理念: 化學吸附過程在不同 pH 值與不同氧化電位條件下會影響混凝與吸附沉澱效果。

(二)實驗假設: 混凝過程在不同 pH 值與不同氧化電位條件下會影響混凝與吸附沉澱效果。

(三)實驗設計: 操縱變因: pH 值、ORP 氧化電位。

應變變因: 濁度去除率%、紅色色度去除率%、銅離子去除率%



● 結果:

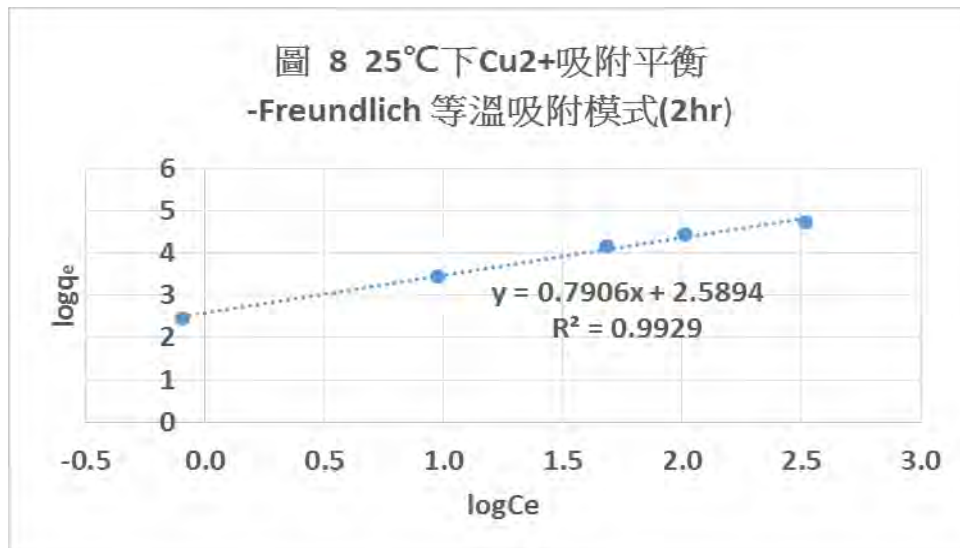
- (1) 活性炭粉:炭化辣木籽粉:辣木籽粉:甲殼素粉: =2: 2: 1: 1 最佳比例混凝劑進行混凝吸附淨水，實驗結果發現，最適合 pH 範圍 6~7.5，pH6.5 有最佳濁度去除率 97.5%、最佳色度去除率 93.1%。
- (2) 就氧化電位來看，氧化電位在 260~320mV 之間，有最佳混凝去除效率。
- (3) 相同 pH 值的條件，去除率: 濁度>紅色染料>銅離子。

● 討論:

- (1) 酸性環境中，高度質子化辣木籽與甲殼素的胺基帶正電荷，易吸引廢液中帶負電的離子而將其脫除。
- (2) pH 值對陽離子蛋白吸附劑辣木籽與甲殼素亦有直接的關係，在酸的條件下 (pH < 4 時)，會慢慢溶解於溶液中而失去吸附能力。
- (3) 低 pH 下吸附情形會大大降低。主要是因為離子競爭之緣故。辣木籽與甲殼素進行吸附主要取決於不斷重複之胺基團，其反應式為： $Cu^{2+} + RNH_2 \rightarrow Cu(RNH_2)^{2+}$ ，在強酸條件下溶液中之氫離子 (H^+) 數多，且容易與金屬離子競爭吸附劑表面之胺基團，其反應式： $H^+ + RNH_2 \rightarrow H(RNH_2)^+$ ，因而降低其吸附能力。
- (4) 相同 pH 值的條件，去除率: 濁度>紅色染料>銅離子。推測(活性炭粉:炭化辣木籽粉:辣木籽粉:甲殼素粉: =2: 2: 1: 1)最佳比例混凝劑進行混凝吸附淨水，有機物去除效率>無機物去除效率。

實驗六、最佳比例混凝劑對銅離子吸附效應(瓶杯試驗)

在 25°C 下 Cu^{2+} 吸附平衡實驗數據—Freundlich 等溫吸附模式(2hr)									
起始 Cu^{2+} 濃度 C_0 (mg/L)	平衡 Cu^{2+} 濃度 C_e (mg/L)	濃度差 (mg/L)	體積 (L)	銅原子量 (g/mol)	吸附量 q_e (mg/g)	吸附率 (%)	K_F	n	R^2
10	0.8	9.2	0.5	63.5	2.92×10^2	92.0	388.5	1.26	0.99
100	9.4	90.6	0.5	63.5	2.87×10^3	90.6			
500	48.5	451.5	0.5	63.5	1.43×10^4	90.3			
1000	102.0	898	0.5	63.5	2.85×10^4	89.8			
2000	330.0	1670.0	0.5	63.5	5.30×10^4	83.5			



Freundlich 吸附模式： $\log q_e = \log K_F + 1/n \log C_e$

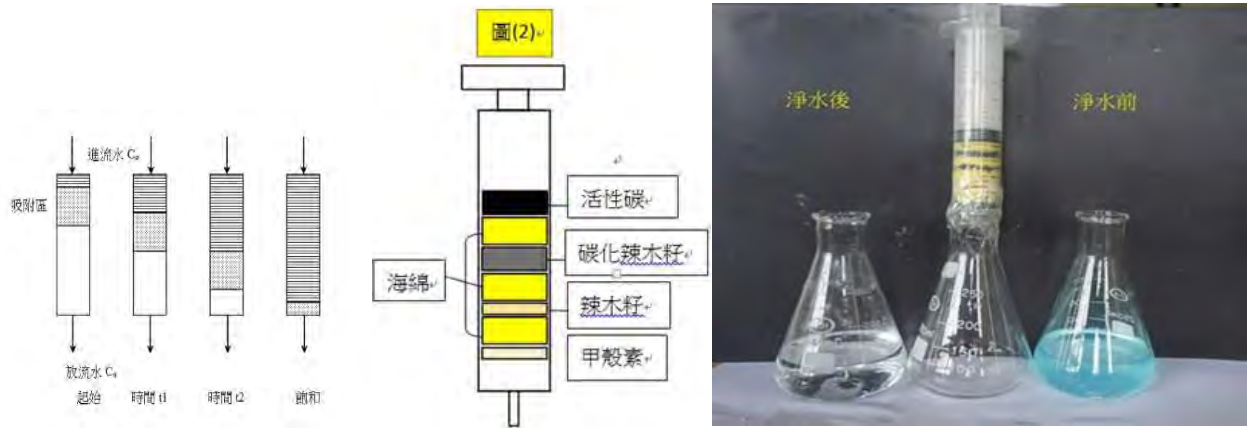
- (1) 其中 q_e 為平衡時單位吸附劑之吸附量(ADMI L/g)
- (2) C_e 為被吸附質之平衡濃度(ADMI)
- (3) K_F 和 n 為 Freundlich 常數，分別代表吸附容量和吸附強度

其吸附質濃度在一特定範圍內，當 K_F 值越大代表吸附劑之吸附容量越大， $K_F > 100$ 為大吸附容量；而當 $n > 1$ 時為有利吸附，且隨著 n 值越大表示吸附劑與吸附質間的鍵結越強，越趨近於有利吸附。 斜率= $1/n$ 截距= $\log K$

● 結果:

- (1) 線性回歸 $R^2=0.9929$ 皆非常接近 1，顯示比例混合劑(RCs)吸附水中重金屬銅離子相當符合 Freundlich 等溫吸附模式。根據斜率= $1/n$ ，截距= $\log K$ ，我們得到 $K_F=388.5$ ，顯示最佳比例混凝劑具有相當大的吸附容量，且 $n=1.26$ ，其值大於 1，表示比例混合劑(RCs)吸附銅離子為有利性吸附。
- (2) 吸附量 q_e 隨著起始濃度 C_0 的增加而增加，吸附率與起始濃度 C_0 負相關。

實驗七、管柱淨水效應



- 1.飽和終點濃度(C_e):流出液濃度達到進流液濃度的90%，便認為吸附劑已達飽和。
- 2.飽和吸附當量(q_e):當達到飽和終點時，每一克吸附劑吸附目標物的量(mg/g)。
- 3.飽和吸附體積(V_e):當達到飽和終點時，通過吸附劑流出的溶液量。
- 4.去除率(R_e %):當達到飽和終點時吸附劑所吸收目標物離子量除以溶液中目標物離子總量。

Cu^{2+} 起始濃度	飽和濃度	飽和吸 附體積	飽和吸 附量	吸附劑 總量	飽和吸附 當量	去除率
$Cu^{2+}(C_0)$ (mg/L)	(C_e) (mg/L)	(V_e) (mL)	(G_e) (g)	(m_e) (g)	(q_e) (mg/g)	$(R_e\%)$
500	450	6472	3.236	4	809.0	80.9
1000	900	2784	2.784	4	696.0	69.6
2000	1800	1126	2.252	4	563.0	56.3

活性炭粉:炭化辣木籽粉:辣木籽粉:甲殼素粉: =2: 2: 1: 1 比例，分別添加: 2g、2g、1g、1g

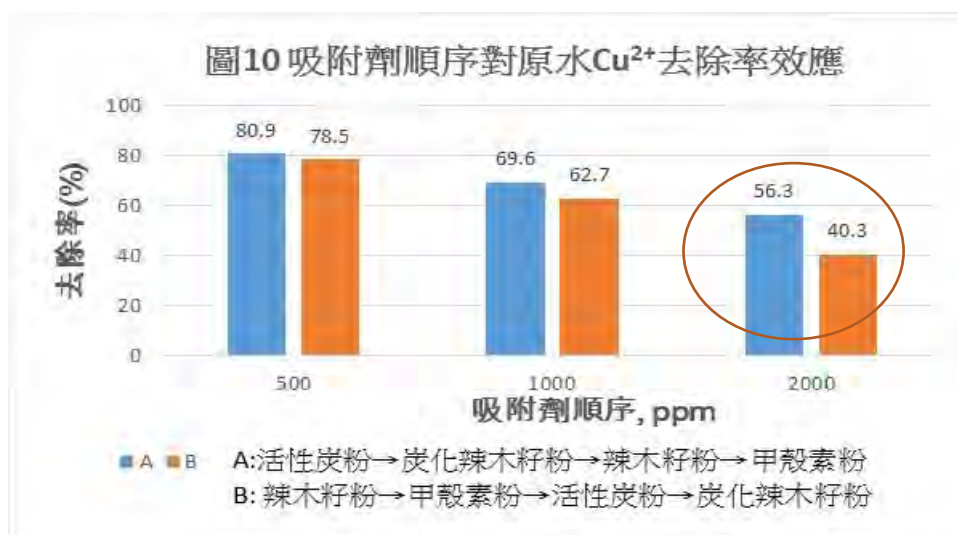
● 結果:

- (1) 原水 Cu^{2+} 濃度愈高，起始濃度愈高，則管柱淨水效果愈低。
- (2) 去除率%，500、1000、2000 mg/L 濃度原水，去除率分別為 80.9、69.6、56.3%
- (3) 最佳比例凝滷劑每 1 克可以吸附可吸附銅離子 809 克，飽和吸附當量 $q_e=809.0$ (mg/g)

● 討論:

- (1) 從去除率可以看出，吸附劑在高 Cu^{2+} 濃度下，去除率變低，主要原因在高濃度時，有強大的共享電子與吸附劑表面官能基相互作用，導致 NH_2 -官能基位置容易飽和、耗竭時間變快，導致去除率(%)下降。

- (2) 在低濃度時， Cu^{2+} 離子到吸附劑表面傳輸速率較緩慢，表示擴散速率和質量傳遞驅動力減少，導致吸附劑有足夠的時間吸附 Cu^{2+} 離子，故去除率(%)增加。
- (3) 進一步探討吸附劑順序改變對 Cu^{2+} 離子去除率影響: 高濃度2000ppm時, 活性炭粉→炭化辣木籽粉→辣木籽粉→甲殼素粉>辣木籽粉→甲殼素粉→活性炭粉→炭化辣木籽粉, 中及低濃度差異不大。顯示先物理吸附→化學吸附, 對 Cu^{2+} 離子有較佳去除率。



(4) 與其他研究比較:

吸附材料	飽和吸附當量(qe) (mg/g)	去除率(%)
活性炭粉:炭化辣木籽粉:辣木籽粉:甲殼素粉: =2: 2: 1: 1	809.0	56.3~80.9%
中孔活性碳+電壓0.9V (14)	56.62	35.6%
甘蔗渣活性碳(15)	-	32.3%
甲殼素(13)	94.5	48.6%

飽和吸附當量(qe) (mg/g): 本研究>甲殼素>中孔活性碳+電壓

Cu^{2+} 離子去除率(%): 本研究>甲殼素>>中孔活性碳+電壓>甘蔗渣活性碳。

(5) 未來應用可以開發模組化，將淨水模組應用於水龍頭或是保特瓶，讓它成為簡單、方便、有效的淨水裝置。

柒、結論與未來展望

1. 探討混凝劑種類去除濁度效應：

混凝劑混凝後對泥水原水濁度去除率%:活性炭(82.7%)> 甲殼素(82.3%)> 炭化辣木籽(66.3%)> 辣木籽(62.8%)>多元氯化鋁(61.3%)>明礬(40.9%)> 對照組(13.9%)。

2. 探討混凝劑種類去除色度效應：

藍色染料色度去除率>80% 紅色染料色度去除率>70%，去除率明顯高於對照組多元氯化鋁及明礬。

3. 混凝劑添加劑量及最佳比例效應：

最佳劑量：炭化辣木籽粉與活性炭粉 0.2mg/L，辣木籽粉與甲殼素粉在 1mg/L (500NTU)。

最佳比例：活性炭粉:炭化辣木籽粉:辣木籽粉:甲殼素粉: =2: 2: 1: 1 比例。

4. 混凝劑對原水 pH 值效應：

實驗組混凝劑(辣木籽粉、炭化辣木籽粉、甲殼素粉、活性炭粉)對原水 pH 值改變量影響較小，混凝前後原水 pH 值差<1。

5. 混凝最佳 pH 值與氧化電位效應：

最適合 pH 範圍 6~7.5，最佳氧化電位:260~320mV 之間。

6. 最佳比例混凝劑對銅離子吸附效應：

Freundlich吸附模式推估：最佳比例混凝劑 $K_f=388.5$ 具有相當大的吸附容量， $n=1.26$ 為有利性吸附。

7. 管柱淨水效應探討：

原水濃度愈高，起始濃度愈高，則管柱淨水效果愈高。500 mg/L 濃度原水，去除率達 80.9.3%。

8. 未來展望：

辣木籽與甲殼素是淨化水質的理想混凝劑，它不但可以除去水中的無機固體懸浮物，還可除去有害的極性有機物，如農藥、表面活性劑等。其用量少，效果好，其無毒的特點是其他混凝劑所無法比擬的。未來應用可以開發模組化，將淨水模組應用於水龍頭或是保特瓶，讓它成為簡單、方便、有效的淨水裝置。

9. 研究限制：

本科展實驗因經費、人力與時間限制，實驗次數較少，較無法進行較細分析。若未來能針對此研究進行長期的實驗，並將更多的參考因素。

捌、參考文獻

1. 周佳瑩、莊秉憲、陳惠民（2003）。奇蹟之樹—辣木。科學發展，371，p.41-45。
2. 綠藤生機(2018)，取自「辣木」與「辣木籽」：對環境和人都好的奇蹟植物
3. 辣木子(2018)，取自每日新聞 <https://kknews.cc/zh-cn/news/p5qezj8.html>
4. 甲殼素(2018)，取自維基百科
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%94%B2%E6%AE%BC%E7%B4%A0>
5. 分光光度計法(2018) 取自維基百科
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%88%86%E5%85%89%E5%85%89%E5%BA%A6%E6%B3%95>
6. 濁度計(2018) 取自百度
<https://baike.baidu.com/item/%E6%B5%8A%E5%BA%A6%E8%AE%A1/2944444>
7. 閻又慈等（2012）DIY 隨行濾水杯。中華民國第 52 屆中小學科學展覽會作品說明書。
8. 蕭季威（2006）環保淨水器。中華民國第 46 屆中小學科學展覽會作品說明書。
9. 練鴻裕(2012) 甲若殼以結素重金屬汙染—甲殼素吸附重金屬水。中華民國第 52 屆中小學科學展覽會作品說明書。
10. 顧洋(2007) 環境工程概論 4/e 東華書局
11. 黃武章(2011) 環境化學 高立圖書公司
12. 王志維(2007) 綠色水處理—以幾丁聚醣處理高濁度原水與含銅原水之研究。屏東科技大學碩士論文。
13. 黃國豪(2004)幾丁聚醣薄膜的製備及其性質之研究。雲林科大碩士論文。
14. 何鈞筌(2012)以中孔碳材為電吸附劑電吸附水中微量銅離子。雲林科大碩士論文。
15. 范哲綸(2013) 『蔗』麼『C』力—利用甘蔗渣-碳粉吸附重金屬離子。中華民國第 53 屆中小學科學展覽會作品說明書。

【評語】 030208

本研究以自製之淨水劑吸附水中有害物質，內容對吸附模式提出詳盡解釋，並且對於各種的吸附劑吸附的機制完整的討論，具有實用性，研究主題具有鄉土之相關性。研究計畫書共 30 頁，計畫書提供圖示及照片，參考文獻 15 篇，研究主題具有環保概念。以下幾點提供參考：

- (1) 活性碳種類很多，此實驗所用活性碳規格未說明。
- (2) 為何製備炭化辣木需要使用氯化鋅？
- (3) 探討 Frenundlich 吸附模式的時候，建議加入 Langmuir 吸附模式一起探討。此外內文中未詳盡介紹當吸附劑屬於 Frenundlich 吸附模式時，是透過怎樣的吸附的行為吸附物種。
- (4) 有關於去除率的數據都沒有誤差值，不知道再現性為何？
- (5) 吸附劑在 Cu(II)高濃度下去除率的變低的原因，所敘述的觀點可以再加強。
- (6) 所使用之方法對於其他金屬離子是否一樣會吸附，這個方法是有對於 Cu(II)有選擇性，建議可以加入對不同金屬離子吸附的探討。
- (7) 利用這些材料吸附，與顆粒表面積有關，若加以討論顆粒大小影響，結果將更好

作品海報

摘要

「高分子蛋白」因無毒已慢慢取代化學混凝劑成為淨水材料新趨勢。本實驗探討辣木籽與甲殼素淨水效應並找出最佳條件。結果:①泥水原水濁度去除率%:活性炭(82.7%)>甲殼素(82.3%)>炭化辣木籽(66.3%)>辣木籽(62.8%)>多元氯化鋁(61.3%)>明礬(40.9%) ②藍色染料色度去除率>80%③最佳比例:活性炭粉:炭化辣木籽粉:辣木籽粉:甲殼素粉: =2: 2: 1: 1④最佳pH範圍6~7.5, pH6.5濁度去除率97.5%色度去除率93.1%。⑤Freundlich等溫吸附模式, 顯示最佳最佳比例混凝劑吸附容量大, 屬有利性吸附⑥最佳最佳比例混凝劑銅離子飽和吸附當量 $q_e=809.0(\text{mg/g})$ 。展望未來:為了永續生存, 「高分子蛋白」混凝劑應繼續開發研究, 讓它能推廣使用, 使台灣以環保著稱, 成為名符其實的福爾摩沙。

壹、研究動機

之前曾在網路上看到一個「使用辣木樹種子可以快速淨化水質」的影片, 影片中的效果相當顯著, 但我們對此抱持懷疑態度; 再加上台灣的水資源因地形的關係, 相對乾淨又可利用的水資源就更少了; 而國中理化課本也有提到吸附沉降的相關概念, 因此我們整合了這些疑問、問題和概念, 希望能透過這項研究找出快速、方便、對環境友善又環保的淨水物質和方法。我們將以「辣木籽」及「甲殼素」為研究主軸, 找出淨化水質的最佳方法。

特色:

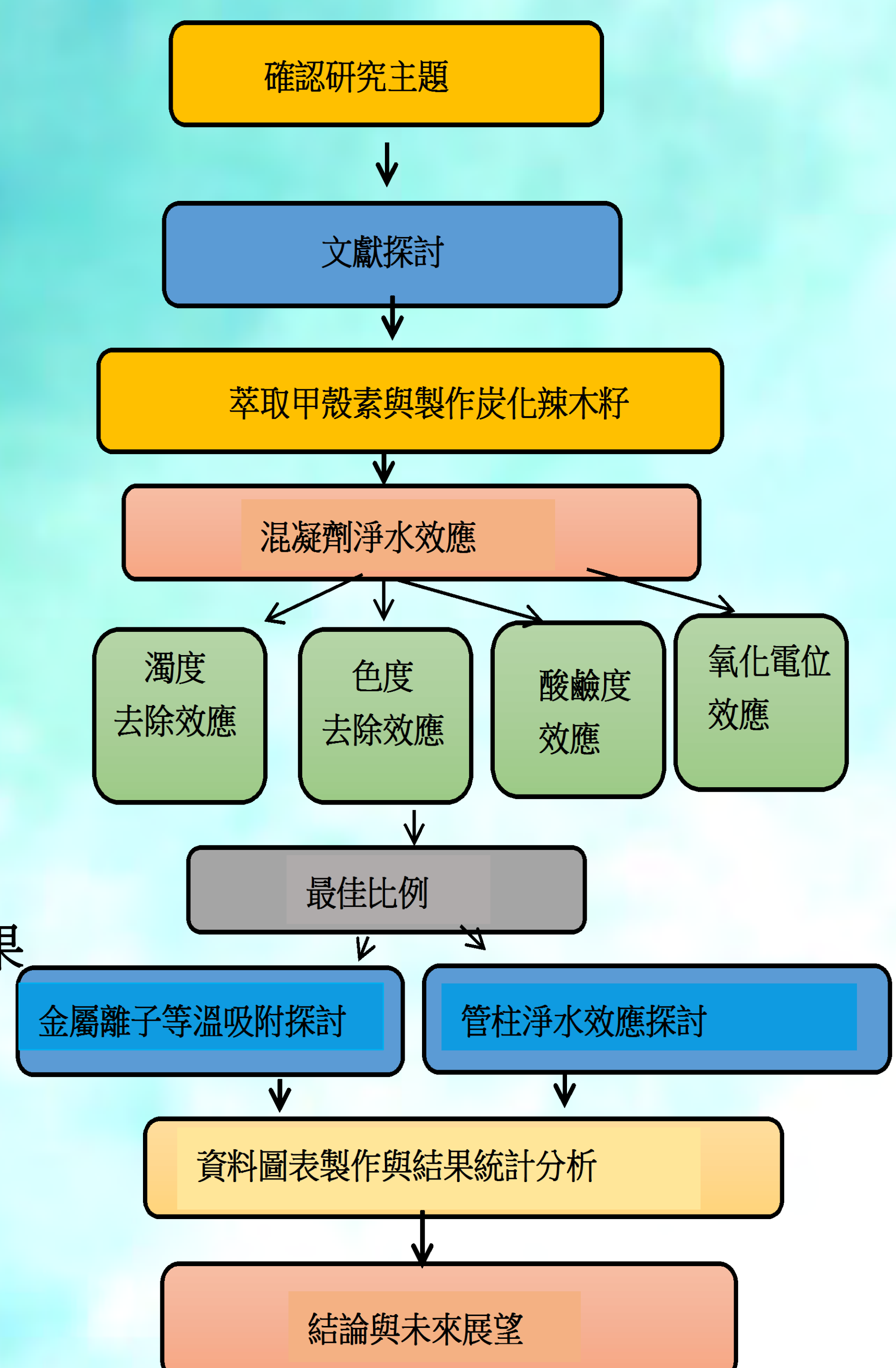
1. 「高分子蛋白」天然辣木籽與甲殼素蛋白作為混凝劑, 無毒、可降解、對人體與環境無害, 可取代多元氯化鋁與明礬等化學混凝劑。
2. 研究兼具物理性吸附與化學性吸附。
3. 同時探討濁度、色度、pH、重金屬吸附效應。
4. Freundlich(弗羅因德利希)等溫吸附模式推估。
5. 管柱吸附試驗。

貳、研究目的

1. 萃取甲殼素與製作炭化辣木籽
2. 探討混凝劑種類去除濁度效應
3. 探討混凝劑種類去除色度效應
4. 混凝劑添加劑量及最佳比例效應
5. 混凝劑對原水pH值效應
6. 混凝最佳pH值與氧化電位效應
7. 最佳比例混凝劑對銅離子吸附效應
8. 管柱淨水效應探討

參、研究流程:如右圖本研究分成三部分:

- 一、辣木籽與甲殼素作為混凝劑處理高濁度原水之效果
- 二、辣木籽與甲殼素處理原水色度之效果。
- 三、作為吸附劑移除水中重金屬銅之研究。



肆、研究設計

依據混凝劑種類、混凝最佳pH與氧化還原電位、最佳比例等參數設計實驗組與對照組, 實驗結果進行計算、分析與統計比較。

伍、研究過程

一、甲殼素製備

步驟一: 將廢棄的螃蟹殼及龍蝦殼洗淨後烘乾, 再利用研鉢及杵將蝦蟹殼磨碎

步驟二: 以2M的HCl浸泡, 靜置一天(起始反應會有氣泡產生)



步驟三: 倒掉步驟二之HCl廢液, 以蒸餾水清洗多次, 直至去碳酸鈣的蝦蟹殼為中性, 過濾後以高溫烤箱烘乾。

步驟四: 加入2.5M的NaOH, 攪拌並加熱到70度, 浸泡一天, 以萃取蛋白質。

步驟五: 倒掉步驟四之NaOH廢液, 以蒸餾水清洗10次, 過濾後以高溫烤箱烘乾, 得到甲殼素, 以磨粉機磨粉備用。

二、辣木籽粉製備

步驟一: 將辣木籽剝殼。步驟二: 將剝殼後辣木籽40度低溫烘乾, 去除水分後以磨粉機磨粉。

三、炭化辣木籽製備

使用化學法(藥品活化法)

步驟一: 將辣木籽浸入飽和氯化鋅溶液中三天。

步驟二: 將辣木籽自氯化鋅溶液中取出, 以鋁箔紙包覆後以酒精燈進行乾餾2小時再移入高溫烤箱進行烘烤, 烘烤完後以磨粉機磨粉。

陸、實驗品質管制

- (1)每種測試, 每個樣本進行5次重複分析, 取平均值, 變異係數%CV%<10% (標準差/平均值*100%)。
- (2)濁度、色度、pH分析, 每次均進行儀器歸零校正, 並建立5點標準檢量線, 線性值 $r > 0.95$

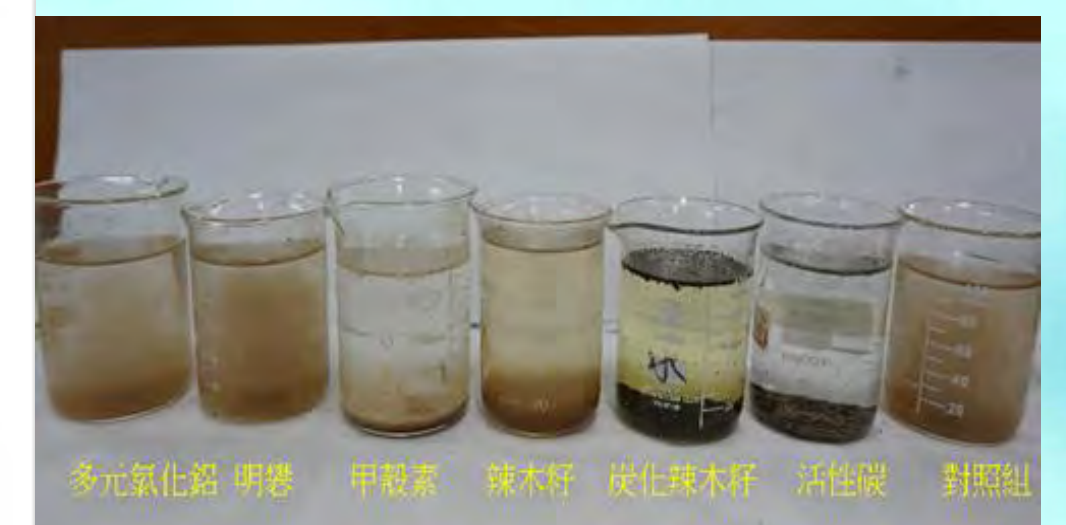
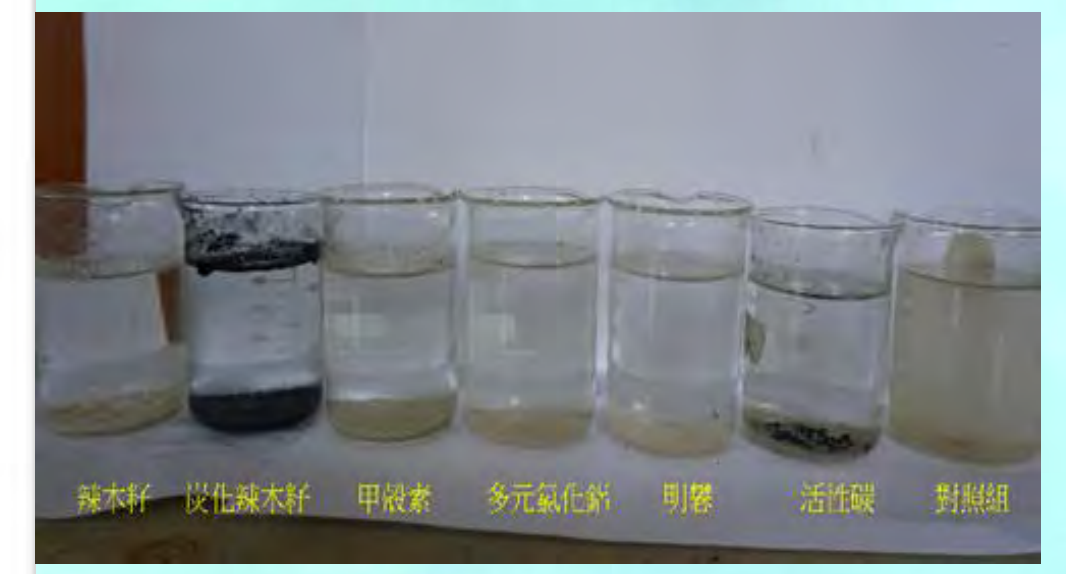
柒、結果與討論

實驗一、萃取甲殼素與製作炭化辣木籽特性試驗

混凝劑	結構圖	結果
辣木籽		1. 顏色淺黃色 2. 孔隙大、形狀立體鋸齒不規則 3. 溶解度小，易起泡，劑量不宜太多 4. 水溶液呈微酸性
顯微鏡1200倍		
甲殼素		1. 顏色淺黃色 2. 孔隙中等 形狀鋸齒略扁平 3. 溶解度小，易起泡，劑量不宜太多 4. 純度經鑑定約為50-60%
炭化辣木籽		1. 顏色黑色 2. 粒徑小 孔隙小 3. 易因靜電粒產生凝絮聚集成狀塊、膨鬆狀 4. 密度小易產生漂浮，劑量不宜太多
活性炭		1. 顏色黑色 2. 孔隙中等 3. 形狀不規則 4. 適合物理與化學吸附
多元氯化鋁		1. 顏色白色 2. 孔隙中等、孔洞多 3. 形狀鋸齒不規則 4. 水溶性高，水溶液呈pH=3-4酸性，影響pH
明礬		1. 顏色透明色 2. 孔隙小 3. 形狀結晶狀不規則 4. 水溶性高，水溶液呈pH=4-5酸性，影響pH

實驗二、混凝劑種類去除濁度效應

操縱變因: 辣木籽、炭化辣木籽、甲殼素、多元氯化鋁、明礬、活性炭。
控制變因: 混凝劑劑量(1g/100mL)、原水濁度500NTU、混凝攪拌速度(200 rpm, 30sec, 50rpm 3min)、沉降時間 (2hr)。
應變變因: 濁度去除率。



實驗三、混凝劑種類去除色度效應

操縱變因: 辣木籽、炭化辣木籽、甲殼素、多元氯化鋁、明礬、活性炭。

控制變因: 色度(藍色染料3000mg/L, 紅色染料3000mg/L)、混凝攪拌速度(200 rpm, 30sec, 20rpm 3min)、沉降時間(2hr)。
分光光度計波長設定: 紅: 580nm 藍: 500nm 銅離子: 600nm

應變變因: 色度去除率。

組別	混凝劑種類	紅色染料色度去除率%	藍色染料色度去除率%
實驗組	辣木籽	73.4	88.3
	炭化辣木籽	73.7	89.8
	甲殼素	82.4	89.0
	活性炭	75.3	86.1
對照組	多元氯化鋁	57.2	86.0
	明礬	58.4	57.6
	未加混凝劑	1.1	0.7

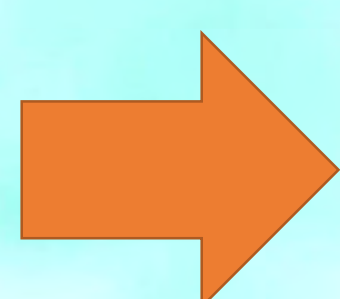
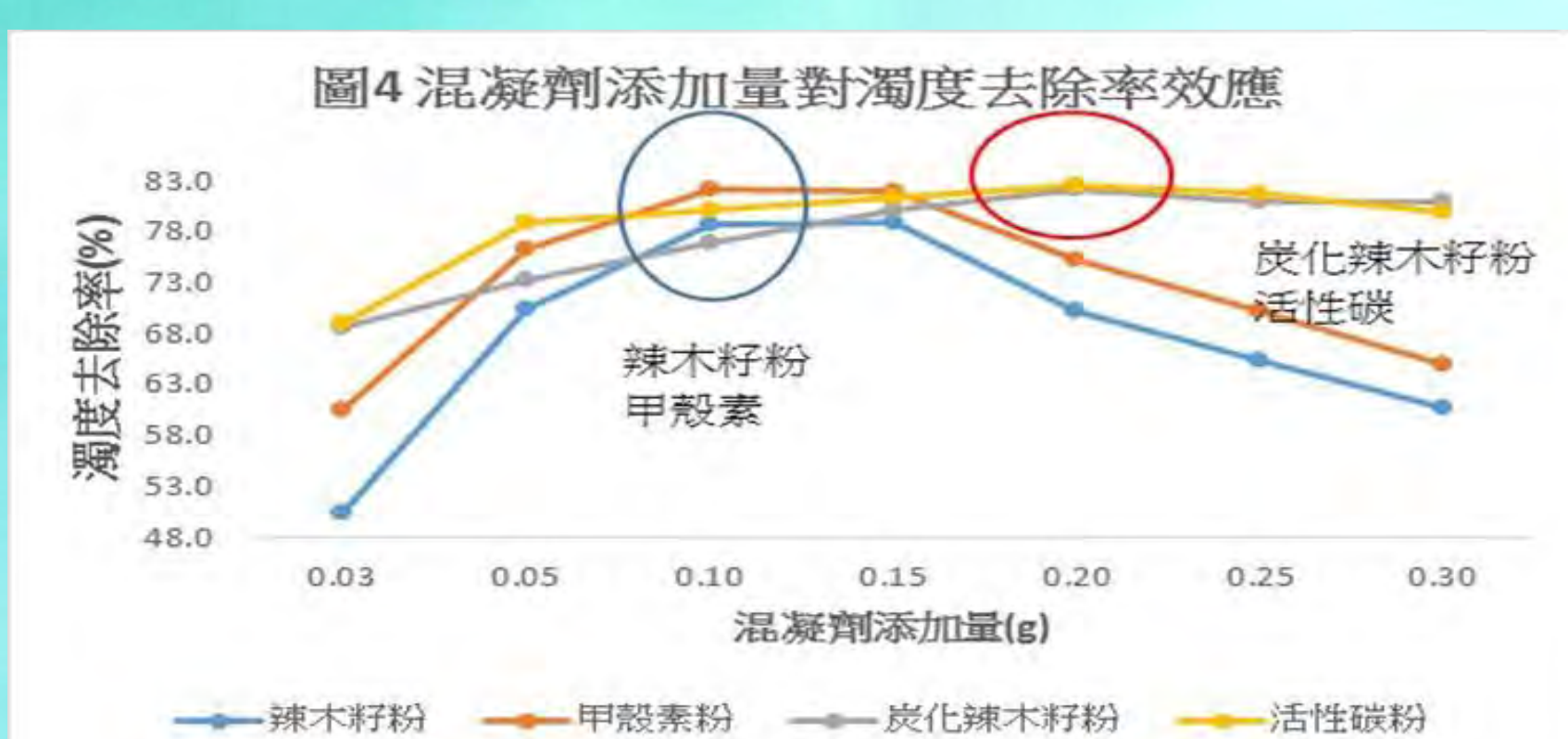


- (1) 藍色染料色度去除率>80% 紅色染料色度去除率>70%
- (2) 辣木籽、炭化辣木籽、甲殼素、活性炭四種混凝劑對兩種染料色度去除效率高於對照組多元氯化鋁及明礬。

● 討論:

- (1) 辣木籽、炭化辣木籽、甲殼素、活性炭均具有孔洞性，可進行物理性吸附。
- (2) 辣木籽與甲殼素由於具有羥基 (-OH)、乙醯胺基 (-NHCOCH₃)、胺基(-NH₂) 與孔洞性，具有吸附之活性位置，容易與染料有機結構產生鍵結形成巨大結構而產生化學吸附沉澱。
- (3) 辣木籽與甲殼素與有機染料可藉化學性吸附產生沉澱，吸附模式是多重的，包括螯合、靜電吸引等機制，而有不同的優勢。
- (4) 辣木籽與甲殼素含有陽離子白蛋白，具有黏性加上化學鍵結關係會容易與水中雜質形成膠羽，進而產生化學吸附沉澱，底層有厚厚膠羽。

實驗四、混凝劑添加劑量及最佳比例效應



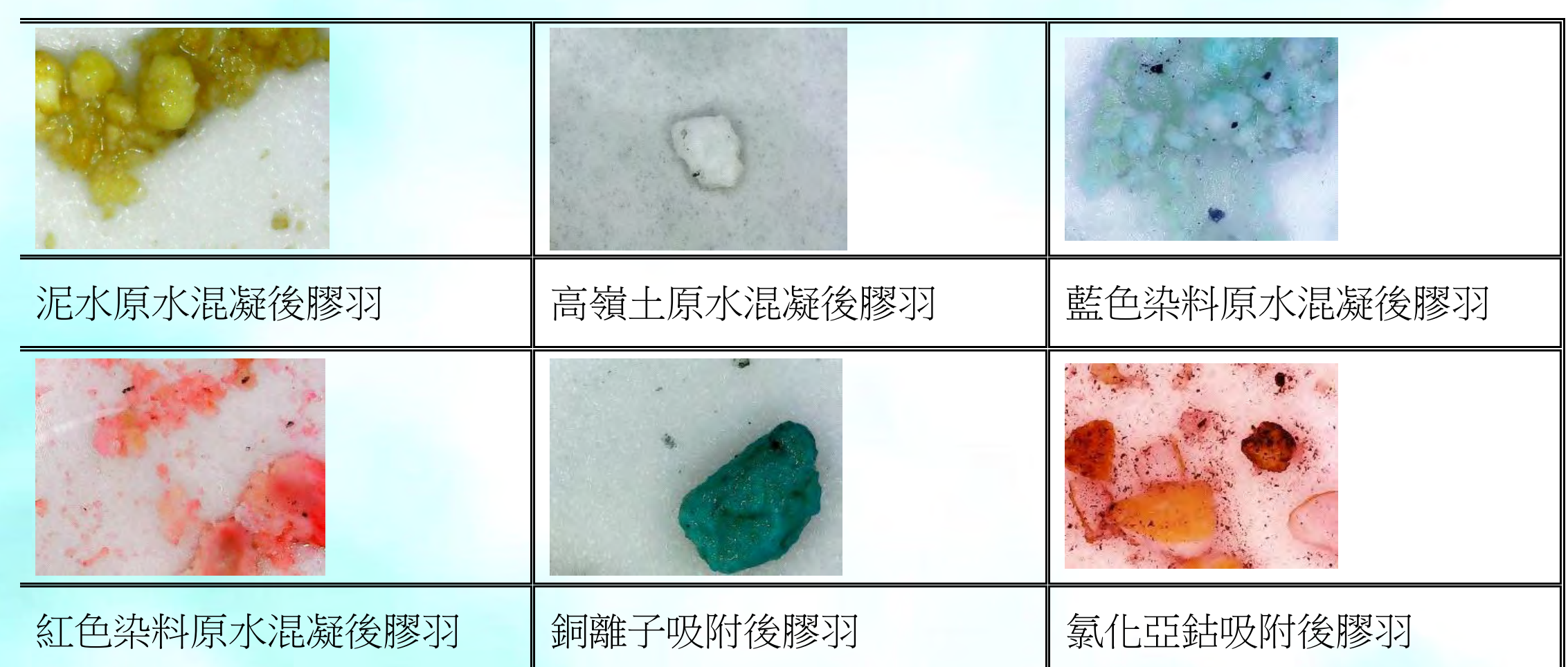
● 結果:

- (1) 混凝劑混凝後對高領土原水濁度去除率 % 活性炭(82.7%) > 炭化辣木籽(82.3%) > 多元氯化鋁(81.9%) > 辣木籽(78.8%) > 甲殼素(70.8%) > 明礬(58.9%) > 對照組(22.1%)
- (2) 混凝劑混凝後對泥土原水濁度去除率 % 活性炭(82.7%) > 甲殼素(82.3%) > 炭化辣木籽(66.3%) > 辣木籽(62.8%) > 多元氯化鋁(61.3%) > 明礬(40.9%) > 對照組(13.9%)

● 討論:

- (1) 多元氯化鋁與明礬用於高領土無機原水時效果較佳，但用於泥土原水時因土壤中含有無機質與有機質，對有機質混凝沉降效果明顯偏低。
- (2) 陽離子辣木籽與炭化辣木籽去除水中有機與無機物混均適用。
- (3) 甲殼素、炭化辣木籽、辣木籽可以有效取代多元氯化鋁、明礬作為去除濁度的混凝劑。

顯微鏡下膠羽



● 結果:

- (1) 辣木籽粉與甲殼素粉在0.1g/100mL=1mg/L的添加劑量, 對500NTU泥土原水有最佳的濁度去去效率, 分別是78.9%、82.1%。
- (2) 炭化辣木籽粉與活性炭粉在0.2g/100mL=2mg/L的添加劑量, 對500NTU泥土原水有最佳的濁度去去效率, 分別是82.3%、82.7%。

● 討論:

- (1) 辣木籽與甲殼素成分分別為陽離子蛋白，溶解度不高，溶於水過量會產生泡沫與黃色色素反而不利混凝沉澱，因此劑量不能太高以免產生反作用。
- (2) 帶正電的辣木籽蛋白與甲殼素蛋白，能吸附在帶負電的混濁粒子，適量可獲得良好的混凝效果，但加藥過量會產生再穩定化的現象反而降低效果。
- (3) 活性炭粉:炭化辣木籽粉:辣木籽粉:甲殼素粉: =2: 2: 1: 1比例，依序添加混凝，先進行物理性吸附在進行化學性吸附，會產生最大的濁度去除率達95.5%，可將原水濁度在2小時內迅速變成乾淨清水，濁度由500NTU降到22.5NTU。

實驗五、混凝劑對原水pH值效應

操縱變因: 辣木籽、炭化辣木籽、甲殼素、多元氯化鋁、明礬、活性炭。
應變變因: Δ pH差。

結果:

辣木籽及甲殼素常具有電荷中和及架橋作用，不會造成 pH 劇烈的改變，添加微量即可產生變化但**元氯化鋁會產生較大pH變化**。

實驗六、混凝最佳pH值與氧化電位效應

操縱變因: pH值、ORP氧化電位。

應變變因: 濁度去除率%、紅色色度去除率%、銅離子去除率%

●結果:

(1)最適合pH範圍6~7.5，pH6.5有最佳濁度去除率97.5%、最佳色度去除率93.1%。

(2)氧化電位在260~320mV之間，有最佳混凝去除效率。

(3)相同pH值的條件，去除率: 濁度>紅色染料>銅離子。

●討論:

(1)pH<4時，會慢慢溶解於溶液中而失去吸附能力。

(2) pH<4 離子競爭減低吸附效應。

組別	混凝劑種類	混凝前原水pH值	混凝後原水pH值	Δ pH改變量
實驗組	辣木籽粉	7.2	6.8	0.4
	炭化辣木籽粉	7.2	6.9	0.3
	甲殼素粉	7.2	6.3	0.9
	活性炭粉	7.2	7.1	0.1
對照組	多元氯化鋁	7.2	3.9	3.3
	明礬	7.2	4.8	2.4



在 25°C下Cu²⁺吸附平衡實驗數據-Freundlich 等溫吸附模式(2hr)

起始Cu ²⁺ 濃度 C ₀ (mg/L)	平衡Cu ²⁺ 濃度 C _e (mg/L)	濃度差 (mg/L)	體積 (L)	銅原子量 (g/mol)	吸附量 q _e (mg/g)	吸附率 (%)	K _F	n	R ²
10	0.8	9.2	0.5	63.5	2.92×10 ²	92.0	388.5	1.26	0.99
100	9.4	90.6	0.5	63.5	2.87×10 ³	90.6			
500	48.5	451.5	0.5	63.5	1.43×10 ⁴	90.3			
1000	102.0	898	0.5	63.5	2.85×10 ⁴	89.8			
2000	330.0	1670.0	0.5	63.5	5.30×10 ⁴	83.5			

實驗七、最佳比例混凝劑的吸附實驗

分光光度計測得數值帶入標準曲線線性迴歸方程式，得到吸附後濃度，並計算出濃度差。

吸附量q_e=(吸附前後的濃度差×溶液的公升(0.5L)×銅原子量)/吸附劑克數。

●結果:

(1)線性回歸 R²=0.9929皆非常接近 1，顯示比例混合劑(RCs)吸附水中重金屬銅離子相當符合 Freundlich 等溫吸附模式。

根據斜率=1/n，截距=log K，我們得到 K_F= 388.5，顯示最佳比例混凝劑具有相當大的吸附容量，且 n=1.26，其值大於 1，表示比例混合劑(RCs)吸附銅離子為有利性吸附。

(2)吸附量 q_e隨著起始濃度 C₀的增加而增加，吸附率與起始濃度 C₀負相關。

*依Freundlich吸附模式進行實驗與計算

$$\log q_e = \log K_F + 1/n \log C_e$$

(1)其中q_e為平衡時單位吸附劑之吸附量(ADMI L/g)

(2) C_e為被吸附質之平衡濃度(ADMI)

(3)K_F和n為Freundlich 常數，分別代表吸附容量和吸附強度

起始濃度 (C ₀)(mg/L)	飽和濃度 (C _e)(mg/L)	飽和吸附體積 (V _e)(mL)	飽和吸附量 (G _e)(g)	吸附劑總量 (m _e)(g)	飽和吸附當量 (q _e)(mg/g)	去除率 (R _e %)
500	450	6472	3.236	4	809.0	80.9
1000	900	2784	2.784	4	696.0	69.6
2000	1800	1126	2.252	4	563.0	56.3

實驗八、管柱淨水效應

- 由下而上在針筒中充填活性炭粉:炭化辣木籽粉:辣木籽粉:甲殼素粉: =2: 2: 1: 1比例，分別添加: 2g、2g、1.0、1.0g，個物質中間以海棉當作夾層避免混合及析出。
- 配製三種濃度硫酸銅溶液(500、1000、2000mg/L)倒入針筒管柱中，擠壓針筒並過濾出水溶液。
- 當達到飽和析附濃度時即原始濃度90%，則停止。
- 分別計算:飽和吸附量、飽和吸附當量、去除率。

●結果:

(1)去除率%，500、1000、2000 mg/L濃度原水，去除率分別為80.9、69.6、56.3%

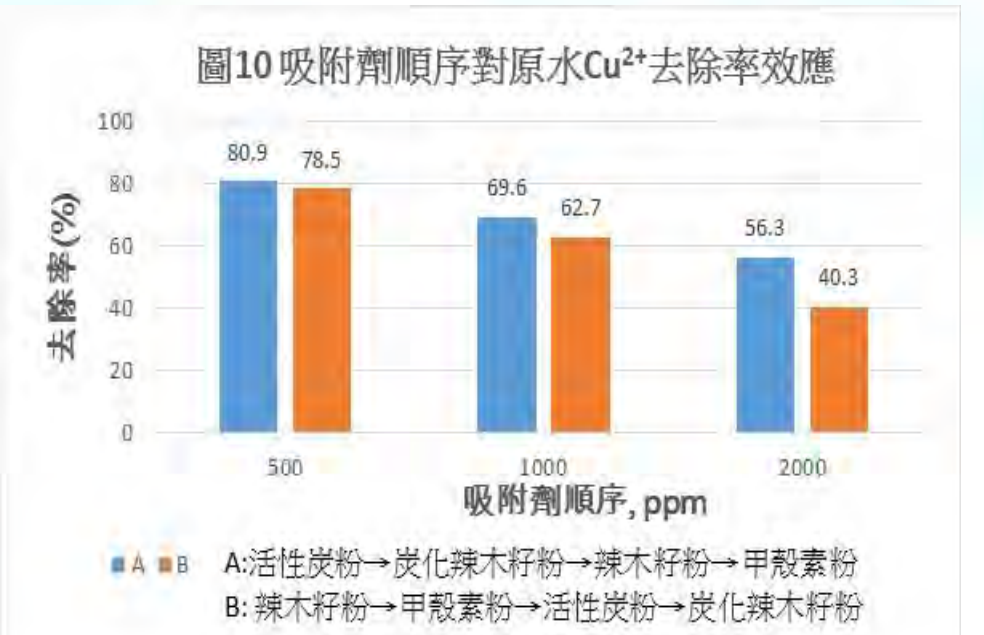
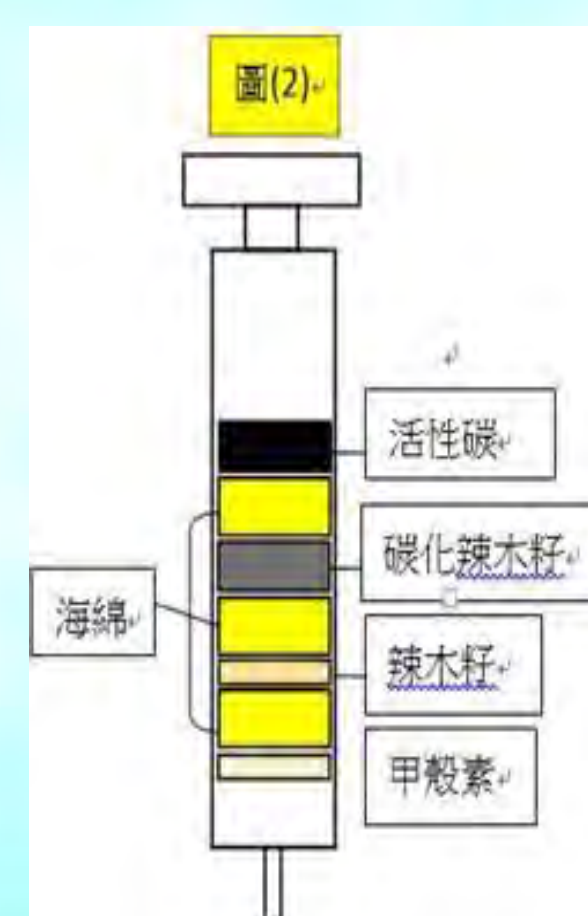
(2)最佳比例混凝劑每1克可以吸附可吸附銅離子809克，飽和吸附當量(q_e)=809.0(mg/g)

(3)原水濃度愈高，起始濃度愈高，則管柱淨水效果愈高但容易超過管柱吸附容量。

(3)進一步探討吸附劑順序改變對銅離子去除率影響: 結果顯示先物理吸附→化學吸附，對銅離子有較佳去除率。

相關文獻比較

飽和吸附當量(q_e) (mg/g): 本研究>甲殼素>中孔活性炭+電壓
銅離子去除率(%):本研究>甲殼素>>中孔活性炭+電壓>甘蔗渣活性炭。



吸附材料	飽和吸附當量(q _e) (mg/g)	去除率(%)
活性炭粉:炭化辣木籽粉:辣木籽粉:甲殼素粉: =2: 2: 1: 1	809.0	56.3~80.9%
中孔活性炭+電壓0.9V (14)	56.62	35.6%
甘蔗渣活性炭(15)	-	32.3%
甲殼素(13)	94.5	48.6%

捌、結論與未來展望

1. 探討混凝劑種類去除濁度效應:

對泥水原水濁度去除率% 活性炭(82.7%)> 甲殼素(82.3%)> 炭化辣木籽(66.3%)> 辣木籽(62.8%)>多元氯化鋁(61.3%)>明礬(40.9%)> 對照組(13.9%)。

2. 探討混凝劑種類去除色度效應:

藍色染料色度去除率>80% 紅色染料色度去除率>70%，去除率明顯高於對照組多元氯化鋁及明礬。

3. 混凝劑添加劑量及最佳比例效應:

最佳劑量: 炭化辣木籽粉與活性炭粉0.2mg/L，辣木籽粉與甲殼素粉在1mg/L (500NTU)。

最佳比例: 活性炭粉:炭化辣木籽粉:辣木籽粉:甲殼素粉: =2: 2: 1: 1比例。

4. 混凝劑對原水pH值效應:

實驗組混凝劑(辣木籽粉、炭化辣木籽粉、甲殼素粉、活性炭粉)對原水pH值改變量影響較小

5. 混凝最佳pH值與氧化電位效應:

最適合pH範圍6~7.5，最佳氧化電位:260~320mV之間。

6. 最佳比例混凝劑對銅離子吸附效應:

Freundlich吸附模式推估: 最佳比例混凝劑K_F=388.5具有相當大的吸附容量，n =1.26為有利性吸附。

7. 管柱淨水效應探討:

500 mg/L濃度原水，去除率分達80.9.3%。最佳比例混凝劑每1克可以吸附可吸附銅離子809克，效果優於其他文獻。

8.未來展望: 辣木籽與甲殼素是淨化水質的理想混凝劑，它可以除去水中的無機固體懸浮物與有機物，其用量少，效果好，其無毒的特點是其他混凝劑所無法比擬的。未來應用可以開發模組化，將淨水模組應用於水龍頭或是保特瓶，讓它成為簡單、方便、有效的淨水裝置。