

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生活與應用科學科(三)

第三名

033003

望”桃”興”炭”-自製生物炭批次反應淨水槽

學校名稱：桃園市立平興國民中學

作者： 國二 李妍均 國二 沈軒毅	指導老師： 蔡忠穎 蕭雅夫
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：生物炭、淨水、電沉積

摘要

本研究以果園回收的水蜜桃果核製備的生物炭為主題，透過製備條件、吸光值濃度檢量線、電沉積反應去污能力的測試，探討比較生物炭與市售活性碳對離子與非離子污染物的吸附能力，進而為彌補活性炭在吸附金屬離子污染物能力較弱的缺點，自製電沉積與生物炭的批次反應淨水槽，探討其同時處理離子與非離子污染物的效果。

結果發現，利用雙層陶罐間填充碎木炭提升隔氧性，將水蜜桃果核以高溫 900℃ 燃燒 2 小時炭化生成生物炭。生物炭對於非離子染劑吸附能力與市售活性炭相當，而自製的批次反應淨水槽，能由 arduino 連動自動切換進料，有效降低非離子污染物濃度。目前積極尋找反應條件以提升離子污染物的清除速度，期待本設備能提供一個新方向，降低廢水處理成本。

壹、前言

一、研究動機

近幾年來，人們開始重視環境保育以及維護，但我們依然能透過新聞、社交軟體或家人的口中聽到哪一條溪流被汙染，以桃園為例，最嚴重的案例勢必是老街溪，那裡聚集了許多的家庭廢水和工業廢水，是在最近桃園市政府透過許多施政的措施，才將它慢慢復原的。聽長輩說，以前老街溪是他們玩耍的地方，看著現在的老街溪，我真的無法想像以前是什麼樣子。

老師在一次理化課上，說到了生物炭跟活性碳的多孔隙，並且說到可以吸附污染物，這時我的腦中浮現了一個想法：「或許我們可以用生物炭清除家鄉水中的污染物」，我們一拍即合決定去跟老師說我們的想法，老師很支持我們。我小時候回拉拉山上的爺爺家，附近攤販打完水蜜桃冰沙後，直接把果核丟棄在垃圾桶，看著硬硬的果核我覺得很有趣，心想它是不是有其它的作用，恰好我們正在尋找製作生物炭的原料，所以我們選擇用水蜜桃果核製作生物炭，這樣似乎可以讓水蜜桃果核發揮最後作用，也可以解決家鄉水中的污染物，於是我們開始了實驗。

二、研究目的

- (1) 尋找簡易自製生物炭的條件
- (2) 比較生物炭與活性碳對離子與非離子污染物的吸附能力

- (3) 測試電沉積反應去除離子污染物的能力
- (4) 組合電沉積與生物炭吸附的批次反應淨水槽

三、文獻探討

一、生物炭

生物炭是由農業廢料、木材等有機物在缺氧高溫下熱解製成的碳質材料，能長期穩定儲存碳，是一種有效的碳匯。

生物炭的主要應用

- (1)碳儲存：穩定性高，可在土壤中保存數百至數千年，減少大氣二氧化碳，有助對抗氣候變遷。
- (2)改良土壤：提升保水性、通氣性和養分儲存能力，有助於作物生長與增產。
- (3)水質淨化：具多孔性，可吸附重金屬與有機污染物，應用於污水處理。
- (4)能源利用：製備過程產生熱能與可燃氣體，可用於發電與供熱。

二、活性碳

活性碳是經高溫炭化後再經物理或化學方法活化的炭質材料，具備大量微孔與強大的吸附能力，活性化過程會大幅增加孔隙數量與表面積，使其具備吸附特性。

吸附原理:

- 物理吸附：利用孔隙結構捕捉較大分子，達到脫色、脫臭與分離效果。
- 化學吸附：有時在孔隙中加入化學劑，使吸附物與之發生反應。

三、生物炭的製作方法

四、工業廢水處理的主要程序

工業廢水處理通常包括物理、化學、生物與進階處理，各階段針對不同污染物進行處理：

1.物理處理（過濾、沉澱）

利用物理方法去除懸浮固體與大分子污染物，無化學變化。

2.化學處理（中和、氧化還原、混凝）

加入化學藥劑，使污染物透過反應轉化或沉澱去除。

3.生物處理（活性污泥、濾床）

利用微生物分解有機物，將其轉化為無害物質。

4.進階處理（膜過濾、活性碳、逆滲透）

處理難以分解的污染物，達到更高水質標準，但成本較高，其中高度溶於水、離子類型的污染物比較難處理。

五、電化學方法去除水中金屬離子

電化學處理是透過電極通電，觸發化學反應來去除水中金屬離子。常見方法有：

- 電沉積（Electroplating）
- 電絮凝（Electrocoagulation）
- 電氧化（Electrooxidation）
- 電解反應（Electrolysis）
- 電吸附（Electrosorption）

其中，電沉積與電絮凝最常用於含金屬廢水處理，兼具金屬去除與回收功能

1. 電沉積

- 原理：將金屬離子還原成金屬，沉積於陰極表面。
- 應用：適用於高濃度金屬廢水（如銅、鉛、鋅等）。
- 效果：可高效去除金屬離子並回收金屬。

2. 電絮凝

- 原理：鐵或鋁電極釋放金屬離子，生成氫氧化物絮體，吸附污染物後沉澱去除。
- 應用：適用於低濃度金屬、油脂、懸浮物等廢水。
- 效果：能同時去除重金屬、有機物與懸浮固體，操作簡單。

六、批次反應器

批次反應器是以分批方式操作的系統，每次將原料加入反應器中進行反應，完成後取出產品，必要時清理設備再進行下一批。由於每批獨立運作，不會受前後批次影響。

這種反應器不太適合氣體反應，因為處理量小、操作較困難，只有在需精準分析的情況下才會使用。操作中包括進料、卸料與清潔，非反應時間長且需較多人力，因此常用於小規模產業，如食品、藥品與精密化學品製造。本次實驗中，我們使用自動化設備，減少了人力需求。

七、比爾-朗伯定律

比爾-朗伯定律描述了光在物質中傳播時的吸收現象，常用於光譜分析、化學定量分析等領域。它的數學表達式為：

$$A = \epsilon \cdot c \cdot l$$

其中：A 是吸光度

- ϵ 是摩爾消光係數，單位通常為 $\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ 。
- c 是溶質的濃度，單位為 mol/L 。
- l 是光程長度，單位為 cm 。

主要概念：

1. **吸光度與濃度成正比**：當溶液濃度增加時，吸收的光也會增加（假設光程長度與消光係數不變）。
2. **適用範圍有限**：當溶液濃度過高時，分子間相互作用可能會影響光的吸收，使該定律不再適用。
3. **應用領域廣泛**：在化學、醫學（如血液分析）、環境科學（如水質監測）等領域都廣泛應用。

八、亞甲藍、結晶紫、硫酸銅廢液來源及濃度

項目	亞甲藍 (Methylene Blue)	硫酸銅 (Copper(II) sulfate)	結晶紫 (Crystal Violet)
化學性質	合成陽離子染料，水溶性，深藍色	藍色結晶，水溶性強	三苯甲烷類陽離子染料，紫色水溶液
主要用途	醫療（高鐵血紅蛋白血症、瘡疾等）、紡織染料、水產抗菌	農業殺菌劑（波爾多液）、水產除藻、電鍍工業	醫療染色劑（細菌染色）、紡織染料、抗菌劑
毒性影響	對水生生物有急性及慢性毒性，低濃度即影響生長繁殖；高劑量對人類有神經毒性	對魚類和水生生物高度毒性，慢性暴露影響生長繁殖	高毒性且致癌、致突變，長期接觸有健康風險
環境影響	難降解，持久存在於水體，影響水體顏色和生態系統	農業和工業排放造成水體污染，毒害水生生物	難降解，環境中累積，對生態系統造成長期影響
處理方法	活性碳吸附、光催化降解、臭氧氧化、化學還原	化學沉澱、中和、控制使用量、廢水處理	物理化學法（吸附、凝聚）、生物降解（酵母菌等）

常用濃度

物質名稱	一般使用濃度（應用）	一般環境濃度（廢水、污染等）
亞甲藍	1 – 5 mg/L（醫療治療）、10 – 50 mg/L（染料廢水）	0.01 – 1.0 mg/L（污染水體中）0.01-1ppm
硫酸銅	0.1 – 1.0 mg/L（水產殺菌）、3 – 5 mg/L（除藻） 極端值 200mg(電鍍)	0.01 – 0.5 mg/L（受污染的地表水） 0.01-1ppm
結晶紫	1 – 10 mg/L（染菌用途）、20 – 50 mg/L（紡織印染）	0.01 – 0.1 mg/L（工業廢水或下游水體）0.01-0.1ppm

安全濃度

物質名稱	水生生物安全值（長期暴露）	飲用水 / 人體暴露安全值
亞甲藍	≤ 0.01 – 0.1 mg/L	1 – 2 mg/kg 體重（醫療使用）
硫酸銅	≤ 0.01 – 0.02 mg/L（銅離子計）	WHO 飲用水標準：≤ 2.0 mg/L（銅）
結晶紫	幾乎無「安全值」，建議為 0（禁用）	無正式人體安全容許值（被列為致癌物）

貳、研究設備與器材

一、實驗藥品

藥品	英文名	來源
硫酸	Sulphuric acid	學校
結晶紫	crystal violet	學校
亞甲藍液	methylene blue	學校
硫酸銅	copper sulphate	學校
活性碳	Active charcoal	學校

二、實驗器材

器材	英文	來源
燒杯	low form Griffin beaker	學校
玻棒	Borosilicate glass	學校
滴管	Drop	學校
漏斗	funnel	學校
試管	Tube	學校
光譜儀	Spectroscope	學校
精密電子秤	electronic precision scale	學校
濾紙	filter paper	學校
漏斗架	filter stand	學校
離心機	centrifugum	學校

超音波震盪機	supersonic oscillations	學校
刮勺	spatula	學校
量筒	graduated cylinder	學校
石英比色槽	quartz cuvette	學校
高溫爐	high-temperature furnace	中央大學、陶藝社
研鉢	porcelain mortar	學校
研杵	pounder	學校
鐵鎚	mash hammer	學校
夾鏈袋	plastic bag	學校
雞骨頭	chicken bone	家裡
水蜜桃果核	peach stone	家裡
木炭	charcoal	家裡
厚紙板	cardboard	學校
試管架	test tube rack	學校

參、研究過程與方法

一、製備生物炭

- 1.將水蜜桃果核敲成碎塊。
- 2.用烤箱把碎塊烘乾。
- 3.將水蜜桃果核填滿小坩鍋並密封。
- 4.將坩鍋放入陶罐中並且填滿木炭粉。
- 3.以高溫爐設定 900℃ 燒製 2 小時。

二、生物炭、活性碳前置處理

- 1.將生物炭磨碎過篩至與市售活性碳顆粒大小一致，並隨機取樣測量長徑。
- 2.以超音波震盪儀震盪 10 分鐘使細小粉末與生物炭、活性炭分離
- 3.多次使用清水與雙層紗布過濾去除粉末，以防後續使用光譜儀時較細小的生物炭會漂浮導致影響實驗結果。

三、製作亞甲藍液、結晶紫、硫酸銅之吸光值濃度檢量線

- 1.分別配製 0.08、0.04、0.02、0.01(g/L)亞甲藍溶液；0.04、0.02、0.01、0.005(g/L)結晶紫溶液；0.2、0.1、0.05、0.025(g/L)硫酸銅溶液。
- 2.將上述三種混和液放入光譜儀先以純水為參比液進行校正
- 3.以 665、600、610nm 波長的光線分別測量亞甲藍、結晶紫、硫酸銅溶液之吸光值
- 4.以測量結果計算出檢量線換算公式

四、檢測生物炭、活性碳吸附能力

- 1.分別取 0.08(g/L)亞甲藍 5 ml、0.04(g/L)結晶紫 5 ml、0.02(g/L)硫酸銅溶液 5 ml 加入 0.1g 生物炭，各製作三份樣本，放入超音波震盪儀，分別震盪 3、6、9 分鐘。
- 2.取出樣本放入離心機，離心 3 分鐘。
- 3.吸取上清液放入比色槽中測量其吸光值。
- 4.以檢量線將吸光值轉換成濃度。
- 5.重複步驟 1~4 三次計算數值平均值、標準差。

五、檢測電解槽去除離子汙染物能力

- 1.以石磨棒為電極，接上 12V 電壓，放入 10%硫酸銅中
- 2.分別將通電 2、4、6、8、10 分鐘之樣本放入比色槽
- 3.測量各樣本吸光值並轉換成濃度

六、製作生物炭批次反應淨水槽

- 1.根據上述實驗結果設計具有實用意義的生物炭批次反應淨水槽

七、電沉積槽效能測試

- 1.配製 0.2g/L 硫酸銅水溶液放入電沉積槽中，並以 arduino 測量電導度數值，每 5 分鐘記錄一次。

肆、實驗結果

一、製備生物炭

1. 製備少量樣本確認水蜜桃果核吸附能力

初我們使用的高溫爐一次燒製的量較少(一次只能燒製一個氧化鋁舟)，因此們決定通入氮氣燒製少量樣本來確定水蜜桃果核的吸附能力及最佳燒製溫度，最後決定以900°C大量燒製。



2. 大量燒製水蜜桃果核樣本

(1) 將水蜜桃果核敲成碎塊，使得坩鍋內填充完減少氧氣殘留。



(2) 把碎塊烘乾避免加熱時產生水蒸氣壓力過大使坩鍋破裂



(3)使用雙層陶罐燒製 900°C、2 小時，內層坩鍋與外層陶罐間填充碎木炭增加隔氧性。



(4)燒製完成



二、生物炭、活性碳前置處理

1.將生物炭磨碎過篩至與市售活性炭顆粒大小一致，並隨機取樣測量長徑。

	長徑平均值(mm)	標準差(mm)
活性炭	4.17	0.74
生物炭	3.98	0.27

2.以超音波震盪儀震盪 10 分鐘使細小粉末與生物炭、活性炭分離，多次使用清水與雙層紗布過濾去除粉末，以防後續使用光譜儀時較細小的生物炭會漂浮導致影響實驗結果。

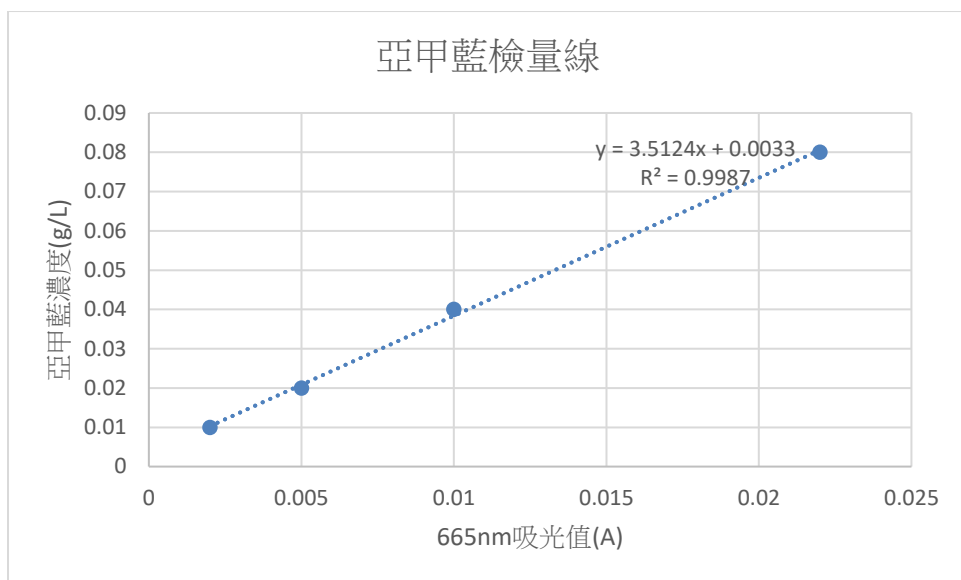


三、製作亞甲藍液、結晶紫、硫酸銅之吸光值濃度檢量線

1.亞甲藍液

濃度(g/L))	665nm 之吸光值(A)
0.08	0.022
0.04	0.01
0.02	0.005
0.01	0.002

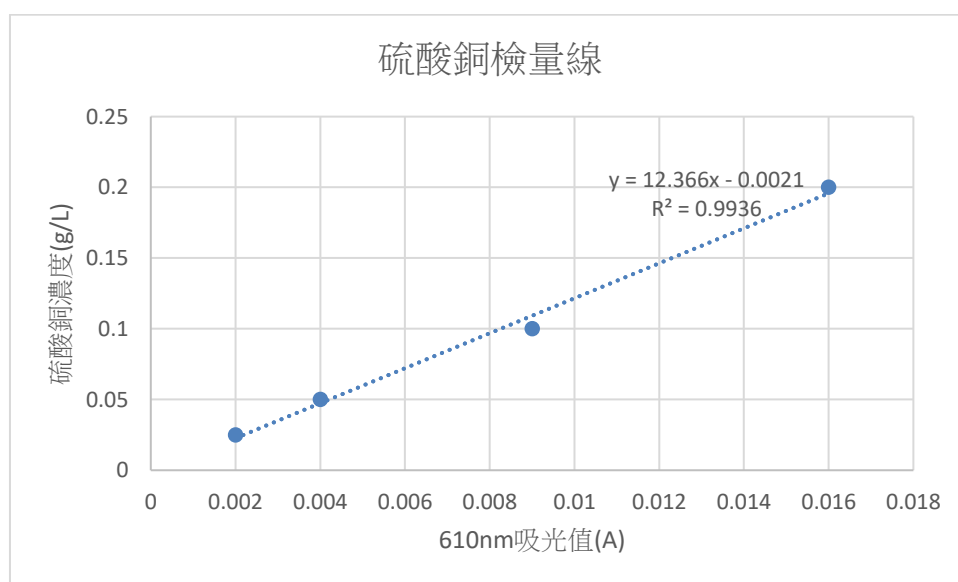
根據此數值做出檢量線如下圖所示，吸光值-亞甲藍濃度轉換公式為 $y = 3.5124x + 0.0033$ ， R^2 值為 0.9987。



2. 硫酸銅

濃度(g/L)	610nm 之吸光值(A)
0.2	0.016
0.1	0.009
0.05	0.004
0.025	0.002

根據此數值做出檢量線如下圖所示，吸光值-硫酸銅濃度轉換公式為 $y = 12.366x - 0.0021$ ， R^2 值為 0.9936。

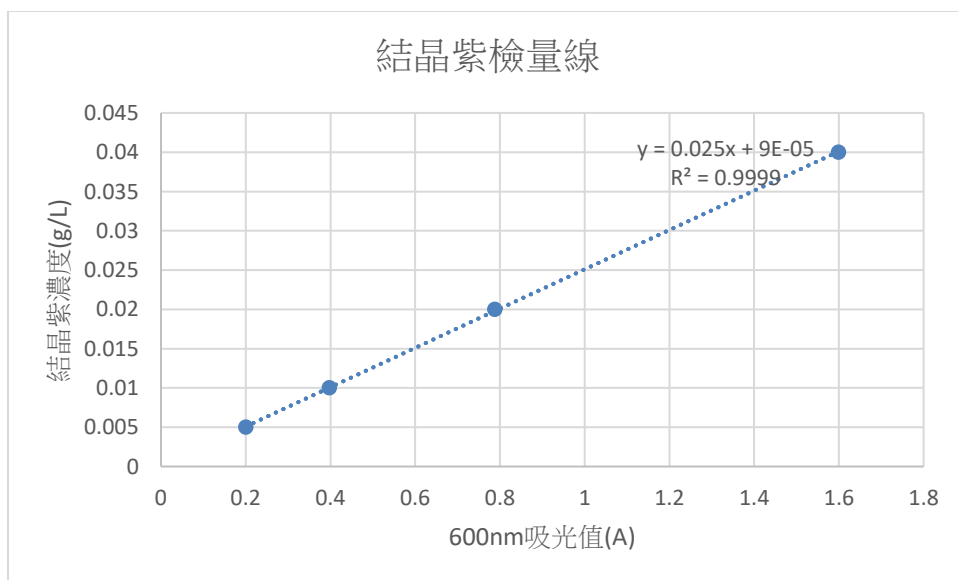


3.結晶紫

濃度(g/L)	665nm 之吸光值(A)
0.04	1.599
0.02	0.788
0.01	0.397
0.005	0.2

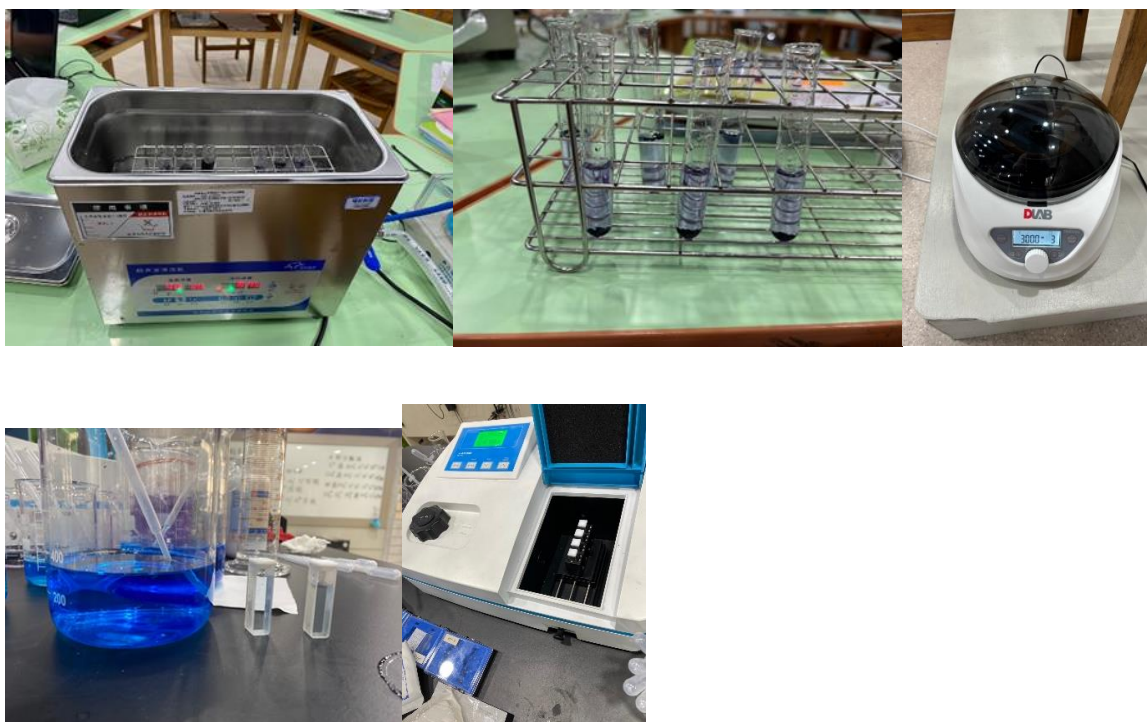


根據此數值做出檢量線如下圖所示，吸光值-結晶紫濃度轉換公式為 $y = 0.025x + 0.00005$ ， R^2 值為 $= 0.9999$



四、檢測生物炭、活性碳吸附能力

將各項染劑加入活性碳、生物炭以超音波震盪儀震盪，再以離心機使碳粒沉澱，最後吸取上清液測其吸光值



1.亞甲藍液

(1)將 0.2g/L 亞甲藍液 5ml 加入 0.1g 活性碳、生物炭以超音波震盪儀震盪各時間之 665nm 波長吸光值

	活性碳測量 3 次 之平均值	活性炭測量 3 次之標準差	生物碳測量 3 次之平均值	生物炭測量 3 次 之標準差
未經吸附處理 之吸光值	0.022	0.000	0.022	0.000
震盪 3 分鐘之 吸光值	0.007	0.001	0.004	0.002
震盪 6 分鐘之 吸光值	0.008	0.001	0.004	0.003
震盪 9 分鐘之 吸光值	0.008	0.001	0.005	0.002

(2)以檢量線 $y = 3.5124x + 0.0033$ 將各吸光值轉換成濃度

	活性碳(g/L)	生物炭(g/L)
未經吸附處理之濃度	0.08	0.08
震盪 3 分鐘之濃度	0.03	0.02
震盪 6 分鐘之濃度	0.03	0.02
震盪 9 分鐘之濃度	0.03	0.02

2.結晶紫

(1)將 0.04g/L 結晶紫 5ml 加入 0.1g 活性碳、生物炭以超音波震盪儀震盪各時間之吸光值

	活性碳測量 3 次之平均值	活性炭測量 3 次之標準差	生物炭測量 3 次之平均值	生物炭測量 3 次之標準差
未經吸附處理之吸光值	1.599A	0	1.599A	0
震盪 3 分鐘之吸光值	0.466A	0.031	0.489A	0.047
震盪 6 分鐘之吸光值	0.457A	0.026	0.446A	0.047
震盪 9 分鐘之吸光值	0.468A	0.024	0.458A	0.059

(2)以檢量線 $y = 0.025x + 0.00005$ 將各吸光值轉換成濃度

	活性碳(g/L)	生物炭(g/L)
未經吸附處理之濃度	0.04	0.04
震盪 3 分鐘之濃度	0.01	0.01
震盪 6 分鐘之濃度	0.01	0.01
震盪 9 分鐘之濃度	0.01	0.01

3.硫酸銅

(1)將 0.2 g/L 硫酸銅 5ml 加入 0.1g 活性碳、生物炭以超音波震盪儀震盪各時間之吸光值

	活性碳測量 3 次 之平均值	活性炭測量 3 次之標準差	生物炭測量 3 次之平均值	生物炭測量 3 次 之標準差
未經吸附處理 之吸光值	0.016A	0	0.016A	0
震盪 3 分鐘之 吸光值	0.015A	0.001	0.016A	0.001
震盪 6 分鐘之 吸光值	0.017A	0.001	0.017A	0.002
震盪 9 分鐘之 吸光值	0.016A	0.002	0.017A	0.002

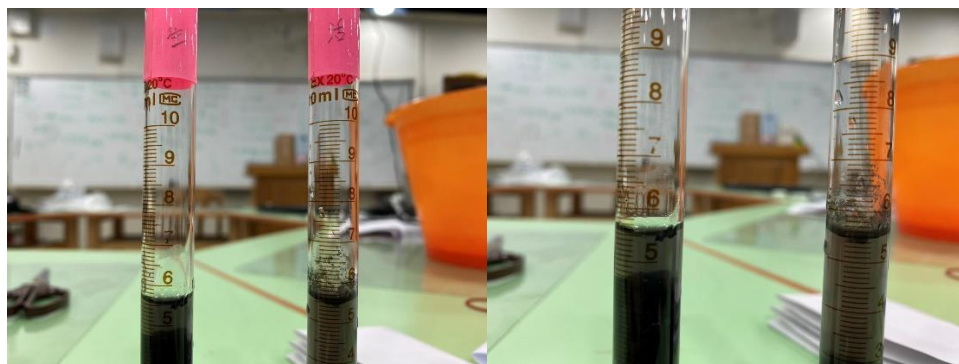
(2)以檢量線 $y = 12.366x - 0.0021$ 將各吸光值轉換成濃度

	活性碳(g/L)	生物炭(g/L)
未經吸附處理之濃度	20	20
震盪 3 分鐘之濃度	18	20
震盪 6 分鐘之濃度	20	20
震盪 9 分鐘之濃度	20	20

從上述數據我們可以發現生物炭對於非離子染劑吸附能力與生物炭差異不大，大約經過三分鐘就能將濃度降至一半以下，而對於離子染劑吸附能力同樣非常差，硫酸銅震盪越久濃度不但沒有下降反而升高我們推測是因為震盪越久越多炭粉的緣故。

四、活性炭、生物炭孔隙率測試

將 2.17g 的活性炭與生物炭分別放入 10ml 量筒中，補水至 6ml，再將量筒以包鮮膜封住避免水分蒸發，靜置 24 小時後以超音波震盪儀去除氣泡後觀察液面變化。



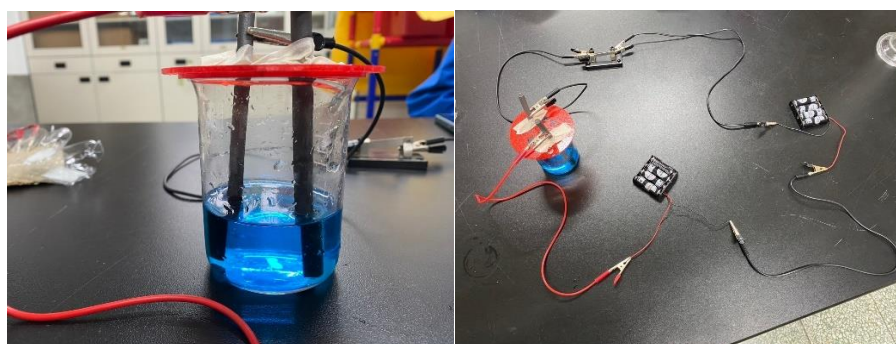
結果發現活性炭液面下降至 5.48ml 生物炭下降至 5.51ml。

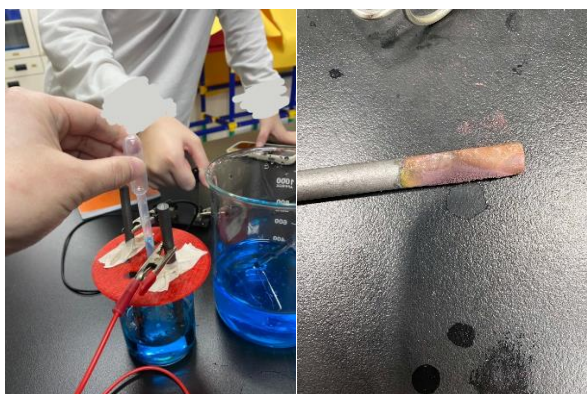
	活性炭	生物炭
液面下降高度(ml/g)	0.24	0.23

從實驗結果可以發現本研究自製的生物炭與市售活性炭空隙率是差不多的，與染劑的吸附結果相符。

五、檢測電解槽去除離子汙染物能力

以石磨棒為電極，接上 12V 電壓，放入 10%硫酸銅溶液中定時取出樣本測量其於 665.5nm 之吸光值。



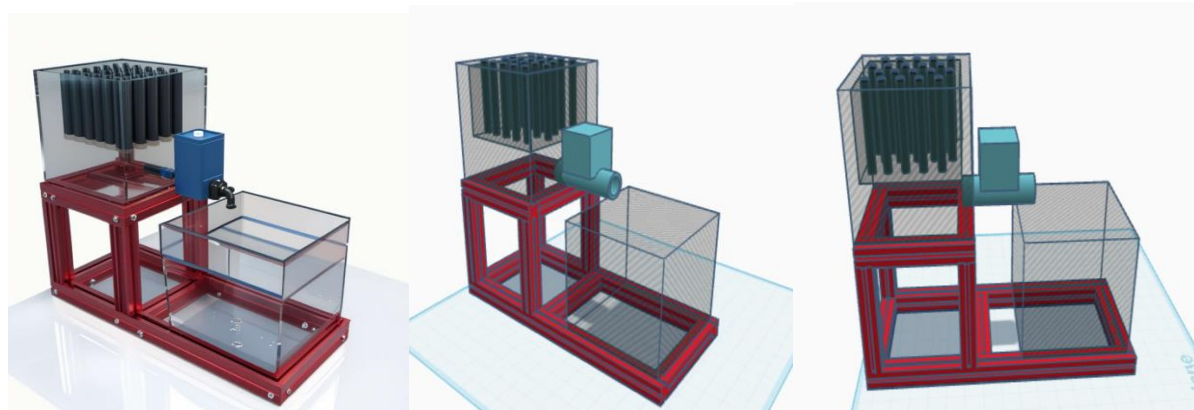


各時間吸光值如下表

	吸光值	濃度
未通電	1.628A	10%
通電 5 分鐘	1.564A	9.6%
通電 10 分鐘	1.512A	9.2%
通電 15 分鐘	1.483A	9.1%
通電 20 分鐘	1.457A	8.9%
通電 25 分鐘	1.433A	8.8%
通電 30 分鐘	1.419A	8.7%

我們從實驗數據可以發現電沉積對離子類的污染物是有效果的，以本實驗裝置來說大約 30 分鐘可以去除 1% 的污染物，未來我們也將會測試更多種類的污染物。

六、製作生物炭批次反應淨水槽

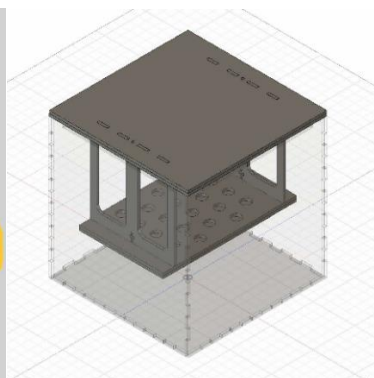
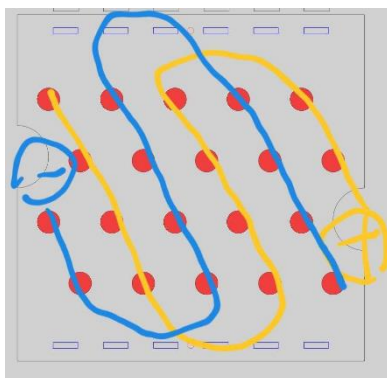


上圖為我們初步設計的生物炭批次反應淨水槽，目前最新的版本可分為三部分:電沉積槽、生物炭吸附槽、控制電路元件，成品如下圖所示



1.電沉積槽

第一槽為電沉積槽使用了 20 支石墨棒作為電極，底部空間放入打氣系統循環曝氣，使用電子閥門連接 Arduino 可以在面板上設定時間開啟閥門，同時切斷電極電源，將污水放流至第二槽，目前第二版本已經新增電導度偵測器與 Arduino 連動，電導度值達設定值後自動斷電放流，電解在正極會產生氫離子($\text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightarrow 2\text{H}^+_{(aq)} + 1/2 \text{O}_{2(g)} + 2e^-$)使 PH 值下降，製造出有利於第二槽生物炭吸附槽的環境。



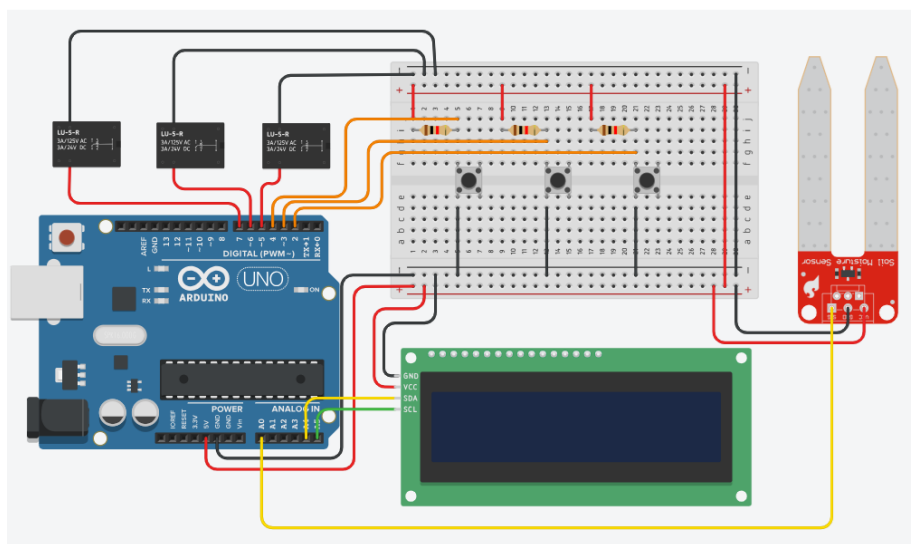
2.生物炭吸附槽

第二槽我們在底部設計了打氣系統使汙水與生物炭充分接觸，一樣使用電子閥門連動 Arduino 控制，達設定時間即排出，吸附的建議時間會在後續實驗中找出最佳參數，未來考慮新增光敏電阻來自動偵測汙水吸附程度連動 Arduino 控制排放。

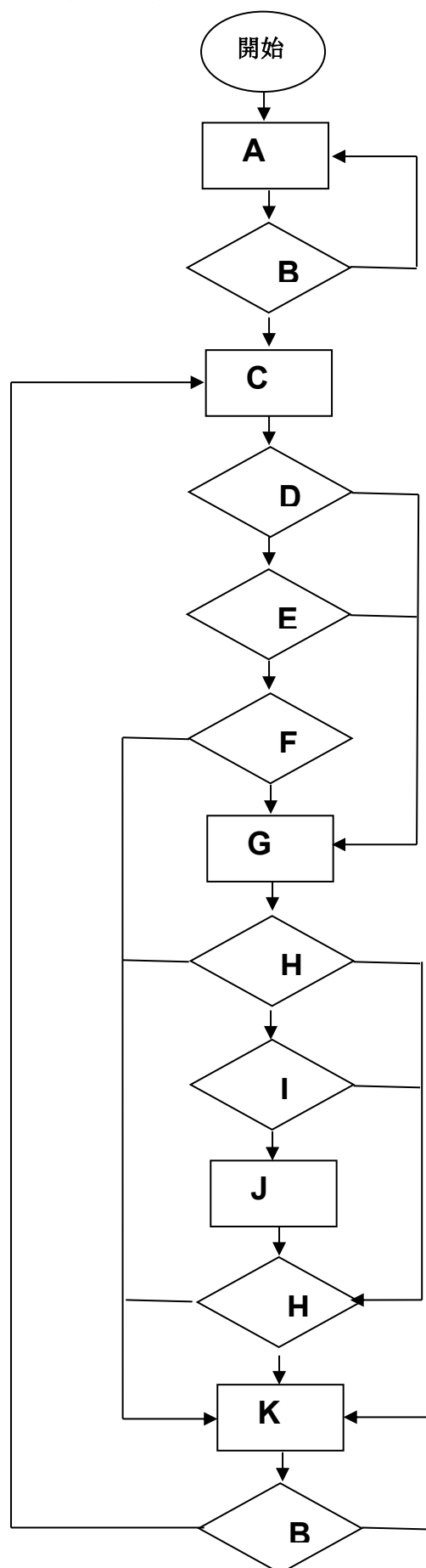


3. 控制電路元件

下圖為電路元件配置圖，將兩個水閥門及電導度偵測器由 Arduino 聯動控制。



下圖為程式邏輯流程圖



A: 開始偵測水溶液電導度，螢幕顯示 Ready

B: 是否按下啟動鍵

C: 關閉所有水閥門，開啟石墨電極電源

D: 電導度是否低於閾值

E: 是否按下電沉積終止按鈕

F: 是否按下緊急停機鈕

G: 開啟一號水閘門 20 秒之後關閉一號水閘門

H: 是否按下緊急停機鈕

I: 時間是否經過 10 分鐘

**J: 開啟二號水閥門 20
秒之後關閉二號水閥
門
螢幕顯示 End**

K: 所有水閥門關閉
石墨電擊電源關閉

七、電沉積槽效能測試

1.配置五個硫酸銅水溶液標準品

透過文獻研究我們發現在一般半導體廠所排放的廢水當中，銅離子在極端的狀況可以到達每公升 200 毫克，而放流水標準是每公升 5 毫克，以此我們來決定配置標準品的濃度範圍。測試結果如下面的表格所示：

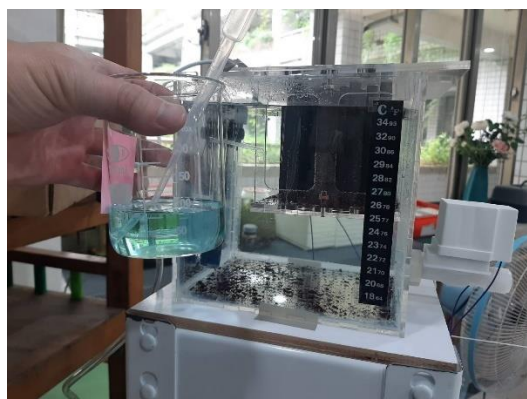
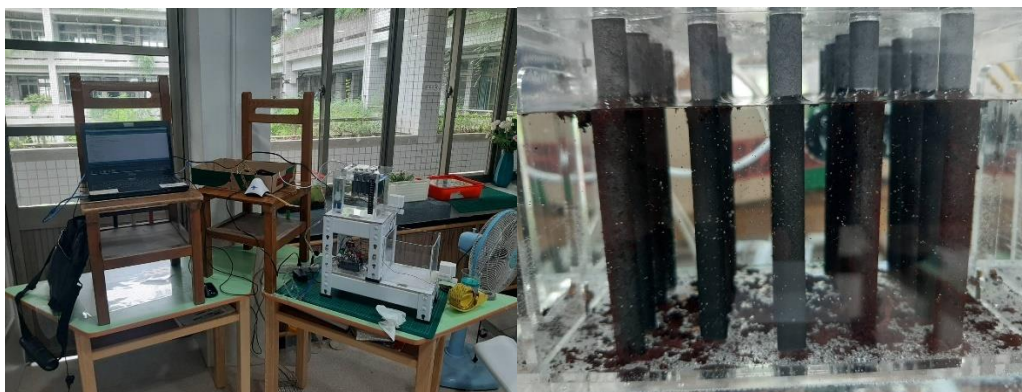
銅離子濃度	ADC 值
0.005 g/L	22
0.05 g/L	53
0.1 g/L	89
1 g/L	346
2 g/L	370

每種濃度測試時間都在 5 秒以上並且進行交錯測試，以了解感測器的再現性。

2.將 200mg/L 硫酸銅水溶液 3500ml 放入電沉積槽中，通入 12V 電流測試其效能，每 5 分鐘記錄一次濃度。本來實驗設計是由電導度換算，但由於反應產生的金屬微粒會干擾測時結果，因次改為每 5 分鐘測量其 610nm 之吸光值再換算成濃度，結果如下表。

反應時間 (分鐘)	銅離子濃度
5	121 mg/L
10	75 mg/L
15	39 mg/L
20	22 mg/L
25	3 mg/L

由實驗結果可以得知，本次測試在 25 分鐘之內就將銅離子濃度降至排放標準，在電沉積槽當中正極石墨棒上面可以看見非常多的銅金屬沉積，以及在污水當中看到懸浮著電絮凝的金屬微粒，以及在正極石墨棒上面所產生的氧氣。實驗相當的成功，我們設計的電沉積槽在相當短的時間內，就去除大量的銅離子。



伍、討論

一、製備生物炭

我們從之前的研究發現生物炭在 300-900 度的之間越高溫效果越好，我們在大量燒製前先取少量樣本分別以 300、600、900°C 之溫度送往中央大學物理研究所實驗室，通入氮氣隔氧燒製，我們發現 900 度的效果確實如文獻顯示一樣是最好的，因此我們選用 900 度作為大量燒製的溫度，大量燒製的樣本則委託陶藝教室以雙層陶罐密封外層填充碳粉，放入高溫爐燒製，最後測試吸附效果與市售活性碳差異不大。

二、製作亞甲藍液、結晶紫、硫酸銅之吸光值濃度檢量線

我們使用光譜儀測定溶液之吸光值，根據比爾-朗伯定律我們將吸光值換算成溶液濃度，製作成吸光值-濃度檢量線，可解釋變異量達 0.99 以上是相當可靠的結果。

三、活性炭、生物炭前置處理

在實驗初期我們發現經活性炭、生物炭處理後的樣本會漂浮許多微小炭粒會影響光譜儀後續測量，小炭粒的存在使的吸光值異常上升甚至超過未經吸附處理之樣本，但由目視觀察染劑顏色卻是變淡許多於理不合。小炭粒顆粒極小要在吸附實驗後完全去除較為困難，因此決定在實驗前先進行前置處理，加水放入超音波震盪儀中將炭粒震出，同時也可以將活性炭、生物炭上的雜質震出，接著過濾出顆粒較大的樣本以此進行下階段實驗，我們發現經過過濾處理後的光譜儀讀數明顯改善許多符合預期出現的效果。

四、檢測生物炭、活性炭吸附能力

我們實驗結果發現活性炭及生物炭對於亞甲藍、結晶紫等非離子類的污染物吸附效果相當好，從實驗數據顯示約經過 3 分鐘可將濃度降至原本一半以下，我們認為使用生物炭在我們的淨水批次反應槽中具有良好之效果。而硫酸銅等離子類的污染物吸附效果非常不明顯，因此我們認為應該使用其他方式來處理離子類的污染物，經過文獻搜尋後我們設計了下一個電沉積實驗。

五、檢測電沉積槽去除離子污染物能力

經過實驗發現使用 12V 的電壓通入硫酸銅鐘，30 分鐘約可以降低 1% 的銅離子濃度，此實驗數據為使用 2 支石墨棒作為正負極所得，在我們設計的電沉積槽中使用了 20 支石墨棒作為電極，相信除離子能力將會大大提升。

六、製作生物炭批次反應淨水槽

根據前幾樣實驗結果我們自製了一組生物炭批次反應淨水槽，第一槽使用電沉積反應去除離子污染物，第一版本是以時間來控制，以每 30 分鐘降低 1% 污染物的速率計

算，使用者可以自行輸入第一槽反應的時間，時間一到電子閥門將會由 arduino 連動控制開啟，將廢水排往下一槽中，第二版本我們新增電導度感測器，當離子濃度下降使電導度降到目標值時電子閥門將會由 arduino 連動控制開啟並發出提示音，將廢水排往下一槽中。

第二槽為生物炭吸附槽，我們在槽底使用打氣機將污染物與生物炭充分混合並曝氣，使得非離子污染物吸附於生物炭中，曝氣也可以使特定污染物之降解，經由我們實驗的數據大約 3 分鐘可將污染物降至能吸附的上限，使用者可自行輸入第二槽反應所需時間。

文獻中顯示 PH 值下降有利於活性炭、生物炭吸附雜質，因此我們設計第一槽為電沉積槽，經過電沉積反應後廢水的 PH 值會下降，製造出有利於第二槽吸附的環境。

未來將會新增各物質填充量、批次速率、水力停留時間…等參數之實驗以達到最高效率的淨水效果。

七、電沉積槽效能測試

由實驗結果可以得知，本次測試在 25 分鐘之內就將銅離子濃度降至排放標準，在電沉積草當中正極石墨棒上面可以看見非常多的銅金屬沉積，以及在污水當中看到懸浮著電絮凝的金屬微粒，以及在正極石墨棒上面所產生的氧氣。實驗相當的成功，我們設計的電沉積槽在相當短的時間內，就去除大量的銅離子。

而懸浮金屬離子影響電導度計運作，我們預計會在石磨電極外，套上一層隔離層，避免金屬離子懸浮在水槽中。

陸、結論

本研究證實了水蜜桃果核能製造出有實用效果的生物炭；並且驗證了生物炭、活性炭對非離子污染物吸附能力較佳，離子污染物則是非常差；也驗證了電沉積對離子污染物具有效果；最後根據實驗結果自行設計且製作出了一套生物炭批次反應淨水槽。我們的批次反應淨水槽相較於傳統的批次反應設計，因使用了自動化的監控及控制設備而使得人力成本大為降低。本產品不論是用在家庭廢水或是工業廢水的進階淨化皆有良好的效果。

未來將會新增

- 1.電導度偵測的實驗，找出電導度與各種離子污染物濃度的對應關係，以利於更精準地淨化水質
- 2.對常見的水質污染物作分析，探討本裝置是否完善，最後取樣各種廢水實際檢測淨化效果。
- 3.測試活性碳在各種污染物濃度下的建議用量。

柒、參考文獻

註:本文所有圖表皆為作者自製

1.生物炭電容應用於去離子淡化技術

<https://www.ntsec.edu.tw/article/FileAtt.ashx?id=15460>

2.批次反應器

<https://www.kingjarl.com.tw/application/cate/%E6%89%B9%E6%AC%A1%E5%8F%8D%E6%87%89%E5%99%A8/>

3.廢水批次式化學處理實例介紹

<https://proj.ftis.org.tw/eta/epaper/PDF/ti040-2.pdf>

4.歐陽山喬暉-《下水道工程學》

5.張晉-《水處理工程與設計》

6. Louis Theodore, R. Ryan Dupont Kumar Ganesan-《Unit Operations in Environmental Engineering》

7. Metcalf & Eddy -《Wastewater Engineering》

8.【永續新知】什麼是生物炭？一表格看懂生物炭與木炭的6大差異

https://www.tchar.com.tw/news-detail-3568985.html?fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMTEAAR3CmQaAMvw9WpMDuo6BTLwEszsmuR6PZ_CtvGP-AkokdgThnaWm1Frauc_aem_3mVqe_QGDNI31b8MVgMfFA

9.「銅」「矽」合力-探討不同條件下矽藻土吸附銅離子的差異

<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/60/pdf/NPHSF2020-030210.pdf?766>

10. 石宇華、石宇嘉(民100)。儀器分析化學。臺中市。鼎茂。

11.檢測水中銅離子方法及其系統

<https://patents.google.com/patent/TW202210812A/zh>

https://www.newton.com.tw/wiki/%E6%AF%94%E7%88%BE-%E6%9C%97%E4%BC%AF%E5%AE%9A%E5%BE%8B#google_vignette

【評語】 033003

1. 本實驗回收水蜜桃果核製備生物炭，除減低農業廢棄物外，其製作的生物炭可提升污染物的清除速度，提供一個減少廢水處理成本之新方法。
2. 有系統收集研製之生物炭應用於電沉積反應去除污染物之測試數據及分析測試，也設計組合電沉積批次反應淨水槽，以利提升實務應用價值。
3. 建議廢水處理衍生之廢棄物需說明處理或回收方法。
4. 核桃並非大宗農業廢棄物，可補充說明其原料的來源。其碳化需使用能源，建議也應加入能耗及成本討論。

作品海報



望"桃"興"炭"

自製生物炭批次反應淨水槽



壹、前言

研究動機

環境污染問題仍存在、希望為水質改善盡一份心力

靈感來源:課堂上學到生物炭可吸附污染物，想到能用生物炭淨化水質

材料選擇:想起果汁攤販丟棄的果核，決定利用堅硬的果核製作生物炭，減少浪費同時助於環保

行動:向老師分享想法並獲得支持，開始進行果核製成生物炭的實驗

研究目的

- (1) 尋找能簡單自製生物炭的條件
- (2) 比較生物炭與活性碳對離子與非離子污染物的吸附能力
- (3) 測試電沉積反應去除離子汙染物的能力
- (4) 組合電沉積與生物炭吸附的批次反應淨水槽

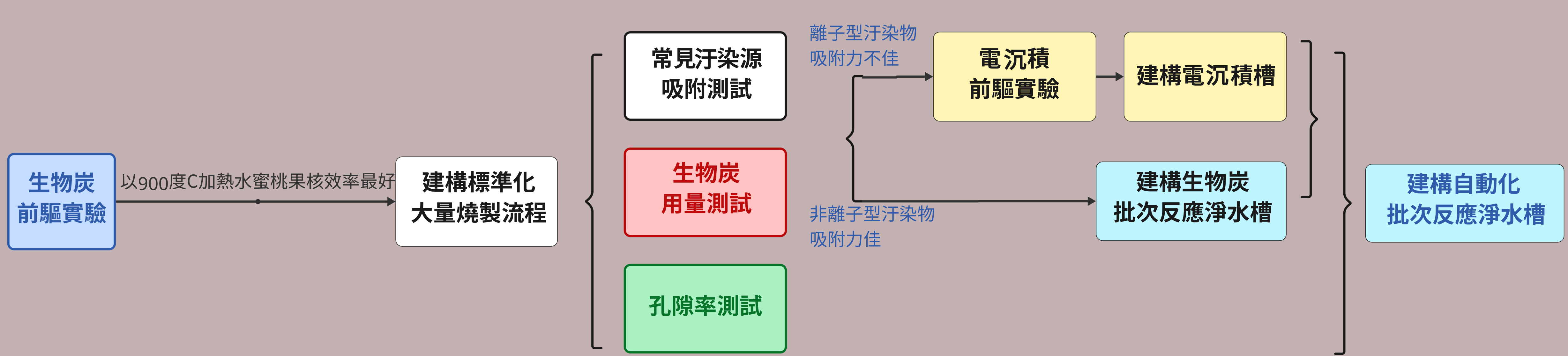
文獻回顧

在文獻中我們發現

- 生物炭和活性碳皆具有多孔性
- 各種工業廢水的處理
- 電沉積和電絮凝的應用方式
- 批次反應槽的應用方式
- 用比爾朗博定律將吸光度換算成濃度
- 亞甲藍液、結晶紫、硫酸銅常用濃度和放流水標準

	業界用量	放流標準
亞甲藍液	1 - 5 mg/L (醫療治療)、 10 - 50 mg/L (染料廢水)	≤ 0.01 - 0.1 mg/L
硫酸銅	0.1 - 1.0 mg/L (水產殺菌)、 3 - 5 mg/L (除藻) 極端值200mg(電鍍)	≤ 0.2 - 0.3mg/L
結晶紫	1 - 10 mg/L (染菌用途)、 20 - 50 mg/L (紡織印染)	幾乎無「安全值」，建議為0 (禁用)

貳、研究過程與方法



參、結果與討論

一、製備生物炭

我們以300、600、900°C在中央大學進行少量試燒，發現900°C效果最佳，所以委託陶藝教室大量密封燒製

- 1.製備少量樣本確認水蜜桃果核製成的生物炭吸附能力，發現吸附力十分接近市售活性碳。
- 2.大量燒製水蜜桃果核樣本
 - (1)將水蜜桃果核敲成碎塊，使得坩鍋內填充完減少氧氣殘留
 - (2)把碎塊烘乾避免加熱時產生水蒸氣壓力過大使坩鍋破裂
 - (3)使用雙層陶罐燒製900°C、2小時，**內層坩鍋與外層陶罐間填充碎木炭增加隔氧性**
 - (4)燒製完成



二、生物炭前置處理

- 1.將生物炭磨碎過篩至與市售活性碳顆粒大小一致，並隨機取樣測量長徑。
- 2.使用清水與雙層紗布過濾掉較細小的生物炭，以防後續使用光譜儀時**較細小的生物炭會漂浮導致影響實驗結果**



	長徑平均值(mm)	標準差(mm)
活性炭	4.17	0.74
生物炭	3.98	0.27

我們在初期因為懸浮的炭粒干擾吸光值，導致數據異常，在超音波震盪與過濾處理後，測值改善並符合預期。

三、結晶紫的生物炭用量

調配一份1公升濃度0.038g/L的結晶紫溶液，取10mL的溶液分別加入試管，並在5個試管中分別加入0.2、0.4、0.6、0.8、1.0公克的生物炭，放入超音波震盪儀震盪5分鐘，右圖為實驗結果

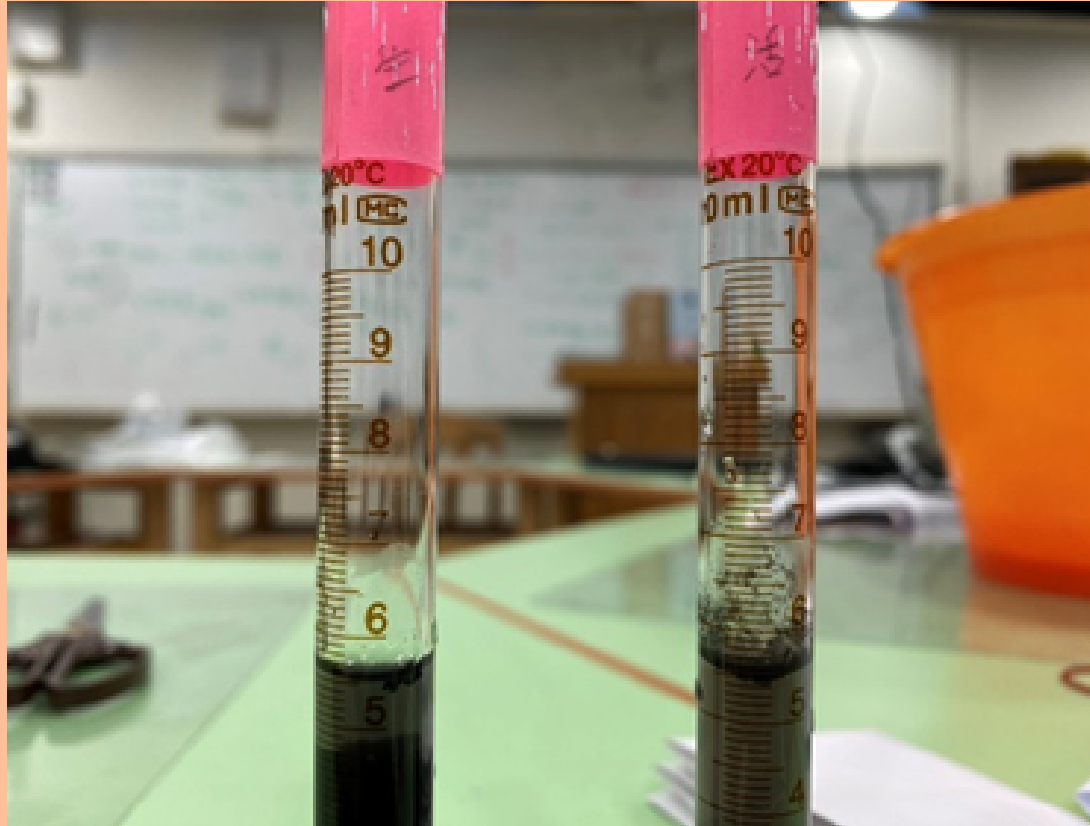
根據結果發現，每增加0.2g的生物炭，可多吸附0.2mg結晶紫，也就是每增加0.1g的生物炭，便可多吸附0.1mg的結晶紫，此實驗結果可作為日後使用量的依據

生物炭用量(g)	吸光值(A)	濃度(g/L)
0.2	1.278	0.032
0.4	1.208	0.03
0.6	1.101	0.027
0.8	0.993	0.025
1	0.904	0.023

四、活性炭、生物炭孔隙率測試

將2.17g的活性炭與生物炭分別放入10ml量筒中，補水至6ml，再將量筒以包鮮膜封住避免水分蒸發，靜置24小時後以超音波震盪儀去除氣泡後觀察液面變化。
結果發現生物炭和活性碳下降的平均值是差不多的。

	生物炭	活性炭
第一組實驗	0.49	0.52
第二組實驗	0.55	0.53
第三組實驗	0.52	0.5
平均值	0.52	0.52
標準差	0.03	0.02

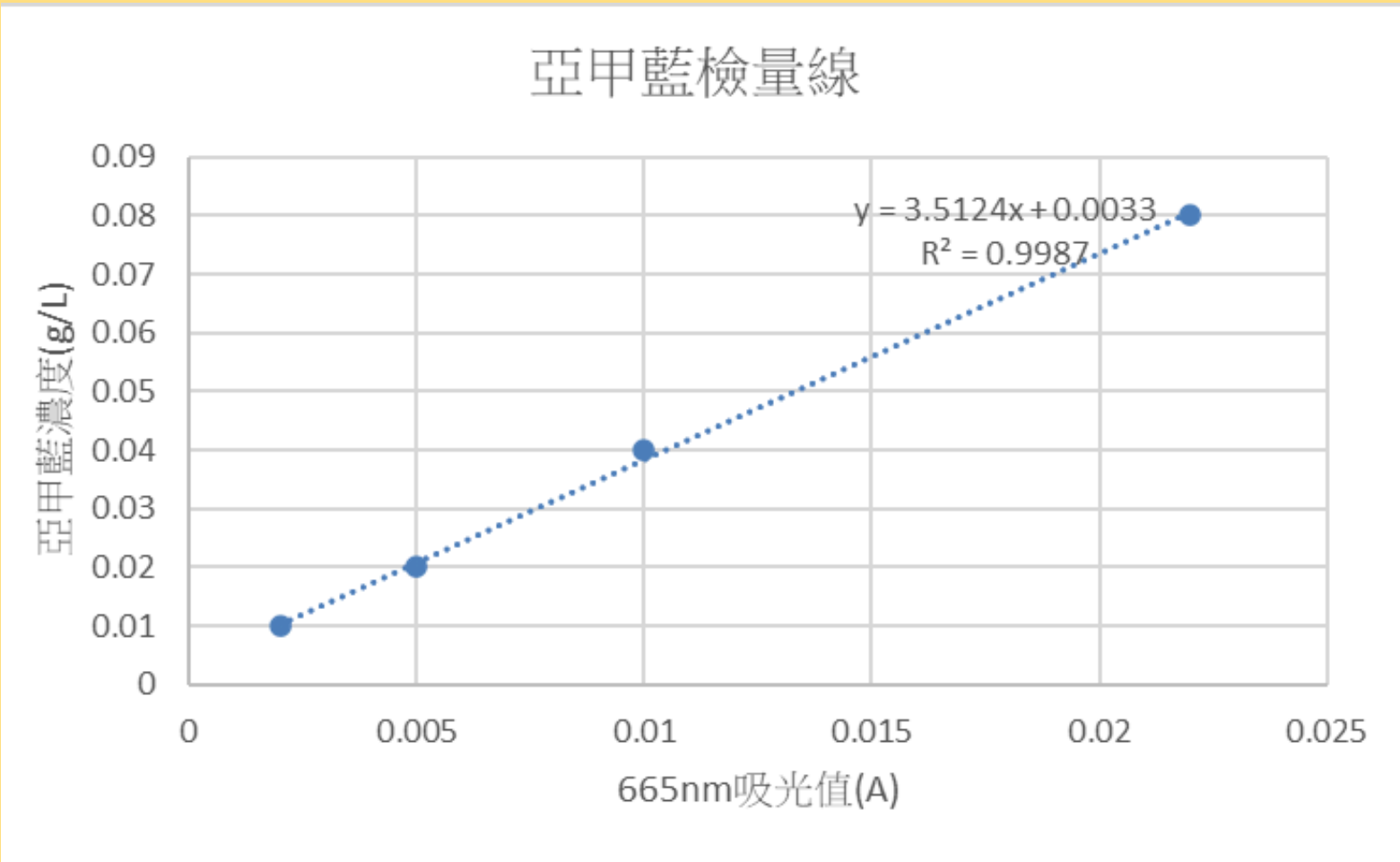


從實驗結果可以發現本研究自製的生物炭與市售活性炭孔隙率是差不多的，與染劑的吸附結果相符。

五、製作亞甲藍液、結晶紫、硫酸銅之吸光值濃度檢量線

1.亞甲藍液:

亞甲藍液各濃度吸光值如表所示
濃度(%) 波長 665nm之吸光值(A)
根據此數值做出檢量線如下圖所示

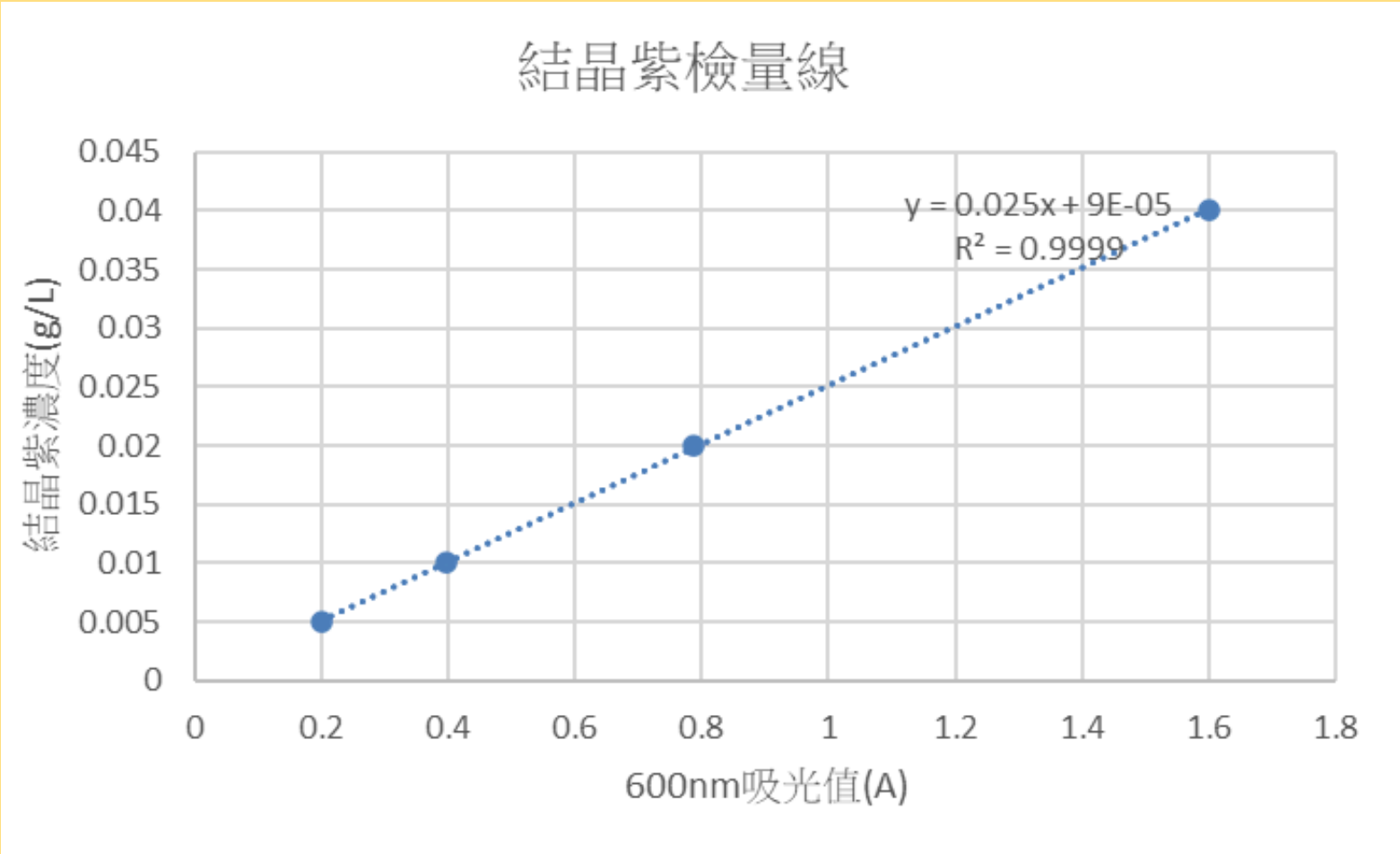


濃度(g/L)	665nm之吸光值
0.08	0.022
0.04	0.01
0.02	0.005
0.01	0.002

吸光值-亞甲藍濃度轉換公式為 $y = 3.5124x + 0.0033$ ， R^2 值為0.9987。

3.結晶紫

根據此數值做出檢量線如圖所示，
波長 600nm之吸光值(A)
根據此數值做出檢量線如下圖所示

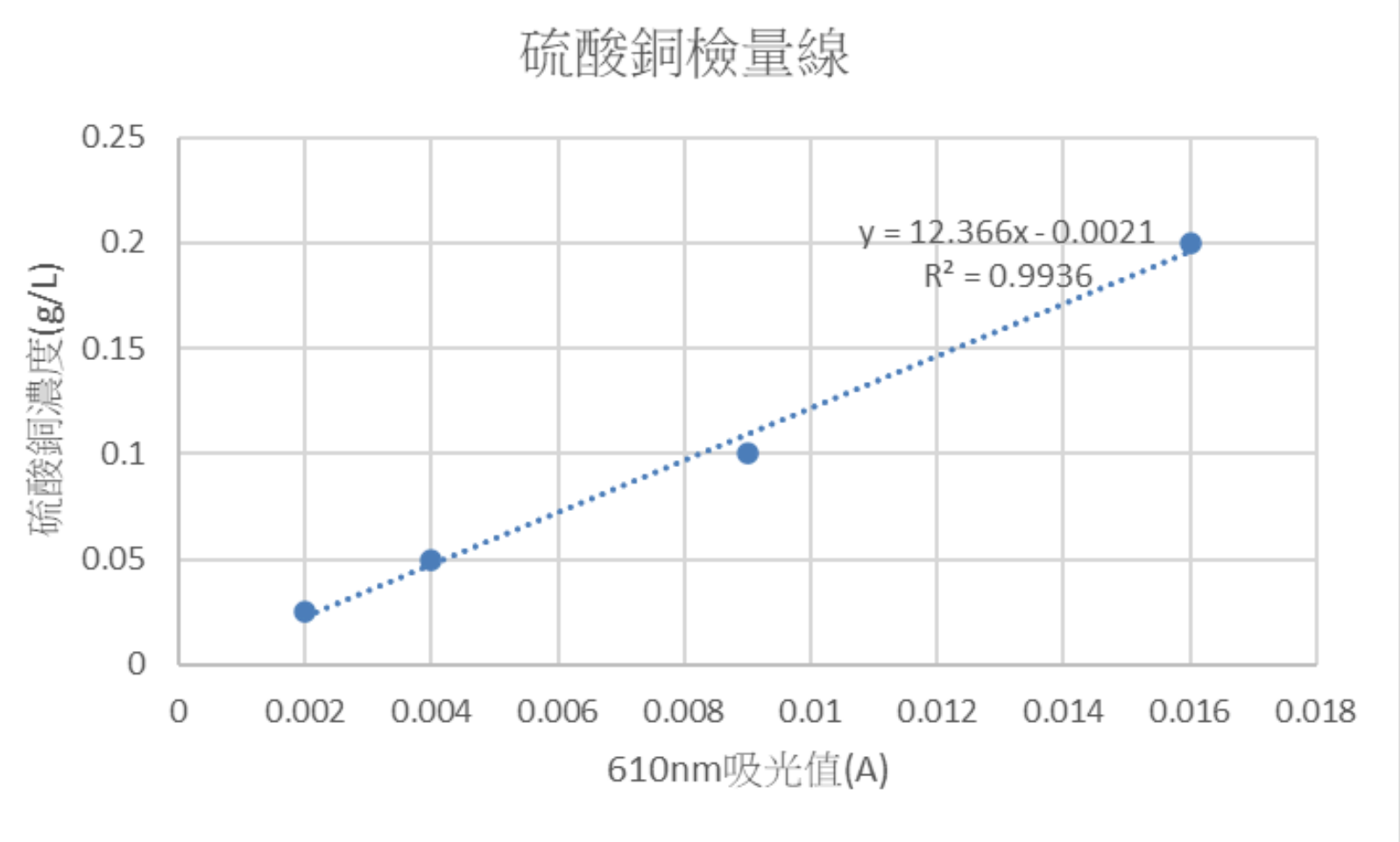


濃度(g/L)	600nm之吸光值
0.04	1.599
0.02	0.788
0.01	0.397
0.005	0.2

吸光值-結晶紫濃度轉換公式為 $y = 0.0003x - 0.019$ ， R^2 值為 = 0.9998

2.硫酸銅

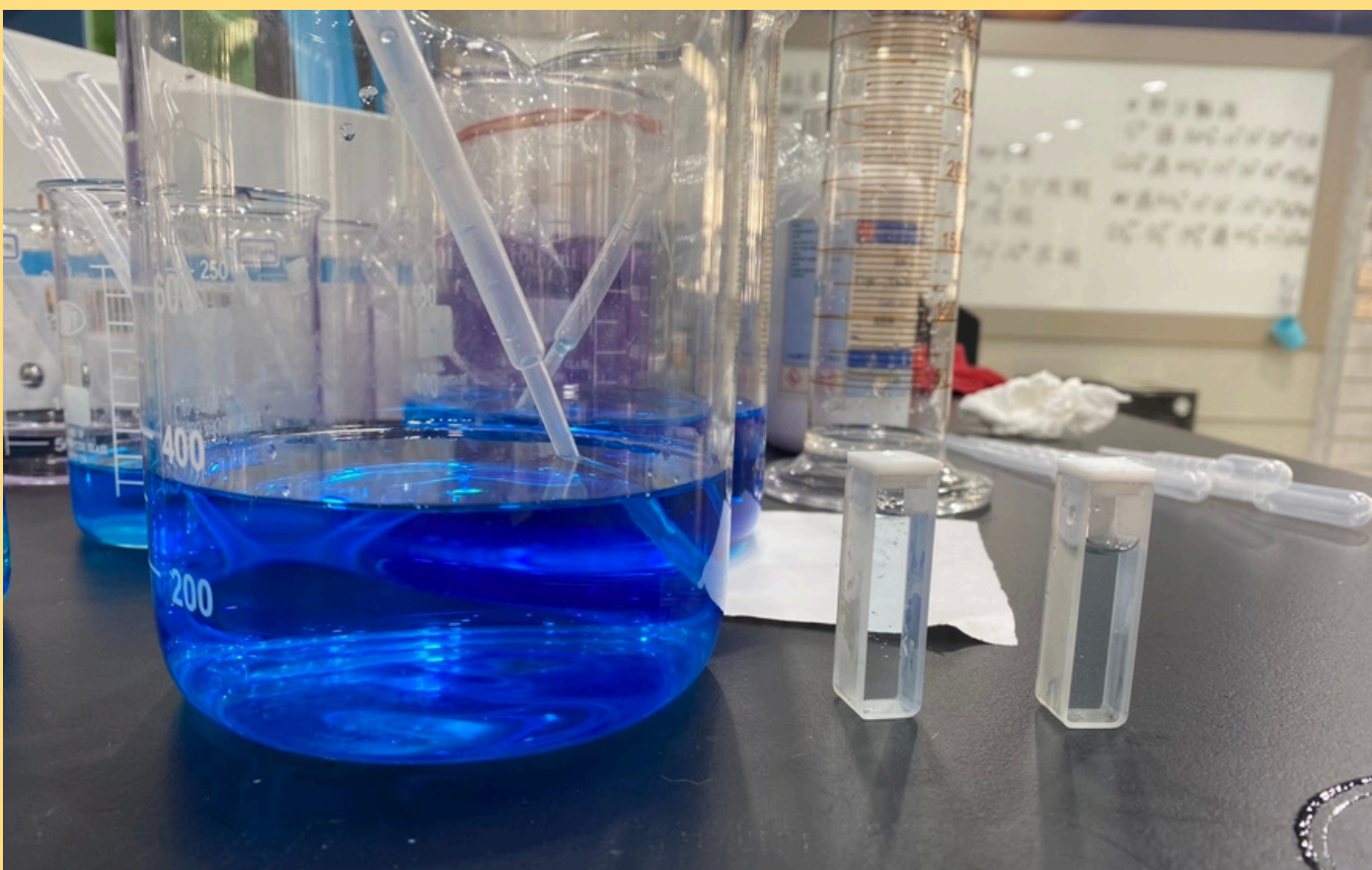
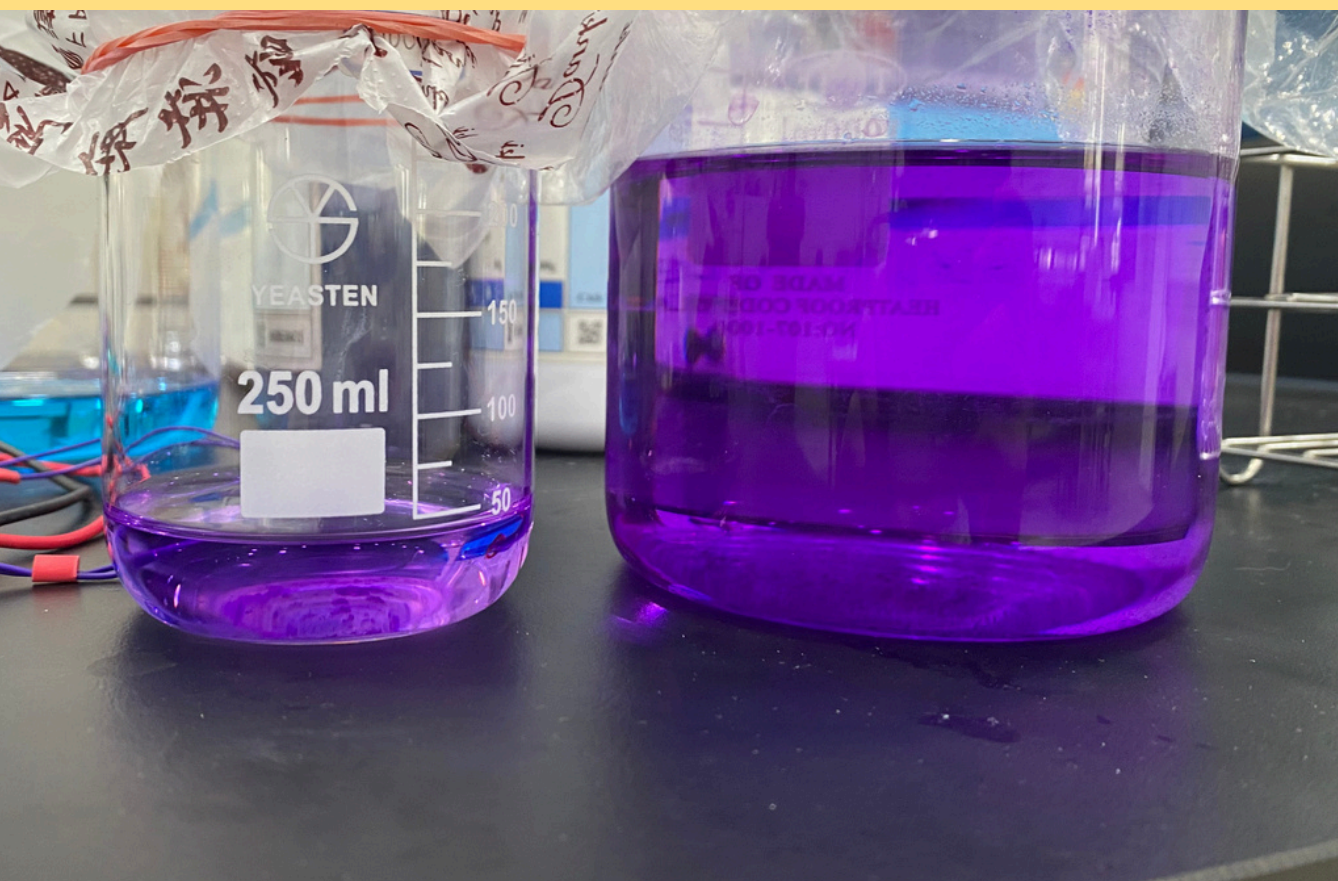
根據此數值做出檢量線如圖所示，
波長 610nm之吸光值(A)
根據此數值做出檢量線如下圖所示



濃度(g/L)	610nm之吸光值
0.2	0.016
0.1	0.009
0.05	0.004
0.025	0.002

吸光值-硫酸銅濃度轉換公式為 $y = 12.366x - 0.0021$ ， R^2 值為0.9936。

我們利用光譜儀測得吸光值，依照檢量線公式換算濃度，製作檢量線，解釋變異量達0.99，結果是十分可靠的



六、檢測生物炭、活性碳吸附能力

將各項染劑加入活性碳、生物炭以超音波震盪儀震盪，再以離心機使碳粒沉澱，最後吸取上清液測其吸光值。

1.亞甲藍液

(1)將0.2g/L亞甲藍液5ml加入0.1g活性碳、生物炭以超音波震盪儀震盪各時間之吸光值

	活性碳測量3次之平均值	活性炭測量3次之標準差	生物碳測量3次之平均值	生物炭測量3次之標準差
未經吸附處理之吸光值	0.022	0	0.022	0
震盪3分鐘之吸光值	0.007	0.001	0.004	0.002
震盪6分鐘之吸光值	0.008	0.001	0.004	0.003
震盪9分鐘之吸光值	0.008	0.001	0.005	0.002

(2)以檢量線 $y = 3.5124x + 0.0033$ 將各吸光值轉換成濃度

	活性碳(g/L)	生物炭(g/L)
未經吸附處理之濃度	0.08	0.08
震盪3分鐘之濃度	0.03	0.02
震盪6分鐘之濃度	0.03	0.02
震盪9分鐘之濃度	0.03	0.02

2.結晶紫

(1)將0.04g/L結晶紫5ml加入0.1g活性碳、生物炭以超音波震盪儀震盪各時間之吸光值

	活性碳測量3次之平均值	活性炭測量3次之標準差	生物碳測量3次之平均值	生物炭測量3次之標準差
未經吸附處理之吸光值	1.599A	0	1.599A	0
震盪3分鐘之吸光值	0.466A	0.031	0.489A	0.047
震盪6分鐘之吸光值	0.457A	0.026	0.446A	0.047
震盪9分鐘之吸光值	0.468A	0.024	0.458A	0.059

(2)以檢量線 $y = 0.025x + 0.00005$ 將各吸光值轉換成濃度

	活性碳(g/L)	生物炭(g/L)
未經吸附處理之濃度	0.04	0.04
震盪3分鐘之濃度	0.01	0.01
震盪6分鐘之濃度	0.01	0.01
震盪9分鐘之濃度	0.01	0.01

3.硫酸銅

(1)將0.2 g/L硫酸銅5ml加入0.1g活性碳、生物炭以超音波震盪儀震盪各時間之吸光值

	活性碳測量3次之平均值	活性炭測量3次之標準差	生物碳測量3次之平均值	生物炭測量3次之標準差
未經吸附處理之吸光值	0.016A	0	0.016A	0
震盪3分鐘之吸光值	0.015A	0.001	0.016A	0.001
震盪6分鐘之吸光值	0.017A	0.001	0.017A	0.002
震盪9分鐘之吸光值	0.016A	0.002	0.017A	0.002

(2)以檢量線 $y = 12.366x - 0.0021$ 將各吸光值轉換成濃度

	活性碳(g/L)	生物炭(g/L)
未經吸附處理之濃度	20	20
震盪3分鐘之濃度	18	20
震盪6分鐘之濃度	20	20
震盪9分鐘之濃度	20	20

生物炭能有效吸附非離子汙染物，在進行3分鐘後濃度降少了一半；但對於離子類汙染物效果不佳，故改以電沉積的方式處理。硫酸銅震盪越久濃度不但沒有下降反而升高我們推測是因為震盪越久越多炭粉的緣故

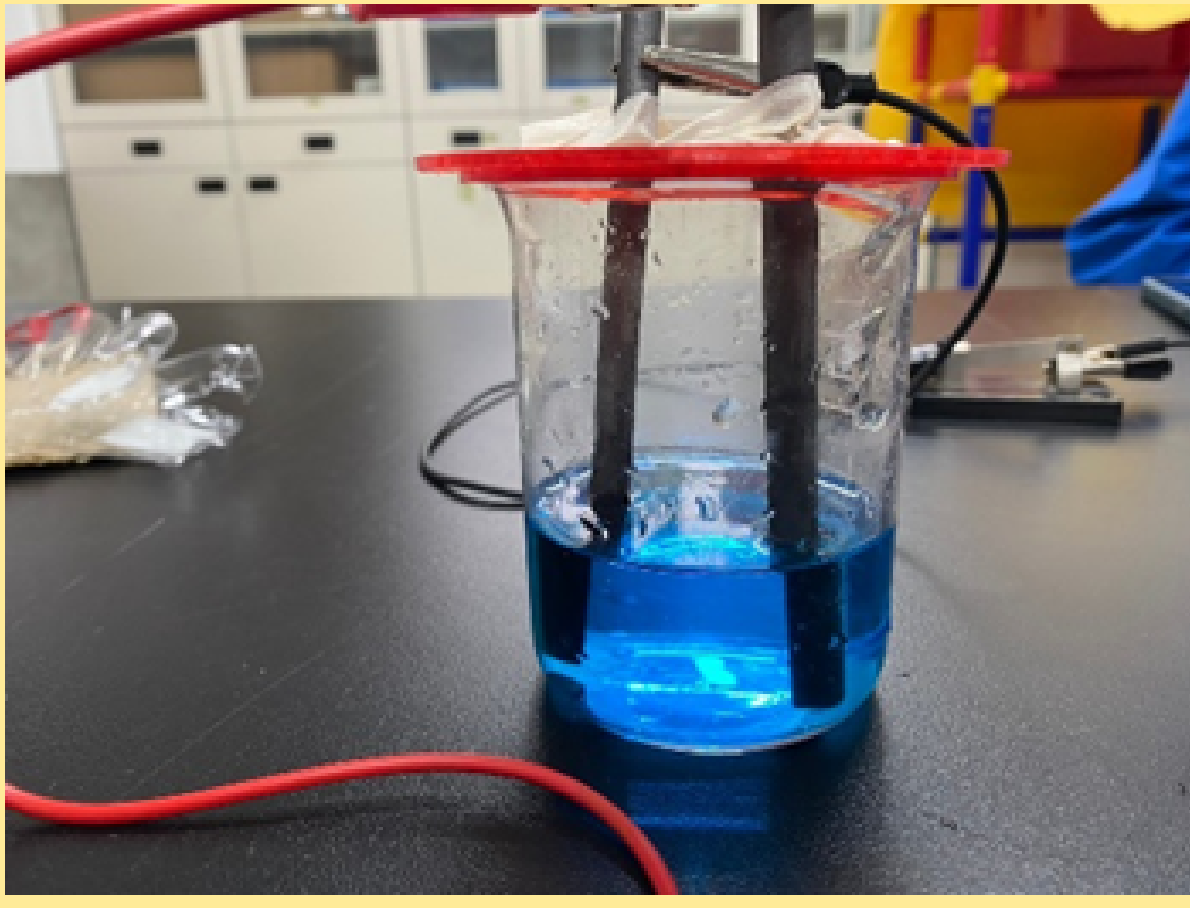
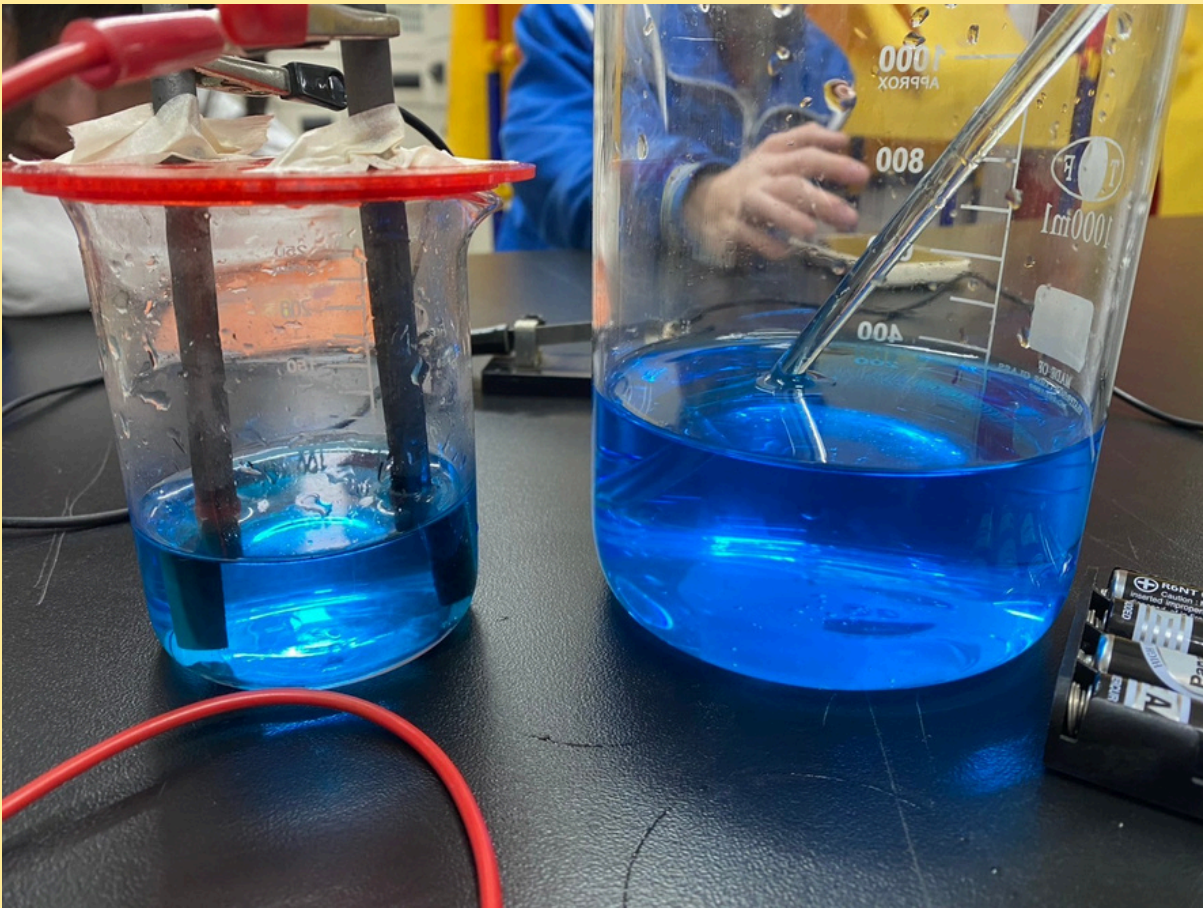
不管是生物炭還是活性碳對非離子型的汙染物吸附能力都很良好
但是對於離子型汙染物的吸附能力都很差



七、檢測電解槽去除離子汙染物能力

以石磨棒為電極，接上12V電壓，放入10%硫酸銅溶液中定時取出樣本測量其於610nm之吸光值。各時間吸光值如下表

	吸光值	濃度
未通電	1.628A	10%
通電5分鐘	1.564A	9.60%
通電10分鐘	1.512A	9.20%
通電15分鐘	1.483A	9.10%
通電20分鐘	1.457A	8.90%
通電25分鐘	1.433A	8.80%
通電30分鐘	1.419A	8.70%



我們從實驗數據可以發現電沉積對離子類的汙染物是有效果的，以本實驗裝置來說大約30分鐘可以去除1%的汙染物，未來我們也會測試更多種類的汙染物。

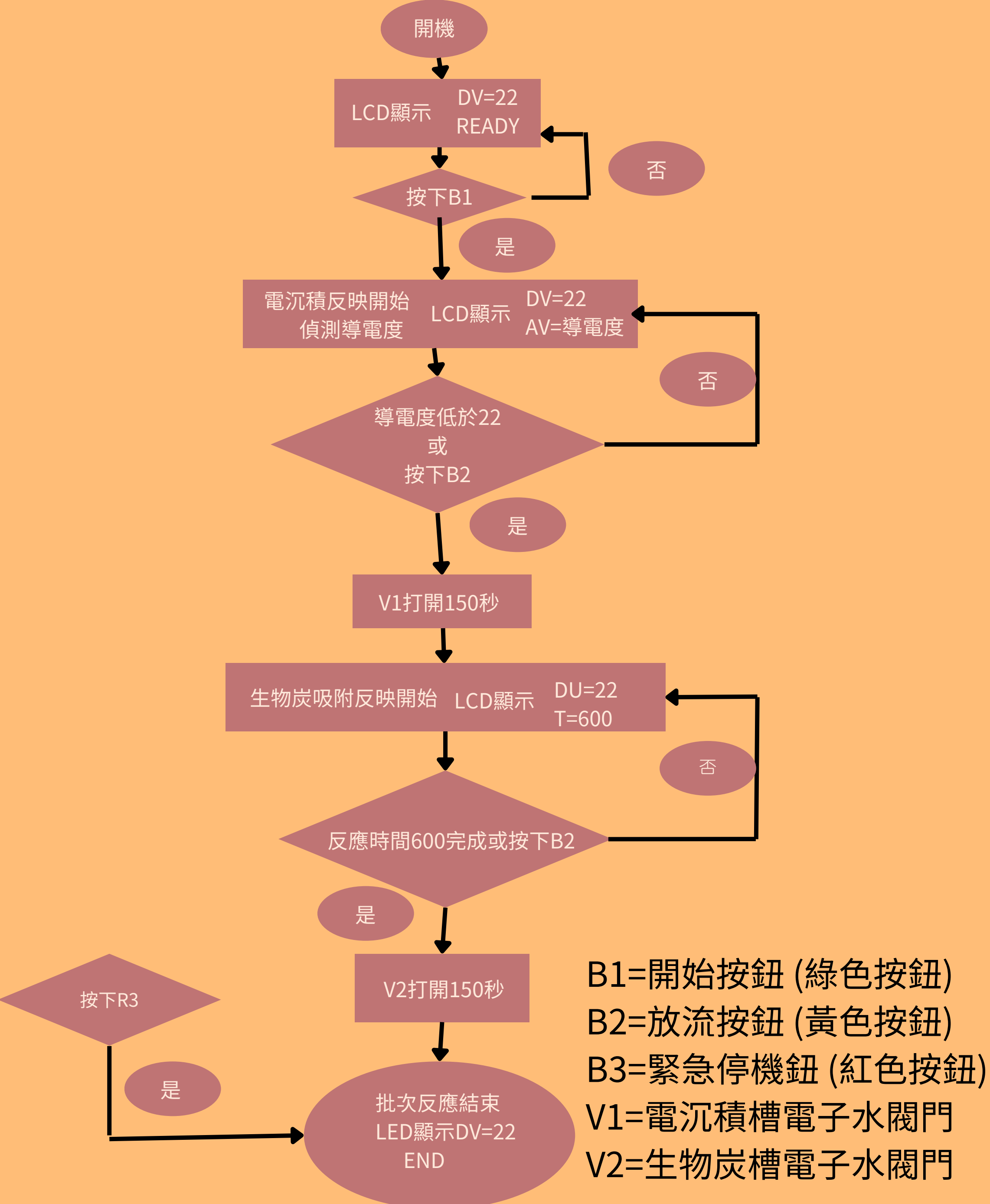
八、製作生物炭批次反應淨水槽

我們將自製的生物炭批次反應淨水槽分為電沉積與生物炭吸附兩槽，結合Arduino執行自動化控制，且文獻中顯示pH值下降有利於活性炭、生物炭吸附雜質，因此我們設計第一槽為電沉積槽，第二槽則是生物炭吸附槽

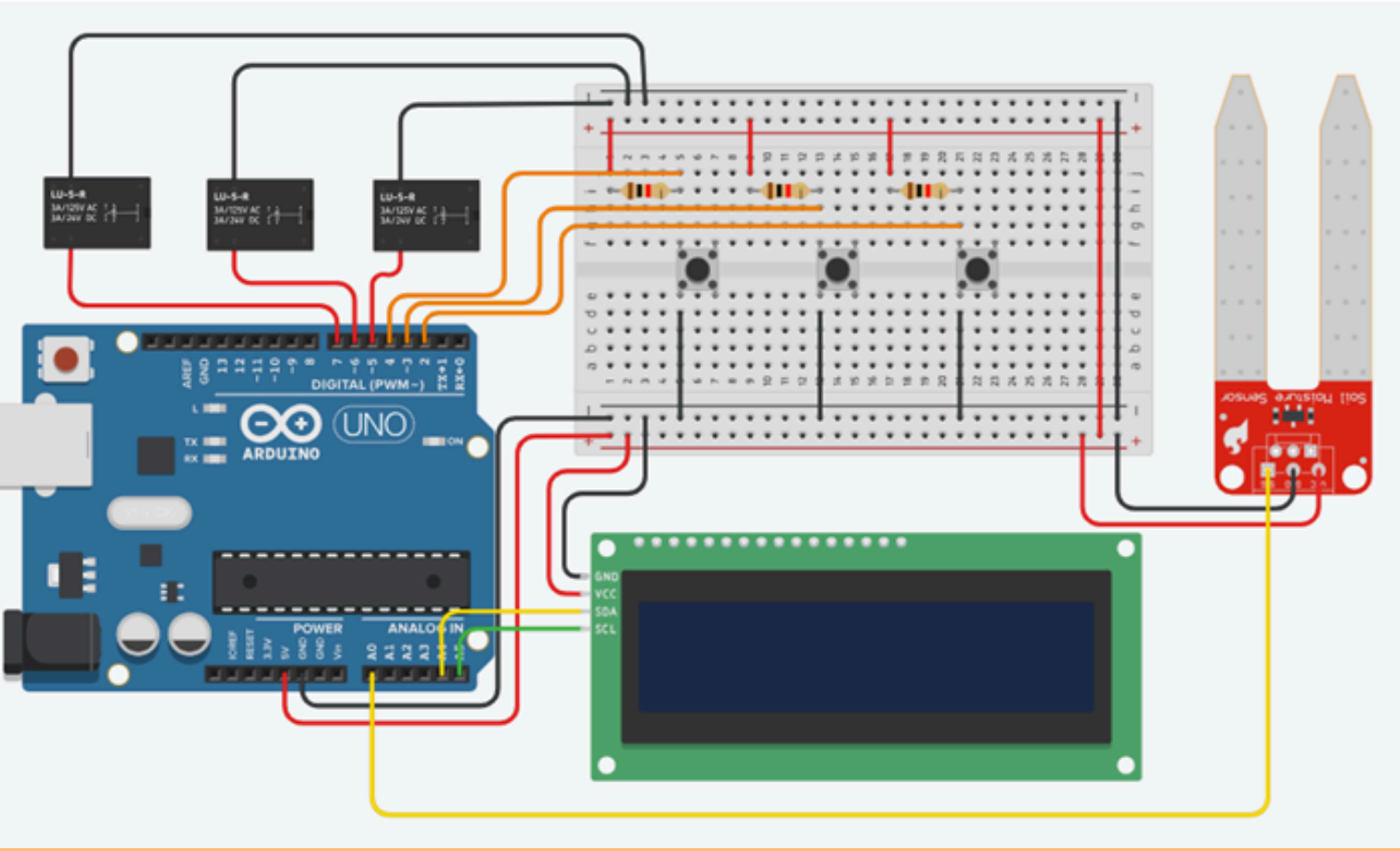
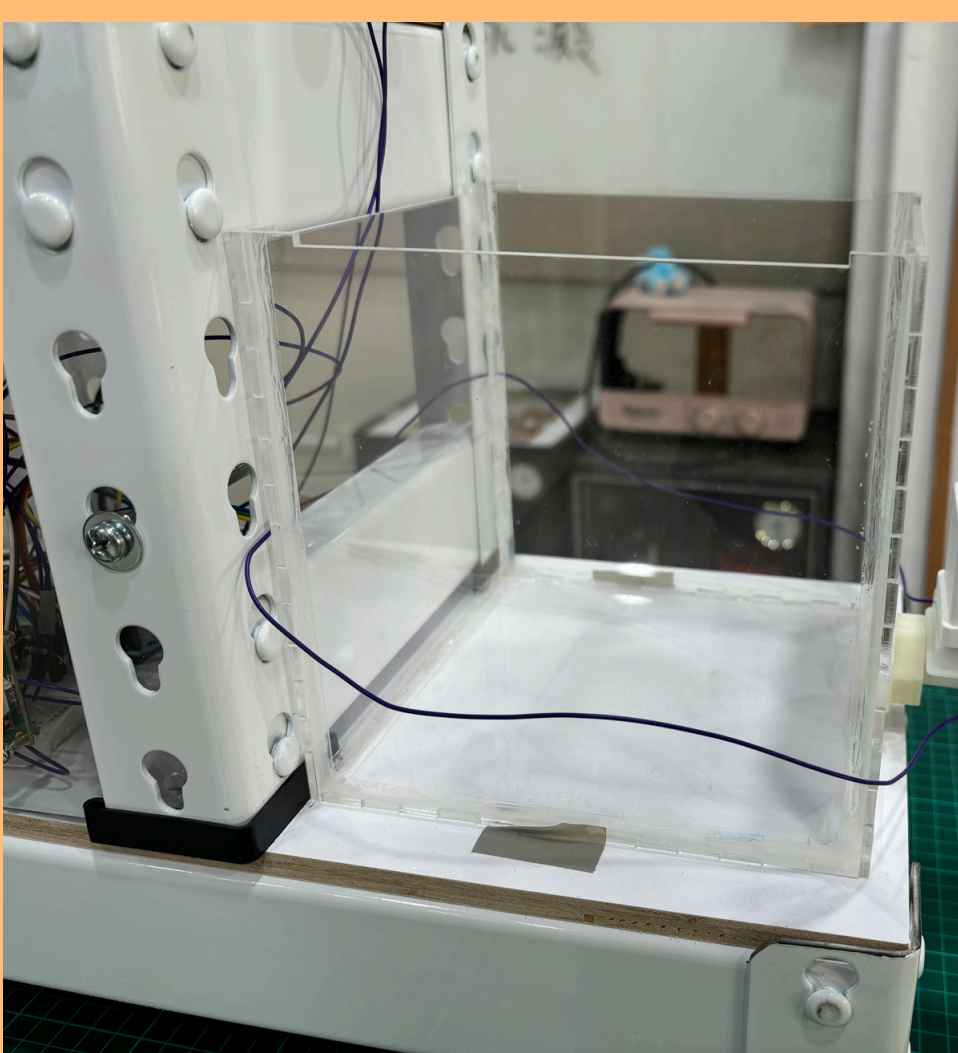
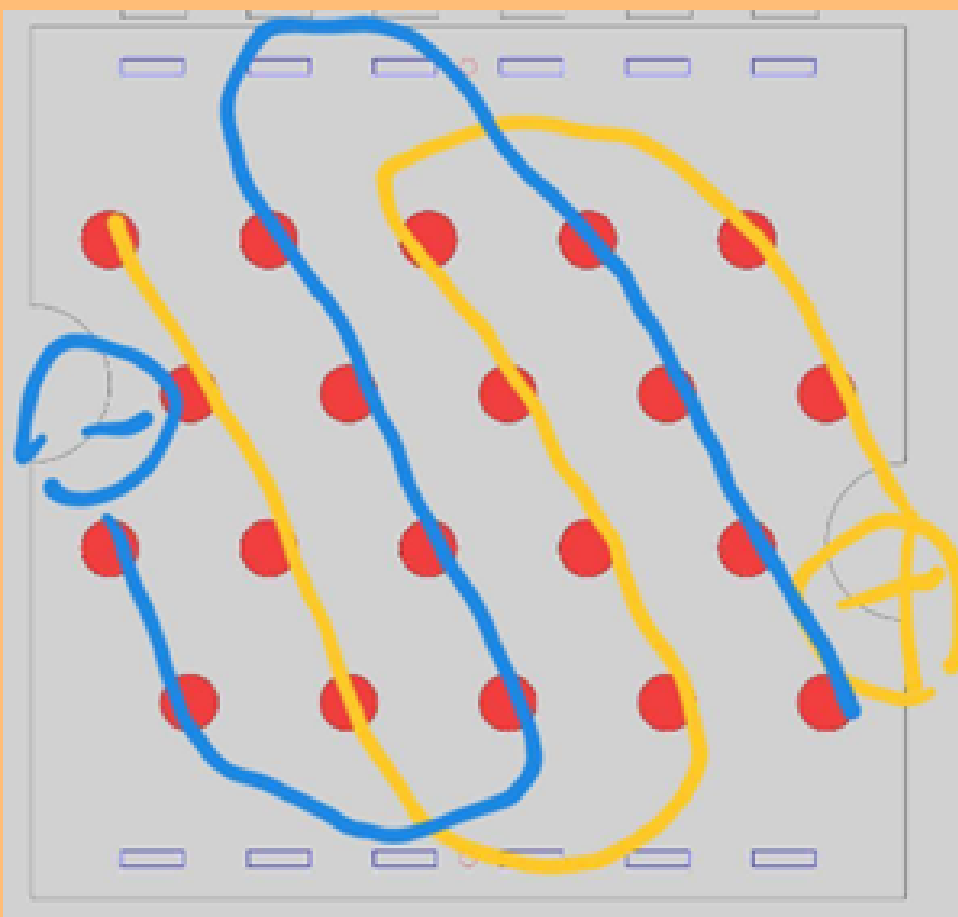
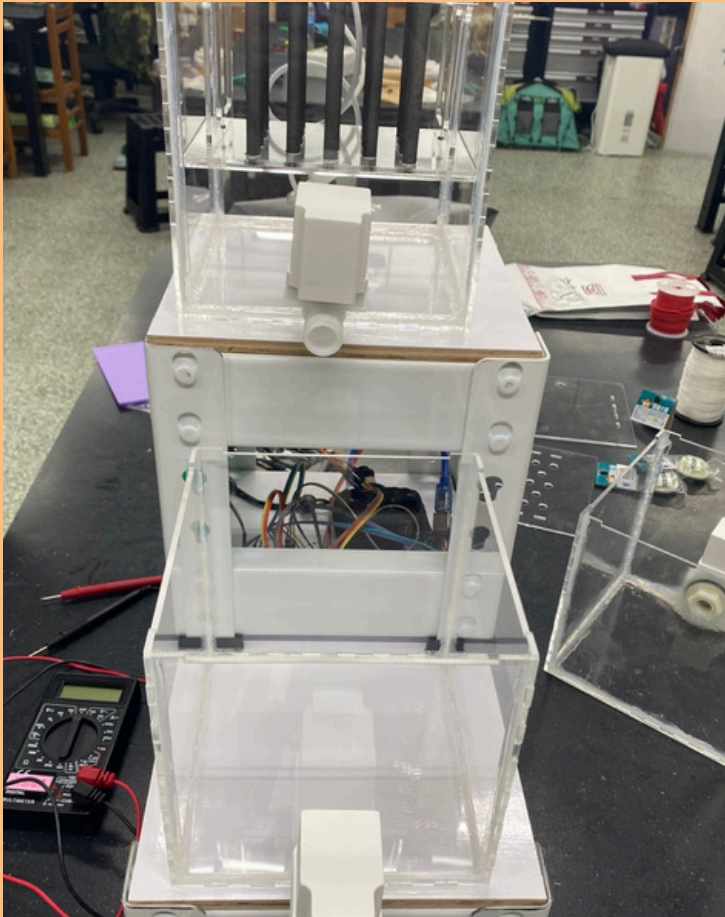
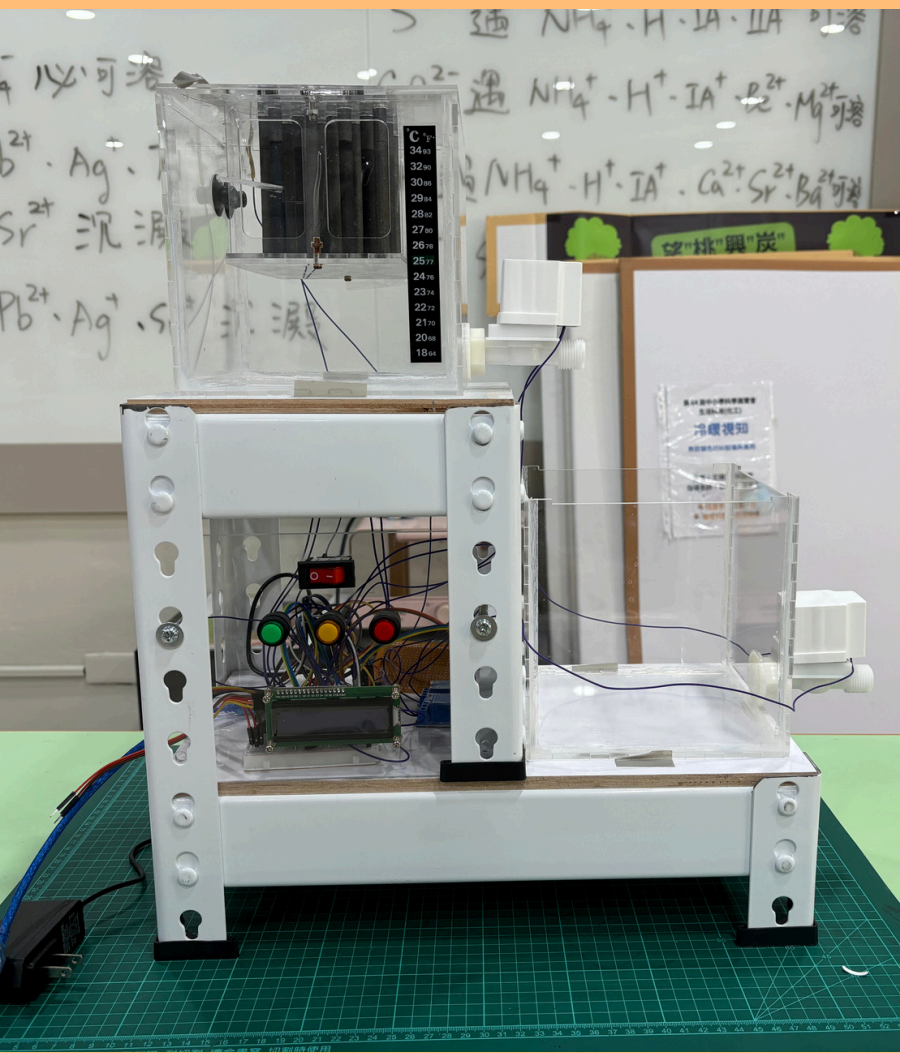
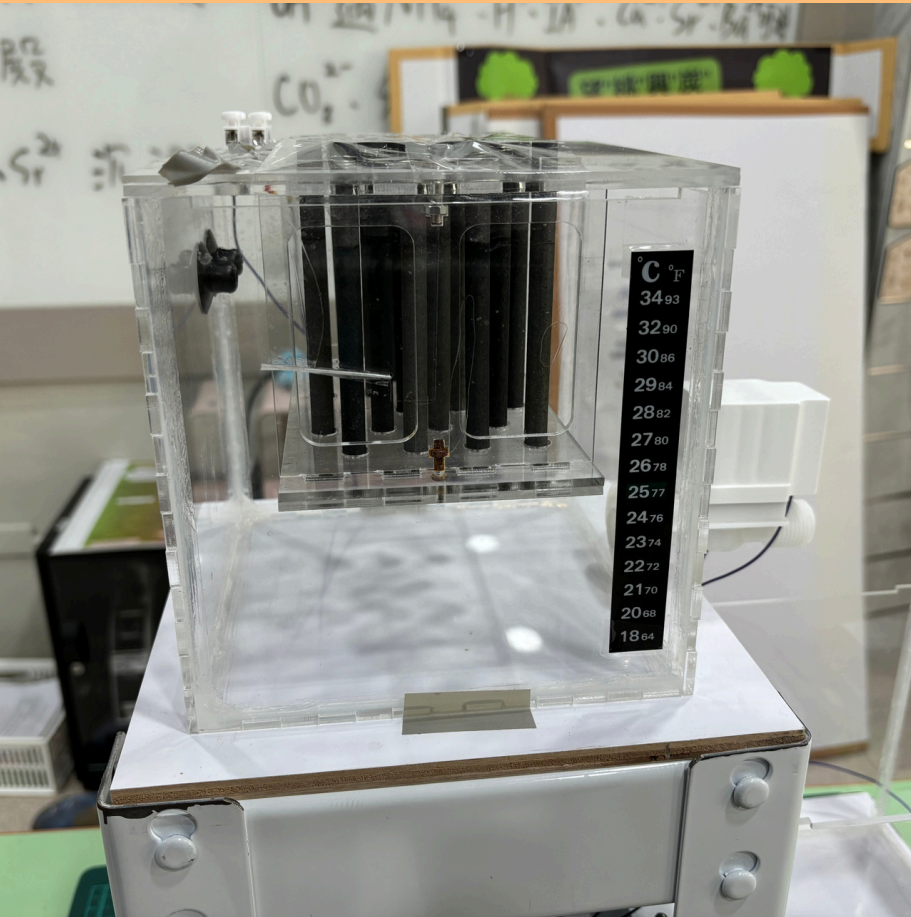
- 1.電沉積槽
- 第一槽為電沉積槽使用了20支石墨棒作為電極，底部空間放入打氣系統循環曝氣，並由Arduino控制，在偵測到水質達到放流標準時，開啟閥門將汙水放流至第二槽，同時切斷電極電源。
- 2.生物炭吸附槽
- 第二槽我們在底部設計了打氣系統使汙水與生物炭充分接觸，一樣使用電子閥門連動Arduino控制，達設定時間即排出

以下是系統的電路元件配置圖，將兩個水閥門及電導度偵測器由Arduino聯動控制。

下圖為程式邏輯流程圖



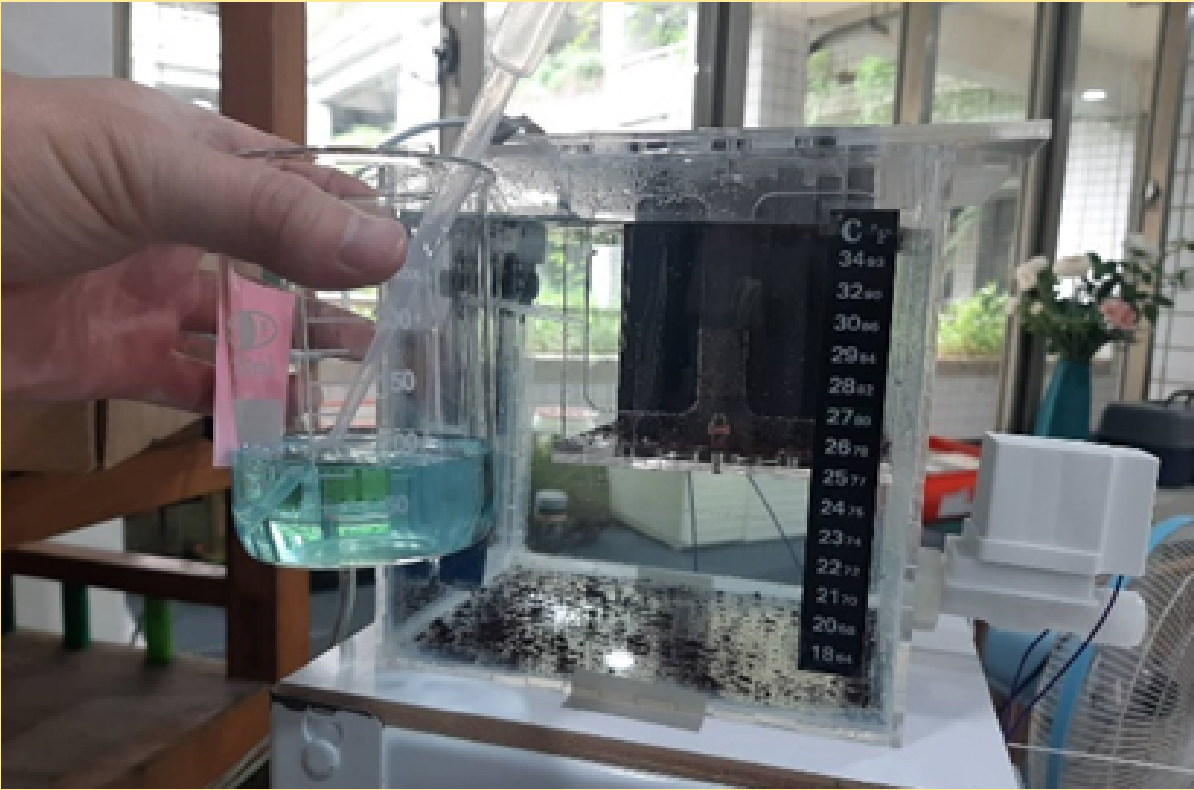
B1=開始按鈕 (綠色按鈕)
B2=放流按鈕 (黃色按鈕)
B3=緊急停機鈕 (紅色按鈕)
V1=電沉積槽電子水閥門
V2=生物炭槽電子水閥門



九、電沉積槽效能測試

1. 依據文獻設定濃度範圍，配置五組硫酸銅標準液，以模擬實際廢水進行電導度測試。結果如左下表
- 2.將200mg/L硫酸銅 (3.5L) 通電測試，每5分鐘測吸光值換算濃度。以了解濃度變化，實驗結果如右下表。

銅離子濃度	ADC值	反應時間 (分鐘)	銅離子濃度
0.005 g/L	22	5	121 mg/L
0.05 g/L	53	10	75 mg/L
0.1 g/L	89	15	39 mg/L
1 g/L	346	20	22 mg/L
2 g/L	370	25	3 mg/L



實驗顯示在25分鐘內可將銅離子濃度降至排放標準，石墨棒負極上有明顯金屬沉積，污水中亦可以看見懸浮微粒與氧氣的產生，證實電沉積槽效能良好。但懸浮金屬離子影響感測器進行感測，將加裝隔離層以改善。

伍、結論

1. 水蜜桃果核可製成實用生物炭，並掌握水蜜桃果核製成生物炭的最佳條件
- 2.本研究發現生物炭吸附非離子汙染物效果佳，離子汙染物吸附效果較差
- 3.本研究發現電沉積技術處理離子汙染有效
- 4.根據本研究發現我們設計製作生物炭批次反應淨水槽，初步測試汙水處理效果相當良好，能同時去除水中離子與非離子汙染物
- 未來研究方向
- 1.原本設計以電導度的變化來偵測銅離子的濃度，但經實測之後發現在電沉積過程中會產生其他的正離子，以至於這個方法失敗，目前已經找到更適合的感測器，未來會進一步測試。
- 2.分析常見水質汙染物，檢視本裝置效能，並實地取樣廢水進行淨化測試
- 3.測試活性炭在不同濃度汙染物下的建議用量，以提升吸附效率與資源利用率

附註：本研究所有圖表皆為作者自製